

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

### **Návrh bodově podepřeného mostu nad dálnicí**

Autor: Bc. Michaela Rudolfová

Vedoucí práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

2017

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rudolfová** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **380915**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh bodově podepřeného mostu nad dálnicí**

Název diplomové práce anglicky:

**Pinned supported bridge overpass design**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Michal Drahorád Ph.D., katedra betonových a zděných konstrukcí FSv**

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

Datum zadání diplomové práce: **13.10.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

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

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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

## PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne .....

.....  
podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Michalovi Drahorádovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce.

**Název práce:** Návrh bodově podepřeného mostu nad dálnicí

**Autor:** Bc. Michaela Rudolfová

**Katedra:** Katedra betonových a zděných konstrukcí

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

**e-mail vedoucího:** [michal.drahorad@fsv.cvut.cz](mailto:michal.drahorad@fsv.cvut.cz)

**Abstrakt:** Tato diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením silničního mostu nad dálnicí D1. Nosná konstrukce je tvořena jednotrámovým nosíkem konstantního průřezu o šesti polích. Posouzení konstrukce je prováděno dle platných norem. Výpočet zohledňuje také postupnou výstavbu mostu.

**Klíčová slova:** předpjatý beton, spojitý nosník, trémový most, fáze výstavby

**Title:** Pinned supported bridge overpass design

**Author:** Bc. Michaela Rudolfová

**Department:** Department of concrete and masonry structures

**Supervisor:** Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

**Supervisor's e-mail address:** [michal.drahorad@fsv.cvut.cz](mailto:michal.drahorad@fsv.cvut.cz)

**Abstract:** This thesis describes the design and assessment of road bridge over the D1 highway. The superstructure is created by continuous beam with six spans. Construction assessment is carried out according to valid standards. Calculation takes into consideration phased construction.

**Key words:** prestressed concrete, continuous beam, girder bridge, construction stages

## **Obsah**

Úvod .....	7
1. Identifikační údaje mostu .....	8
2. Základní parametry mostu a jeho umístění .....	8
3. Stavebně technické řešení .....	10
4. Výstavba.....	13
5. Bezpečnost a ochrana .....	14
6. Vliv stavby na životní prostředí.....	14
Závěr .....	14
Seznam použitých zdrojů .....	15
Seznam příloh .....	16

## **Přílohy**

P1 – Statický výpočet

P2 - Výkresy

## **Úvod**

Cílem diplomové práce je navrhnout a posoudit mostní konstrukci nad dálnicí. Nosná konstrukce silničního mostu je navržena jako spojitý nosník o šesti polích. Jako průřez byl zvolen jednostrán, který je výhodný z hlediska jednoduchého tvaru a nízké konstrukční výšky. Posudek je proveden podle teorie mezních stavů.

Statický výpočet se zabývá zejména návrhem hlavní nosné konstrukce. Okrajově se dotýká i návrhu spodní stavby a založení. V programu Scia Engineer bylo vytvořeno několik modelů konstrukce. Deskostěnové modely (přímý a zakřivený o poloměru 1890m) byly použity pro určení příčného roznosu zatížení. Dále byl vytvořen 3D prutový model pro výpočet účinků kroucení a 2D prutový model pro výpočet fázované výstavby včetně vlivu dotvarování a smršťování.



## **1. Identifikační údaje mostu**

Název akce	D1 0137 Přerov – Lipník
Název objektu:	Most na rampě Olomouc – Ostrava 3511, přes D1 /km 98,600/
Kraj:	Olomoucký
Okres:	Přerov
Investor:	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant:	Bc. Michaela Rudolfová
Místo stavby:	
Staničení zač. stavby:	km 0,425 381
Staničení kon. stavby:	km 0,626 696
Katastrální území:	Trnávka u Lipníka nad Bečvou, Bohuslávky
Překračovaná překážka:	Dálnice D1, km 98,590 21, úhel křížení 25,1978g

## **2. Základní parametry mostu a jeho umístění**

### **2.1. Základní parametry**

Typ mostu:	Spojitý jednorámový most o šesti polích, z předpjatého betonu, betonovaný na pevné skruži
Převáděná komunikace:	Pozemní komunikace
Volná výška pod mostem:	Dálnice – 6,5m
Průběh trasy na mostě:	Ve výškovém oblouku o poloměru 15000m
Délka mostu:	212,980m
Šikmost mostu:	$\alpha = 90^\circ$
Délka přemostění:	199,980m
Délka nosné konstrukce	202,380m
Rozpětí polí:	26,098 m– 36,550m – 37,570m – 41,900m – 34,262m – 25,000m
Šířka nosné konstrukce:	13,55m
Celková šířka mostu:	14,15m
Průřez mostu:	jednorámový s proměnou výškou od 0,35, do 1,75m
Příčný sklon:	3,2%
Podélný sklon:	+2,40%, -0,80%
Půdorysný poloměr osy nosné konstrukce:	1890 m
Konstrukční výška	1,890m
Zatěžovací třída	„A!“ dle Čsn 736203 Zatížení mostů z roku 1986

## 2.2. Charakter převáděné komunikace a překážky

Přes most vedou dva jízdni pruhy pozemni komunikace, které pripojuji rychlostni komunikaci na dálnici D1. Most je vybaven reviznim chodnikem o širice 0,75m. V druhém poli je překonávanou překážkou dvoupruhový kolektor, ve třetím a čtvrtém poli jsou to jízdni pásy dálnice D1.

## 2.3. Šířkové uspořádání na mostě

Zpevněná krajnice	0,500 m
Vodící proužek	0,500 m
Jízdni pruh	2 x 3,750 m
Vodící proužek	0,250 m
Krajnice	3,000m
Šířka mezi obrubami	11,750 m
<hr/>	
Římsa vlevo	1,250 m
Římsa vpravo	0,55 m
<hr/>	
Šířka mostu	14,15 m

## 2.4. Geologické poměry

Bylo provedeno 7 vrtů u plánovaných podpor.

Opěra 01	PS350
Podpěra 02	J531
Podpěra 03	J532
Podpěra 04	J533
Podpěra 05	J534
Podpěra 06	J535
Opěra 07	PS536

### **3. Stavebně technické řešení**

#### **3.1. Zemní práce**

Skrývka ornice bude provedena v tl. 200mm.

Před zahájením vrtání pilot je nutné vyhloubit jámy. Betonáž pilot bude prováděna od úrovně podkladního betonu základu podpor. Základové jámy pro opěry a pilíř 06 budou provedeny se sklony svahů 1:1. Jámy pro pilíře 02 – 05 budou paženy pomocí ocelových štětovic. Vytěžená zemina bude použita na zpětný zásyp stavebních jam. Přebytečná zemina bude odvezena nejbližší skládce.

#### **3.2. Založení**

Most je založen na pilotách o průměru 1200mm. Opěry jsou založeny na 11 pilotách, pilíře na 8. Výška základů je 1,20m, rozměry základů pod pilíři jsou 5m x 8m, pod opěrami 4,5m x 13,5m.

#### **3.3. Spodní stavba**

Průřez pilířů je tvořen pravidelným osmiúhelníkem se stranou 0,75. Délky pilířů se pohybují mezi 4,570m a 11,240m na základě umístění. V hlavě pilířů jsou navrženy pod-ložiskové bloky o rozměrech 1,5m x 1,5m. Opěry jsou obdélníkového tvaru s rozměry 2,85m x 13,50m. Přechodové desky za opěrami jsou tloušťky 300m a délky 5m. Odvodnění prostoru za opěrami je zabezpečeno podélnou drenáží se sklonem min. 3%.

#### **3.4. Nosná konstrukce**

Nosná konstrukce je monolitická z předpjatého betonu. Betonována je na skruži ve čtyřech fázích od opěry 07 směrem k opěře 01. V první a poslední fázi jsou betonována dvě pole najednou. Pracovní spáry jsou umístěny přibližně v pětině rozpětí. Je použit jednotrámový průřez z betonu pevnosti C35/45. Na krajních opěrách je trám uložen na příčnicích s přesahem 0,8m za osy uložení. Výška trámu je konstantní, 1,75m. Šířka nosné konstrukce je 13,55m, šířka dolní části trámu je 3,6m. Příčný sklon je 3,2%. Půdorysně se trám nachází v oblouku o poloměru 1890m.

Konstrukce je vyztužena předpínací výztuží tak, že je v mezním stavu omezení napětí splněna podmínka dekomprese. Byly zvoleny 19-ti lanové kabely. V poli 1 a 2 je navrženo 16

kabelů, v poli 3 a 4 je navrženo 18 kabelů a v polích 5 a 6 je navrženo 14 kabelů. Přidané kabely jsou kotveny pomocí mrtvých kotev předpínacího systému VSL.

### **3.5. Ložiska**

Na každé opěře se nachází dvě hrncová ložiska o únosnosti 6000kN. Na pilířích je uloženo vždy jedno ložisko o únosnosti 22000kN – 27000kN. Pevné ložisko je umístěno na pilíři 04.

### **3.6. Mostní závěry**

Nad oběma opěrami jsou navrženy povrchové mostní závěry s možnou dilatací  $\pm 65$ mm.

### **3.7. Vozovka**

Obrusná vrstva SMA 11+S	40mm
Ložní vrstva ACL 16 S	60mm
Ochrana izolace MA 11 IV	35mm
Izolace AIP	5mm

Vozovka je v příčném sklonu 3,2%.

### **3.8. Římsy**

Monolitické římsy mají sklon 4% ve směru k vozovce. Levá římsa je široká 1,55m, pravá 0,85m. Výška odrazového obrubníku je 150mm. Římsy jsou k nosné konstrukci kotveny výztuží z boku nosné konstrukce.

### **3.9. Záchytné systémy**

Ocelové zábradlí se svislou výplní na levé římse minimální výšky 1,10m, úroveň zadržení H2  
Zábradelní svodidlo minimální výšky 1,10m, úroveň zadržení H2

### **3.10. Odvodnění mostu**

Odvodnění je vyřešeno podélným a příčným spádem konstrukce, který odvádí vodu do odvodňovačů. Skluzy na začátku a konci mostu odvádějí vodu do příkopů podél dálnice.

### **3.11. Úprava pod mostem**

Svahy překračovaných komunikací jsou opatřeny lomovým kamenem tl. 350mm uloženým do suché betonové směsi.

## **4. Výstavba**

Přípravné práce: sejmutí ornice, příprava staveniště, zemní práce  
betonáž základů, stavba opěr, pilířů a spodní stavby

1. Fáze zhotovení skruže a bednění, armování  
betonáž 1. a 2. pole  
předeptnutí kabelů 1. fáze  
odskružení

2. Fáze zhotovení skruže a bednění, armování  
betonáž 3. pole  
předeptnutí kabelů 2. fáze  
odskružení

3. Fáze zhotovení skruže a bednění, armování  
betonáž 4. pole  
předeptnutí kabelů 3. fáze  
odskružení

4. Fáze zhotovení skruže a bednění, armování  
betonáž 5. a 6. pole  
předeptnutí kabelů 4. fáze  
odskružení

stavba závěrné zídek, křídel, říms  
dosypání a zhutnění prostoru za opěrou  
osazení záchytných zařízení, provedení vozovky  
dokončovací práce

vedení do provozu  
konec životnosti

## **5. Bezpečnost a ochrana**

Během stavby je v zájmu udržení bezpečnosti nutno dodržovat předpisy a normy týkající se bezpečnosti práce. Staveniště musí být ohraničené a na všech vstupech musí být osazeny výstražné tabule se zákazem vstupu nepovolaným osobám.

## **6. Vliv stavby na životní prostředí**

Při všech pracích je nutné chovat se maximálně šetrně k životnímu prostředí. Je třeba dávat důraz na nepřípustnost znečištění okolní krajiny pohonnými hmotami nebo jinými chemikáliemi. Hlučné práce proběhnou mezi 7.00 a 22.00 hodinou.

## **Závěr**

Cílem práce bylo navrhnout mostní konstrukci na konkrétním místě za konkrétních podmínek. Most byl modelován několika různými způsoby v programu Scia Engineer. Na základě účinků stálého a proměnného zatížení bylo navrženo předpětí. Návrh zahrnující fázovanou výstavbu a vliv smršťování a dotvarování byl poté posouzen podle mezních stavů. Předpětí je navrženo tak, aby v mezním stavu omezení napětí docházelo k dekompresi.

## **Seznam použitých zdrojů**

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (včetně změny A1)
- [2] ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
- [4] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
- [6] Navrátil J.: Předpjaté betonové konstrukce, 2008
- [7] Prof. Ing. Jiří Stráský, CSc.: Betonové mosty, 2001
- [8] Scia CZ, s.r.o.: Faze\_vystavby\_csy.pdf, 2010
- [9] doc. Ing. Jan Masopust, CSc. Vrtané piloty. Praha : Čeněk a Ježek s.r.o., 1994



## **Seznam příloh**

P1 - Statický výpočet

P2 - Výkresy

P2.1 – Příčný řez

P2.2 – Půdorys

P2.3 – Podélný řez

P2.4 – Výkres předpínací výztuže

## Příloha P1 - Statický výpočet

## **Obsah**

- 1 Geometrie**
- 2 Materiálové charakteristiky**
  - 2.1 Beton**
  - 2.2 Betonářská výztuž**
  - 2.3 Předpínací výztuž**
- 3 Výpočetní modely**
  - 3.1 Deskostěnové modely**
  - 3.2 Prutové modely**
- 4 Spolupůsobící šířky**
  - 4.1 Pole 1**
  - 4.2 Podpora B**
  - 4.3 Pole 2**
  - 4.4 Podpora C**
  - 4.5 Pole 3**
  - 4.6 Podpora D**
  - 4.7 Pole 4**
  - 4.8 Podpora E**
  - 4.9 Pole 5**
  - 4.10 Podpora F**
  - 4.11 Pole 6**
- 5 Zatížení**
  - 5.1 Zatížení stálé**
    - 5.1.1 Vlastní tíha  $g_0$
    - 5.1.2 Ostatní stálé  $g-g_0$
    - 5.1.3 Nerovnoměrné poklesy podpor
  - 5.2 Zatížení proměnné**
    - 5.2.1 Rozdělení vozovky na zatěžovací pruhy
    - 5.2.2 Model zatížení LM1
    - 5.2.3 Model zatížení LM2
    - 5.2.4 Model zatížení LM3
    - 5.2.5 Model zatížení LM4
    - 5.2.6 Brzdné a rozjezdové síly
    - 5.2.7 Odstředivé a jiné příčné síly
    - 5.2.8 Sestavy zatížení dopravou
  - 5.3 Zatížení teplotou**
- 6 Kombinace zatížení**
  - 6.1 Kombinace pro mezní stavy únosnosti**
  - 6.2 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti**

## **7 Příčný roznos**

- 7. 1 Srovnání přímého a zakřiveného deskostěnového modelu**
- 7. 2 Příčný roznos ostatního stálého zatížení**
- 7. 3 Příčný roznos zatížení dopravou**

## **8 Vnitřní síly**

- 8. 1 Vnitřní síly od stálého zatížení**
  - 8. 1.1 Vlastní tíha
  - 8. 1.2 Ostatní stálé zatížení
  - 8. 1.3 Nerovnoměrné poklesy podpor
- 8. 2 Vnitřní síly od proměnného zatížení**
  - 8. 2.1 Model zatížení LM1
  - 8. 2.2 Model zatížení LM2
  - 8. 2.3 Model zatížení LM3 - 1800/200
  - 2 2.4 Model zatížení LM3 - 3000/240
  - 8. 2.5 Model zatížení LM4
- 8. 3 Vnitřní síly od zatížení teplotou**

## **9 Návrh předpětí**

- 9. 1 Přípustná napětí v předpínací výztuži**
- 9. 2 Předběžný návrh předpínací výztuže**
- 9. 3 Posouzení předběžného návrhu**

## **10 Časově závislé účinky předpětí a postup výstavby**

- 10. 1 Postup výstavby a provozní fáze konstrukce**
- 10. 2 Ztráty předpětí**

## **11 Posouzení konstrukce - mezní stavy použitelnosti**

- 11. 1 Mezní stav omezení napětí**
- 11. 2 Výpočet normálových napětí v betonu**
  - 11. 2.1 Napětí v betonu v jednotlivých fázích výstavby
  - 11. 2.2 Omezení napětí v betonu v provozních stavech

## **12 Posouzení konstrukce - mezní stavy únosnosti**

- 12. 1 Ohyb s normálovou silou**
- 12. 2 Smyk a kroucení**
- 12. 3 Vliv přídatné tahové síly**
- 12. 4 Podélný smyk**
- 12. 5 Příčný směr - ohyb**
- 12. 6 Příčný směr - smyk**
- 12. 7 Posouzení v místě bodové podpory**

## **13 Návrh spodní stavby a založení**

**13. 1 Materiály**

**13. 2 Návrh pilíře D**

**13. 3 Založení pilíře D**

## **14 Seznam použitých zkratk**

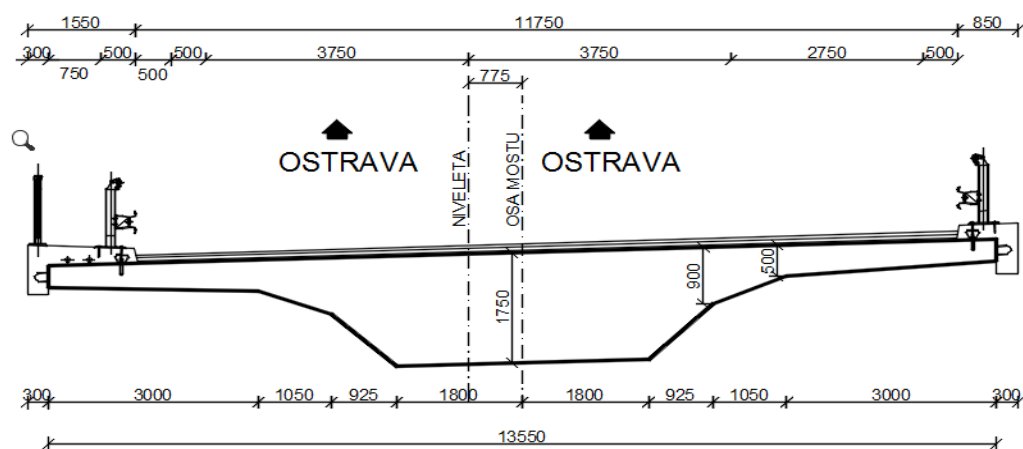
# 1. Geometrie

Most převádí dva jízdní pruhy rychlostní silnice R35 ve směru na Ostravu přes dálnici D1 a dvoupruhový kolektor.

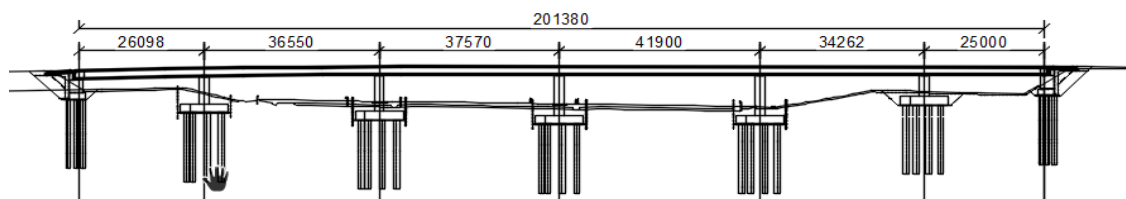
Konstrukce je navržena jako spojitý nosník o šesti polích 26,098m + 36,55m + 37,57m + 41,9m + 34,262m + 25m. Průřez mostu je jednotrámový nosník s proměnou výškou od 0,35m do 1,750m. Půdorysně se objekt nachází v oblouku o poloměru 1890m

Pole	1	2	3	4	5	6
Délka [m]	26,098	36,55	37,57	41,9	34,262	25

Poloměr oblouku  $R = 1890 \text{ m}$



Příčný řez



Podélný řez

## 2. Materiálové charakteristiky

### 2.1 Beton

Třída betonu: C 35 / 45 XF2 + XD1 + XC4

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,95} = 4,2 \text{ MPa}$$

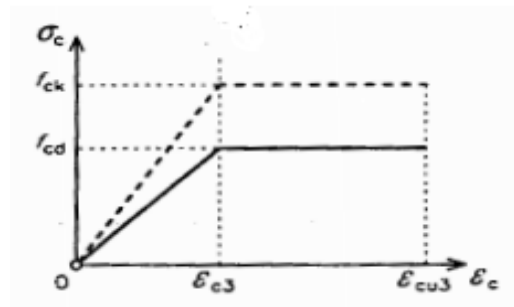
$$f_{ctd} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$



Návrhový bilineární pracovní diagram betonu v tlaku

Návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 19,833 \text{ MPa}$$

**Pevnost betonu v tlaku v čase t = 7 dní**

$$f_{ck(t)} = f_{cm(t)} - 8 \text{ [MPa]}$$

$$f_{cm(t)} = \beta_{cc(t)} \cdot f_{cm}$$

$$\beta_{cc(t)} = \exp\{s[1-(28/t)^{0,5}]\}$$

$$\beta_{cc(7)} = \exp\{0,20[1-(28/7)^{0,5}]\} = 0,819$$

$$f_{cm(7)} = \beta_{cc(7)} \cdot f_{cm} = 35,205 \text{ MPa}$$

$$f_{ck(7)} = f_{cm(7)} - 8 = 27,205 \text{ MPa}$$

**Pevnost betonu v tahu v čase t = 7 dní**

$$f_{ctm(t)} = (\beta_{cc(t)})^\alpha \cdot f_{ctm}$$

$$\alpha = 1 \text{ pro } t < 28 \text{ dní}$$

$$\alpha = 0,6667 \text{ pro } t \geq 28 \text{ dní}$$

$$f_{ctm(7)} = (\beta_{cc(7)})^\alpha \cdot f_{ctm} = 2,6199 \text{ MPa}$$

**Pevnost betonu v tlaku v čase t = 24 dní**

$$\beta_{cc(24)} = \exp\{0,20[1-(28/24)^{0,5}]\} = 0,984$$

$$f_{cm(24)} = \beta_{cc(24)} \cdot f_{cm} = 42,316 \text{ MPa}$$

$$f_{ck(24)} = f_{cm(24)} - 8 = 34,316 \text{ MPa}$$

**Pevnost betonu v tahu v čase t = 24 dní**

$$f_{ctm(24)} = (\beta_{cc(24)})^\alpha \cdot f_{ctm} = 3,149 \text{ MPa}$$

## 2. 2 Betonářská výztuž B500B

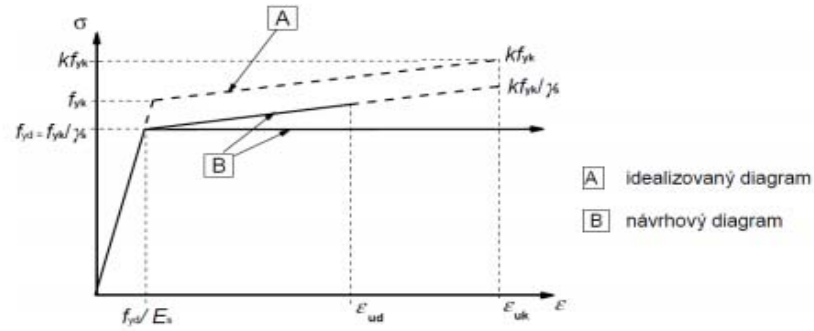
$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

Návrhové napětí výztuže

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



Pracovní diagram betonářské výztuže

### Krytí betonářské výztuže

Stupeň vlivu prostředí: XF2 + XD1 + XC4

Navrhovaná životnost: 100 let

$$c_{\min,b} = 32 \text{ mm}$$

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

$$c_{\min,\text{dur}} = 50 \text{ mm}$$

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

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

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

$$c_{\min} = \max(c_{\min,b}; c_{\min,\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}}; 10\text{mm}) = 50 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$$



### 2.3 Předpínací výztuž

Y - 1860 - S7 - 15,7 - A

$$f_{pk} = 1860,0 \text{ MPa}$$

$$f_{p0,1k} = 0,88 \cdot f_{pk} = 0,88 \cdot 1860,0 = 1670 \text{ MPa}$$

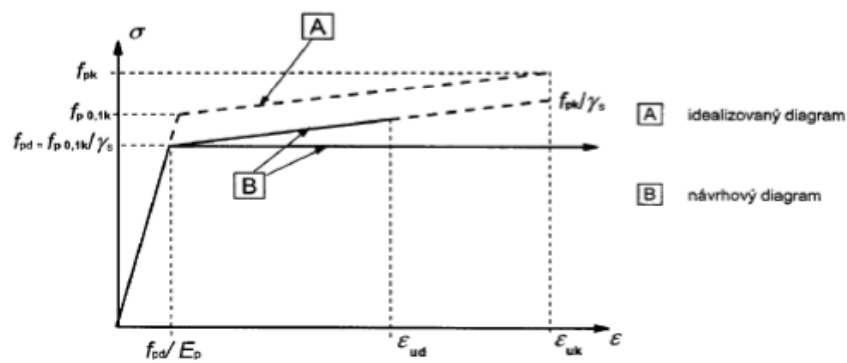
$$\gamma_p = 1,15$$

$$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1670,0 / 1,15 = 1452,2 \text{ MPa}$$

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

Plocha jednoho lana

$$A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$$



Pracovní diagram předpínací výztuže

### Krytí předpínací výztuže

Stupeň vlivu prostředí: XF2 + XD1 + XC4

Navrhovaná životnost: 100 let

Průměr kanálků  $\phi_{pv} = 90 \text{ mm}$

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

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

$$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$$

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

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

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

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

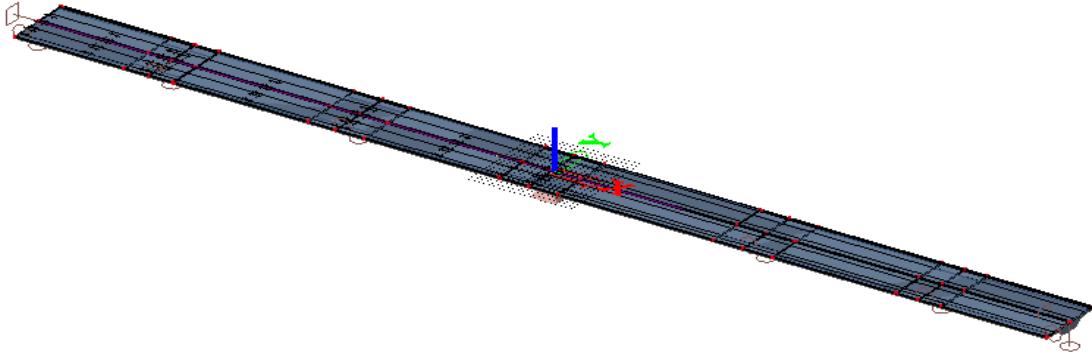
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 80 + 10 = 90 \text{ mm}$$

### 3. Výpočetní modely

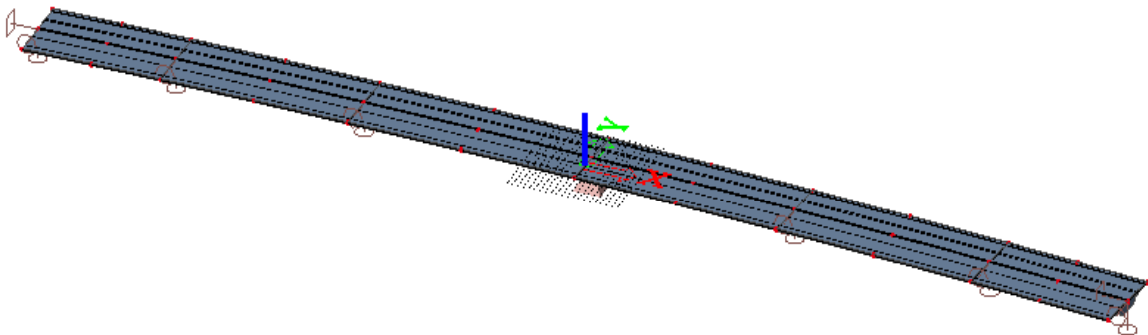
#### 3.1 Deskostěnové modely

Deskostěnové modely slouží k určení příčného roznosu ostatního stálého zatížení a zatížení dopravou.

- Přímý deskostěnový model

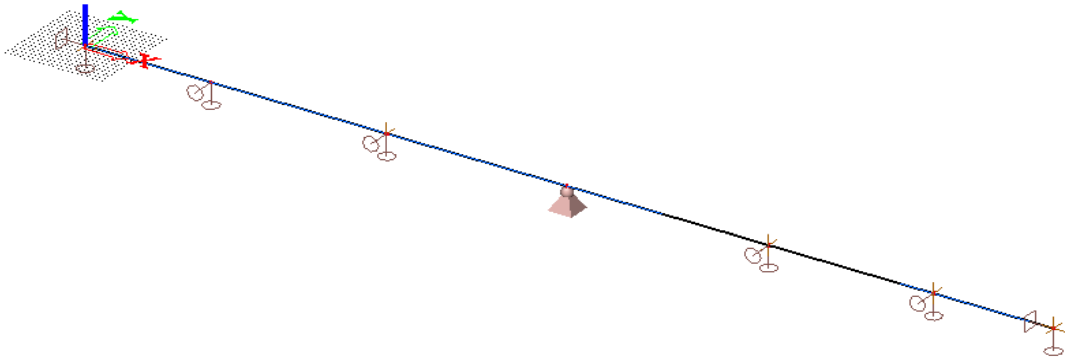


- Zakřivený deskostěnový model

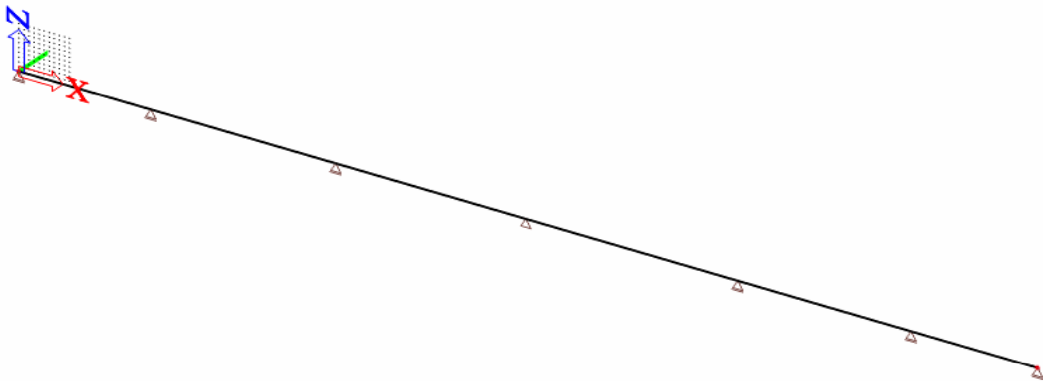


### 3. 2 Prutové modely

- 3D přímý prutový model (Rám XYZ) - model k určení účinků kroucení



- 2D přímý model (Rám XZ) - model pro fázový výpočet včetně vlivu smršťování a dotvarování



## 4. Spolupůsobící šířky

Výpočet spolupůsobící šířky

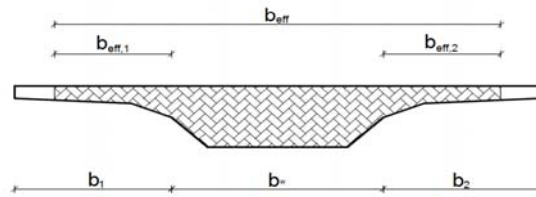
$$b_{eff} = b_w + \sum b_{effi} \leq b$$

$$b_{effi} = 0,2 * b_i + 0,1 * l_0 \leq 0,2 * l_0 \leq b_i$$

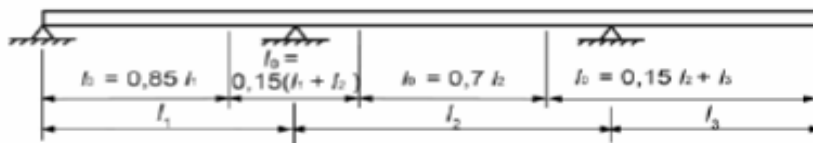
$$b_1 = 4,05 \text{ m}$$

$$b_2 = 4,05 \text{ m}$$

$$b_w = 5,45 \text{ m}$$



Geometrie příčného řezu



Definice  $l_0$  pro výpočet spolupůsobící šířky

### 4.1 Pole 1

$$l_1 = 26,098 \text{ m}$$

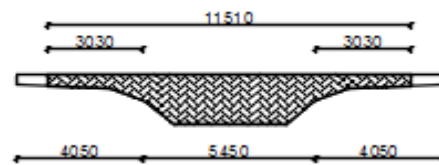
$$l_0 [m] = 0,85 * l_1 = 22,18 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{eff1} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 3,03 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 4,44 \text{ m} \Rightarrow b_{eff1} = 3,03 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_w + \sum b_{effi} = 11,51 \text{ m}$$

$$I_y = 2,898E+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 7,463E+13 \text{ mm}^4 \quad A = 12005230 \text{ mm}^2$$



### 4.2 Podpora B

$$l_1 = 26,098 \text{ m} \quad l_2 = 36,55 \text{ m}$$

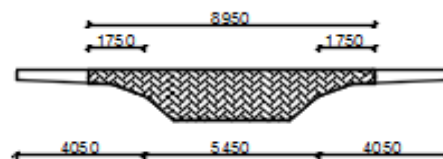
$$l_0 [m] = 0,15 * (l_1 + l_2) = 9,40 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{eff1} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 1,75 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 1,88 \text{ m} \Rightarrow b_{eff1} = 1,75 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_w + \sum b_{effi} = 8,95 \text{ m}$$

$$I_y = 2,62E+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 4,566E+13 \text{ mm}^4 \quad A = 10896750 \text{ mm}^2$$



### 4.3 Pole 2

$$l_2 = 36,55 \text{ m}$$

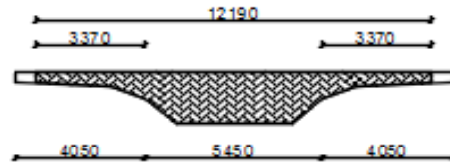
$$l_0 [\text{m}] = 0,7 * l_2 = 25,59 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 3,37 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 5,12 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 3,37 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff1}} = 12,19 \text{ m}$$

$$I_y = 2,961\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 8,400\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 12272130 \text{ mm}^2$$



### 4.4 Podpora C

$$l_2 = 36,55 \text{ m} \quad l_3 = 37,57 \text{ m}$$

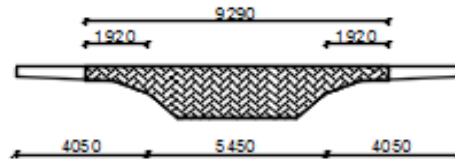
$$l_0 [\text{m}] = 0,15 * (l_2 + l_3) = 11,12 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 1,92 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 2,22 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 1,92 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff1}} = 9,29 \text{ m}$$

$$I_y = 2,66\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 4,892\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 11053405 \text{ mm}^2$$



### 4.5 Pole 3

$$l_3 = 37,57 \text{ m}$$

$$l_0 [\text{m}] = 0,7 * l_3 = 26,30 \text{ m}$$

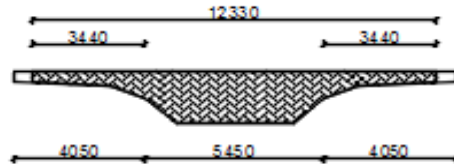
$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 3,44 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 5,26 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 3,44 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff1}} = 12,33 \text{ m} < b = 13,55 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 12,33 \text{ m}$$

$$I_y = 2,97\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 8,601\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 12325645 \text{ mm}^2$$



### 4.6 Podpora D

$$l_3 = 37,57 \text{ m} \quad l_4 = 41,9 \text{ m}$$

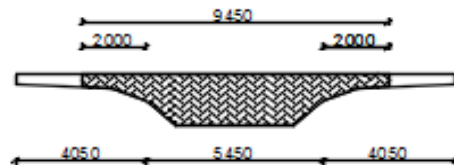
$$l_0 [\text{m}] = 0,15 * (l_3 + l_4) = 11,92 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 = 2,00 \text{ m} < 0,2 * l_0 = 2,38 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 2,00 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff1}} = 9,45 \text{ m}$$

$$I_y = 2,68\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 5,051\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 11126125 \text{ mm}^2$$



#### 4.7 Pole 4

$$l_4 = 41,9 \text{ m}$$

$$l_0 [\text{m}] = 0,7 \cdot l_4 = 29,33 \text{ m}$$

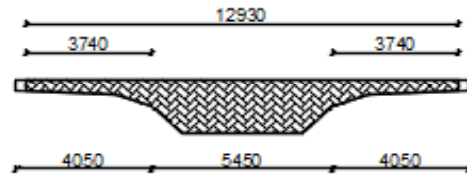
$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 3,74 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 5,87 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 3,74 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{effi}} = 12,930 \text{ m} < b = 13,55 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 12,93 \text{ m}$$

$$I_y = 3,03\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 9,494\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 12549445 \text{ mm}^2$$



#### 4.8 Podpora E

$$l_4 = 41,9 \text{ m} \quad l_5 = 34,262 \text{ m}$$

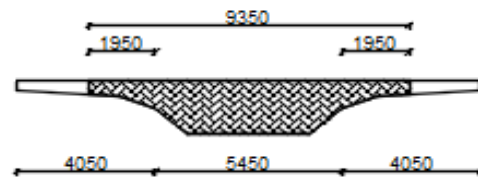
$$l_0 [\text{m}] = 0,15 \cdot (l_4 + l_5) = 11,42 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 1,95 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 2,28 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 1,95 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{effi}} = 9,35 \text{ m}$$

$$I_y = 2,669\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 4,951\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 11080750 \text{ mm}^2$$



#### 4.9 Pole 5

$$l_5 = 34,262 \text{ m}$$

$$l_0 [\text{m}] = 0,7 \cdot l_5 = 23,98 \text{ m}$$

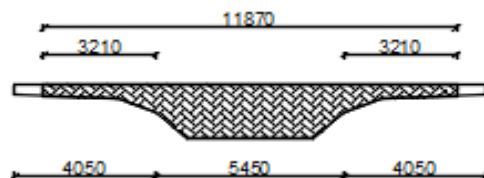
$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 3,21 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 4,80 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 3,21 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{effi}} = 11,87 \text{ m} < b = 13,55 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 11,87 \text{ m}$$

$$I_y = 2,93\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 7,951\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 12147970 \text{ mm}^2$$



#### 4. 10 Podpora F

$$l_5 = 34,262 \text{ m} \quad l_6 = 25 \text{ m}$$

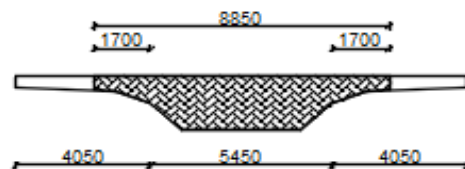
$$l_0 [\text{m}] = 0,15 \cdot (l_5 + l_6) = 8,89 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 1,70 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 1,78 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 1,70 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \Sigma b_{\text{effi}} = 8,85 \text{ m}$$

$$I_y = 2,61\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 4,474\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 10850125 \text{ mm}^2$$



#### 4. 11 Pole 6

$$l_6 = 25 \text{ m}$$

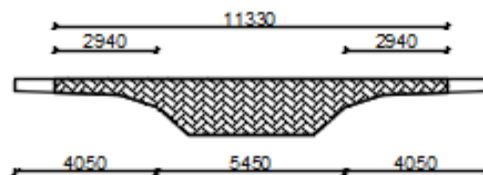
$$l_0 [\text{m}] = 0,85 \cdot l_6 = 21,25 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,05 \text{ m} \quad b_w = 5,45 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 2,94 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 4,25 \text{ m} \Rightarrow b_{\text{eff1}} = 2,94 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + \Sigma b_{\text{effi}} = 11,330 \text{ m}$$

$$I_y = 2,88\text{E}+12 \text{ mm}^4 \quad I_z = 7,227\text{E}+13 \text{ mm}^4 \quad A = 11932645 \text{ mm}^2$$



## 5. Zatížení

### 5.1 Zatížení stálé

#### 5.1.1 Vlastní tíha $g_0$

- generována programem Scia Engineer

$$A = 12,771 \text{ m}^2$$

$$\rho = 26,1 \text{ kN/m}^3$$

$$g_0 = 12,771 * 26 = 332,82 \text{ kN/m}$$

#### 5.1.2 Ostatní stálé $g-g_0$

- Vozovka

Asfaltový koberec 40 mm

Asfaltový beton 60 mm

Litý asfalt modifikovaný 35 mm

---

+20% 162 mm

tíha asfaltu  $q = 24 \text{ kN/m}^3$

$g_{\text{voz}} = 3,89 \text{ kN/m}^2$

šířka vozovky 11,75 m

- Římsy

$A_p = 0,37 \text{ m}^2$  na šířce 0,55 m

$g_p = 16,82 \text{ kN/m}^2$

$A_l = 0,55 \text{ m}^2$  na šířce 1,25 m

$g_l = 11,00 \text{ kN/m}^2$

- Zábradelní svodidlo

$g = 1,5 \text{ kN/m}$

- Svodidlo

$g = 1 \text{ kN/m}$

- Zábradlí

$g = 1 \text{ kN/m}$

**Celková hodnota zatížení ( $g-g_0$ ) = 72,18 kN/m**

#### 5.1.3 Nerovnoměrné poklesy podpor

- uvažovány nerovnoměrné poklesy podpor 5 mm

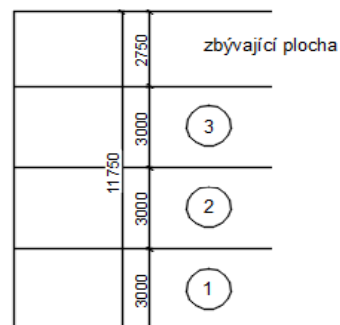
### 5.2 Zatížení proměnné

#### 5.2.1 Rozdělení vozovky na zatěžovací pruhy

šířka vozovky = 11,75m

počet pruhů  $n = 3$

šířka zbývající plochy = 2,75 m

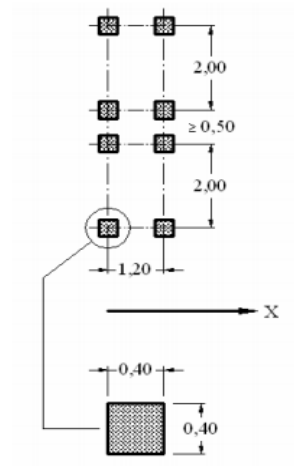
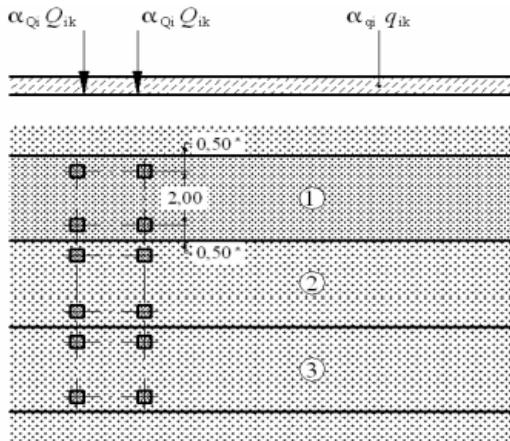




## 5. 2.2 Model zatížení LM1

Uvažuje se podle ČSN EN 1991-2

	Dvounáprava TS			Rovnoměrné zatížení UDL		
	$Q_{ik}$ [kN]	$\alpha_{Qi}$	$Q_{ik} * \alpha_{Qi}$	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\alpha_{qi}$	$q_{ik} * \alpha_{qi}$
Pruh č. 1	300	1,0	300	9,0	1,0	9,0
Pruh č. 2	200	1,0	200	2,5	2,4	6,0
Pruh č. 3	100	1,0	100	2,5	1,2	3,0
Zbývající plocha	0	0	0	2,5	1,2	3,0



## 5. 2.3 Model zatížení LM2

Uvažuje se podle ČSN EN 1991-2

Nápravová síla  $\beta_Q * Q_{ak}$

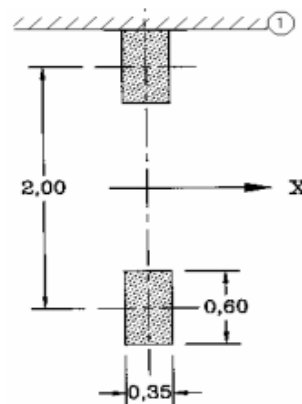
$$Q_{ak} = 400 \text{ kN} \quad \beta_Q = \alpha_{Q1} = 1,0$$

V blízkosti mostních závěrů se uvažuje  
přídavný dynamický součinitel:

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30.$$

Nápravová síla u mostních závěrů:

$$400 * 1,3 = 520 \text{ kN}$$



## 5. 2.4 Model zatížení LM3

-soubor soustav nápravových sil představující zvláštní vozidla

Uvažuje se podle ČSN EN 1991-2

V ČR:	900/150 + časté hodnoty LM1	6*150kN	á 1,5 m
	1800/200 + časté hodnoty LM1	9*200kN	á 1,5 m
	3000/240	12*240kN + 1*120kN	á 1,5 m

## 5. 2.5 Model zatížení LM4

Zatížení davem lidí - uvažuje se jako rovnoměrné zatížení 5 kN/m<sup>2</sup>.

### 5. 2.6 Brzdné a rozjezdové síly

$$Q_{tk} = 0,6 * \alpha_{Q1} * 2 * Q_1 + 0,1 * \alpha_{q1} * q_{1k} * w_1 * L$$

$$180 \alpha_{Q1} \leq Q_{tk} \leq 900 \text{ kN}$$

délka nosné konstrukce L = 201,38 m

šířka pruhu  $w_1 = 3 \text{ m}$

$\alpha_{Q1} = \alpha_{q1} = 1,0$

nápravová síla  $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$

rovnorné zatížení  $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$

$$Q_{tk} = 0,6 * 1,0 * 600 + 0,1 * 1,0 * 9 * 3 * 201,38 = 903,73 \text{ kN} > 900 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow Q_{tk} = 900 \text{ kN}$$

Zatížení na jednotku délky mostu:  $q_{tk} = 900 / 201,38 = 4,469 \text{ kN/m}$

### 5. 2.7 Odstředivé a jiné příčné síly

Podle ČSN EN 1991-2 platí:

$Q_{tk} = 0,2Q_v$	$r < 200\text{m}$
$Q_{tk} = 40Q_v / r$	$200 \text{ m} \leq r \leq 1500 \text{ m}$
$Q_{tk} = 0$	$r \geq 1500 \text{ m}$

$$r = 1890 \text{ m} \Rightarrow Q_{tk} = 0$$

### 5. 2.8 Sestavy zatížení dopravou

Sestavy zatížení jsou uvažovány dle ČSN EN 1991-2:

		Vozovka						Chodníky a cyklist. pruhy
Typ zatížení		Svislé síly				Vodorovné síly		Pouze svislé zatížení
Soustava zatížení		LM1 (TS a UDL)	LM2	LM3	LM4	Brzdné a rozjezdové síly	Odstředivé síly	Rovnoměr. zatížení
Sestavy zatížení	gr1a	charakter. hodnoty				*	*	* kombin. hodnoty
	gr1b		charakter. hodnoty					
	gr2	* časté hodnoty				charakter. hodnoty	charakter. hodnoty	
	gr3 **							charakter. hodnota
	gr4				charakter. hodnota			* charakter. hodnota
	gr5	viz příloha A		charakter. hodnota				
Hlavní	Hlavní (dominantní) složka zatížení							

Sestava zatížení gr3 není uvažována.

### 5. 3 Zatížení teplotou

Typ nosné konstrukce mostu:

3. typ: betonová násná konstrukce - betonový nosník

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

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

pro tloušťku mostního svršku 150mm:

horní povrch teplejší než dolní  $k = 0,5 \Rightarrow k * \Delta T_{M,heat} = 7,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

dolní povrch teplejší než horní  $k = 1,0 \Rightarrow k * \Delta T_{M,cool} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

## 6. Kombinace zatížení

### 6.1 Kombinace pro mezní stavy únosnosti

Uvažuje se méně příznivá kombinace z:

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

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

Hodnoty součinitelů  $\psi$  pro mosty pozemních komunikací

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
TS	0,75	0,75	0
UDL	0,40	0,40	0
teplota	0,60	0,60	0,50

#### **Kombinace se sestavou zatížení gr1a:**

##### **6.10**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * M_{gr1a} + 1,5 * 0,6 M_T$$

##### **6.10a**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * (0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + 1,5 * 0,6 M_T)$$

##### **6.10b**

$$0,85 * (1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.}) + 1,35 * M_{gr1a} + 1,5 * 0,6 M_T$$

#### **Kombinace se sestavou zatížení gr2:**

##### **6.10**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * M_{gr2} + 1,5 * 0,6 M_T$$

##### **6.10a**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * (0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + 0 M_{brzd.}) + 1,5 * 0,6 M_T$$

##### **6.10b**

$$0,85 * (1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.}) + 1,35 * M_{gr2} + 1,5 * 0,6 M_T$$

#### **Kombinace se sestavou zatížení gr4:**

##### **6.10**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * M_{gr4} + 1,5 * 0,6 M_T$$

##### **6.10a**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * 0,75 M_{gr4} + 1,5 * 0,6 M_T$$

##### **6.10b**

$$0,85 * (1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.}) + 1,35 * M_{gr4} + 1,5 * 0,6 M_T$$

**Kombinace se sestavou zatížení gr5: LM3-1800/200 + časté hodnoty LM1**

**6.10**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * ( 0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + M_{LM3} ) + 1,5 * 0,6 M_T$$

**6.10a**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * ( 0,75 * 0,75 M_{TS} + 0,4 * 0,4 M_{UDL} + 0 M_{LM3} ) + 1,5 * 0,6 M_T$$

**6.10b**

$$0,85 * ( 1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} ) + 1,35 * ( 0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + M_{LM3} ) + 1,5 * 0,6 M_T$$

**Kombinace se sestavou zatížení gr5: LM3-3000/240**

**6.10**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 M_{LM3} + 1,5 * 0,6 M_T$$

**6.10a**

$$1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} + 1,35 * 0 M_{LM3} + 1,5 * 0,6 M_T$$

**6.10b**

$$0,85 * ( 1,35 M_g + 1,35 M_{g-g0} + 1,35 M_{pokl.pod.} ) + 1,35 M_{LM3} + 1,5 * 0,6 M_T$$

**6. 2 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti**

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

Častá  $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{11} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$

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

Občasná  $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,inf q} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{1i} Q_{ki}$

**Kombinace se sestavou zatížení gr1a:**

**charakteristická kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + M_{TS} + M_{UDL} + 0,6 M_T$$

**častá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + 0,5 M_T$$

**kvazistálá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{TS} + 0 M_{UDL} + 0,5 M_T$$

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

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{11} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

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

**Kombinace se sestavou zatížení gr2:****charakteristická kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + M_{brzd} + 0,6 M_T$$

**častá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 * 0,75 M_{TS} + 0,4 * 0,4 M_{UDL} + 0 M_{brzd} + 0,5 M_T$$

**kvazistálá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{TS} + 0 M_{UDL} + 0 M_{brzd} + 0,5 M_T$$

**Kombinace se sestavou zatížení gr4:****charakteristická kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + M_{LM4} + 0,6 M_T$$

**častá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 M_{LM4} + 0,5 M_T$$

**kvazistálá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{LM4} + 0,5 M_T$$

**Kombinace se sestavou zatížení gr5: LM3-1800/200 + časté hodnoty LM1****charakteristická kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 M_{TS} + 0,4 M_{UDL} + M_{LM3} + 0,6 M_T$$

**častá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0,75 * 0,75 M_{TS} + 0,4 * 0,4 M_{UDL} + 0 M_{LM3} + 0,5 M_T$$

**kvazistálá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{TS} + 0 M_{UDL} + 0 M_{LM3} + 0,5 M_T$$

**Kombinace se sestavou zatížení gr5: LM3-3000/240****charakteristická kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + M_{LM3} + 0,6 M_T$$

**častá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{LM3} + 0,5 M_T$$

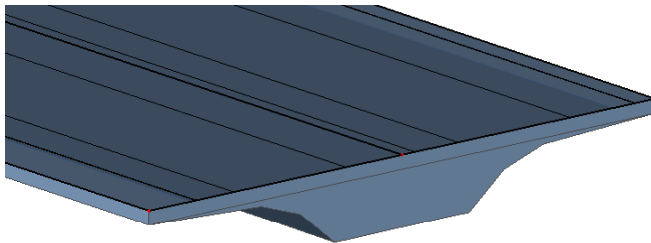
**kvazistálá kombinace**

$$M_g + M_{g-g0} + M_{pokl.pod.} + P + 0 M_{LM3} + 0,5 M_T$$

## 7. Příčný roznos

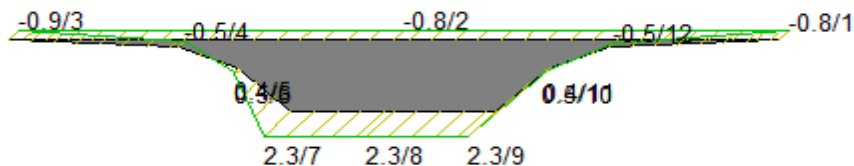
### 7. 1 Srovnání přímého a zakřiveného deskostěnového modelu

Příčný roznos byl stanoven na deskostěnových modelech konstrukce. Modely sestavené v softwaru SCIA Engineer jsou složeny z betonové desky mostovky tl. 350mm a žebra.

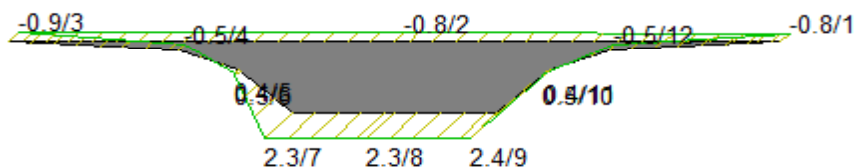


*Detail deskostěnového modelu*

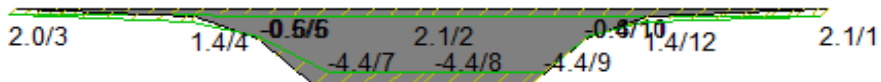
Příčný roznos byl nejprve vyšetřen na zakřiveném deskostěnovém modelu, který nejvíce odpovídá skutečnosti. Ve srovnání s přímým modelem udává zakřivený srovnatelné výsledky. Proto bude pro další analýzu použit přímý model.



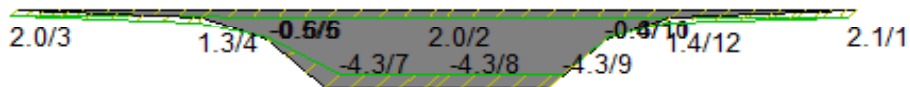
*Průběh napětí ve středu pole 4 od ostatního stálého zatížení na přímém deskostěnovém modelu*



*Průběh napětí ve středu pole 4 od ostatního stálého zatížení na zakřiveném deskostěnovém modelu*

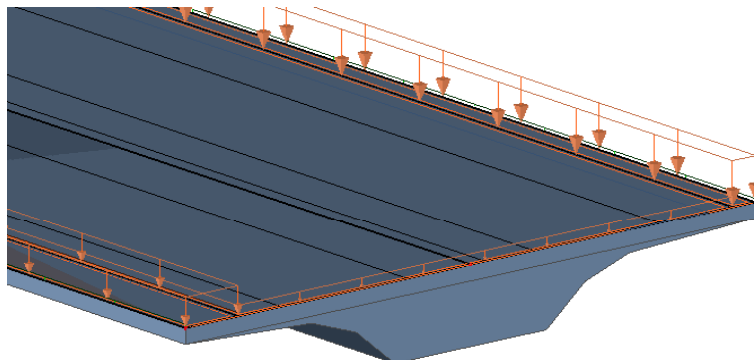


*Průběh napětí nad podporou D od ostatního stálého zatížení na přímém deskostěnovém modelu*



Průběh napětí nad podporou D od ostatního stálého zatížení na zakřiveném deskostěnovém modelu

### 7.2 Příčný roznos ostatního stálého zatížení



Deskostěnový model zatížený ostatním stálým zatížením

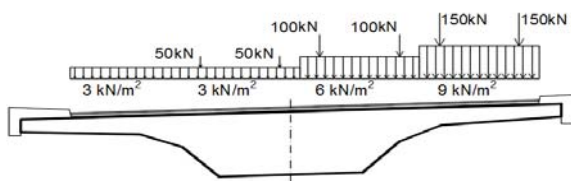
Koeficienty příčného roznosu pro ostatní stálé zatížení:

Podpory	A	B	C	D	E	F	G
	1,19	1,32	1,29	1,26	1,27	1,35	1,18
Pole	1	2	3	4	5	6	
	1,19	1,13	1,15	1,14	1,09	1,18	

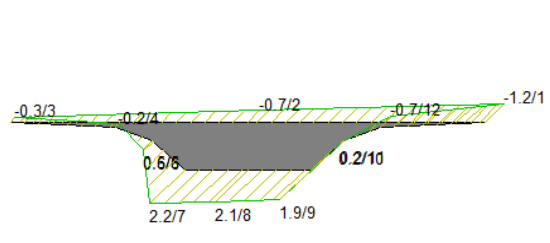
### 7.3 Příčný roznos zatížení dopravou

Příčný roznos pro model zatížení LM1 byl stanoven z různých poloh rovnoměrného zatížení a dvojice náprav.

Vyšetřované polohy modelu zatížení LM1

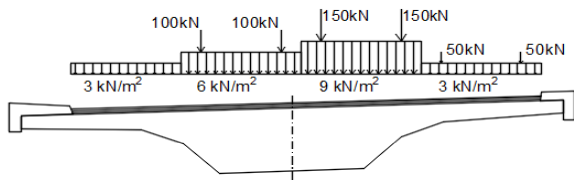


Rozmístění zatížení 1 pro určení příčného roznosu

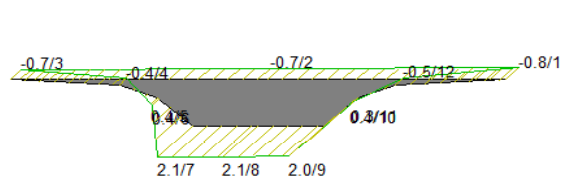


Průběh napětí od rozmístění zatížení 1 ve středu pole 4

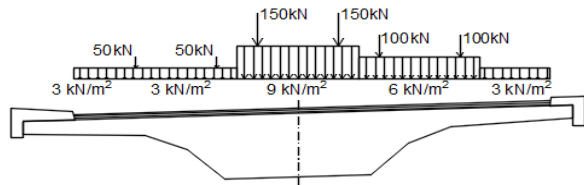




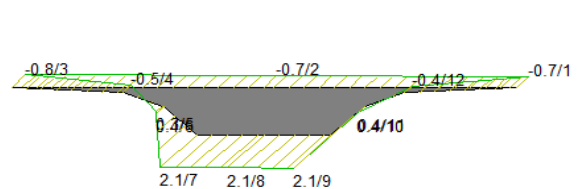
Rozmístění zatížení 2 pro určení příčného roznosu



Průběh napětí od rozmístění zatížení 2 ve středu pole 4



Rozmístění zatížení 3 pro určení příčného roznosu



Průběh napětí od rozmístění zatížení 3 ve středu pole 4

Dle uvedených průběhů napětí usuzují, že příčný roznos se v případě zkoumaných rozmístění zatížení příliš nemění a nebude se lišit ani v ostatních možných polohách zatížení. Proto bude pro určení roznosu použit model způsobující maximální napětí v daném průřezu.

Koeficienty příčného roznosu pro rovnoměrné zatížení

Podpory	A	B	C	D	E	F	G
	1,20	1,25	1,24	1,25	1,24	1,25	1,2
Pole	1	2	3	4	5	6	
	1,18	1,13	1,12	1,14	1,13	1,18	

Koeficienty příčného roznosu pro dvojici náprav

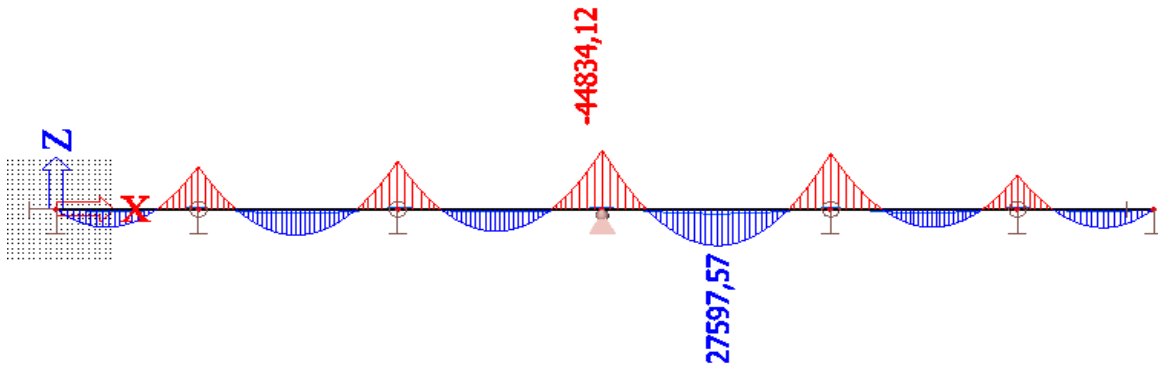
Podpory	A	B	C	D	E	F	G
	1,19	1,18	1,16	1,18	1,16	1,18	1,19
Pole	1	2	3	4	5	6	
	1,14	1,12	1,12	1,10	1,12	1,14	

Vliv příčného roznosu byl vložen do prutových modelů jako nepočítané vnitřní síly.

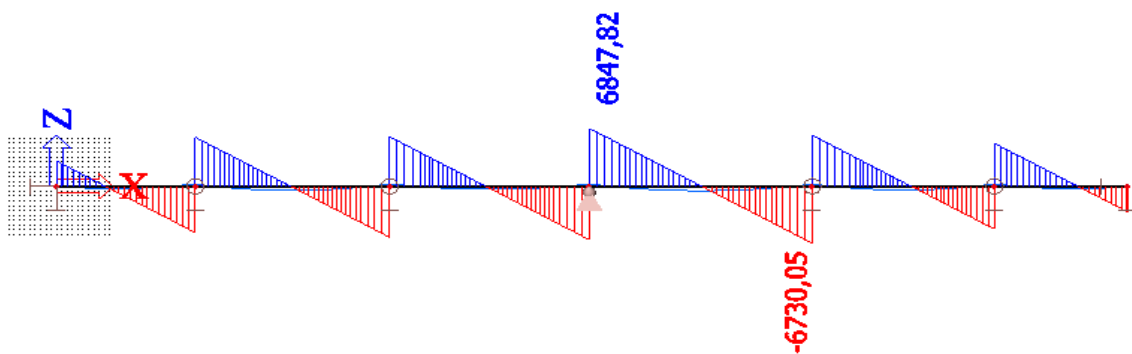
## 8. Vnitřní síly

### 8. 1 Vnitřní síly od stálého zatížení

#### 8. 1.1 Vlastní tíha

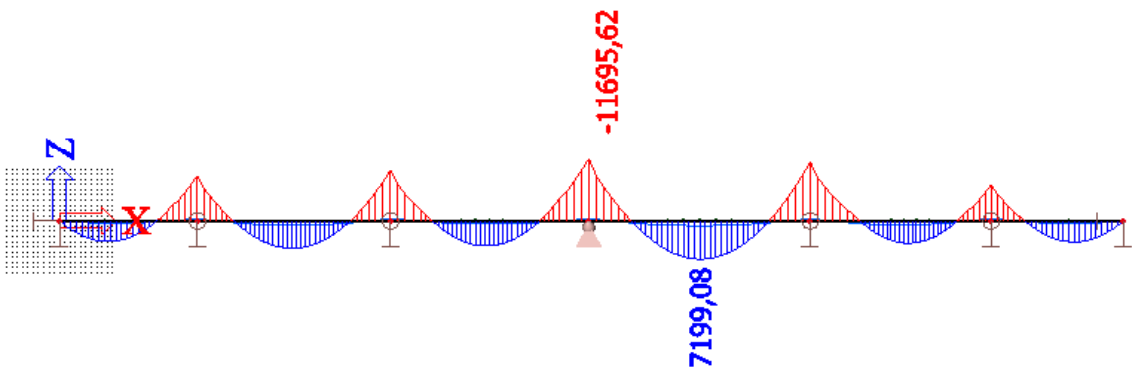


Ohybové momenty od vlastní tíhy

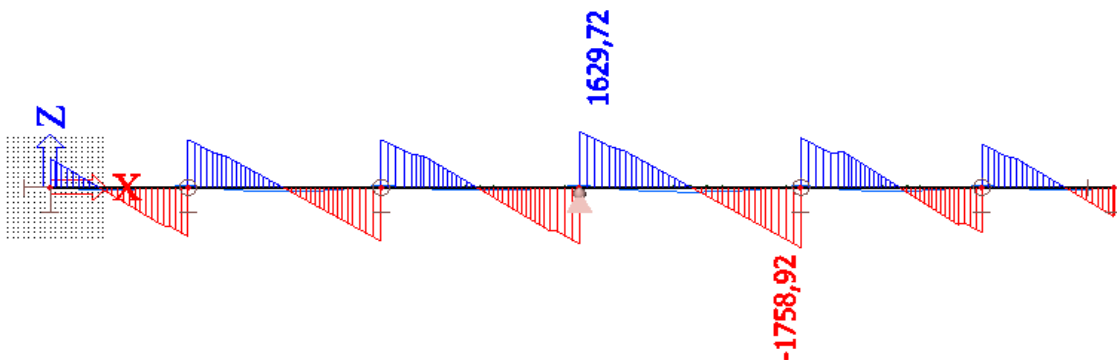


Posouvající síly od vlastní tíhy

#### 8. 1.2 Ostatní stálé zatížení

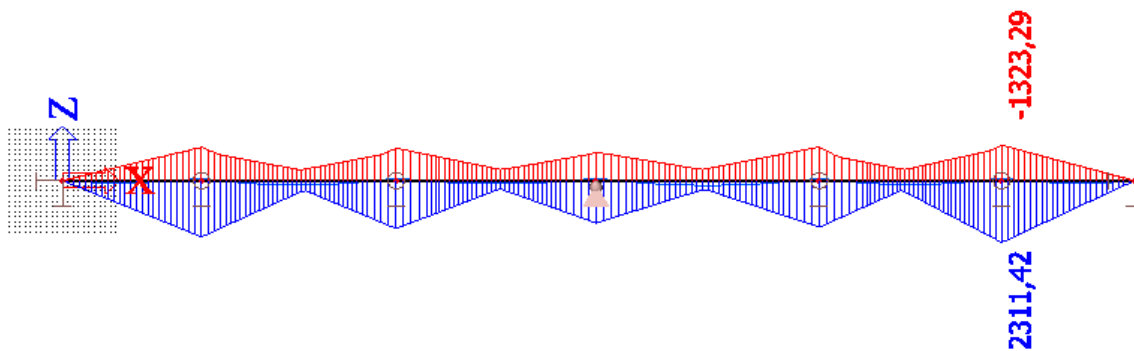


Ohybové momenty od ostatního stálého zatížení

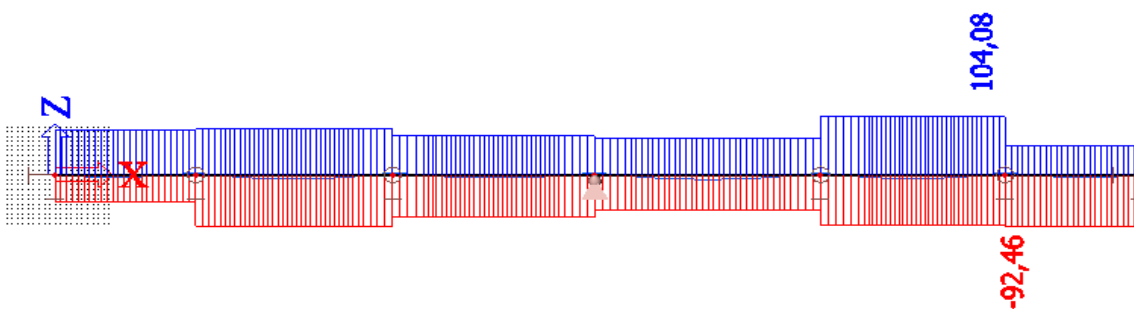


Posouvající síly od ostatního stálého zatížení

### 8. 1.3 Nerovnoměrné poklesy podpor



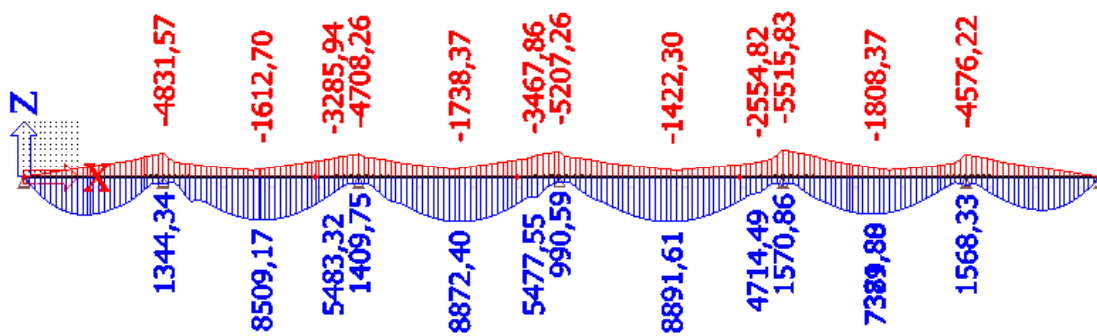
Obálka ohybových momentů od nerovnoměrných poklesů podpor



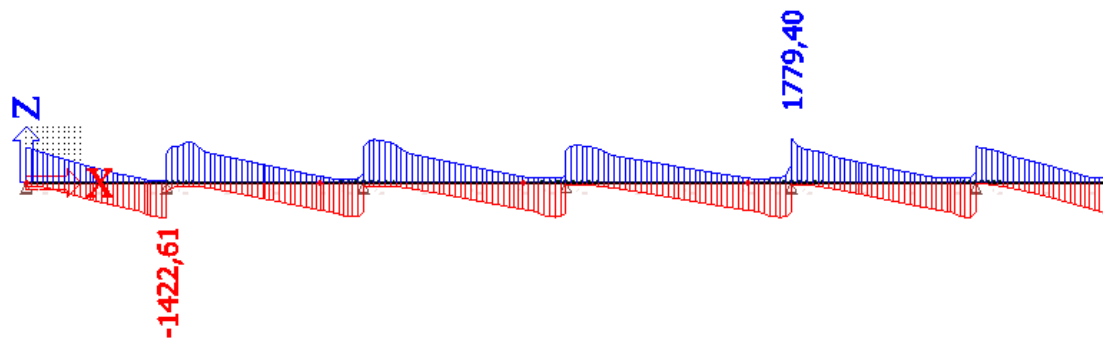
Obálka posouvajících sil od nerovnoměrných poklesů podpor

## 8. 2 Vnitřní síly od proměnného zatížení

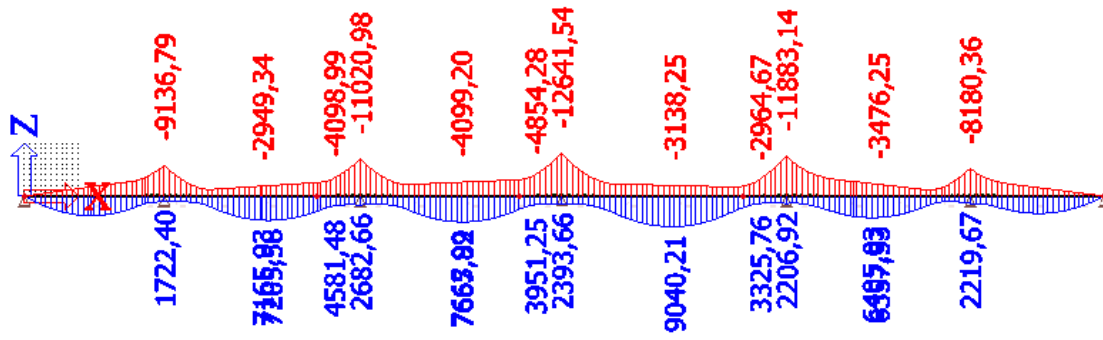
### 8. 2.1 Model zatížení LM1



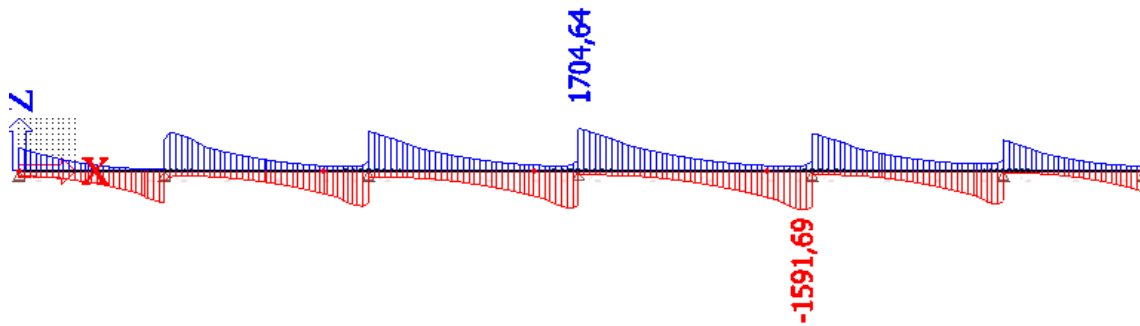
Obálka ohybových momentů od dvojice náprav



Obálka posouvajících sil od dvojice náprav

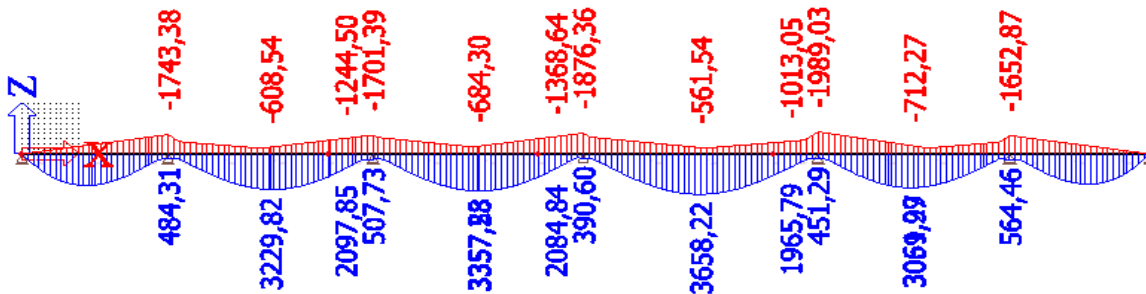


Obálka ohybových momentů od rovnoměrného zatížení

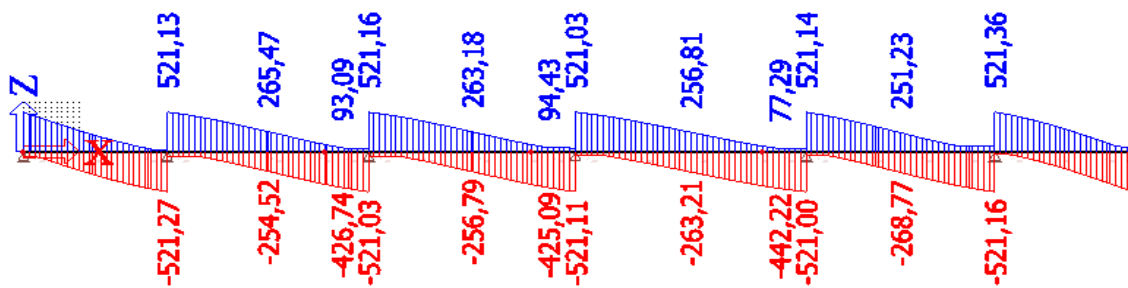


Obálka posouvajících sil od rovnoměrného zatížení

## 8. 2.2 Model zatížení LM2

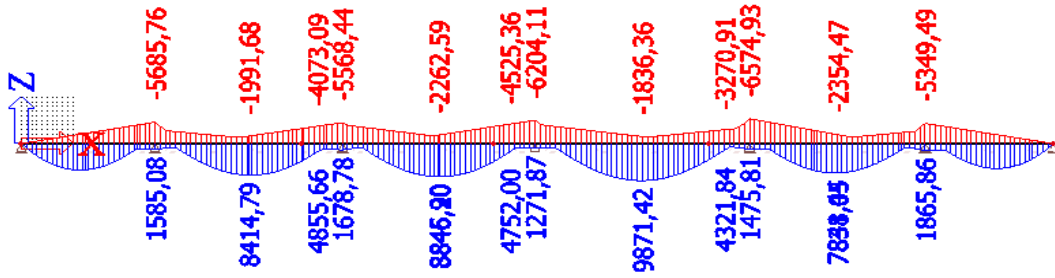


Obálka ohybových momentů od LM2

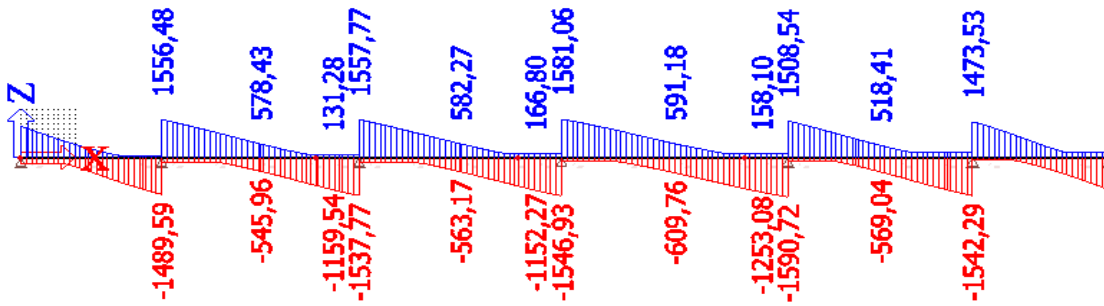


Obálka posouvajících sil od LM2

### 8. 2.3 Model zatížení LM3 - 1800/200

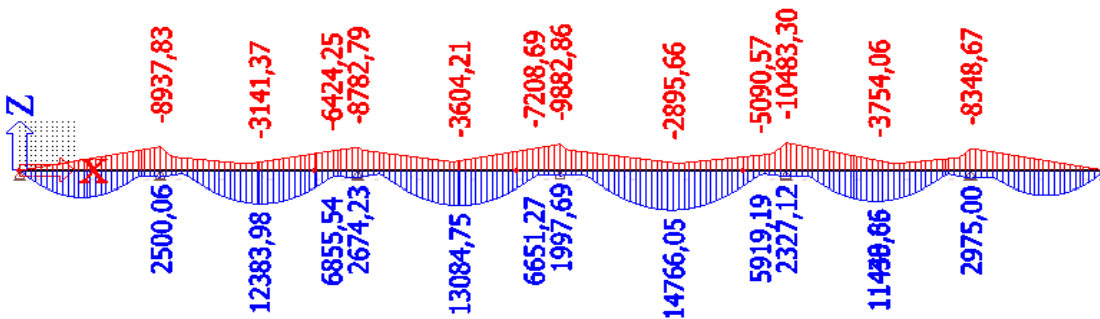


Obálka ohybových momentů od LM3 - 1800/200 + časté hodnoty LM1

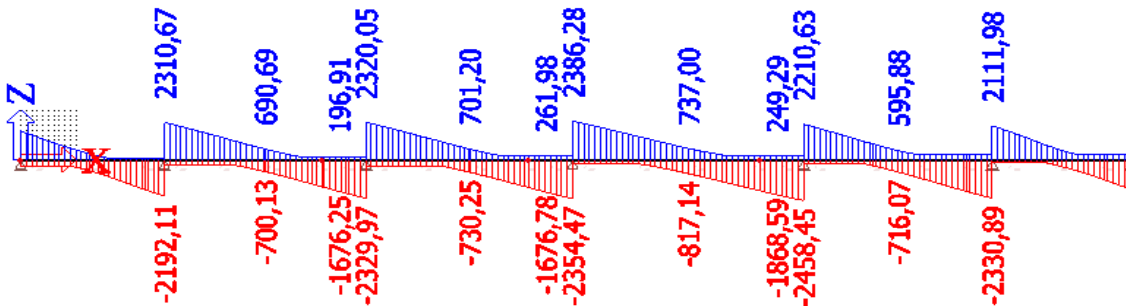


Obálka posouvajících sil od LM3 - 1800/200

### 8. 2.4 Model zatížení LM3 - 3000/240

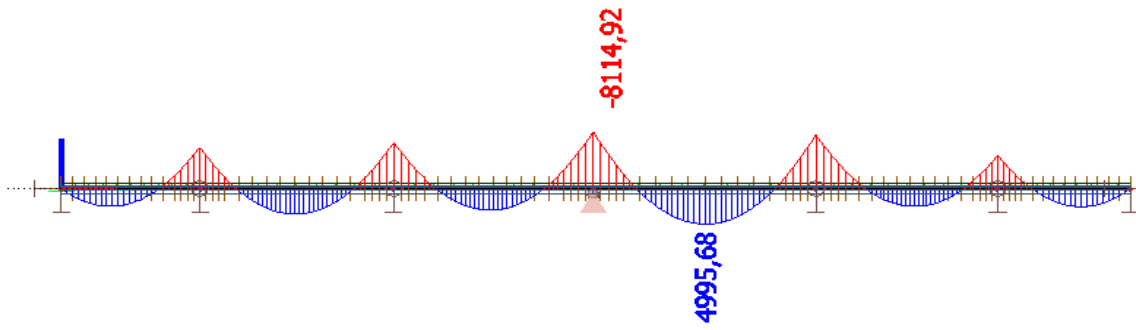


Obálka ohybových momentů od LM3 - 3000/240

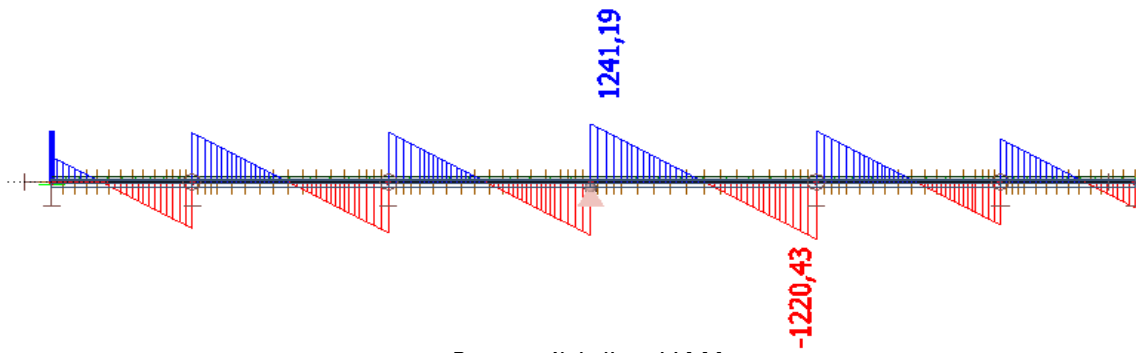


Obálka posouvajících sil od LM3 - 3000/240

### 8. 2.5 Model zatížení LM4

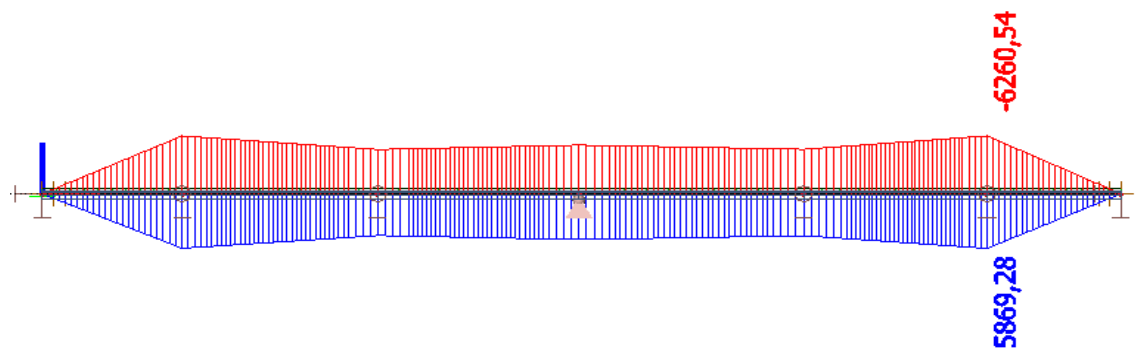


Ohybové momenty od LM4

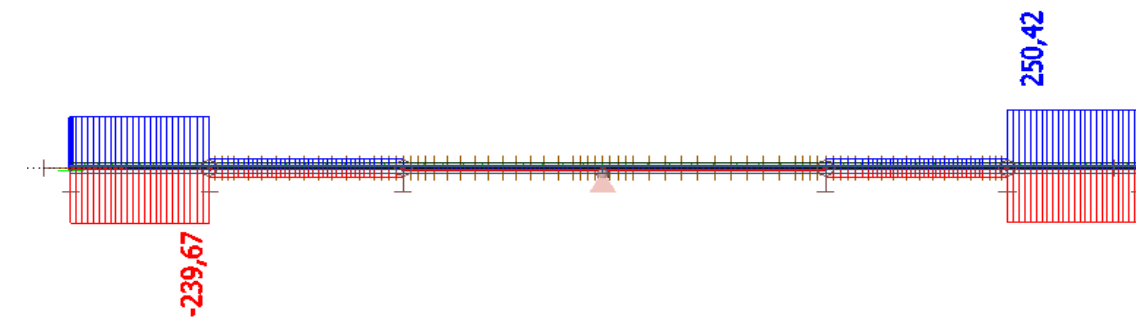


Posouvající síly od LM4

### 8. 3 Vnitřní síly od zatížení teplotou



Obálka ohybových momentů od zatížení teplotou



Obálka posouvajících sil od zatížení teplotou

## 9. Návrh předpětí

### 9.1 Přípustná napětí v předpínací výztuži

Maximální napínací napětí

$$\sigma_{p,max} = \min(0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}) = 1488 \text{ MPa}$$

Maximální napětí během provozu

$$\sigma_{pm,0,max} = \min(0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}) = 1395 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,0} = 0,85 \cdot \sigma_{p,max} = 1264,8 \text{ MPa}$$

### 9.2 Předběžný návrh předpínací výztuže

Předpětí bylo navrženo metodou vyrovnání zatížení.

Vlastní tíha:  $g_{0k} = 332,05 \text{ kN/m}$   $A = 12,771 \text{ m}^2$

Ostatní stálé sup:  $g_{1k} = 86,62 \text{ kN/m}$

$$\Sigma = 418,67 \text{ kN/m}$$

Minimální poloměr zakřivení kabelu

$$R \geq 100 \cdot \phi_i$$

R - poloměr zakřivení kabelu

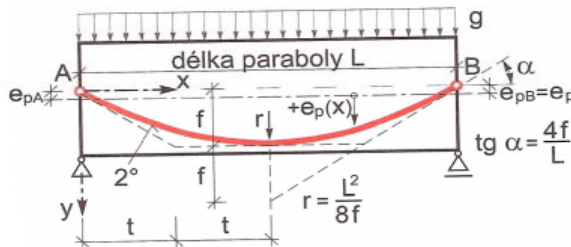
$\phi_i$  - vnitřní poloměr kanálku

kanálky -  $\phi 85 / 92$

$$R_{min} = 8500 \text{ mm}$$

### Ekvivalentní zatížení od předpětí

$$p = \frac{d^2 M_{(x)}^P}{dx^2} = -P \frac{d^2 e_{(x)}}{dx^2} = -P \frac{8f}{L^2} \quad M^P = -P \cdot e_{(x)}$$



Výpočet ekvivalentního zatížení

**Pole 4 - l = 41,9m**

$$g_k = p = \frac{8 \cdot P_H \cdot f}{l_4^2} \Rightarrow P_H = \frac{p \cdot l_4^2}{8 \cdot f} = \frac{418,67 \cdot 41,9}{8 \cdot 1,335} = 68822,8 \text{ kN}$$

$$A_{p4} = P_H / \sigma_{pm,0} = \frac{68822755,8}{1264,8} = 54414 \text{ mm}^2$$

$$n_{lan-4} = A_{p4} / A_{p1} = \frac{54414}{150} = 363 \text{ lan}$$

**Pole 2 - l = 36,55m**

$$g_k = p = \frac{8 * P_H * f}{l_2^2} \Rightarrow P_H = \frac{p * l_2^2}{8 * f} = \frac{418,67 * 36,55}{8 * 1,2} = 58261,1 \text{ kN}$$

$$A_{p2} = P_H / \sigma_{pm,0} = \frac{58261115,4}{1264,8} = 46064 \text{ mm}^2$$

$$n_{lan-2} = A_{p2} / A_{p1} = \frac{46064}{150} = 308 \text{ lan}$$

**Pole 5 - l = 34,262m**

$$g_k = p = \frac{8 * P_H * f}{l_5^2} \Rightarrow P_H = \frac{p * l_5^2}{8 * f} = \frac{418,67 * 34,262}{8 * 1,2} = 51195,2 \text{ kN}$$

$$A_{p5} = P_H / \sigma_{pm,0} = \frac{51195224,8}{1264,8} = 40477 \text{ mm}^2$$

$$n_{lan-5} = A_{p5} / A_{p1} = \frac{40477}{150} = 270 \text{ lan}$$

Návrh:

Pole 4 =&gt; 18 kabelů po 19 lanech = 342 lan

Pole 2 =&gt; 16kabelů po 19 lanech = 304 lan

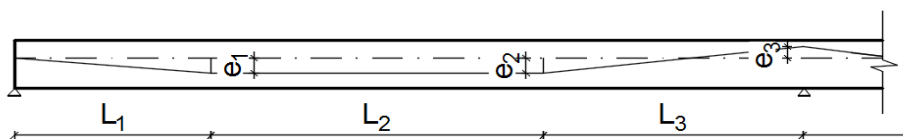
Pole 5 =&gt; 14 kabelů po 19 lanech = 266 lan

$$P_{m4} = n * A_{p1} * \sigma_{pm,0} = 342 * 150 * 1,2648 = 64884,2 \text{ kN}$$

$$P_{m2} = n * A_{p1} * \sigma_{pm,0} = 304 * 150 * 1,2648 = 57674,9 \text{ kN}$$

$$P_{m5} = n * A_{p1} * \sigma_{pm,0} = 266 * 150 * 1,2648 = 50465,5 \text{ kN}$$

Výpočet ekvivalentního zatížení

 $L_i$  - délka průmětu strany tečnového polygonu do vodorovné roviny $e_i$  - excentricita kabelu vůči střednici konstrukce

	$e_0 = 0,00 \text{ m}$			
$L_1 = 6,5 \text{ m}$	$e_1 = -0,50 \text{ m}$	$L_{10} = 10,65 \text{ m}$	$e_{10} = -0,93 \text{ m}$	
$L_2 = 11 \text{ m}$	$e_2 = -0,50 \text{ m}$	$L_{11} = 19,4 \text{ m}$	$e_{11} = -0,93 \text{ m}$	
$L_3 = 7,739 \text{ m}$	$e_3 = 0,48 \text{ m}$	$L_{12} = 10,153 \text{ m}$	$e_{12} = 0,47 \text{ m}$	
$L_4 = 8,656 \text{ m}$	$e_4 = -0,89 \text{ m}$	$L_{13} = 8,651 \text{ m}$	$e_{13} = -0,75 \text{ m}$	
$L_5 = 17 \text{ m}$	$e_5 = -0,89 \text{ m}$	$L_{14} = 15,5 \text{ m}$	$e_{14} = -0,75 \text{ m}$	
$L_6 = 9,2 \text{ m}$	$e_6 = 0,48 \text{ m}$	$L_{15} = 8,427 \text{ m}$	$e_{15} = 0,47 \text{ m}$	
$L_7 = 9,89 \text{ m}$	$e_7 = -0,60 \text{ m}$	$L_{16} = 8,145 \text{ m}$	$e_{16} = -0,51 \text{ m}$	
$L_8 = 16,5 \text{ m}$	$e_8 = -0,60 \text{ m}$	$L_{17} = 10 \text{ m}$	$e_{17} = -0,51 \text{ m}$	
$L_9 = 9,46 \text{ m}$	$e_9 = 0,47 \text{ m}$	$L_{18} = 6 \text{ m}$	$e_{18} = 0,00 \text{ m}$	



$$P_{0,z,4} = 64884,2 \text{ kN}$$

$$P_{0,z,2} = 57674,9 \text{ kN}$$

$$P_{0,z,5} = 50465,5 \text{ kN}$$

počet kabelů	$P_{0,z}$		příčné síly od přepětí:
16	57675	kN	$F_{0,m,0} = -4436,5 \text{ kN}$
			$F_{1,m,0} = 4436,5 \text{ kN}$
			$F_{2,m,0} = 7267,7 \text{ kN}$
			$F_{3,m,0} = -16348,0 \text{ kN}$
			$F_{4,m,0} = 9080,3 \text{ kN}$
			$F_{5,m,0} = 8561,0 \text{ kN}$
18	64884	kN	$F_{6,m,0} = -16720,5 \text{ kN}$
			$F_{7,m,0} = 7089,4 \text{ kN}$
			$F_{8,m,0} = 7373,2 \text{ kN}$
			$F_{9,m,0} = -15902,6 \text{ kN}$
			$F_{10,m,0} = 8529,4 \text{ kN}$
			$F_{11,m,0} = 8946,9 \text{ kN}$
14	50466	kN	$F_{12,m,0} = -18134,7 \text{ kN}$
			$F_{13,m,0} = 7146,0 \text{ kN}$
			$F_{14,m,0} = 7336,0 \text{ kN}$
			$F_{15,m,0} = -13422,8 \text{ kN}$
			$F_{16,m,0} = 6086,8 \text{ kN}$
			$F_{17,m,0} = 4289,6 \text{ kN}$
			$F_{18,m,0} = -4289,6 \text{ kN}$

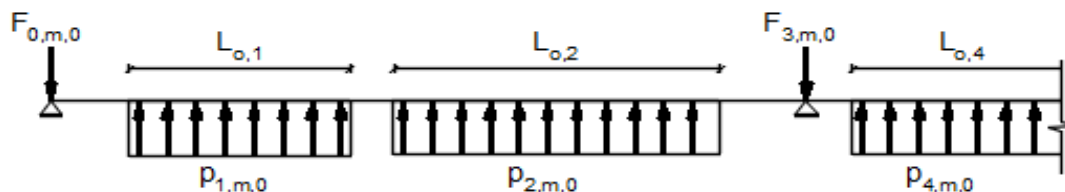
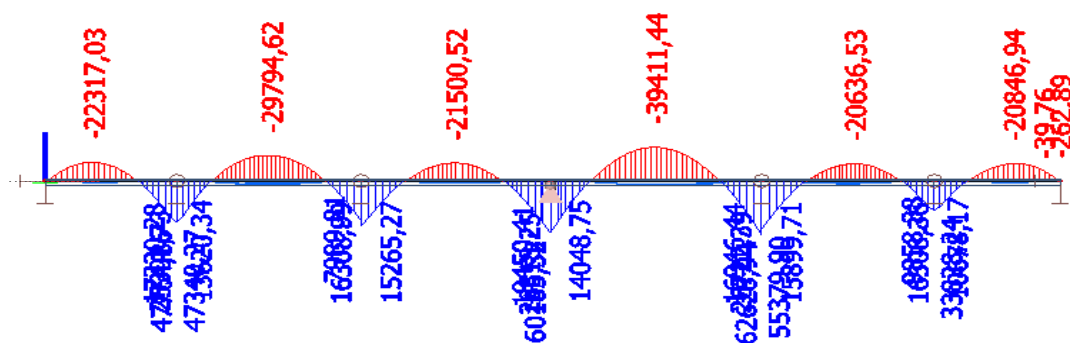


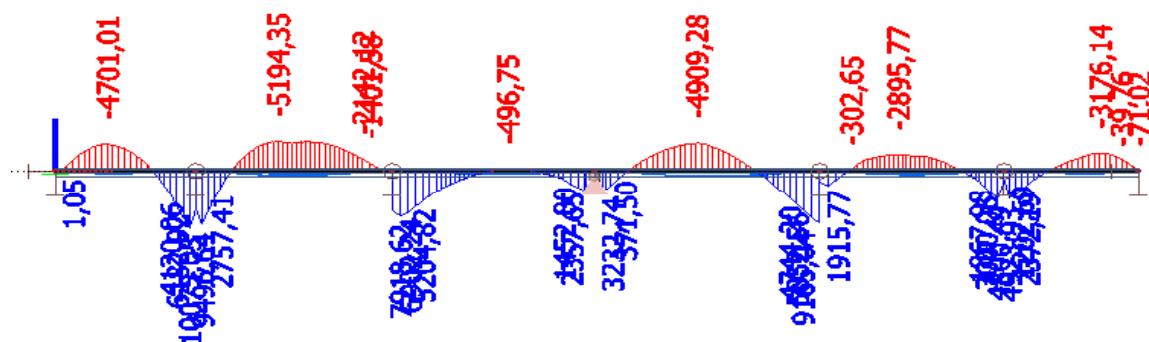
Schéma ekvivalentního zatížení

$L_{obl.}$	příčné spojité zatížení:
$L_{o1} = 7,597 \text{ m}$	$p_{1,m,0} = 583,984 \text{ kN/m}$
$L_{o2} = 13 \text{ m}$	$p_{2,m,0} = 559,052 \text{ kN/m}$
$L_{o3} = 1,712 \text{ m}$	$p_{3,m,0} = -9549,068 \text{ kN/m}$
$L_{o4} = 17,665 \text{ m}$	$p_{4,m,0} = 514,029 \text{ kN/m}$
$L_{o5} = 18,063 \text{ m}$	$p_{5,m,0} = 473,950 \text{ kN/m}$
$L_{o6} = 1,712 \text{ m}$	$p_{6,m,0} = -9766,619 \text{ kN/m}$
$L_{o7} = 15,603 \text{ m}$	$p_{7,m,0} = 454,360 \text{ kN/m}$
$L_{o8} = 16,259 \text{ m}$	$p_{8,m,0} = 453,485 \text{ kN/m}$
$L_{o9} = 1,71 \text{ m}$	$p_{9,m,0} = -9299,762 \text{ kN/m}$
$L_{o10} = 18,931 \text{ m}$	$p_{10,m,0} = 450,551 \text{ kN/m}$
$L_{o11} = 19,569 \text{ m}$	$p_{11,m,0} = 457,198 \text{ kN/m}$
$L_{o12} = 1,69 \text{ m}$	$p_{12,m,0} = -10730,564 \text{ kN/m}$

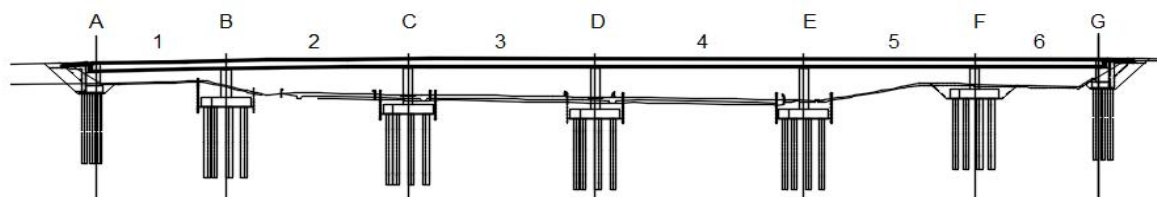
$L_{013}$	=	15,807 m	$p_{13,m,0}$	=	452,080 kN/m
$L_{014}$	=	16,279 m	$p_{14,m,0}$	=	450,640 kN/m
$L_{015}$	=	1,703 m	$p_{15,m,0}$	=	-7881,865 kN/m
$L_{016}$	=	12,479 m	$p_{16,m,0}$	=	487,767 kN/m
$L_{017}$	=	9,133 m	$p_{17,m,0}$	=	469,678 kN/m



Průběh ohybových momentů od předpětí



Vyrovnaní stálého zatížení předpětím



Označení polí a podpor

V předběžném návrhu jsou odhadnuty ztráty předpětí:

V čase vnesení předpětí	5 %
V čase uvedení do provozu	10 %
Na konci životnosti	20 %

### 9.3 Posouzení předběžného návrhu

Normálové napětí v betonu při kvazistálé kombinaci zatížení v čase vnesení předpětí

=> t = 7 dní

Dovolené napětí  $0,45 \cdot f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa}$  Ztráta předpětí 5%

$\sigma \leq f_{ctm(t)} = 2,620 \text{ MPa}$

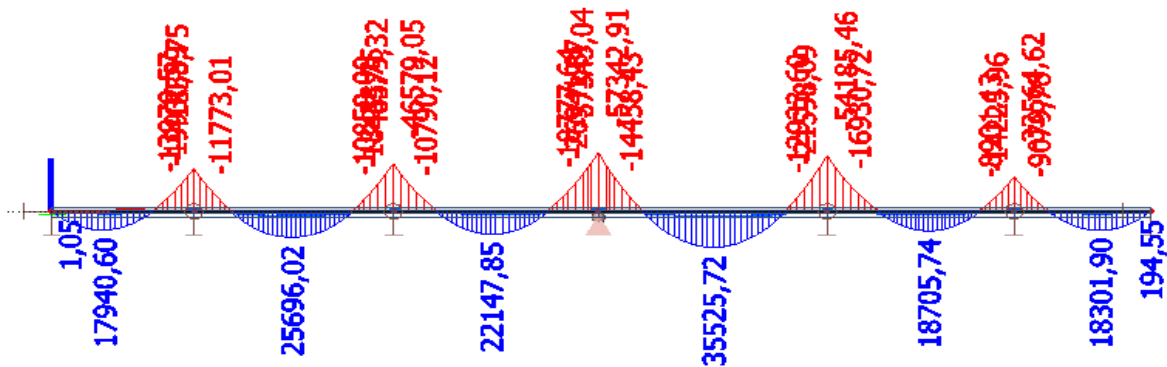
	A	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_{g,0}$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	
Pole 1	12,771	2,898	1,073	54,79	13,233	-21,02	-7,172	-2,472	ok
Podpora B	12,771	2,622	1,027	54,79	-31,336	45,38	1,210	-8,162	ok
Pole 2	12,771	2,961	1,084	54,79	19,093	-28,26	-7,647	-2,227	ok
Podpora C	12,771	2,662	1,034	61,64	-35,116	50,12	1,000	-8,866	ok
Pole 3	12,771	2,974	1,086	61,64	16,089	-20,39	-6,398	-3,865	ok
Podpora D	12,771	2,681	1,037	61,64	-43,263	56,80	0,408	-8,428	ok
Pole 4	12,771	3,027	1,094	61,64	26,634	-37,33	-8,694	-2,509	ok
Podpora E	12,771	2,669	1,035	61,64	-40,945	52,61	-0,304	-7,953	ok
Pole 5	12,771	2,932	1,079	47,94	13,187	-19,44	-6,057	-2,321	ok
Podpora F	12,771	2,610	1,024	47,94	-25,036	32,14	-0,967	-5,728	ok
Pole 6	12,771	2,880	1,070	47,94	13,397	-19,80	-6,135	-2,242	ok

Normálové napětí v betonu při kvazistálé kombinaci zatížení při konci životnosti

=> t = 36 500 dní

Dovolené napětí  $0,45 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$  Ztráta předpětí 20%

	A	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_{g,0}$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[m <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	
Pole 1	12,771	2,898	1,073	46,140	17,94	-17,763	-3,547	-3,654	ok
Podpora B	12,771	2,622	1,027	46,140	-39,808	38,212	-4,238	-3,173	ok
Pole 2	12,771	2,961	1,084	46,140	25,696	-23,831	-2,930	-4,032	ok
Podpora C	12,771	2,662	1,034	49,312	-46,579	42,21	-5,557	-2,685	ok
Pole 3	12,771	2,974	1,086	49,312	22,148	-17,173	-2,045	-4,972	ok
Podpora D	12,771	2,681	1,037	49,312	-57,342	47,829	-7,540	-1,330	ok
Pole 4	12,771	3,027	1,094	49,312	35,526	-31,482	-2,399	-4,737	ok
Podpora E	12,771	2,669	1,035	49,312	-54,185	44,304	-7,692	-1,213	ok
Pole 5	12,771	2,932	1,079	40,372	18,706	-16,374	-2,303	-3,695	ok
Podpora F	12,771	2,610	1,024	40,372	-31,804	27,063	-5,022	-1,843	ok
Pole 6	12,771	2,880	1,070	40,372	18,301	-16,268	-2,406	-3,641	ok



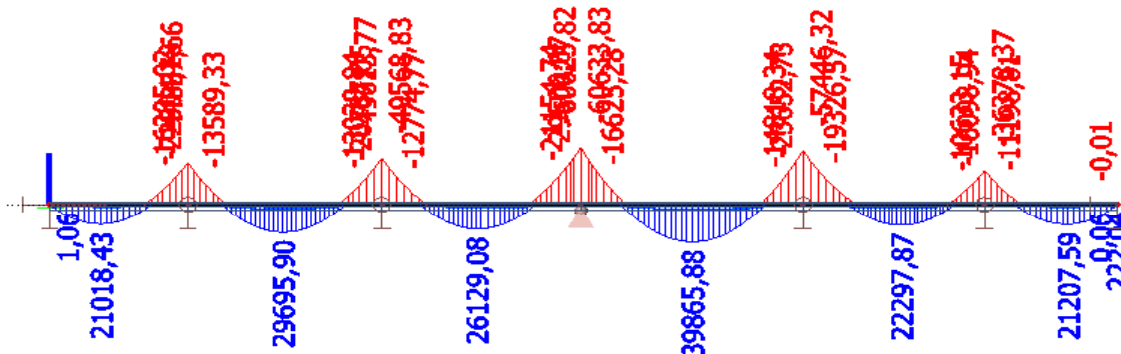
Obálka ohybových momentů od kvazistálé kombinace (bez předpětí)

Normálové napětí v betonu při časté kombinaci zatížení při konci životnosti

=> t = 36 500 dní

Dovolené napětí  $0,6 * f_{ck} = 21 \text{ MPa}$  Ztráta předpětí 20%  
 $f_{ctm} = 0 \text{ MPa}$

	A	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_{g,0}$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[m <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	
Pole 1	12,771	2,898	1,073	46,140	21,018	-17,763	-2,407	-4,373	ok
Podpora B	12,771	2,622	1,027	46,140	-44,417	38,212	-6,043	-1,902	ok
Pole 2	12,771	2,961	1,084	46,140	26,696	-23,831	-2,564	-4,257	ok
Podpora C	12,771	2,662	1,034	49,312	-49,307	42,210	-6,616	-1,951	ok
Pole 3	12,771	2,974	1,086	49,312	26,129	-17,173	-0,591	-5,861	ok
Podpora D	12,771	2,681	1,037	49,312	-60,266	47,829	-8,671	-0,552	ok
Pole 4	12,771	3,027	1,094	49,312	39,866	-31,482	-0,830	-5,678	ok
Podpora E	12,771	2,669	1,035	49,312	-57,219	44,304	-8,868	-0,400	ok
Pole 5	12,771	2,932	1,079	40,372	22,298	-16,374	-0,981	-4,517	ok
Podpora F	12,771	2,610	1,024	40,372	-36,114	27,063	-6,714	-0,645	ok
Pole 6	12,771	2,880	1,070	40,372	21,208	-16,268	-1,325	-4,327	ok



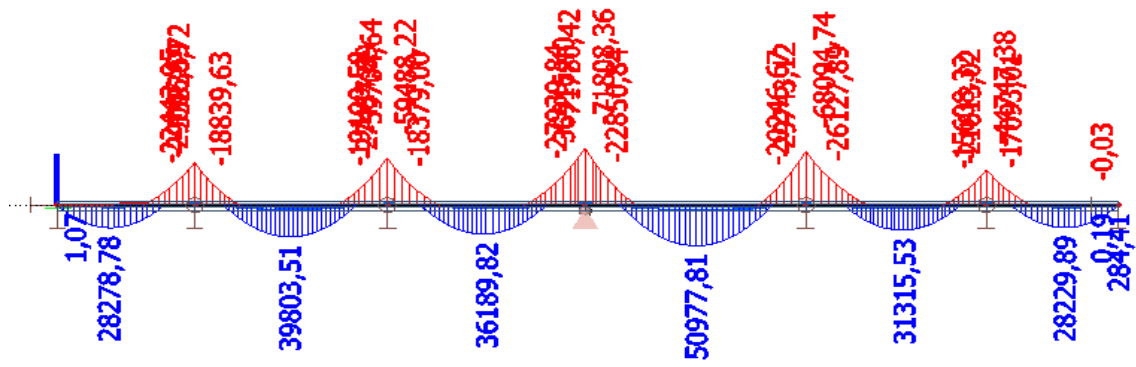
Obálka ohybových momentů od časté kombinace (bez předpětí)

Normálové napětí v betonu při charakteristické kombinaci zatížení při konci životnosti

=> t = 36 500 dní

Dovolené napětí  $0,6 * f_{ck} = 21 \text{ MPa}$  Ztráta předpětí 20%  
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$

	A	$I_y$	$z_T$	$N_p$ [kN]	$M_{g,0}$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[m <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	
Pole 1	12,771	2,898	1,073	46,140	28,278	-17,763	0,281	-6,070	ok
Podpora B	12,771	2,622	1,027	46,140	-53,830	38,212	-9,731	0,694	ok
Pole 2	12,771	2,961	1,084	46,140	39,803	-23,831	2,232	-7,207	ok
Podpora C	12,771	2,662	1,034	49,312	-59,704	42,210	-10,653	0,847	ok
Pole 3	12,771	2,974	1,086	49,312	36,189	-17,173	3,082	-8,108	ok
Podpora D	12,771	2,681	1,037	49,312	-71,780	47,829	-13,124	2,512	ok
Pole 4	12,771	3,027	1,094	49,312	50,977	-31,482	3,188	-8,085	ok
Podpora E	12,771	2,669	1,035	49,312	-68,094	44,304	-13,084	2,514	ok
Pole 5	12,771	2,932	1,079	40,372	31,315	-16,374	2,337	-6,581	ok
Podpora F	12,771	2,610	1,024	40,372	-44,747	27,063	-10,103	1,756	ok
Pole 6	12,771	2,880	1,070	40,372	28,229	-16,268	1,284	-5,984	ok

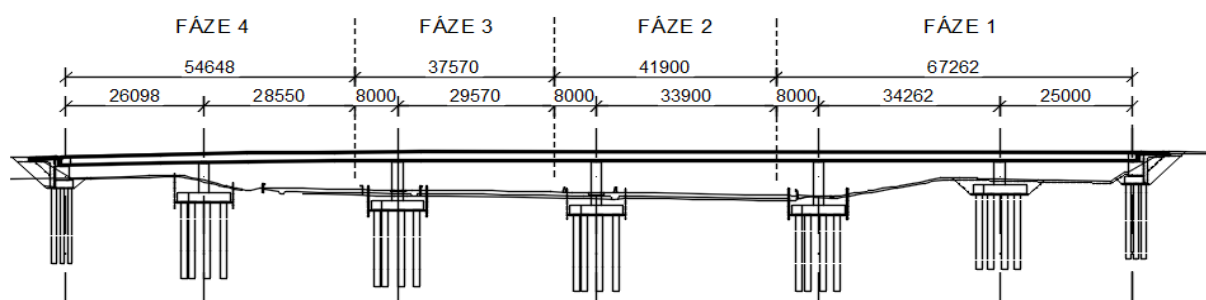


Obálka ohybových momentů od charakteristické kombinace (bez předpětí)

## 10. Časově závislé účinky předpětí a postup výstavby

### 10. 1 Postup výstavby a provozní fáze konstrukce

Časová osa	
fáze	čas začátku
Betonáž 1. fáze	0
Předpětí 1. fáze	7
Betonáž 2. fáze	17
Předpětí 2. fáze	24
Betonáž 3. fáze	34
Předpětí 3. fáze	41
Betonáž 4. fáze	51
Předpětí 4. fáze	58
Vnesení ostatního stálého zatížení	100
Uvedení do provozu	120
Konec životnosti	36500



Postup výstavby

### 10. 2 Ztráty předpětí

Je uvažováno s následujícími ztrátami předpětí, které jsou generovány programem Scia Engineer v rámci výpočtu TDA.

#### 10. 2.1 Krátkodobé ztráty

- Ztráty pokluzem
- Ztráty relaxací předpínací výztuže v době do zakotvení
- Ztráty vyvozené postupným napínáním
- Ztráta třením o kabelový kanálek

#### 10. 2.2 Dlouhodobé ztráty

- Dotvarování
- Smršťování - část po vnesení předpětí
- Relaxace předpínací výztuže - část, která proběhne po zakotvení

## 11. Posouzení konstrukce - mezní stavy použitelnosti

### 11. 1 Mezní stav omezení napětí

#### Omezení tlačného napětí v betonu

- Provozní stav:

Pro charakteristickou kombinaci:

$$\sigma \leq 0,6 * f_{ck} = 0,6 * 35 = 21,00 \text{ MPa}$$

Za předpokladu lineárního dotvarování pro kvazistálou kombinaci:

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck} = 0,45 * 35 = 15,75 \text{ MPa}$$

- V čase vnesení předpětí  $t = 7$  dní

Za předpokladu lineárního dotvarování :

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(t)} = 0,45 * f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa}$$

jinak:

$$\sigma \leq 0,6 * f_{ck(t)} = 0,6 * f_{ck(7)} = 16,323 \text{ MPa}$$

#### Omezení taženého napětí v betonu

- Provozní stav

Pro charakteristickou kombinaci:

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

Pro častou kombinaci má být splněna podmínka dekomprese:

$$\sigma \leq 0 \text{ MPa}$$

- V čase vnesení předpětí  $t = 7$  dní

Pro kvazistálou kombinaci:

$$\sigma \leq f_{ctm(t)} = 2,620 \text{ MPa}$$

#### Omezení napětí ve výztuži

Pro charakteristickou kombinaci:

$$\sigma \leq 0,75 * f_{pk} = 0,75 * 1860 = 1395 \text{ MPa}$$

## 11. 2 Výpočet normálových napětí v betonu

napětí v horních vláknech

$$\sigma_{c,i}^h = \frac{-N_p}{A_c} - \frac{M_{g,0}}{W_h} + \frac{M_p}{W_h}$$

napětí v dolních vláknech

$$\sigma_{c,i}^d = \frac{-N_p}{A_c} + \frac{M_{g,0}}{W_d} - \frac{M_p}{W_d}$$

### 11. 2.1 Napětí v betonu v jednotlivých fázích výstavby

1. Fáze  $t_G = 7$  dní - předepnutí 1. úseku

Dovolená napětí:

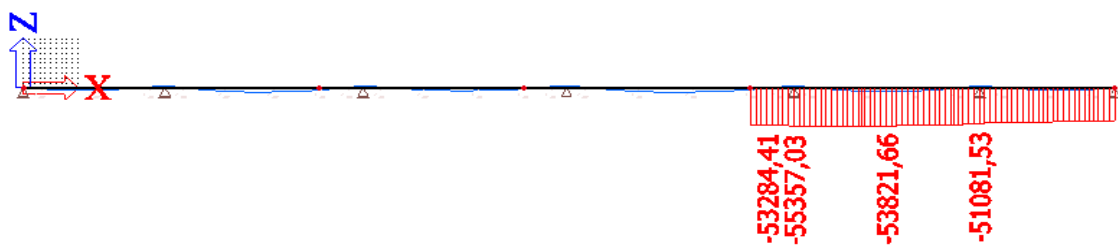
$$\sigma \leq f_{ctm(7)} = 2,620 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa}$$

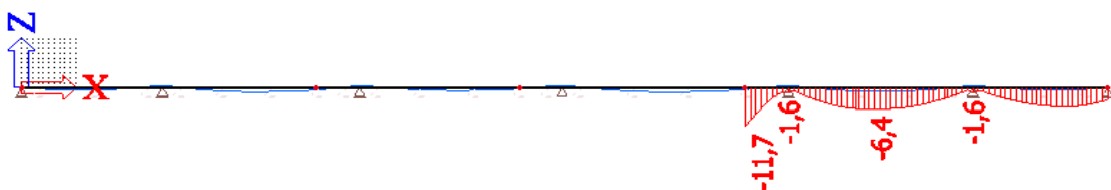
průřez	stáří [den]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	N [MN]	M [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
S1	7	12,771	3,027	1,0943	-53,284	-21,084	-11,795	0,395	ok
E	7	12,771	2,669	1,073	-55,357	7,902	-1,158	-6,339	ok
5	7	12,771	2,932	1,027	-53,822	-6,139	-6,365	-2,700	ok
F	7	12,771	2,610	1,0837	-51,082	6,807	-1,173	-5,738	ok
6	7	12,771	2,880	1,0335	-48,288	-4,082	-5,246	-2,765	ok



Průběh ohybových momentů ve fázi 1



Průběh normálových sil ve fázi 1



Průběh napětí v dolních vláknech ve fázi 1





Průběh napětí v horních vláknech ve fázi 1

2. Fáze  $t_G = 24$  dní - předepnutí 2. úseku

Dovolená napětí:

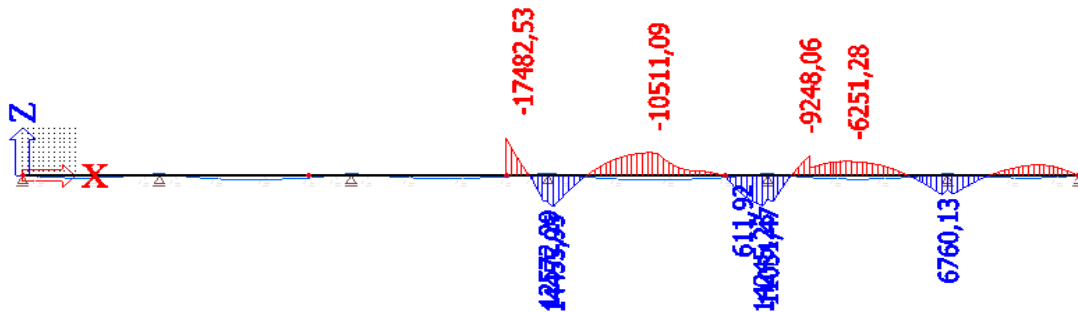
$$\sigma \leq f_{ctm(7)} = 2,620 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq f_{ctm(24)} = 3,149 \text{ MPa}$$

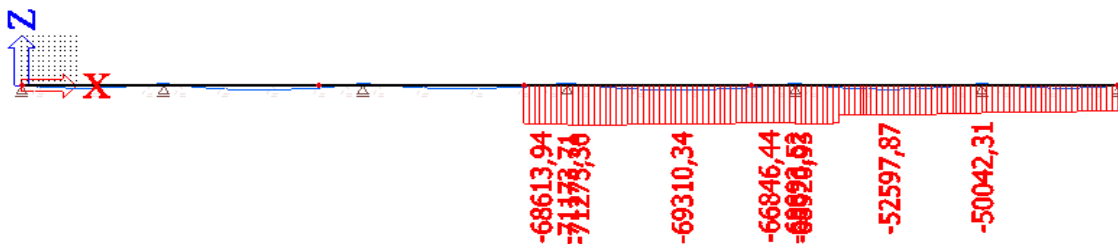
$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(24)} = 15,442 \text{ MPa}$$

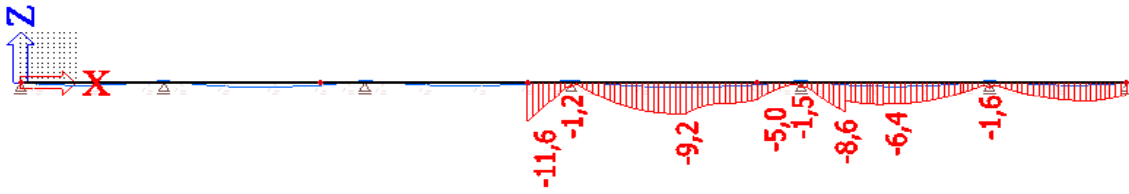
průřez	stáří [den]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	$N_p$ [MN]	$M_p$ [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
S2	7	12,771	2,974	1,086	-68,614	-17,483	-11,756	-1,468	ok
D	7	12,771	2,681	1,037	-71,174	12,572	-0,711	-8,918	ok
4	7	12,771	3,027	1,094	-69,310	-10,511	-9,227	-3,150	ok
E	24	12,771	2,669	1,073	-68,894	11,031	-0,960	-8,192	ok
5	24	12,771	2,932	1,027	-52,598	-6,251	-6,308	-2,577	ok
F	24	12,771	2,610	1,0837	-50,042	6,760	-1,111	-5,644	ok
6	24	12,771	2,880	1,0335	-47,397	-3,470	-4,956	-2,848	ok



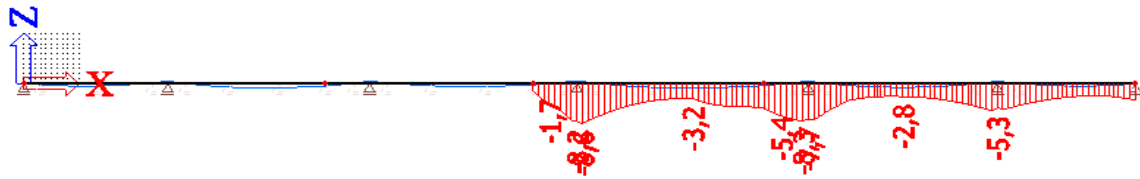
Průběh ohybových momentů ve fázi 2



Průběh normálových sil ve fázi 2



Průběh napětí v dolních vláknech ve fázi 2



Průběh napětí v horních vláknech ve fázi 2

**3. Fáze**  $t_G = 41$  dní - předepnutí 3. úseku

Dovolená napětí:

$$\sigma \leq f_{ctm(7)} = 2,620 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq f_{ctm(24)} = 3,149 \text{ MPa}$$

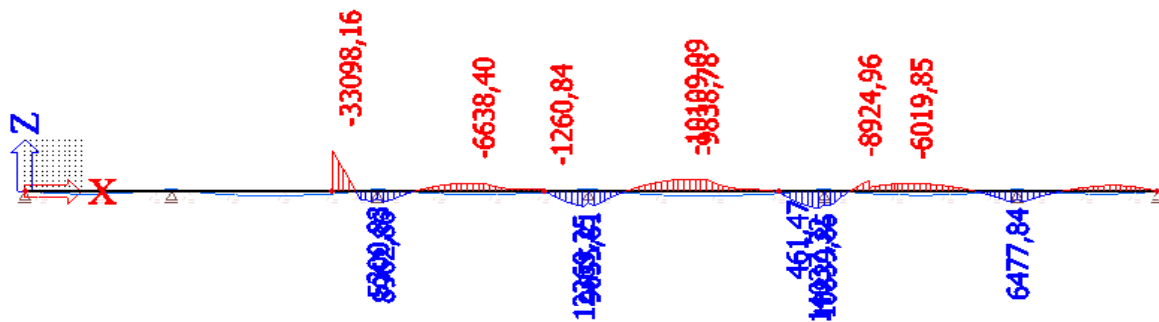
$$\sigma \leq f_{ctm(>28)} = 3,200 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa}$$

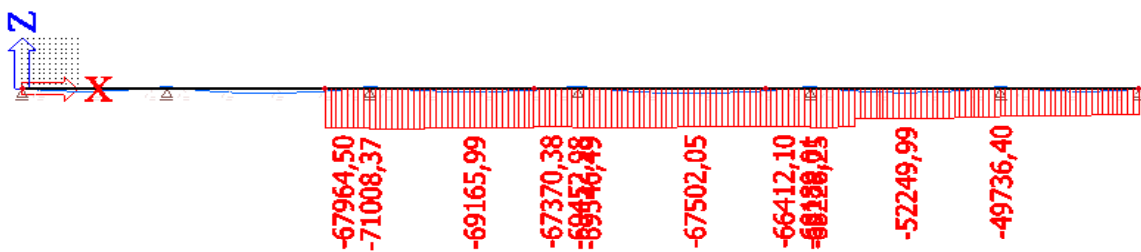
$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(24)} = 15,442 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck(>28)} = 15,750 \text{ MPa}$$

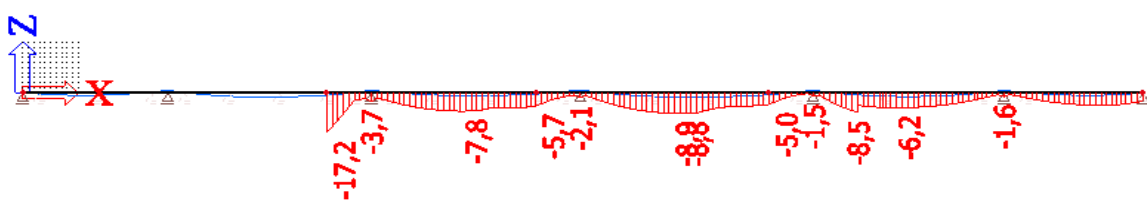
průřez	stáří	$A_c$	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[den]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	[-]
S3	7	12,771	2,961	1,0837	-67,965	-33,098	-12,150	2,126	ok
C	7	12,771	2,662	1,0335	-71,008	4,810	-3,693	-6,855	ok
3	7	12,771	2,974	1,0858	-69,166	-6,638	-7,840	-3,933	ok
D	24	12,771	2,681	1,0367	-68,389	9,656	-1,621	-7,924	ok
4	24	12,771	3,027	1,0943	-67,502	-9,839	-8,843	-3,154	ok
E	> 28	12,771	2,669	1,0347	-68,189	10,840	-1,137	-8,244	ok
5	> 28	12,771	2,932	1,0789	-52,250	-6,020	-6,307	-2,713	ok
F	> 28	12,771	2,610	1,0244	-49,736	6,478	-1,352	-5,695	ok
6	> 28	12,771	2,880	1,0704	-47,124	-3,419	-4,960	-2,883	ok



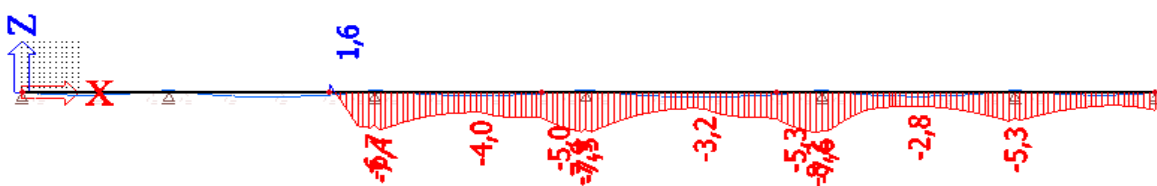
Průběh ohybových momentů ve fázi 3



Průběh normálových sil ve fázi 3



Průběh napětí v dolních vláknech ve fázi 3



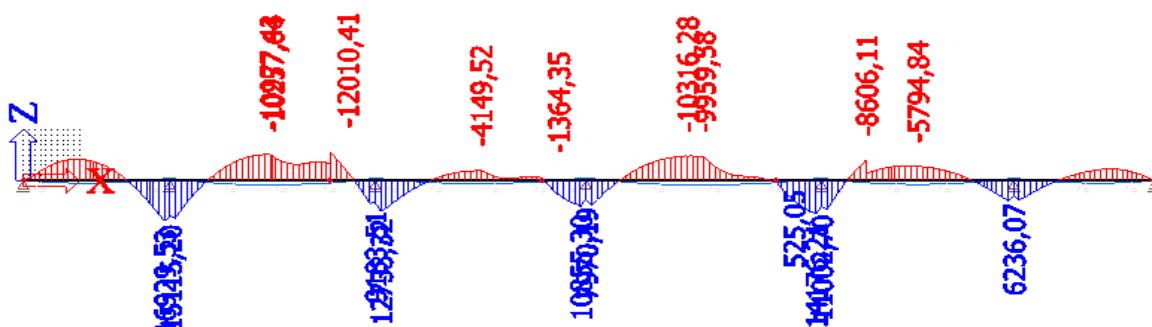
Průběh napětí v dolních vláknech ve fázi 4

4. Fáze  $t_G = 58$  dní - předeprnutí 4. úseku

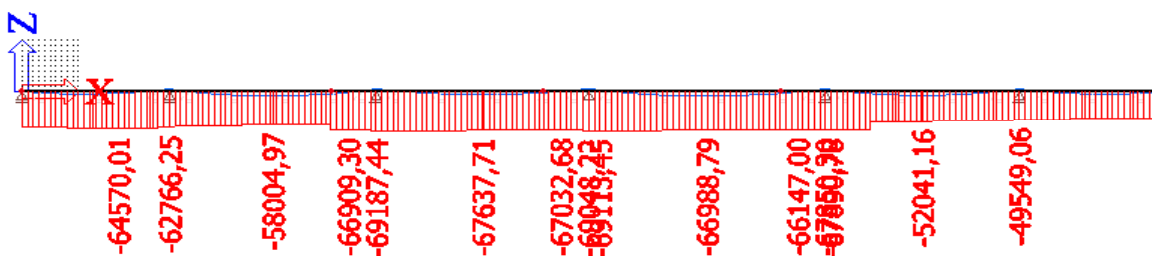
Dovolená napětí:

$$\begin{aligned} \sigma &\leq f_{ctm(7)} = 2,620 \text{ MPa} \\ \sigma &\leq f_{ctm(24)} = 3,149 \text{ MPa} \\ \sigma &\leq f_{ctm(>28)} = 3,200 \text{ MPa} \\ \sigma &\leq 0,45 * f_{ck(7)} = 12,242 \text{ MPa} \\ \sigma &\leq 0,45 * f_{ck(24)} = 15,442 \text{ MPa} \\ \sigma &\leq 0,45 * f_{ck(>28)} = 15,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

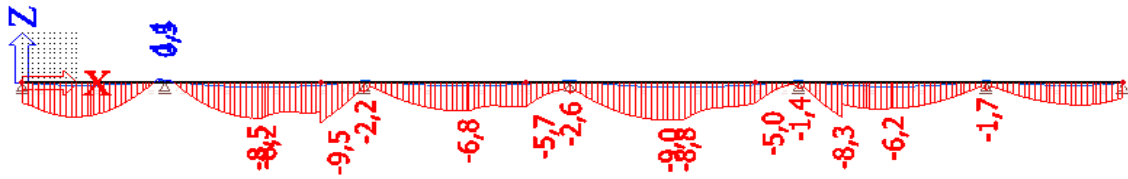
průřez	stáří [den]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	$N_p$ [MN]	$M_p$ [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
1	7	12,771	2,898	1,073	-64,186	-7,556	-7,824	-3,260	ok
B	7	12,771	2,622	1,027	-62,766	15,115	1,006	-9,083	ok
2	7	12,771	2,961	1,084	-58,005	-10,258	-8,296	-2,234	ok
C	24	12,771	2,662	1,034	-69,187	9,184	-1,852	-7,889	ok
3	24	12,771	2,974	1,086	-67,638	-4,150	-6,811	-4,369	ok
D	> 28	12,771	2,681	1,037	-69,048	7,970	-2,324	-7,527	ok
4	> 28	12,771	3,027	1,094	-66,989	-9,960	-8,846	-3,088	ok
E	> 28	12,771	2,669	1,035	-67,850	11,003	-1,047	-8,261	ok
5	> 28	12,771	2,932	1,079	-52,041	-5,795	-6,208	-2,748	ok
F	> 28	12,771	2,610	1,024	-49,549	6,236	-1,432	-5,614	ok
6	> 28	12,771	2,880	1,070	-46,949	-3,418	-4,947	-2,870	ok



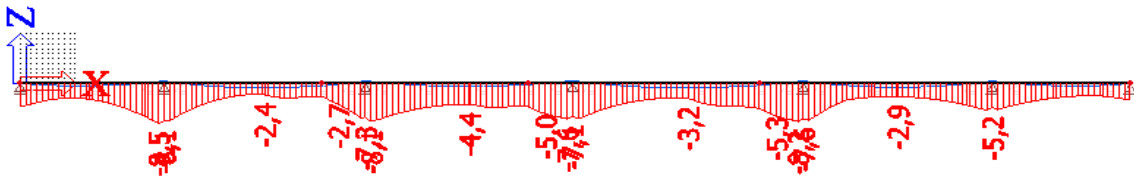
Průběh ohybových momentů ve fázi 4



Průběh normálových sil ve fázi 4



Průběh napětí v dolních vláknech ve fázi 4



Průběh napětí v horních vláknech ve fázi 4

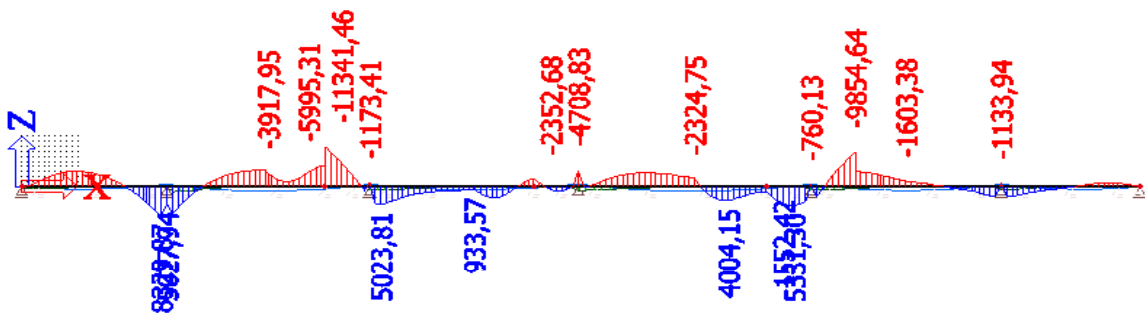
Vnesení ostatního stálého zatížení  $t_G = 100$  dní

Dovolená napětí:

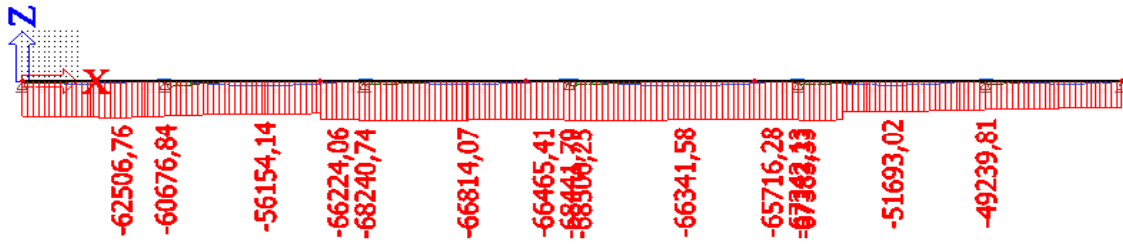
$$\sigma \leq f_{ctm} = 3,200 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq 0,45 * f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$$

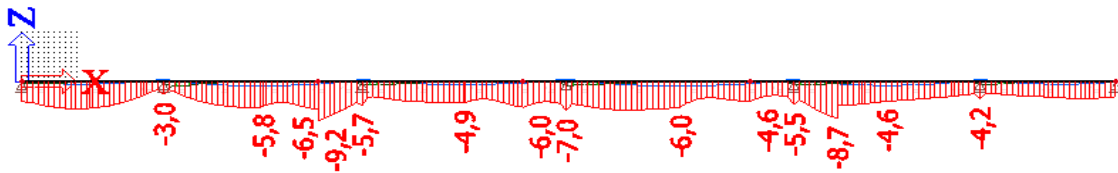
průřez	stáří	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	$N_p$ [MN]	$M_p$ [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
	[den]								
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-62,066	-3,702	-6,231	-3,995	ok
B		12,771	2,622	1,027	-60,677	4,451	-3,007	-5,979	ok
2		12,771	2,961	1,084	-56,154	-3,756	-5,772	-3,552	ok
S3		12,771	2,961	1,084	-66,224	-11,341	-9,336	-2,633	ok
C		12,771	2,662	1,034	-68,241	-1,173	-5,799	-5,027	ok
3		12,771	2,974	1,086	-66,814	0,934	-4,891	-5,440	ok
D		12,771	2,681	1,037	-68,442	-4,709	-7,180	-4,106	ok
4		12,771	3,027	1,094	-66,342	-2,294	-6,024	-4,698	ok
E		12,771	2,669	1,035	-67,342	-0,760	-5,568	-5,069	ok
5		12,771	2,932	1,079	-51,693	-1,603	-4,638	-3,681	ok
F	12,771	2,610	1,024	-49,240	-1,134	-4,301	-3,540	ok	
6	12,771	2,880	1,070	-46,665	0,206	-3,577	-3,702	ok	



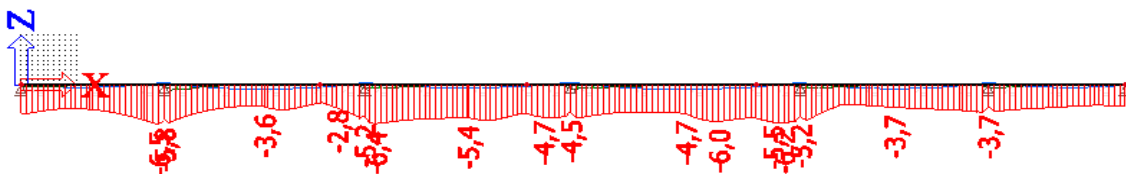
Průběh ohybových momentů po vnesení ostatního stálého zatížení



Průběh normálových sil po vnesení ostatního stálého zatížení



Průběh napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení



Průběh napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení

## 11. 2.2 Omezení napětí v betonu v provozních stavech

- Kvazistálá kombinace

Uvedení do provozu

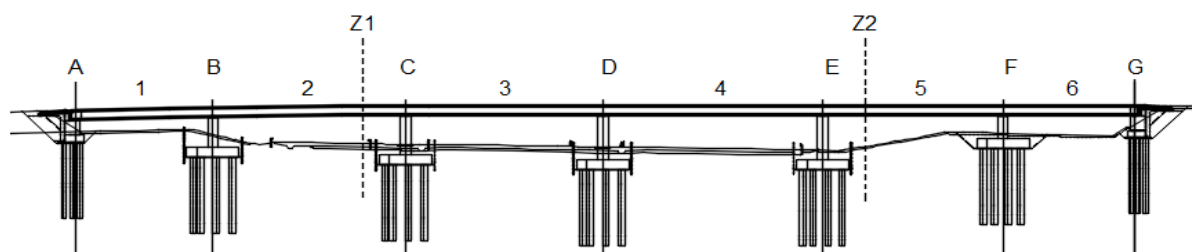
$t_G = 120$  dní

průřez	stáří [den]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	$N_p$ [MN]	$M_p$ [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-52,088	3,123	-2,922	-4,808	ok
B		12,771	2,622	1,027	-49,971	-10,689	-8,100	-0,965	ok
2		12,771	2,961	1,084	-47,198	3,935	-2,255	-4,581	ok
C		12,771	2,662	1,034	-63,481	-11,214	-9,324	-1,952	ok
3		12,771	2,974	1,086	-63,660	4,237	-3,438	-5,931	ok
D		12,771	2,681	1,037	-63,507	-13,289	-10,112	-1,436	ok
4		12,771	3,027	1,094	-62,664	3,769	-3,544	-5,723	ok
E		12,771	2,669	1,035	-66,521	-8,470	-8,492	-2,939	ok
5		12,771	2,932	1,079	-47,747	3,192	-2,564	-4,469	ok
F	12,771	2,610	1,024	-44,726	-9,328	-7,163	-0,909	ok	
6	12,771	2,880	1,070	-43,131	4,065	-1,867	-4,336	ok	

Konec životnosti

$t_G = 36500$  dní

průřez	stáří	$A_c$	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[den]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-46,627	4,870	-1,848	-4,789	ok
B		12,771	2,622	1,027	-44,889	-13,801	-8,921	0,291	ok
2		12,771	2,961	1,084	-42,423	6,954	-0,777	-4,887	ok
C		12,771	2,662	1,034	-58,990	-13,375	-9,812	-1,019	ok
3		12,771	2,974	1,086	-59,025	6,184	-2,364	-6,003	ok
D		12,771	2,681	1,037	-59,182	-16,567	-11,041	-0,226	ok
4		12,771	3,027	1,094	-58,155	6,592	-2,170	-5,982	ok
E		12,771	2,669	1,035	-59,421	-12,351	-9,441	-1,343	ok
5		12,771	2,932	1,079	-44,596	4,516	-1,830	-4,526	ok
F		12,771	2,610	1,024	-41,967	-11,281	-7,714	-0,150	ok
6	12,771	2,880	1,070	-40,487	4,912	-1,345	-4,329	ok	



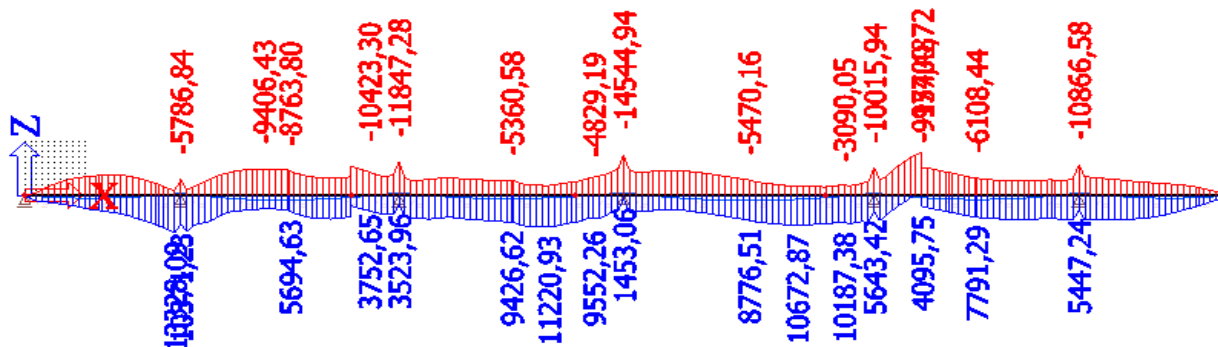
Označení řezů pro posouzení

- Častá kombinace

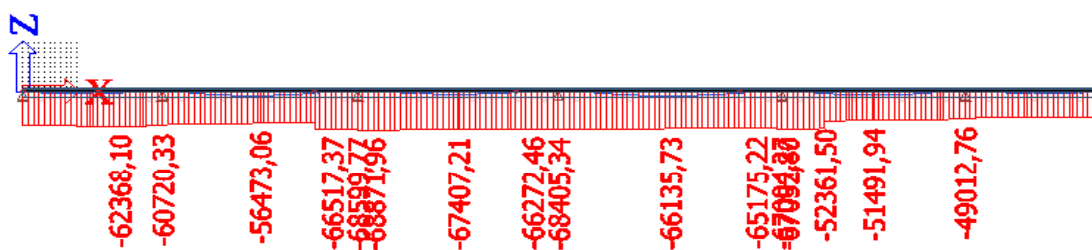
Napětí při uvedení do provozu

$t_G = 120$  dní

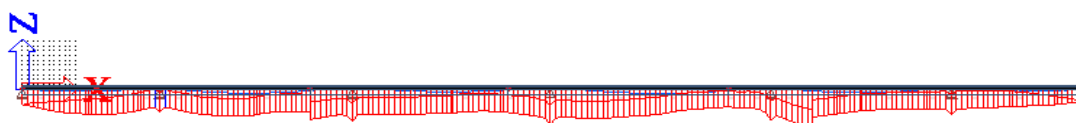
průřez	stáří	$A_c$	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[den]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-61,619	6,558	-2,396	-6,357	ok
B		12,771	2,622	1,027	-60,720	11,219	-0,360	-7,848	ok
2		12,771	2,961	1,084	-56,473	5,694	-2,338	-5,703	ok
Z1		12,771	2,961	1,084	-66,517	-10,423	-9,023	-2,863	ok
C		12,771	2,662	1,034	-68,600	-11,847	-9,971	-2,183	ok
3		12,771	2,974	1,086	-67,407	11,220	-1,182	-7,784	ok
D		12,771	2,681	1,037	-68,405	-14,544	-10,981	-1,486	ok
4		12,771	3,027	1,094	-66,136	10,672	-1,320	-7,491	ok
E		12,771	2,669	1,035	-67,004	-10,015	-9,129	-2,563	ok
Z2		12,771	2,932	1,079	-52,362	-12,195	-8,588	-1,308	ok
5		12,771	2,932	1,079	-51,492	7,791	-1,165	-5,815	ok
F		12,771	2,610	1,024	-49,013	-10,867	-8,103	-0,816	ok
6		12,771	2,880	1,070	-46,416	8,037	-0,647	-5,531	ok



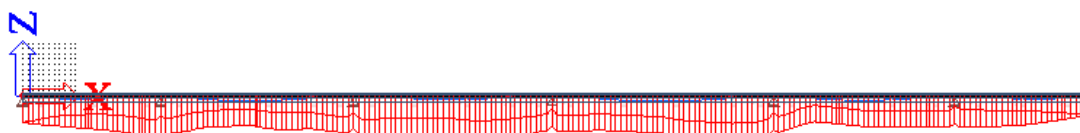
Obálka ohybových momentů od částe kombinace v čase uvedení do provozu



Průběh normálových sil od částe kombinace v čase uvedení do provozu



Napětí v dolních vláknech od částe kombinace v čase uvedení do provozu

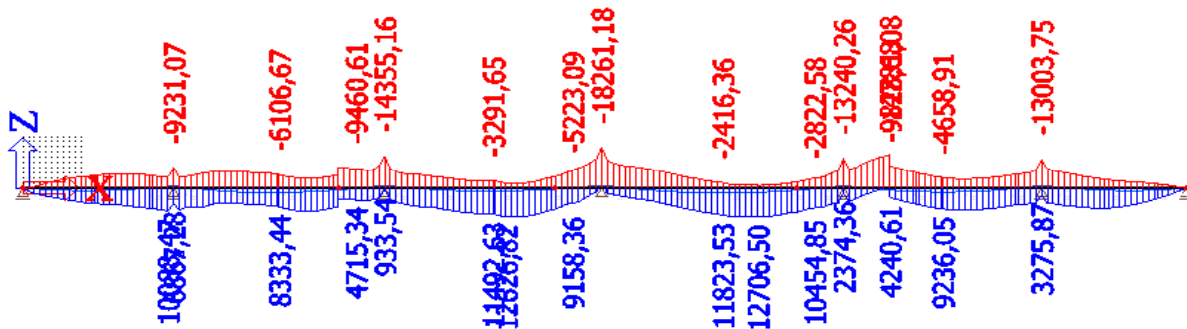


Napětí v horních vláknech od částe kombinace v čase uvedení do provozu

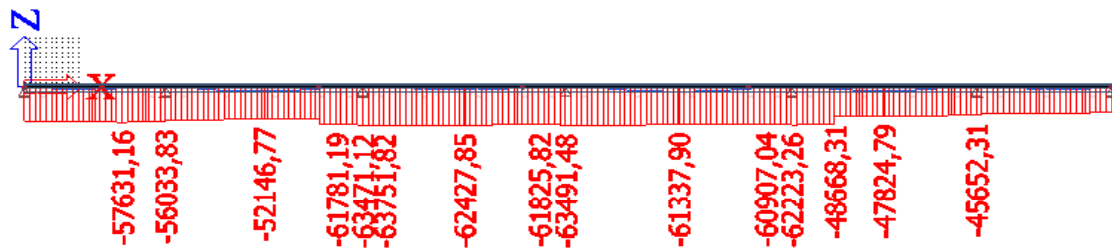


### Napětí na konce životnosti

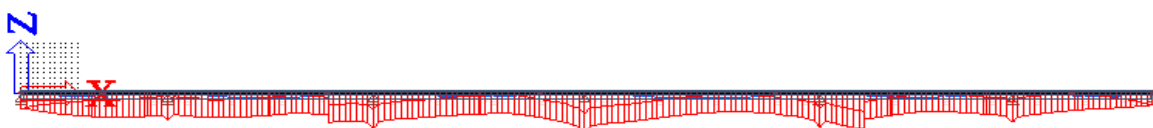
průřez	stáří [den]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$z_T$ [m]	$N_p$ [MN]	$M_p$ [MNm]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_i < \sigma_{lim}$ [-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-57,095	6,869	-1,927	-6,076	ok
B		12,771	2,622	1,027	-56,034	-9,231	-8,003	-1,842	ok
2		12,771	2,961	1,084	-52,147	8,333	-1,034	-5,958	ok
Z2		12,771	2,961	1,084	-61,781	-9,461	-8,300	-2,709	ok
C		12,771	2,662	1,034	-63,471	-14,355	-10,543	-1,106	ok
3		12,771	2,974	1,086	-62,428	12,626	-0,278	-7,708	ok
D		12,771	2,681	1,037	-63,491	-18,261	-12,034	-0,112	ok
4		12,771	3,027	1,094	-61,338	12,706	-0,209	-7,556	ok
E		12,771	2,669	1,035	-62,223	-13,240	-10,005	-1,324	ok
Z1		12,771	2,932	1,079	-48,668	-14,781	-9,251	-0,427	ok
5		12,771	2,932	1,079	-47,825	9,236	-0,346	-5,859	ok
F		12,771	2,610	1,024	-46,507	-13,003	-8,746	-0,026	ok
6		12,771	2,880	1,070	-43,235	8,774	-0,124	-5,456	ok



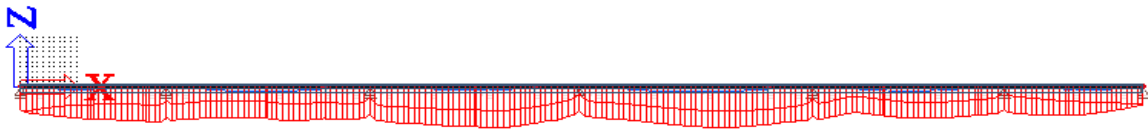
Obálka ohybových momentů od částe kombinace na konci životnosti



Průběh normálových sil od částe kombinace na konci životnosti



Napětí v dolních vláknech od částe kombinace na konci životnosti

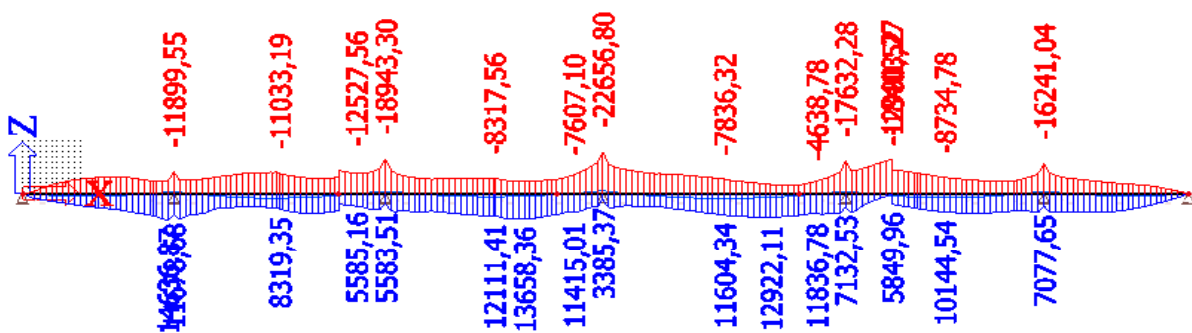


Napětí v horních vláknech od časté kombinace na konci životnosti

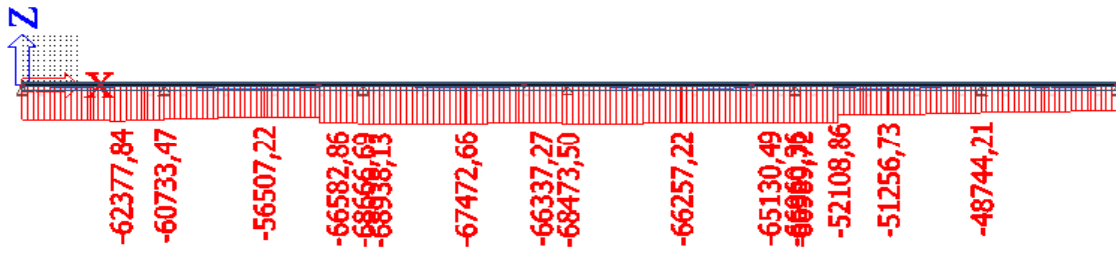
- Charakteristická kombinace se sestavou gr1 (rozhodující sestava zatížení)

**Napětí při uvedení do provozu**

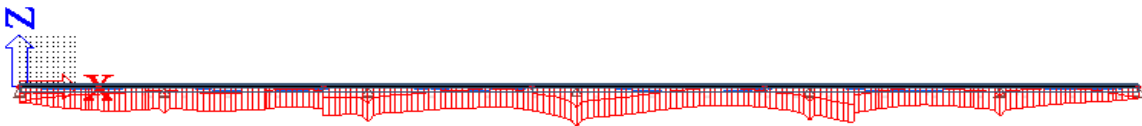
průřez	stáří	$A_c$	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[den]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-61,886	7,646	-2,014	-6,632	ok
B		12,771	2,622	1,027	-60,733	-11,900	-9,417	-1,474	ok
2		12,771	2,961	1,084	-56,507	8,317	-1,381	-6,296	ok
Z2		12,771	2,961	1,084	-66,583	-12,528	-9,798	-2,395	ok
C		12,771	2,662	1,034	-68,667	-18,943	-12,731	-0,278	ok
3		12,771	2,974	1,086	-67,473	13,658	-0,296	-8,334	ok
D		12,771	2,681	1,037	-68,474	-22,657	-14,124	0,667	ok
4		12,771	3,027	1,094	-66,257	12,922	-0,516	-7,987	ok
E		12,771	2,669	1,035	-66,960	-17,632	-12,078	-0,518	ok
Z1		12,771	2,669	1,035	-52,109	-18,403	-11,214	0,852	ok
5		12,771	2,932	1,079	-51,257	10,145	-0,280	-6,336	ok
F		12,771	2,610	1,024	-48,744	-16,241	-10,192	0,699	ok
6		12,771	2,880	1,070	-46,118	9,766	0,019	-5,916	ok



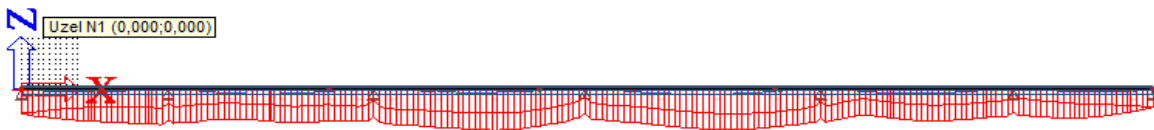
Obálka ohybových momentů od charakteristické kombinace v čase uvedení do provozu



Průběh normálových sil od charakteristické kombinace v čase uvedení do provozu



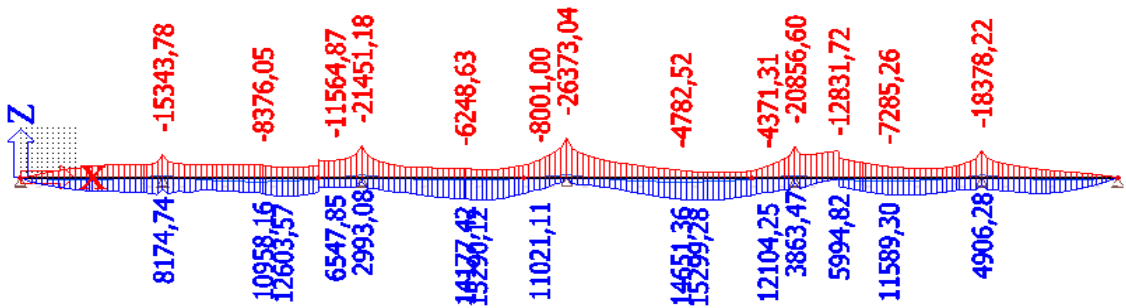
Napětí v dolních vláknech od charakteristické kombinace v čase uvedení do provozu



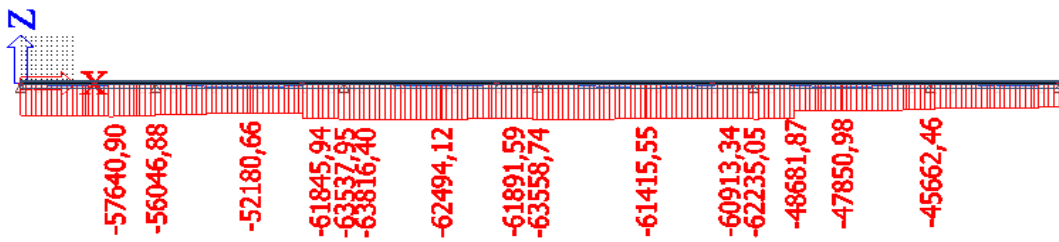
Napětí v horních vláknech od charakteristické kombinace v čase uvedení do provozu

### Napětí na konci životnosti

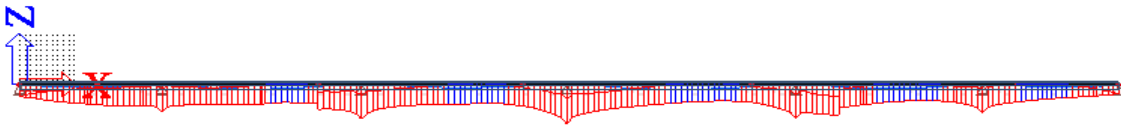
průřez	stáří	$A_c$	$I_y$	$z_T$	$N_p$	$M_p$	$\sigma_d$	$\sigma_h$	$\sigma_i < \sigma_{lim}$
	[den]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m]	[MN]	[MNm]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	> 28	12,771	2,898	1,073	-57,102	9,014	-1,133	-6,577	ok
B		12,771	2,622	1,027	-56,047	-15,344	-10,399	-0,157	ok
2		12,771	2,961	1,084	-52,181	12,603	0,526	-6,922	ok
Z2		12,771	2,961	1,084	-61,846	-11,564	-9,075	-2,241	ok
C		12,771	2,662	1,034	-63,538	-21,451	-13,303	0,798	ok
3		12,771	2,974	1,086	-62,494	15,290	0,689	-8,308	ok
D		12,771	2,681	1,037	-63,559	-26,373	-15,176	2,041	ok
4		12,771	3,027	1,094	-61,416	15,299	0,723	-8,123	ok
E		12,771	2,669	1,035	-60,913	-20,857	-12,855	0,820	ok
Z1		12,771	2,669	1,035	-62,235	-12,832	-9,847	-1,434	ok
5		12,771	2,932	1,079	-48,682	11,589	0,453	-6,465	ok
F		12,771	2,610	1,024	-47,851	-18,378	-10,961	1,363	ok
6	12,771	2,880	1,070	-45,662	10,686	0,396	-6,097	ok	



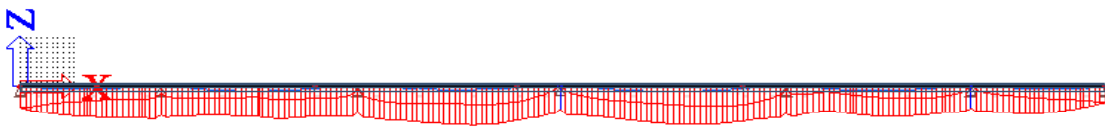
Obálka ohybových momentů od charakteristické kombinace na konci životnosti



Průběh normálových sil od charakteristické kombinace na konci životnosti

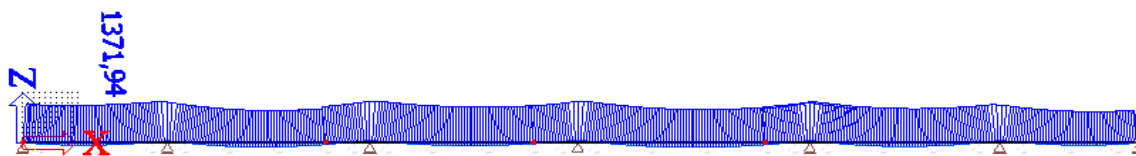


Napětí v dolních vláknech od charakteristické kombinace na konci životnosti



Napětí v horních vláknech od charakteristické kombinace na konci životnosti

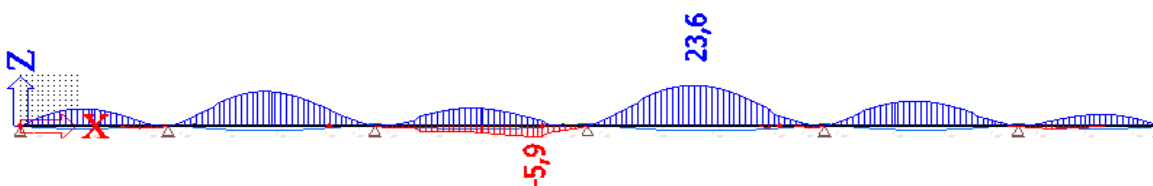
### 11. 3 Omezení napětí v předpínací výztuži



Napětí v kabelech v čase uvedení do provozu

$$\sigma = 1371,9 \text{ MPa} \leq 0,75 * f_{pk} = 1395 \text{ MPa}$$

### 11. 4 Omezení deformací



Deformace od charakteristické kombinace na konci životnosti

$$u_{z-} = -5,9 \text{ mm}$$

$$u_{z+} = 23,6 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = l / 600 = 41900 / 600 = 70 \text{ mm} \geq |u_z|$$

### 11. 5 Minimální plocha výztuže z hlediska MSP

- slouží pro omezení trhlin vyvolaných nesilovým zatížením

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s$$

$$A_{ct} = 4,7 \text{ m}^2$$

$$\sigma_s = 280 \text{ MPa}$$

$$k = 0,65$$

$$f_{ct,eff} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,9 * F_{cr} / (A_{ct} * f_{ct,eff}) = 0,9 \frac{1,6 * 0,35 * 13,55}{0,35 * 13,55 * 3,2} = 0,45 \leq 0,5$$

$$A_{s,min} = \frac{0,5 * 0,65 * 3,2 * 4,7E+06}{280} = 17615 \text{ mm}^2$$

Návrh výztuže:

$$\Phi = 16 \text{ mm}$$

$$s = 125$$

$$n = 104$$

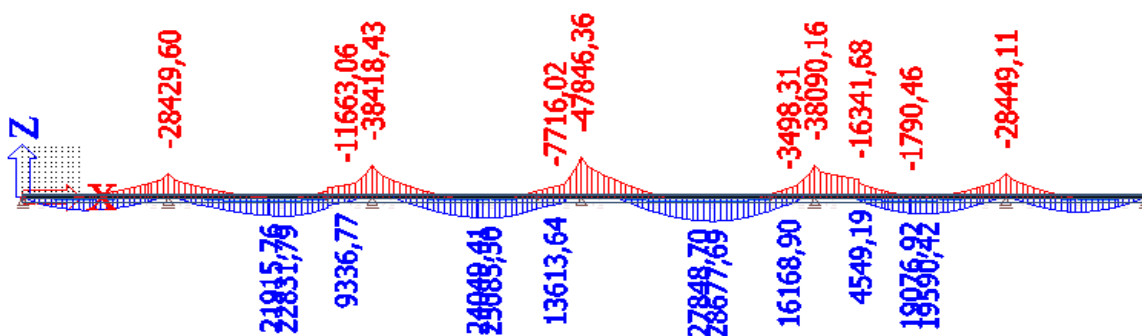
$$A_{sw} = 20910 \text{ mm}^2$$

## 12. Posouzení konstrukce - mezní stavy únosnosti

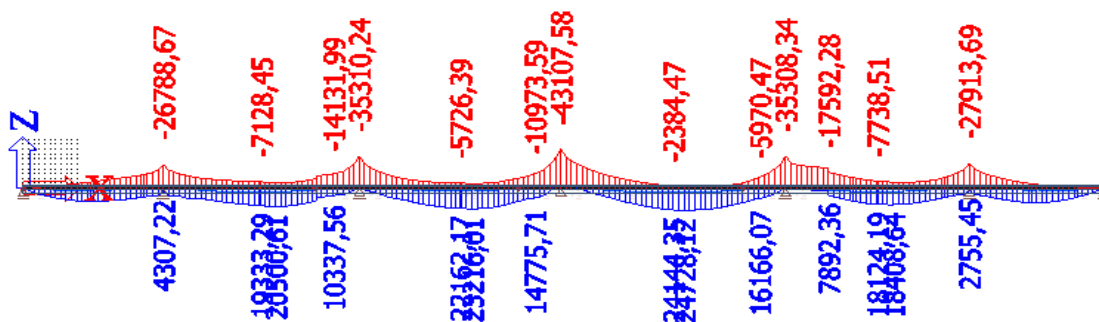
Mezní stav únosnosti bude určen pro průřez v podpěře D a v polovině pole 4 v čase na konci životnosti. Výpočet je proveden metodou mezních přetvoření za uvažování následujících předpokladů:

- Beton v tahu nepůsobí, veškeré tahové namáhání přebírá betonářská výztuž.
- Platí Bernoulli-Navierova hypotéza o zachování rovinnosti průřezu.
- Beton a výztuž dokonale spolupůsobí.
- V krajních vláknech betonu je uvažováno mezní poměrné přetvoření  $\epsilon_{ud}$  3,5‰.
- Mezní přetvoření předpínací výztuže je omezeno hodnotou  $\epsilon_{ud} = 20$ ‰.

### 12.1 Ohyb s normálovou silou



Obálka ohybových momentů od kombinace 6.10a na konci životnosti



Obálka ohybových momentů od kombinace 6.10b na konci životnosti

### Posouzení průřezu nad podporou D

$$N_{pk,kz} = -63,559 \text{ MN}$$

$$M_{pk,kz} = 23,431 \text{ MNm}$$

$$M_{6.10a} = -47,846 \text{ MNm}$$

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1452,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Základní napětí} \quad \sigma_p^0 = \sigma_p - E_p * \sigma_{cp} / E_c$$

$$\sigma_p = 1239 \text{ MPa}$$

$$A_p = 0,0513 \text{ m}^2$$

Napětí v místě předpínací výztuže od charakteristické kombinace

$$\sigma_{cp} = \frac{-63,559}{12,771} - \frac{-26,373}{4,9798} = 0,319 \text{ MPa}$$

Základní napětí

$$\sigma_p^0 = 1239 - \frac{195}{34} * 0,319 = 1237,1 \text{ MPa}$$

Základní předpínací síla

$$P_p = \sigma_p^0 * A_p = 1237,1 * 0,0513 = 63465 \text{ kN}$$

Přetvoření předpínací výztuže při základním napětí

$$\epsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p = 1237,1 / 195000 = 6,3443 \text{ ‰} \quad \epsilon_{uk} = 22,22 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pd} = f_{pd} / E_p = 1452,2 / 195000 = 7,447 \text{ ‰} \quad \epsilon_{ud} = 20,00 \text{ ‰}$$

$$\begin{aligned} f_{pd,u} &= f_{pd} + \frac{\epsilon_{ud} - \epsilon_{pd}}{\epsilon_{uk} - \epsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) = \\ &= 1452,2 + \frac{20 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1592,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\Delta \epsilon_p = \Delta \epsilon_{cp} = -\sigma_{cp} / E_c = 0,319 / 34000 = 9,39E-06$$

$$\Delta \sigma_p = \Delta \epsilon_p * E_p = 9E-06 * 195000 = 1,8315 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1237,1 = 355 \text{ MPa}$$

Limitní výšky tlačené oblasti:

$$x_{lim} = d * \frac{|\epsilon_{cu}|}{\epsilon_{ud} - \epsilon_p^0 + |\epsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{20 - 6,3 + 3,5} = 321,32 \text{ mm}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{|\epsilon_{cu}|}{\epsilon_{pe} - \epsilon_p^0 + |\epsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{7,4 - 6,3 + 3,5} = 1197,7 \text{ mm}$$

$$1. \text{ iterace} \quad x = x_{lim} = 321,32 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 0,9963 * 19,833 = 19759 \text{ kN}$$

$$x_c = 257 \text{ mm}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1237,1 = 355,43 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta \sigma_p = 0,0513 * 355,43 = 18,233 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 0,9963 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 0,9963 * 19,833 = 19,759 \text{ MN}$$

Silová podmínka rovnováhy:

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} = 0$$

$$19,759 - 18,233 - 63,465 = -61,939 \text{ MN} \neq 0$$

=> dojde k přetržení výztuže => 2. iterace

$$2. \text{ iterace } x = 1047 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,7668 * 19,833 = 74709 \text{ kN}$$

$$x_c = 837 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon^p = 7,81$$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) =$$
$$= 1452,2 + \frac{7,8 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1456,2 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1456,2 - 1237,1 = 219,1 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta \sigma_p^0 = 0,0513 * 219 = 11,24 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 3,7668 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,7668 * 19,833 = 74,709 \text{ MN}$$

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} = 0$$

$$74,709 - 11,24 - 63,465 \approx 0,00 \text{ MN}$$

=> vyčíslení momentu  $M_{Rd}$

$$x_1 = 321,32 \text{ mm} < x = 1047 \text{ mm} < x_2 = 1197,7 \text{ mm}$$

$$z_{cc} = 0,631 \text{ m}$$

$$z_p = 0,525 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + \Delta F_p * z_p = 74,709 * 0,631 + 11,24 * 0,525 = 53,042 \text{ MNm}$$

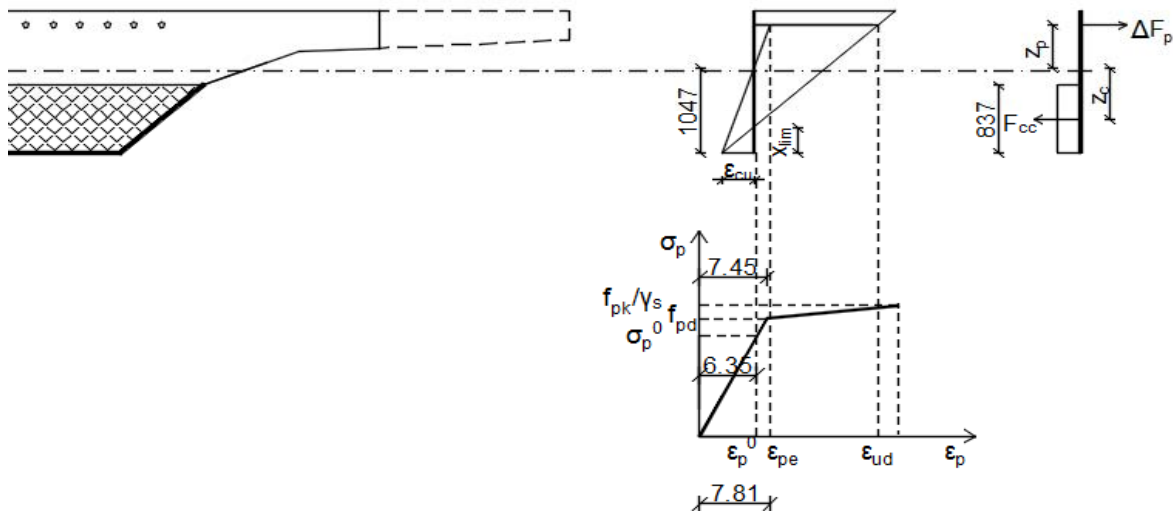
$$M_{Ed} = M_{6.10a} + M_{pk,kž}$$

$$-47,846 - 23,431 = -24,415 \text{ MNm}$$

$$M_{Ed} = 24,415 \text{ MNm} < M_{Rd} = 53,042 \text{ MNm}$$

Průřez vyhoví.





#### Posouzení průřezu v polovině pole 4

$$N_{pk,kz} = 61,419 \text{ MN}$$

$$M_{pk,kz} = -30,339 \text{ MNm}$$

$$M_{6.10a} = 28,678 \text{ MNm}$$

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1452,2 \text{ MPa}$$

Napětí v místě předpínací výztuže od charakteristické kombinace

$$\sigma_{cp} = \frac{-61,416}{12,771} + \frac{15,299}{3,2923} = -0,162 \text{ MPa}$$

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1452,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Základní napětí} \quad \sigma_p^0 = \sigma_p - E_p \cdot \sigma_{cp} / E_c$$

$$\sigma_p = 1197,3 \text{ MPa}$$

$$A_p = 0,0513 \text{ m}^2$$

Napětí v místě předpínací výztuže od charakteristické kombinace

$$\sigma_{cp} = \frac{-61,416}{12,771} + \frac{15,299}{3,2923} = -0,162 \text{ MPa}$$

Základní napětí

$$\sigma_p^0 = 1197 - \frac{195}{34} \cdot -0,162 = 1196,3 \text{ MPa}$$

Základní předpínací síla

$$P_p = \sigma_p^0 \cdot A_p = 1196,3 \cdot 0,0513 = 61371 \text{ kN}$$

Přetvoření předpínací výztuže při základním napětí

$$\epsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p = 1196,3 / 195000 = 6,135 \text{ ‰} \quad \epsilon_{uk} = 22,22 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{pd} = f_{pd}/E_p = 1452,2 / 195000 = 7,447 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{ud} = 20,00 \text{ ‰}$$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) =$$

$$= 1452,2 + \frac{20 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1592,6 \text{ MPa}$$

$$\Delta\varepsilon_p = \Delta\varepsilon_{cp} = -\sigma_{cp}/E_c = -0,162 / 34000 = -4,76E-06$$

$$\Delta\sigma_p = \Delta\varepsilon_p * E_p = -5E-06 * 195000 = -0,9289 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1196,3 = 396 \text{ MPa}$$

Limitní výšky tlačené oblasti:

$$x_{lim} = d * \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_p^0 + |\varepsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{20 - 6,1 + 3,5} = 317,45 \text{ mm}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{pe} - \varepsilon_p^0 + |\varepsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{7,4 - 6,1 + 3,5} = 1145,6 \text{ mm}$$

1. iterace  $x = x_{lim} = 317,45 \text{ mm}$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,4411 * 19,833 = 68,249 \text{ kN}$$

$$x_c = 254 \text{ mm}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1196,3 = 396,24 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta\sigma_p^0 = 0,0513 * 396,24 = 20,327 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 3,4411 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,4411 * 19,833 = 68,249 \text{ MN}$$

Silová podmínka rovnováhy:

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} = 0$$

$$68,249 - 20,327 - 61,371 = -13,449 \text{ MN} \neq 0$$

=> dojde k přetržení výztuže => 2. iterace

2. iterace  $x = 373 \text{ mm}$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 4,0422 * 19,833 = 80171 \text{ kN}$$

$$x_c = 298 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p^0 + \Delta\varepsilon^p = 17,34$$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) =$$

$$= 1452,2 + \frac{17 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1562,8 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1562,8 - 1196,3 = 366,49 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta\sigma_p^0 = 0,0513 * 366 = 18,801 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 4,0422 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 4,0422 * 19,833 = 80,171 \text{ MN}$$

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} = 0$$

$$80,171 - 18,801 - 61,371 \approx 0,00 \text{ MN}$$

=> vyčíslení momentu  $M_{Rd}$

$$x_1 = 317,45 \text{ mm} < x = 373 \text{ mm} < x_2 = 1145,6 \text{ mm}$$

$$z_{cc} = 0,863 \text{ m}$$

$$z_p = e_p = 0,563 \text{ m}$$

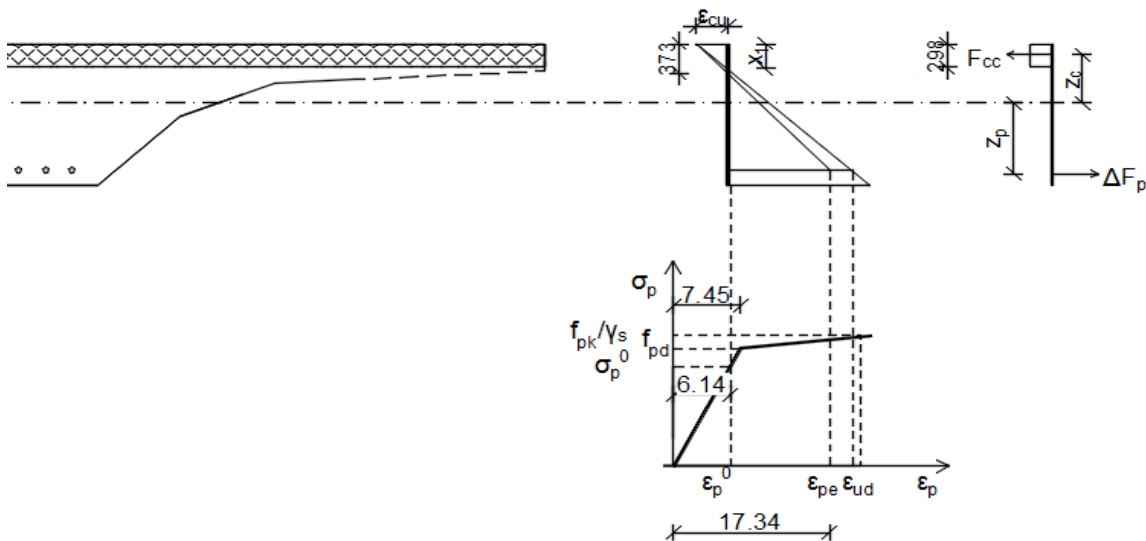
$$M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + \Delta F_p * z_p = 80,171 * 0,863 + 18,801 * 0,563 = 79,76 \text{ MNm}$$

$$M_{Ed} = M_{6.10a} + M_{pk,kz}$$

$$28,678 + 30,339 = 59,017 \text{ MNm}$$

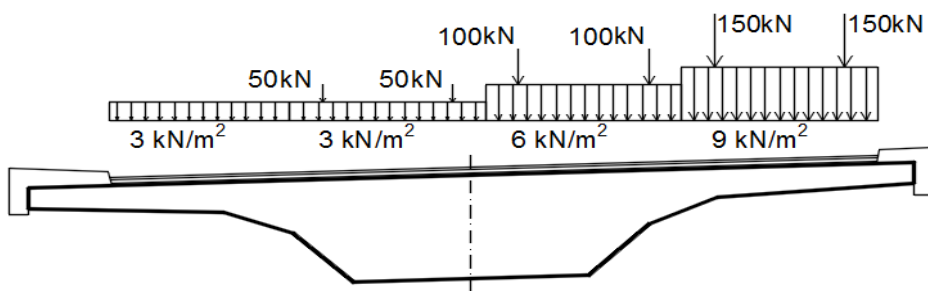
$$M_{Ed} = 59,017 \text{ MNm} < M_{Rd} = 79,76 \text{ MNm}$$

Průřez vyhoví.

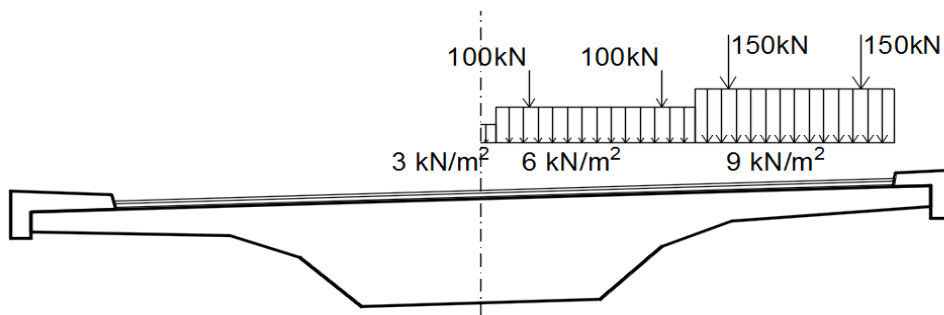


### 12. 3 Smyk a kroučení

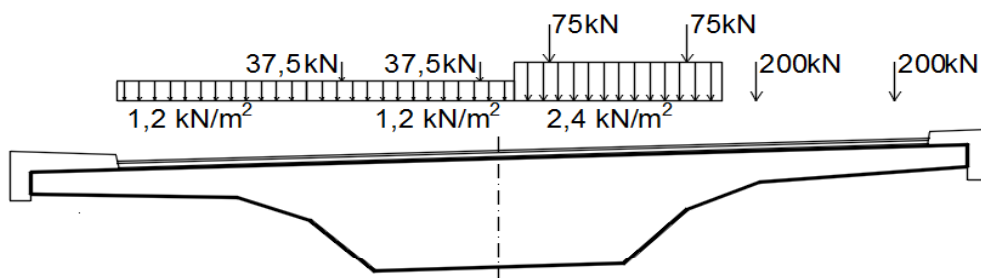
Posouzení provedeno ve vzdálenosti  $d$  od líce podpory D.



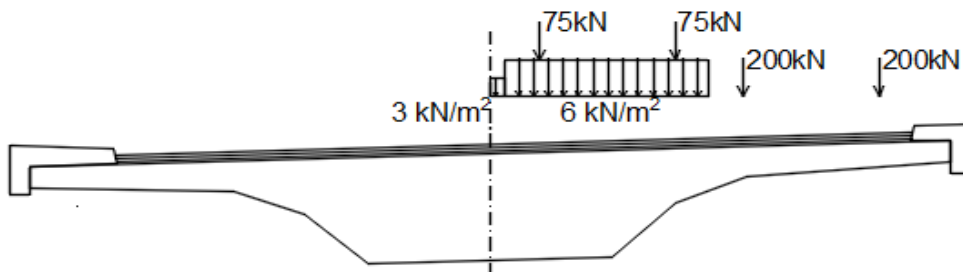
*Poloha pro vyvození maximální posouvající síly - zatížení LM1*



*Poloha pro vyvození maximálního kroučícího momentu - zatížení LM1*



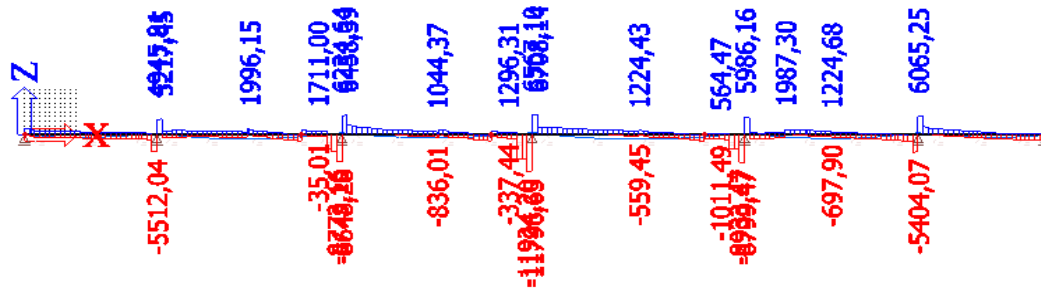
*Poloha pro vyvození maximální posouvající síly - zatížení LM3 - 1800/200 + časté hodnoty LM1 (zatížení LM3 - 900/150 + časté hodnoty vyvozuje menší účinky)*



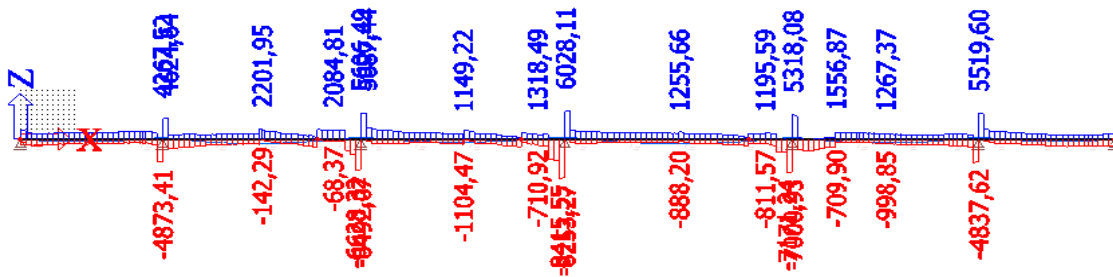
*Poloha pro vyvození maximálního kroučícího momentu - zatížení LM3 - 1800/200 + časté hodnoty LM1 (zatížení LM3 - 900/150 + časté hodnoty vyvozuje menší účinky)*

U modelu LM3 - 3000/240 je uvažováno jediné speciální vozidlo na mostě s určenou dráhou jízdy, tzn. středem mostu. Kroučící účinky proto nejsou uvažovány.

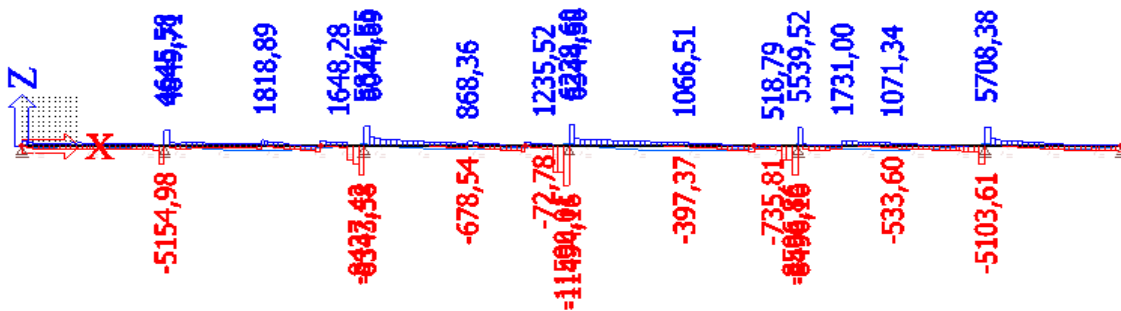
Návrhové síly pro posouzení smykové únosnosti



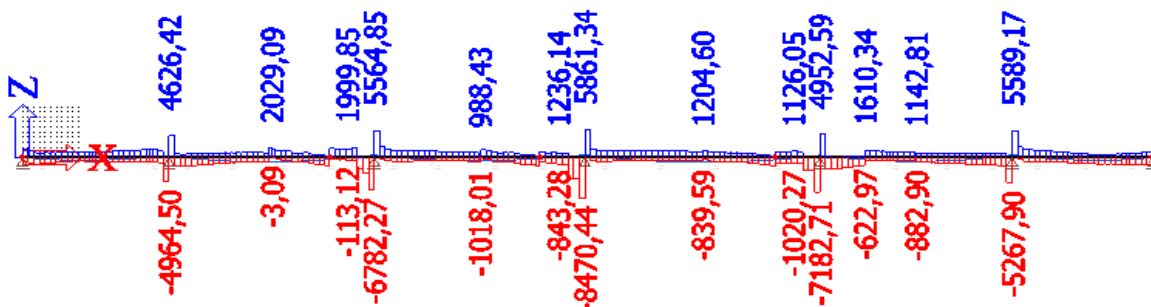
Obálka pro maximální posouvající síly, soustava gr1, kombinace 6.10a



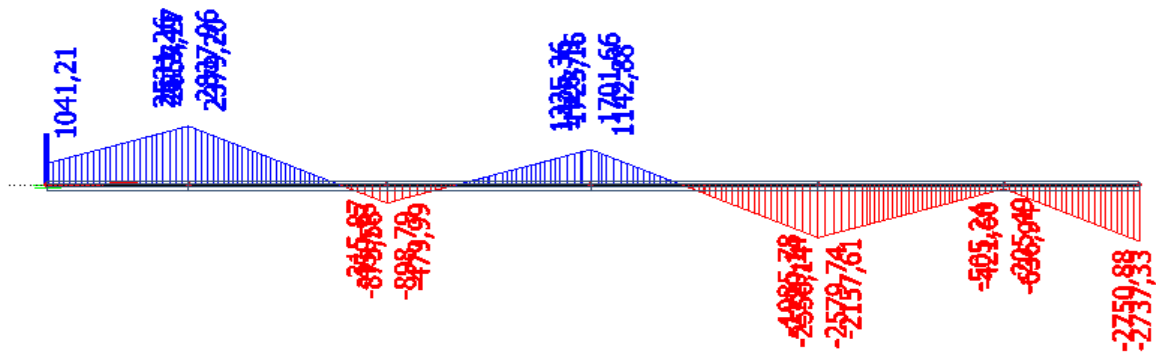
Obálka pro maximální posouvající síly, soustava gr1, kombinace 6.10b



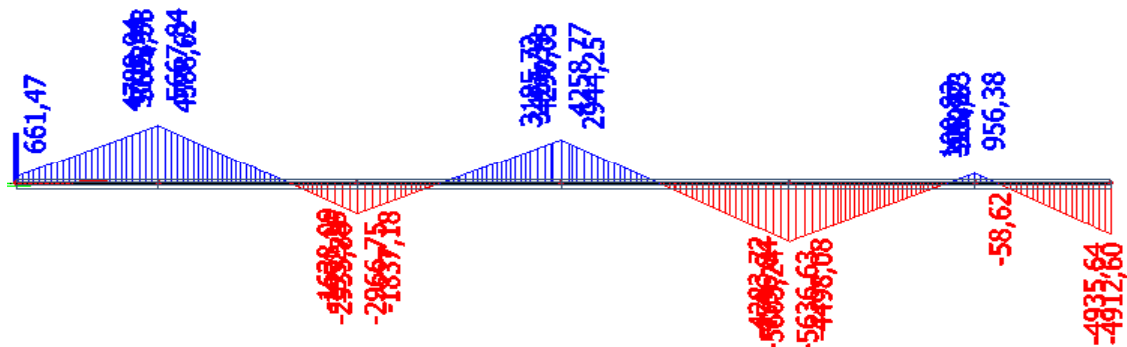
Obálka pro maximální posouvající síly, soustava gr5 - LM3 1800/200 + časté hodnoty LM1, kombinace 6.10a



Obálka pro maximální posouvající síly, soustava gr5 - LM3 1800/200+ časté hodnoty LM1, kombinace 6.10b



Průběh kroučících momentů od kombinace 6.10a



Průběh kroučících momentů od kombinace 6.10b

Přehled návrhových sil ve vzdálenosti d od podpory D

	6.10a		6.10b	
	max $V_{ed}$	$T_{ed}$	max $V_{ed}$	$T_{ed}$
gr1a	11924	1232	8415	3059
gr5	5769	500	9421	1232

	6.10a		6.10b	
	$V_{ed}$	Max $T_{ed}$	$V_{ed}$	Max $T_{ed}$
gr1a	4345	1725	3727	4290
gr5	3313	712	6320	1524

- rozhoduje soustava gr1a

Převod kroučícího momentu na posouvající sílu

6.10a

$$V_{Ed}^T = \frac{T_{Ed} * l_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{1232}{2 * 5,675} * \frac{1,784}{\cos 50} = 301,26 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^T = \frac{T_{Ed} * l_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{1725}{2 * 5,675} * \frac{1,784}{\cos 50} = 421,81 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max} = V_{ed} + V_{Ed}^T = 11924 + 301,26 = 12225 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max} = V_{ed} + V_{Ed}^T = 4345 + 421,81 = 4766,8 \text{ kN}$$

6.10b

$$V_{Ed}^T = \frac{T_{Ed} * l_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{3059}{2 * 5,675} * \frac{1,784}{\cos 50} = 748,02 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed} * l_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{4290 * 1,784}{2 * 5,675 * \cos 50} = 1049 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max} = V_{ed} + V_{Ed,T} = 8415 + 748,02 = 9163 \text{ kN}$$

$$V_{ed,max} = V_{ed} + V_{Ed,T} = 3727 + 1049 = 4776 \text{ kN}$$

Rozhoduje kombinace 6.10a s maximální posouvající silou

### Kroucení

$$t_{ef} = A/u = 11,08 / 20,422 = 0,5426 \text{ m}$$

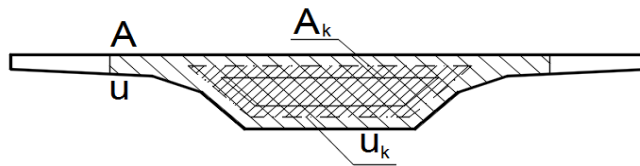
$$2d \leq t_{ef} \leq t_w$$

$$350 \leq t_{ef} \leq 1750$$

Plocha uzavřená střednicí

$$A_k = 5,675 \text{ m}^2$$

$$u_k = 12,971 \text{ m}^2$$



$$T_{Rd,c} = f_{ctd} * t_{ef} * 2 * A_k = 1,47 * 0,543 * 2 * 5,675 = 9031,7 \text{ kN}$$

### Únosnost tlačené diagonály - kroucení

$$T_{Rd,max} = \frac{2 * v_1 * \alpha_{cw} * f_{cd} * t_{ef} * A_k}{\cotg \theta + \tg \theta} = \frac{2 * 0,5 * 1,3 * 19833 * 0,5 * 5,675}{1,0 + 1} =$$

$$T_{Rd,max} = 39417 \text{ kN}$$

### Únosnost tlačené diagonály - smyk

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * (\cotg \theta + \cotg \alpha) / (1 + \cotg^2 \theta)$$

$$b_w = 3,6 \text{ m}$$

$$z = 1,42 \text{ m}$$

$$v_1 = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,5$$

$$\cotg \theta = 1,0$$

$$\cotg \alpha = 0$$

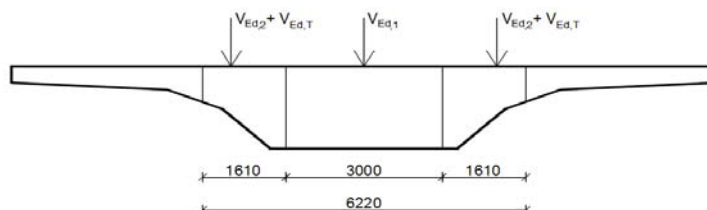
$$A_s = 0,035 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / (A_c + A_s * E_s/E_c) = 4,9767 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1,3$$

$$V_{Rd,max} = 1,3 * 3,6 * 1,4 * 0,5 * 19833 * (1,0 + 0) / (1 + 1,0) = 32664 \text{ kN}$$

Rozložení posouvající síly po průřezu



$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed}}{b} b_1 = \frac{11924}{6,22} * 3 = 5751,1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{V_{Ed}}{b} b_2 = \frac{11924}{6,22} * 1,6 = 3086,4 \text{ kN}$$

### Kombinace T + V

Únosnost tlačných diagonál

$$\frac{T_{Ed}}{T_{R,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{R,max}} \leq 1$$

Maximální V + odpovídající T

$$\frac{1232}{39417} + \frac{11924}{32664} \leq 0,3963 \leq 1$$

=> únosnost tlačných diagonál vyhovuje

Maximální T + odpovídající V

$$\frac{4290}{39417} + \frac{3727}{32664} \leq 0,2229 \leq 1$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1$$

$$\frac{1232}{9031,7} + \frac{11924}{3717} \leq 3,344 \leq 1$$

=> nutný návrh smykové výztuže

$$\frac{4290}{9031,7} + \frac{3727}{3717} \leq 1,4776 \leq 1$$

### Návrh smykové výztuže

- Část  $b_1$

$$V_{Ed, b1} = V_{Ed,1} = 5751,1 \text{ kN}$$

Návrh:

Třmeny:	Profil	12 mm
	Střížnost	12
	$A_{sw} =$	1357,17 mm <sup>2</sup>
	$s =$	0,125 m
	$f_{ywd} =$	mm MPa

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s * z * f_{ywd} * \cotg \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{1,4E-03}{0,125} * 1,42 * 434783 * 1,0 = 6691,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 6691 \text{ kN} > V_{Ed} = 5751,1 \text{ kN}$$



- Část b<sub>2</sub>

$$V_{Ed, b2} = V_{Ed,2} + V_{Ed,T} = 3086,4 + 301,26 = 3387,7 \text{ kN}$$

Návrh:

Třmeny:	Profil	12 mm
	Střížnost	8
	A <sub>sw</sub> =	904,78 mm <sup>2</sup>
	s =	0,15 m
	f <sub>ywd</sub> =	434,78 MPa

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s * z * f_{ywd} * \cotg \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{9,0E-04}{0,15} * 1,42 * 434783 * 1,0 = 3717,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 3717 \text{ kN} > V_{Ed} = 3387,7 \text{ kN}$$

- Spodní povrch

$$V_{Ed}^T = \frac{T_{Ed} * I_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{4290 * 3,4}{2 * 5,675} = 1285,1 \text{ kN}$$

Návrh:

Třmeny:	Profil	20 mm
	Střížnost	1
	A <sub>sw</sub> =	314,16 mm <sup>2</sup>
	s =	0,15 m
	f <sub>ywd</sub> =	434,78 MPa

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s * z * f_{ywd} * \cotg \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{3,1E-04}{0,15} * 1,42 * 434783 * 1,0 = 1290,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 1291 \text{ kN} > V_{Ed} = 1285,1 \text{ kN}$$

- Horní povrch

$$V_{Ed}^T = \frac{T_{Ed} * I_i}{2 * A_k * \cos \alpha} = \frac{4290 * 6,015}{2 * 5,675} = 2273,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{5,6E-04}{0,15} * 1,42 * 434783 * 1,0 = 2300,9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 2301 \text{ kN} > V_{Ed} = 2273,5 \text{ kN}$$

$$A_{sw, min} = 560,00 \text{ mm}^2$$

### Kontrola stupně smykového vyztužení

$$\rho_w = A_{sw} / (s * b_w * \sin \alpha) \geq \rho_{w, min} = 0,08 * \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

$$\rho_w = 0,0017 \geq \rho_{w, min} = 0,000947$$

### Maximální vzdálenost smykové výztuže

$$s_{l,max} \leq 0,75 * d * (1 + \cotg \alpha) = 0,75 * 1,575 * (1 + \cotg 90) = 1,1813 \text{ m}$$
$$s_{t,max} \leq 0,75 * d = 0,75 * 1,575 = 1,1813 \text{ m}$$

### 12. 4 Vliv přídavné tahové síly

$$H_{Ed,max V} = \left( V_{Ed} + \frac{T_{Ed} * u_k}{2 * A_k} \right) \cotg \theta = 11924 + \frac{1232 * 12,971}{2 * 5,675} * 1 =$$

$$H_{Ed,max V} = 13332 \text{ kN} \Rightarrow \text{přepočet MSÚ}$$

### Průřezu nad podporou D

$$N_{pk,kz} = -63,559 \text{ MN}$$

$$M_{pk,kz} = 23,431 \text{ MNm}$$

$$M_{6.10a} = -47,846 \text{ MNm}$$

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1452,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Základní napětí} \quad \sigma_p^0 = \sigma_p - E_p * \sigma_{cp} / E_c$$

$$\sigma_p = 1239 \text{ MPa}$$

$$A_p = 0,0513 \text{ m}^2$$

Napětí v místě předpínací výztuže od charakteristické kombinace

$$\sigma_{cp} = \frac{-63,559}{12,771} - \frac{-26,373}{4,9798} = 0,319 \text{ MPa}$$

Základní napětí

$$\sigma_p^0 = 1239 - \frac{195}{34} * 0,319 = 1237,1 \text{ MPa}$$

Základní předpínací síla

$$P_p = \sigma_p^0 * A_p = 1237,1 * 0,0513 = 63465 \text{ kN}$$

Přetvoření předpínací výztuže při základním napětí

$$\epsilon_p^0 = \sigma_p^0 / E_p = 1237,1 / 195000 = 6,3443 \text{ ‰} \quad \epsilon_{uk} = 22,22 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pd} = f_{pd} / E_p = 1452,2 / 195000 = 7,447 \text{ ‰} \quad \epsilon_{ud} = 20,00 \text{ ‰}$$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\epsilon_{ud} - \epsilon_{pd}}{\epsilon_{uk} - \epsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) =$$
$$= 1452,2 + \frac{20 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1592,6 \text{ MPa}$$

$$\Delta \varepsilon_p = \Delta \varepsilon_{cp} = -\sigma_{cp} / E_c = 0,319 / 195000 = 1,64E-06$$

$$\Delta \sigma_p = \Delta \varepsilon_p * E_p = 2E-06 * 195000 = 0,3193 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1237,1 = 355 \text{ MPa}$$

Limitní výšky tlačené oblasti:

$$x_{lim} = d * \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_p^0 + |\varepsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{20 - 6,3 + 3,5} = 321,32 \text{ mm}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{pe} - \varepsilon_p^0 + |\varepsilon_{cu}|} = 1575 * \frac{3,5}{7,4 - 6,3 + 3,5} = 1197,7 \text{ mm}$$

1. iterace  $x = x_{lim} = 321,32 \text{ mm}$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 0,9963 * 19,833 = 19759 \text{ kN}$$

$$x_c = 257 \text{ mm}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1592,6 - 1237,1 = 355,43 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta \sigma_p^0 = 0,0513 * 355,43 = 18,233 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 0,9963 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 0,9963 * 19,833 = 19,759 \text{ MN}$$

Silová podmínka rovnováhy:

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} + H_{Ed} = 0$$

$$19,759 - 18,233 - 63,465 + 13,332 = -48,607 \text{ MN} \neq 0$$

=> dojde k přetržení výztuže => 2. iterace

2. iterace  $x = 894 \text{ mm}$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,1212 * 19,833 = 61904 \text{ kN}$$

$$x_c = 715 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p^0 + \Delta \varepsilon^p = 8,73$$

$$f_{pd,u} = f_{pd} + \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{pd}} * \left( \frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) =$$

$$= 1452,2 + \frac{8,7 - 7,4}{22 - 7,4} * \left( \frac{1860}{1,15} - 1452,2 \right) = 1466,5 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd,u} - \sigma_p^0 = 1466,5 - 1237,1 = 229,39 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_p = A_p * \Delta \sigma_p^0 = 0,0513 * 229 = 11,768 \text{ MN}$$

$$A_{cc} = 3,1212 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd} = 3,1212 * 19,833 = 61,904 \text{ MN}$$

$$F_{cc} + \Delta F_p + N_{pp0} + H_{Ed} = 0$$

$$61,904 - 11,768 - 63,465 + 13,332 \approx 0,00 \text{ MN}$$

=> vyčíslení momentu  $M_{Rd}$

$$x_1 = 321,32 \text{ mm} < x = 894 \text{ mm} < x_2 = 1197,7 \text{ mm}$$

$$z_{cc} = 0,654 \text{ m}$$

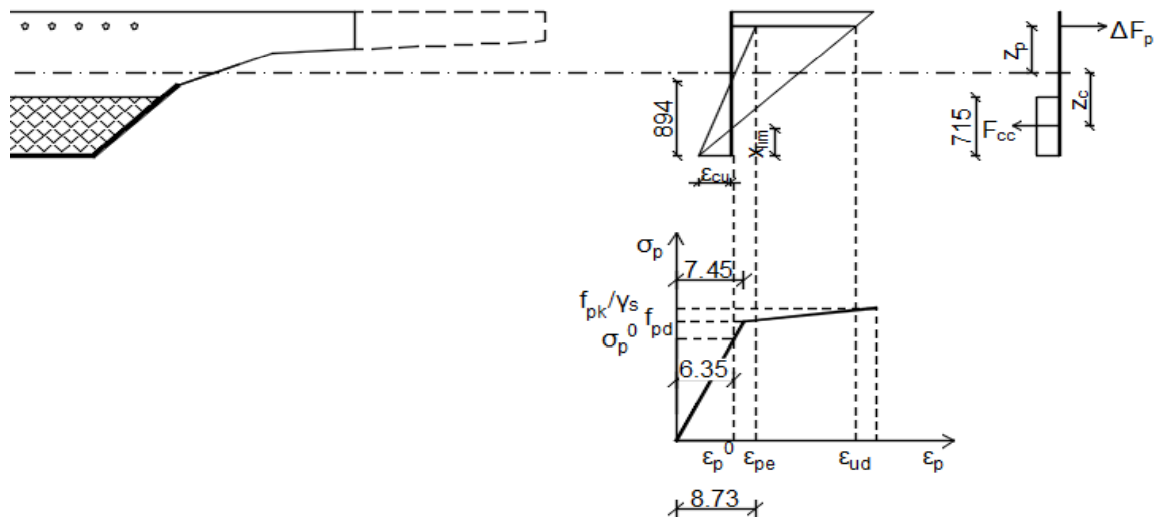
$$z_p = 0,563 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + \Delta F_p * z_p = 61,904 * 0,654 + 11,768 * 0,563 = 47,11 \text{ MNm}$$

$$M_{Ed} = M_{6.10a} + M_{pk,kz}$$

$$-47,846 - 23,431 = -24,415 \text{ MNm}$$

$$M_{Rd} = 47,11 \text{ MNm} > M_{Ed} = 24,415 \text{ MNm}$$



## 12. 5 Podélný smyk

- v tažené horní desce nad podporou D

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f * \Delta x)$$

$$h_f = 0,5 \text{ m}$$

$\Delta x = 1,5 \text{ m}$  ... max 1/2 vzdálenosti mezi body s nulovým a maximálním ohybovým momentem nebo vzdálenost náprav

$$\Delta F_d = \Delta F_{tot} * A_1/A_{tot} = \Delta M_e/z * A_1/A_{tot}$$

$$A_1 = b_{eff,i} * h_f = 0,9 * 0,5 = 0,45 \text{ m}^2$$

$$A_{tot} = b_{eff} * h_f = 9,35 * 0,5 = 4,675 \text{ m}^2$$

$\Delta M_e = 11917 \text{ kNm}$  ... změna momentu na délce  $\Delta x$

$$z = 1,4175 \text{ m}$$

$$\Delta F_d = 11917 / 1,4 * 0,5 / 4,675 = 809,24 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 809,24 / (0,5 * 1,5) = 1,079 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 1,079 \text{ MPa} < k * f_{ctd} = 0,4 * 1,5 = 0,587 \text{ MPa}$$

=> návrh smykové výztuže

$$A_{sf,min} \geq \frac{v_{Ed} * h_f * s}{f_{yd} * \cotg \theta_f} = \frac{1,0790 * 0,5 * 0,1}{434,78 * 1} = 1,241E-04 \text{ m}^2/\text{m}$$

Únosnost tlačené diagonály

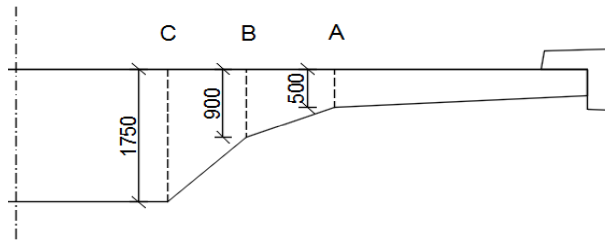
$$\theta_f = 45^\circ$$

$$v_{Ed} \leq v * f_{cd} * \sin \theta_f * \cos \theta_f = 0,5 * 19,833 * \sin 45 * \cos 45 = 5,1 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd} = 5,1 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,079 \text{ MPa}$$

=> vyhovuje

## 12. 6 Příčný směr - ohyb



Označení řezů pro posouzení příčného ohybu

### Řez A

$$M_{Ed} = 319,5 \text{ kNm}$$

$$d = 0,5 - 0,06 = 0,44 \text{ m}$$

$$A_{st,req} = b * d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}}} \right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 1 * 0,4 \frac{19,833}{434,78} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 0,3195}{1 * 0,1936 * 19,833}} \right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 0,0017 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,0017 * 434,78}{1 * 0,8 * 19,833} = 0,0478 \text{ m}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0478} (0,4 - 0,0478) = 28,687 \text{ ‰} \geq \epsilon_{yd} = 2,2 \text{ ‰}$$

$$z = d - 0,5 * 0,8 * x = 0,44 - 0,5 * 0,8 * 0,0478 = 0,4209 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{st} * f_{yd} * z = 0,0017 * 434,78 * 0,4209 = 319,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 319,5 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 319,5 \text{ kNm}$$

### Řez B

$$M_{Ed} = 654,75 \text{ kNm}$$

$$d = 0,9 - 0,06 = 0,84 \text{ m}$$

$$A_{st,req} = b * d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}}} \right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 1 * 0,8 \frac{19,833}{434,78} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 0,6548}{1 * 0,7056 * 19,833}} \right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 0,0018 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,0018 \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 19,833} = 0,0503 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0503} (0,8 - 0,0503) = 54,912 \% \geq \varepsilon_{yd} = 2,2 \%$$

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 0,84 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0503 = 0,8199 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 0,0018 \cdot 434,78 \cdot 0,8199 = 654,750 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 654,75 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 654,75 \text{ kNm}$$

### Řez C

$$M_{Ed} = 1055 \text{ kNm}$$

$$d = 1,8 - 0,06 = 1,69 \text{ m}$$

$$A_{st,req} = b \cdot d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}}}\right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 1 \cdot 1,7 \frac{19,833}{434,78} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,055}{1 \cdot 2,8561 \cdot 19,833}}\right)^{0,5} =$$

$$A_{st,req} = 0,0014 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,0014 \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 19,833} = 0,0397 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0397} (1,7 - 0,0397) = 145,43 \% \geq \varepsilon_{yd} = 2,2 \%$$

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 1,69 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0397 = 1,6741 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 0,0014 \cdot 434,78 \cdot 1,6741 = 1055 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1055 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1055 \text{ kNm}$$

## 12. 7 Příčný směr - smyk

### Řez A

$$V_{Ed} = 205,14 \text{ kN}$$

Únosnost bez smykové výztuže

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,12$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} = 1 + (200 / 440) = 1,674 \leq 2,0 \quad d = 0,44 \text{ m}$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d = 0,0057 \quad b_w = 1 \text{ m}$$

$$A_{sl} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$V_{rd,c} = [C_{rd,c} * k * (100\rho_l * f_{ck})^{1/3}] b_w * d \geq v_{min} * b_w * d$$

$$= [0,12 * 1,674 * (100 * 0,0057 * 35)^{1/3}] * 1 * 0,44 = 239,49 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,674^{3/2} * 35^{1/2} = 0,449 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} * b_w * d = 0,449 * 1 * 0,44 = 197,36 \text{ kN}$$

$$V_{rd,c} = 239,49 \text{ kN} > v_{Rd,c,min} = 197,36 \text{ kN}$$

$$V_{rd,c} = 239,49 \text{ kN} > V_{Ed} = 205,14 \text{ kN}$$

=> návrh konstrukční smykové výztuže

### Únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * (\cotg \theta + \cotg \alpha) / (1 + \cotg^2 \theta)$$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$z = 0,40 \text{ m}$$

$$v_1 = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6$$

$$\cotg \theta = 1,0$$

$$\cotg \alpha = 0$$

$$A_s = 0,035 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / (A_c + A_s * E_s/E_c) = 0$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 1 * 0,4 * 0,6 * 19833 * (1,0 + 0) / (1 + 1) = 2356,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 2356,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 205,14 \text{ kN}$$

### Návrh výztuže:

Spony

příčný směr

Profil 12 mm

s = 0,25 m

Střížnost 10

podélný směr

$$A_{sw} = 1130,97 \text{ m}^2$$

s = 0,25 m

### Kontrola stupně smykového vyztužení

$$\rho_w = A_{sw} / (s * b_w * \sin \alpha) \geq \rho_{w,min} = 0,08 * \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

$$\rho_w = 0,0045 \geq \rho_{w,min} = 0,000947$$

### Maximální vzdálenost smykové výztuže

$$s_{l,max} \leq 0,75 * d * (1 + \cotg \alpha) = 0,75 * 0,440 * (1 + \cotg 90) = 0,33 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 330 \text{ mm} > s_l = 250 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} \leq 1,5 * d * (1 + \cotg \alpha) = 1,5 * 0,440 = 0,66 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 660 \text{ mm} > s_l = 250 \text{ mm}$$



## Řez B

$$V_{Ed} = 298 \text{ kN}$$

Únosnost bez smykové výztuže

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,12$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} = 1 + (200 / 840) = 1,488 \leq 2,0 \quad d = 0,84 \text{ m}$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w * d = 0,003 \quad b_w = 1 \text{ m}$$

$$A_{sl} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$V_{rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100\rho_l * f_{ck})^{1/3}] b_w * d \geq v_{min} * b_w * d$$
$$= [0,12 * 1,488 * (100 * 0,003 * 35)^{1/3}] * 1 * 0,84 = 327,56 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,488^{3/2} * 35^{1/2} = 0,376 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} * b_w * d = 0,376 * 1 * 0,84 = 315,69 \text{ kN}$$

$$V_{rd,c} = 327,56 \text{ kN} > V_{Rd,c,min} = 315,69 \text{ kN}$$

$$V_{rd,c} = 327,56 \text{ kN} > V_{Ed} = 298 \text{ kN}$$

=> návrh konstrukční smykové výztuže

Únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * (\cotg \theta + \cotg \alpha) / (1 + \cotg^2 \theta)$$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$A_s = 0,035 \text{ m}^2$$

$$z = 0,76 \text{ m}$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / (A_c + A_s * E_s / E_c) = 0$$

$$v_1 = 0,6 * (1 - f_{ck} / 250) = 0,6$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1$$

$$\cotg \theta = 1,0$$

$$\cotg \alpha = 0$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 1 * 0,8 * 0,6 * 19833 * (1,0 + 0) / (1 + 1) = 4498,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 4498,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 298 \text{ kN}$$

Návrh výztuže:

Spony

příčný směr

Profil 12 mm

s = 0,25 m

Střížnost 10

podélný směr

$$A_{sw} = 1130,97 \text{ m}^2$$

s = 0,25 m

Kontrola stupně smykového vyztužení

$$\rho_w = A_{sw} / (s * b_w * \sin \alpha) \geq \rho_{w,min} = 0,08 * \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

$$\rho_w = 0,0045 \geq \rho_{w,min} = 0,000947$$

### Maximální vzdálenost smykové výztuže

$$s_{l,max} \leq 0,75 * d * (1 + \cotg \alpha) = 0,75 * 0,840 * (1 + \cotg 90) = 0,63 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 630 \text{ mm} > s_l = 250 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} \leq 1,5 * d * (1 + \cotg \alpha) = 1,5 * 0,840 = 1,26 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 1260 \text{ mm} > s_l = 250 \text{ mm}$$

## 12. 8 Posouzení v místě bodové podpory

### Posouzení na soustředný tlak

$b_1 = 1,1 \text{ m}$	pevnost betonu v soustředném tlaku
$b_2 = 2,5 \text{ m}$	$\sigma_{st} = f_{cd} * (A_{c2}/A_{c1})^{0,5} \leq 3,0 * f_{cd}$
$A_{c1} = 1,2 \text{ m}^2$	45 MPa $\leq$ 59,5 MPa
$A_{c2} = 6,3 \text{ m}^2$	

$$F_{rd,u} = A_{c0} * \sigma_{st} = 1,2 * 45 = 54542 \text{ kN} \geq R_{ed} = 23777 \text{ kN}$$

### Posouzení na příčný tah

Zcela nespojitá oblast

$$T = \frac{1}{4} (1 - 0,7a/h) * F = \frac{1}{4} (1 - 0,7 * \frac{1,1}{1,75}) * 23777 = 3328,8 \text{ kN}$$

Příčný směr

$$A_{s,req} = T / \sigma_{sd} = 3328,8 / 434,78 = 7656,2 \text{ mm}^2$$

Návrh výztuže:

Spony

Profil 22 mm

n 21

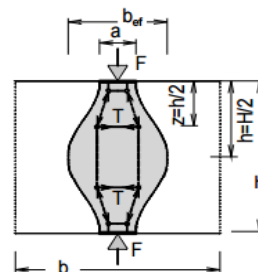
$$A_{sw} = 7982,79 \text{ mm}^2$$

příčný směr

s = 0,25 m

podélný směr

s = 0,25 m



$$V_{Rd,max} = 3470,78 \text{ kN} > V_{Ed} = 3328,8 \text{ kN}$$

### 13. Návrh spodní stavby a založení

#### 13.1 Materiály

##### Beton

Třída betonu: C 30 / 37 XF2 + XD1 + XC4

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,95} = 3,5 \text{ MPa}$$

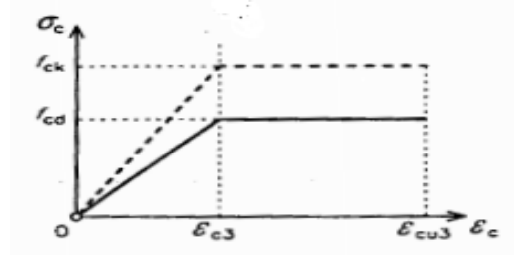
$$f_{ctd} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$



Návrhový bilineární pracovní diagram betonu v tlaku

Návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 17 \text{ MPa}$$

##### Betonářská výztuž

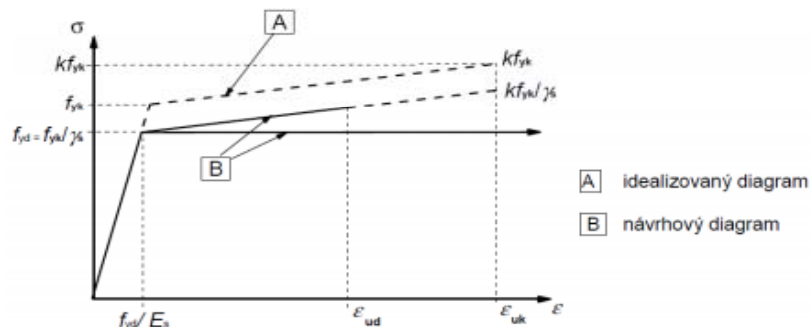
$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

Návrhové napětí výztuže

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



Pracovní diagram betonářské výztuže

##### Krytí betonářské výztuže

Stupeň vlivu prostředí: XF2 + XD1 + XC4

Navrhovaná životnost: 100 let

$$c_{min,b} = 32 \text{ mm}$$

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

$$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$$

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

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

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

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}) = 50 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$$

### 13. 2 Návrh pilíře D

Vnitřní síly pro návrhovou kombinaci

$$N_{Ed} = 27667 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 6493,5 \text{ kNm}$$

Vliv účinků 1. řádu, vliv případných imperfekcí konstrukce

$$l_0 \approx l = 11,24 \text{ m}$$

$$e_i = l_0 / 330 = 34,061 \text{ mm}$$

Výpočtový moment dle teorie 1. řádu

$$M_{0Ed} = N_{Ed} * (M_{Ed} / N_{Ed} + e_i) = 27667 * (6493,5 / 27667 + 0,0341) =$$

$$M_{0Ed} = 7435,9 \text{ kNm}$$

Uvažujeme zjednodušený průřez -  $b = h = 1,6\text{m}$

$$h = 1,6 \text{ m} \quad \Phi_s = 28 \text{ mm}$$

$$b = 1,6 \text{ m} \quad \Phi_{sw} = 16 \text{ mm}$$

$$A_c = 8,0425 \text{ m}^2$$

$$d_1 = d_2 = c + \Phi/2 = 60 + 14 = 74 \text{ mm}$$

$$d = b - d_1 - \Phi_{sw} = 1,6 - 0,074 - 0,016 = 1,51 \text{ m}$$

$$z = b/2 - d_1 = 1,6 / 2 - 0,074 = 0,726 \text{ m}$$

Výztuž

$$12 \Phi 28 \quad A_{s1} = 7,4E-03 \text{ m}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} * f_{yd} = 0,0074 * 434,78 = 3,2126 \text{ MN}$$

$$12 \Phi 28 \quad A_{s2} = 7,4E-03 \text{ m}^2$$

$$F_{s2} = A_{s1} * f_{yd} = 0,0074 * 434,78 = 3,2126 \text{ MN}$$

#### Výpočet bodů interakčního diagramu - $M_{Ed,0,z}$

**Bod 0** - centrický tlak

$$N_{Rd0} = (b * h * \eta * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s) = 1,6 * 1,6 * 1,0 * 17000 + 1,5E-02 * 400000 =$$
$$= 49431 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1** - nulové přetvoření tažené výztuže

$$\epsilon_{s1} = 0$$

$$F_{s1} = 0$$

$$N_{Rd1} = \lambda * b * h * \eta * f_{cd} + F_{s2} = 0,8 * 1,6 * 1,5 * 17000 + 3212,6$$
$$= 36070 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = \lambda * b * h * \eta * f_{cd} * (h/2 - \lambda d) / 2 + F_{s2} * z_2 = 0,8 * 1,6 * 1,5 * 17000 * (0,8 -$$
$$0,4 * 1,51) / 2 + 3212,6 * 0,726 = 5552,4 \text{ kN}$$

**Bod 2** - napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu

$$\xi_{bal,1} = 0,617$$

$$x = x_{bal,1} = \xi_{bal,1} * d = 0,617 * 1,51 = 0,9317 \text{ m}$$

$$\epsilon_{cd} / x_{bal,1} = \epsilon_{s2} / x_{bal,1} - d_2$$

$$\epsilon_{s2} = 0,0035 * (1 - 0,1 / 0,9317) = 0,0032$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200000 = 0,0022$$

$$\epsilon_{s2} > \epsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$N_{Rd2} = (\lambda * x_{bal,1} * b * \eta * f_{cd} + \Delta F_s) = 0,8 * 0,9317 * 1,6 * 17000 = 20273 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = (\lambda * x_{bal,1} * b * \eta * f_{cd} * (h/2 - \lambda x_{bal,1}) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2) = 0,8 * 0,9317 * 1,6 * 17000 * (0,8 - 0,4 * 0,9317) + 3212,6 * 0,726 + 3212,6 * 0,726 = 13328 \text{ kNm}$$

**Bod 3** - prostý ohyb

$$\sigma_{s2}^2 * A_{s2} - \sigma_{s2} (A_{s1} f_{yd} + A_{s2} \epsilon_{cd} E_s) + \epsilon_{cd} E_s (A_{s1} f_{yd} - 0,8 b f_{cd} d_2) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * 7,4E-03 - \sigma_{s2} * (7,4E-03 * 434,78 + 7,4E-03 * 0,0035 * 200000) + 0,0035 * 200000 * (7,4E-03 * 434,78 - 0,8 * 1,6 * 17 * 0,074) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 * 7,4E-03 - \sigma_{s2} * 8,4E+00 + 1,1E+03 = 0$$

$$\sigma_{s2} = 154,92 \text{ MPa}$$

$$x = (F_{s1} - F_{s2}) / (\lambda b \eta f_{cd}) = (3,2126 * 434,78 - 3,2126 * 154,92) / (0,8 * 1,6 * 17000) = 0,0413 \text{ m}$$

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = \lambda b x f_{cd} * (h/2 - 0,4x) + A_{s2} \sigma_{s2} z_{s2} + A_{s1} f_{yd} z_{s1} = 0,8 * 1,6 * 0,0413 * 17000 * (0,8 - 0,4 * 0,0413) + 7,4E-03 * 154922 * 0,726 + 7,4E-03 * 434783 * 0,726 = 3867,84 \text{ kNm}$$

**Bod 4** - nulové přetvoření tlačené výztuže

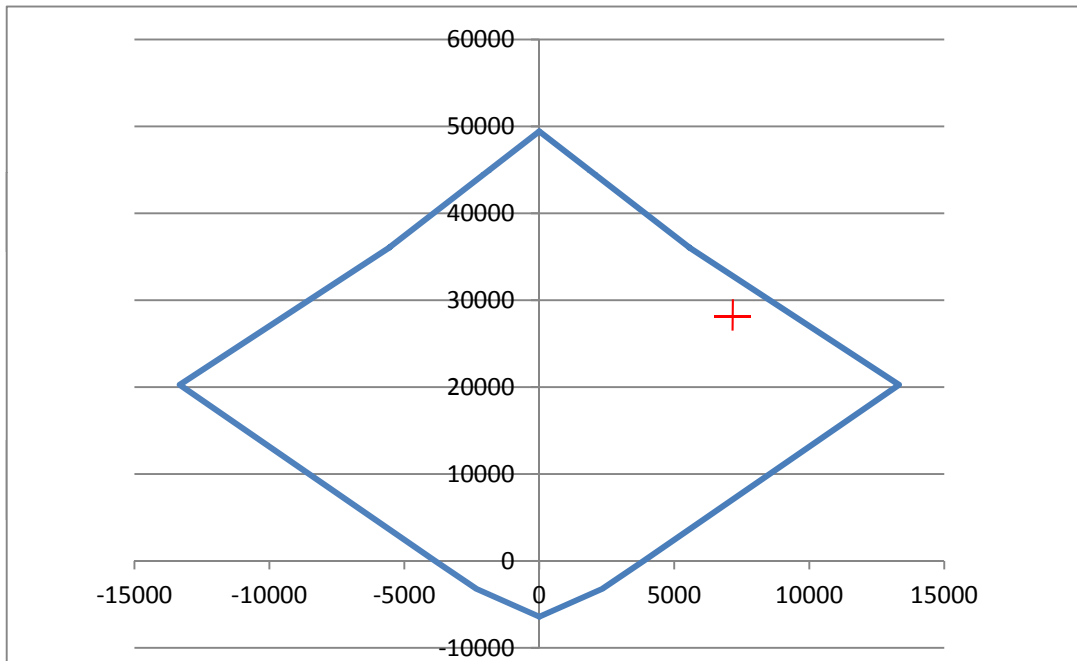
$$N_{Rd4} = F_{s1} = -3212,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 = 3212,6 * 0,726 = 2332,4 \text{ kNm}$$

**Bod 5** - prostý tah

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 3212,6 + 3212,6 = -6425,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd5} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$



### 13. 3 Založení pilře D

Celková únosnost piloty  $R_{pu} = R_{bu} + R_{su}$

#### Únosnost paty piloty

$$R_{bu} = k_1 \cdot A_b \cdot R_d = \quad \phi_d = 13 \text{ }^\circ$$

$$k_1 = 1,15 \text{ pro } l > 6\text{m} \quad c_d = 2 \text{ kPa}$$

$$A_b = \pi \cdot d^2/4 = \pi \cdot 1,2^2/4 = 1,131 \text{ m}^2 \quad \gamma_1 = 19,5 \text{ kN/m}^3$$

$$R_d = 1,2 \cdot c_d \cdot N_{cd} + (1 + \sin \phi) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_{dd} + 0,7 \gamma_d \cdot d/2 \cdot N_{bd}$$

$$N_{dd} = \exp(\pi \cdot \text{tg} \phi_d) \cdot \text{tg}^2(45 + \phi_d/2) = \exp(\pi \cdot \text{tg } 13) \cdot \text{tg}^2(45 + 6,5) = 3,2642 \text{ kN}$$

$$N_{bd} = 1,5 \cdot (N_{dd} - 1) \cdot \text{tg} \phi_d = 1,5 \cdot (3,3 - 1) \cdot 0,2 = 0,7841 \text{ kN}$$

$$N_{cd} = (N_{dd} - 1) \cdot \text{cotg} \phi_d = (3,3 - 1) \cdot \text{cotg } 13 = 9,8075 \text{ kN}$$

$$R_d = 1433,4 \text{ kN}$$

#### Únosnost pláště piloty

$$R_{su} = \sum u_i \cdot h_i \cdot f_{si} = 3,8 \cdot 18 \cdot 66 = 4461 \text{ kN}$$

$$f_{si} = \sigma_{xi} \text{tg}(\phi_d/\gamma_{r1}) + (c_d/\gamma_{r1}) = 66 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori} = 1,2 \cdot 351 = 421 \text{ kPa}$$

Únosnost jedné piloty:

$$R_{pu} = R_{bu} + R_{su} = 1433,4 + 4461 = 5894,5 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 28435 \text{ kN} \Rightarrow \text{na jednu pilotu zjednodušeně uvažujeme } 28435 / 8 = 3554,4 \text{ kN}$$

$$R_{pu} = 5894,5 > R_{ed} = 3554,4 \text{ kN}$$

$\Rightarrow$  navržená skupina pilot vyhovuje

## 14. Seznam použitých zkratk

$f_{ck}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní
$f_{cm}$	průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
$\gamma_c$	dílčí součinitel betonu pro mezní stavy únosnosti
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$\alpha_{cc}$	součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování
$f_{ctk;0,05}$	dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu
$f_{ctk;0,95}$	horní hodnota charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu
$f_{ctm}$	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
$E_{cm}$	sečnový modul pružnosti betonu
$E_c$	tečnový modul pružnosti obyčejného betonu při napětí $\sigma_c$ a ve stáří 28 dní
$\nu$	Poissonův součinitel
$\alpha$	součinitel teplotní délkové roztažnosti
$\epsilon_{c2}$	mezní přetvoření betonu pro dostředně tlačené prvky
$\epsilon_{cu3}$	mezní přetvoření betonu pro částečně ohýbané prvky
$f_{yk}$	mezní napětí betonářské výztuže
$\gamma_s$	dílčí součinitel betonářské výztuže pro mezní stavy únosnosti
$f_{yd}$	návrhové napětí betonářské výztuže
$f_{pk}$	charakteristická pevnost předpínací výztuže v tahu
$f_{p0,1k}$	smluvní mez kluzu
$\gamma_p$	dílčí součinitel předpínací výztuže pro mezní stavy únosnosti
$f_{pd}$	návrhové napětí předpínací výztuže
$E_p$	Modul pružnosti předpínací výztuže
$C_{nom}$	nominální krycí vrstva výztuže
$C_{min}$	minimální krycí vrstva výztuže
$\Delta C_{dev}$	přídavek na návrhovou odchylku
$C_{min,b}$	minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$C_{min,dur}$	minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí
$\Delta C_{dur,y}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta C_{dur,st}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta C_{dur,add}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$\gamma_{G,j}$	dílčí součinitel j-tého stálého zatížení
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení
$\gamma_p$	dílčí součinitel zatížení od předpětí
$P$	příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
$\gamma_{Q,1}$	dílčí součinitel dominantního proměnného zatížení
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota dominantního proměnného zatížení
$\gamma_{Q,i}$	dílčí součinitel vedlejšího i-tého proměnného zatížení
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota i-tého proměnného zatížení
$\psi_0$	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení

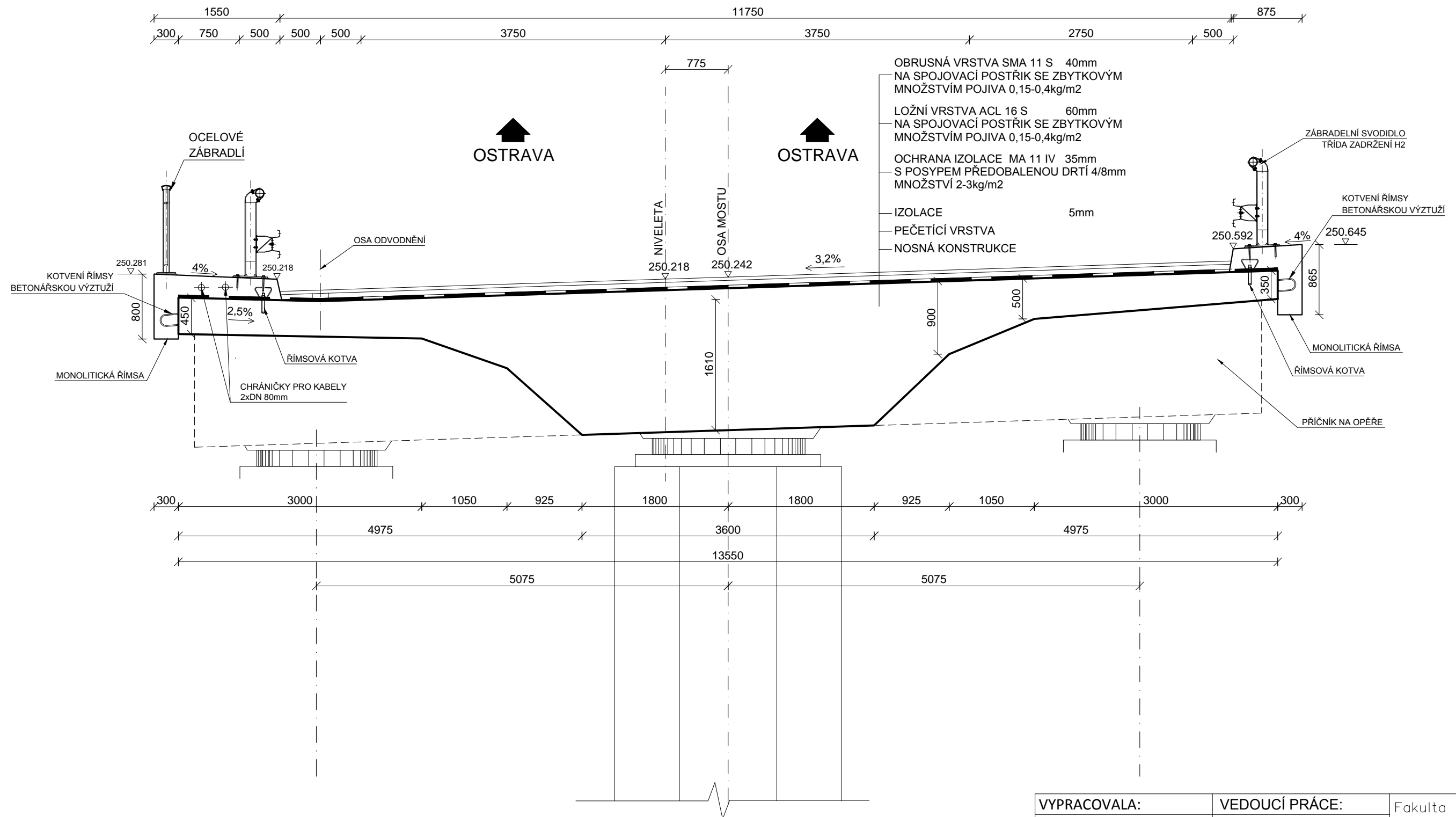
$\psi_1$	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
$\psi_2$	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
$\xi$	redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G



## Příloha P2 - Výkresy

# PŘÍČNÝ ŘEZ

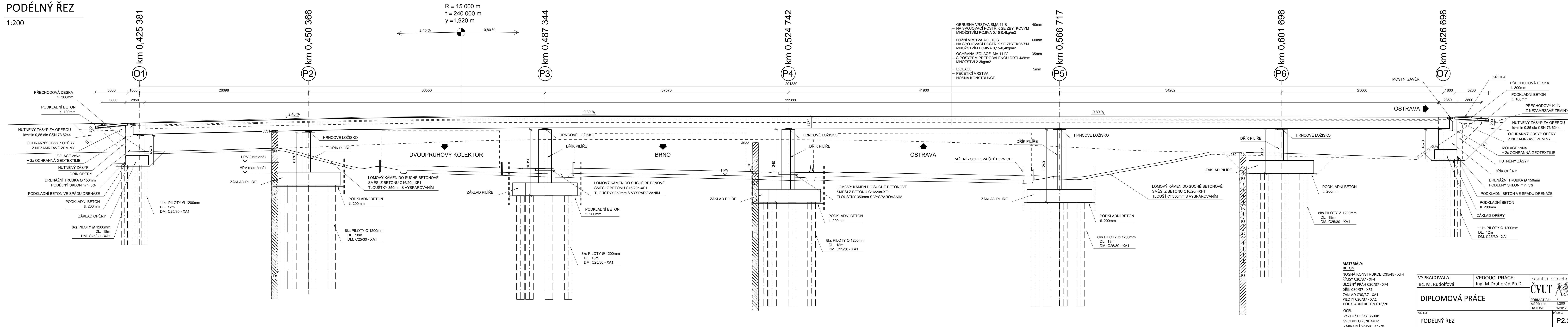
1:50



VYPRACOVALA: Bc. M. Rudolfová	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. M. Drahorád Ph.D.	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
<b>DIPLOMOVÁ PRÁCE</b>		FORMÁT A4: 2
		MĚŘÍTKO: 1:50
		DATUM: 1/2017
VÝKRES: PŘÍČNÝ ŘEZ		PŘÍLOHA P2.1

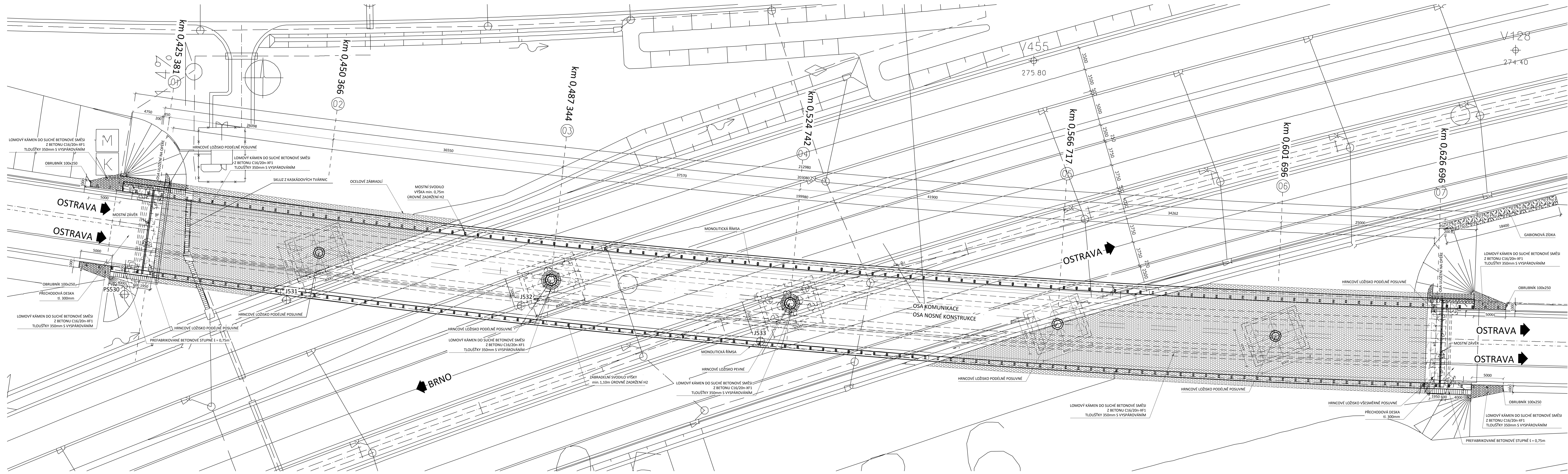
# PODÉLNÝ ŘEZ

1:200



**MATERIÁLY:**  
 BETON  
 NOSNÁ KONSTRUKCE C35/45 - XF4  
 RÍMSY C30/37 - XF4  
 ÚLOŽNÝ PRAH C30/37 - XF4  
 DŘÍK C30/37 - XF2  
 ZÁKLAD C30/37 - XF1  
 PILOTY C30/37 - XA1  
 PODKLADNÍ BETON C16/20  
 OCELOVÝ VÝZTUŽ DESKY B5008  
 SVODIDLO ZSNH4/H2  
 ZÁBRADLÍ S235J0, A4-70

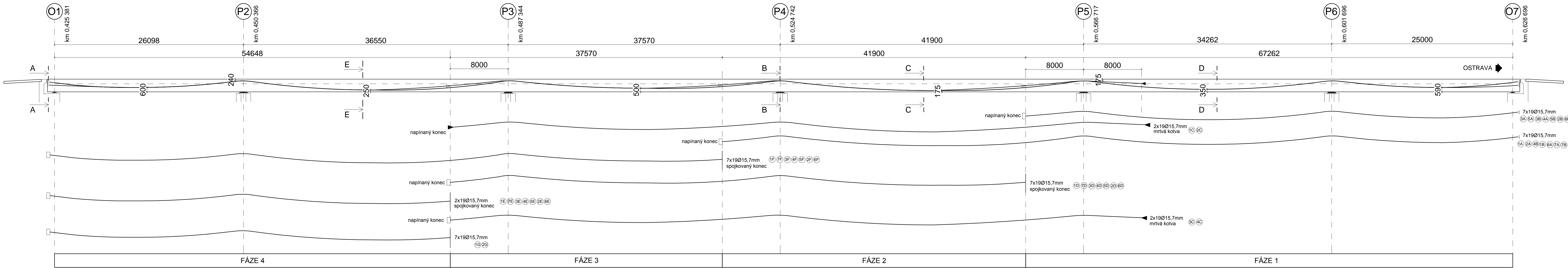
VYPRACOVALA: Bc. M. Rudolfová	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. M. Drahorád Ph.D.	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
<b>DIPLOMOVÁ PRÁCE</b>		FORMÁT A4: 7
		MĚŘÍTKO: 1:200
VÝKRES: PODÉLNÝ ŘEZ		DATUM: 1/2017
		PŘÍLOHA P2.2



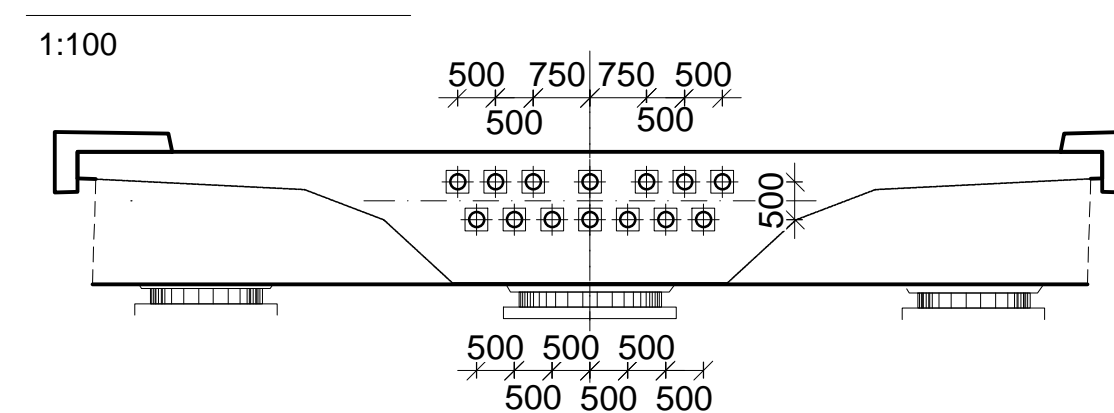
**PŮDORYS**  
1:200

**MATERIÁLY:**  
 BETON  
 NOSNÁ KONSTRUKCE C35/45 - XF4  
 ŘÍMSY C30/37 - XF4  
 ÚLOŽNÝ PRÁH C30/37 - XF4  
 DÍK C30/37 - XF2  
 ZÁKLAD C30/37 - XA1  
 PÍLOTY C30/37 - XA1  
 PODKLADNÍ BETON C16/20  
 OCEĽ  
 VÝZTUŽ DESKY B5008  
 SVOIDLO ZSNH4/H2  
 ZÁBRADLÍ S235/0, A4-70

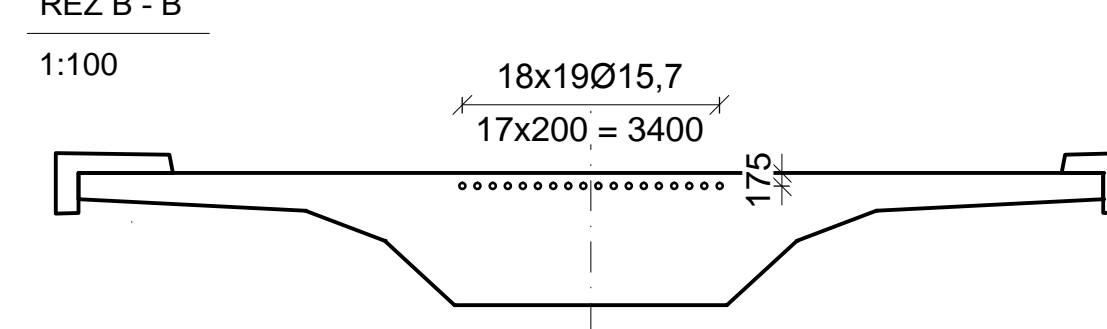
VYPRACOVALA: Bc. M. Rudořilová	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. M. Drahorád Ph.D.	Fakulta stavební <b>CVUT</b> FORMÁT A4: 12 MĚŘÍTKO: 1:200 DATUM: 3/2017 PRŮBĚH: PŮDORYS
-----------------------------------	--	---



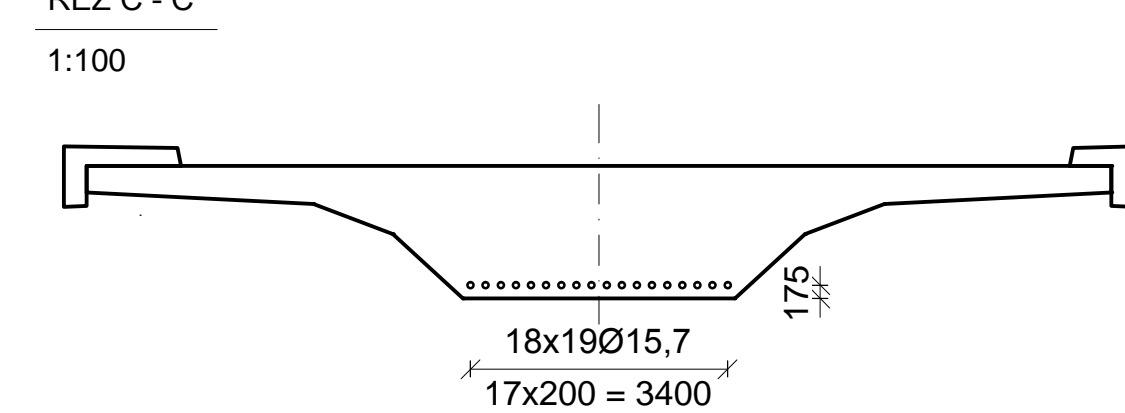
POHLED NA ČELO A - A



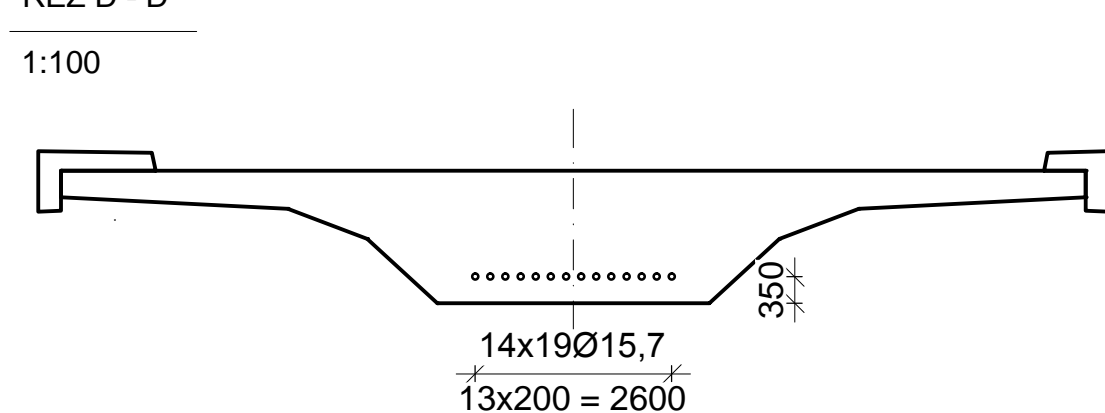
ŘEZ B - B



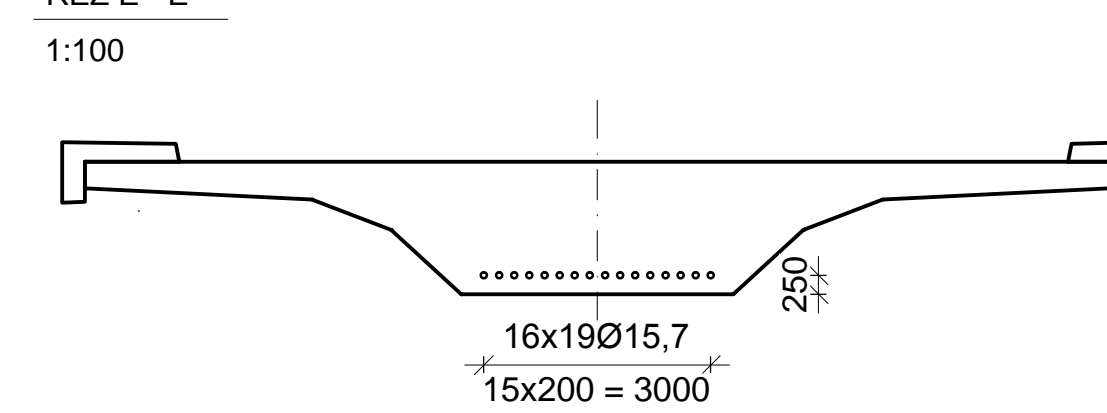
ŘEZ C - C



ŘEZ D - D



ŘEZ E - E



**Poznámky**

- Materiály  
 Beton: Nosná konstrukce C35/45  
 Předpínací výtěž Lana 1860 - S7 - 15,7 - A  
 Betonářská výtěž B500B
- Kotevní napětí  $\sigma_{mp} = 1473$  MPa
- Čas předpětí  $t = 3$  dny
- Směr napínání - z jednoho konce
- Krytí betonářské výtěž: 60mm
- Krytí předpínací výtěž: 90mm

**Výkaz předpínací výtěž**

Lano	Ø lana [mm]	Počet lan v kabelu [kg]	Délka kabelu [m]	Délka lana [m]	Hmotnost celkem [kg]
1A	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
2A	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
3A	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
4A	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
5A	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
6A	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
7A	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
1B	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
2B	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
3B	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
4B	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
5B	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
6B	15,7	19	65,091	1236,729	1456,2
7B	15,7	19	105,301	2000,719	2355,8
1C	15,7	19	56,21	1067,99	1257,6
2C	15,7	19	56,21	1067,99	1257,6
1D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
2D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
3D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
4D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
5D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
6D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
7D	15,7	19	87,012	1653,228	1946,7
1E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
2E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
3E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
4E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
5E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
6E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
7E	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
1F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
2F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
3F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
4F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
5F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
6F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
7F	15,7	19	91,611	1740,609	2049,6
1G	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
2G	15,7	19	50,037	950,703	1119,5
Celková hmotnost					<b>67248,6</b>

7. Pořadí napínání kabelů:
- 7.1. fáze 1: 3A, 5A, 3B, 5B, 2A, 4A, 2B, 6B
  - 7.2. fáze 2: 1A, 2A, 1B, 2B, 6A, 7A, 4B, 6B
  - 7.3. fáze 3: 1C, 2C, 1D, 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, 7D
  - 7.4. fáze 4: 3C, 4C, 1E, 2E, 3E, 4E, 5E, 6E, 7E, 1F, 2F, 3F, 4F, 5F, 6F, 7F, 1G, 2G

VYPRACOVALA: Bc. M. Rudolfová  
 VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. M. Drahorád Ph.D.  
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
 SCHÉMA A TVAR PŘEDPÍNACÍ VÝTŽE

Fakulta stavební  
**ČVUT**  
 FORMÁT A4: 7  
 MĚŘÍTKO: 1:200/1:100  
 DATUM: 1/2017  
 PŘÍLOHA: P2.4