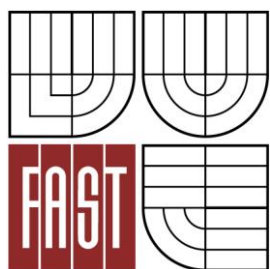




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# PŘEMOSTĚNÍ ŘEKY SVITAVY A TRATĚ ČD V BLANSKU

BRIDGE CROSSING OVER SVITAVA RIVER AND RAILWAY TRACK IN BLANSKO

A. ÚVODNÍ LISTY  
PREFATORY PAGES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETRA SMĚLÍKOVÁ

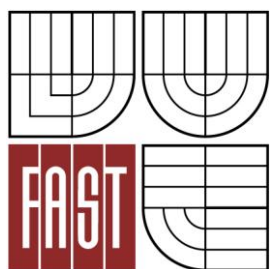
VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KŘIŽAN

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## PŘEMOSTĚNÍ ŘEKY SVITAVY A TRATĚ ČD V BLANSKU

BRIDGE CROSSING OVER SVITAVA RIVER AND RAILWAY TRACK IN BLANSKO

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

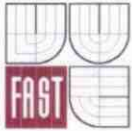
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KŘIŽAN

BRNO 2015




# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

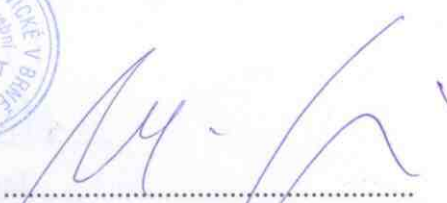
**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Petra Směliková  
**Název** Přemostění řeky Svitavy a tratě ČD v Blansku  
**Vedoucí diplomové práce** Ing. Lukáš Křížan  
**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2014  
**Datum odevzdání diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

  
.....  
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

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



### **Podklady a literatura**

Studie "Přemostění řeky Svitavy a koridoru SŽDC v Blansku", vypracované fy. Ing. Antonín Pechal, CSc.

Při zpracování se řiďte soustavou norem EC.

### **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Rozpracujte projekt přemostění řeky Svitavy a tratě ČD dle zadané studie. Jedná se o pětipolový ocelový trémový most se spráženou dolní mostovkou. Ve třech středních polích jsou trámy vyztuženy příhradovinou. Rozpětí polí jsou 18,5+30,525+44,4+30,525+18,5 m. Šikmosti uložení jsou 90° u opěr a pilířů 2 a 5, 58,196° u pilířů 3 a 4. Světlná šířka převáděné komunikace je 7,0 m, jednostranný chodník má šířku 3,0 m.

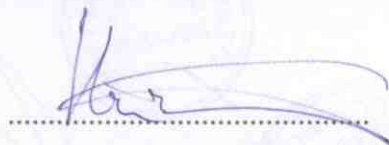
Požadované výstupy:

- 1) Technická zpráva
- 2) Půdorys
- 3) Podélné řezy
- 4) Příčné řezy
- 5) Detaily OK
- 6) Výkaz materiálu OK
- 7) Statický výpočet vrchní stavby

### **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Lukáš Křížan  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Předmětem diplomové práce je rozpracování studie přemostění řeky Svitavy a tratě ČD v Blansku. Jedná se o pětipolový ocelový trémový silniční most s dolní mostovkou, který převádí komunikaci III. třídy. Statický systém konstrukce je plnostěnný trém výšky 1,3m, který je ve třech středních polích vyztužen příhradovou konstrukcí s horním pasem a soustavou diagonál bez svislic. Výška hlavního nosníku v místě vyztužení příhradovinou je 4,75m. Rozpětí polí v ose komunikace je 18,5+30,525+44,4+30,525+18,5m. Mostovka je tvořena ocelovými příčníky spřaženými s železobetonovou deskou tl. 200mm. Volná šířka vozovky je 7,0m. Součástí mostu je pravostranný chodník na ocelových konzolách s volnou šířkou 3,0m. Jako materiál je použita ocel S355 a beton C30/37, ocel S460 je použita pouze pro trém v krajních polích mostu. Nosná konstrukce je posouzena v souladu s platnými technickými normami, tj. dle Eurokódů. Výpočet vnitřních sil je proveden pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2013.0.

## **Klíčová slova**

silniční most, dolní mostovka, ocelobetonová mostovka, spřažení, spojitý nosník, Protasův nosník, deska, příčník, trém, konzola, příhradová konstrukce, diagonála, styčník, svarový spoj, ocel, beton

## **Abstract**

The aim of the Diploma Thesis is elaboration of study of bridge crossing over the Svitava river and ČD railway track in Blansko. It concerns a five-pole steel beam road bridge with through-span which carries road of the third category. The static system of the construction is solved as solid-web beam of 1.3 meters height which is in three middle spans reinforced by truss construction with top chord and system of diagonals without verticals. The height of the main beam where reinforced by trusswork is 4.75 meters. The width of spans in the road axis is 18.5 + 30.525 + 44.4 + 30.525 + 18,5 metres. The bridge deck consists of steel cross beams bonded with reinforced concrete slab of 200 millimeters of thickness. The drive-through width of the roadway is 7.0 meters. The bridge is fitted with right-sided walkway placed on steel cantilevers. The walk-through width of the walkway is 3.0 meters. Material used is S355 Steel, C30/37 Concrete and S460 Steel which is used for marginal spans of the bridge. Load-bearing construction is assessed in compliance with current technical requirements laid down by European Directives, so called "Eurocodes". The calculation of inner powers is performed using the Scia Engineer 2013.1 software.

## **Keywords**

road bridge, through-span, reinforced concrete bridge deck, bonding, continuous beam, Protasův beam, slab, cross beam, beam, cantilever, truss construction, diagonal, panel joint, welded joint, steel, concrete

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Petra Smělíková. *Přemostění řeky Svitavy a tratě ČD v Blansku*. Brno, 20115. 133 s., 43 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Lukáš Křížan.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Petra Směliková

## **Poděkování**

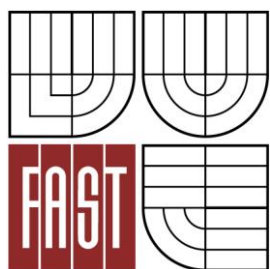
Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Lukáši Křížanovi za odborné vedení práce, cenné rady a vstřícné jednání při konzultacích.

Poděkování patří také mým blízkým za všeobecnou podporu při studiu a zejména rodičům za finanční podporu mého studia na vysoké škole v České republice i v zahraničí.





**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **PŘEMOSTĚNÍ ŘEKY SVITAVY A TRATĚ ČD V BLANSKU** BRIDGE CROSSING OVER SVITAVA RIVER AND RAILWAY TRACK IN BLANSKO

**B. TECHNICKÁ ZPRÁVA**  
TECHNICAL DOCUMENTATION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. PETRA SMĚLÍKOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. LUKÁŠ KŘIŽAN**

BRNO 2015

# OBSAH

|       |                                   |   |
|-------|-----------------------------------|---|
| 1     | ÚVOD .....                        | 4 |
| 1.1   | PODKLADY K DIPLOMOVÉ PRÁCI .....  | 4 |
| 1.2   | POPIS OBJEKTU.....                | 4 |
| 2     | ZÁKLADNÍ ÚDAJE .....              | 5 |
| 2.1   | IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY .....  | 5 |
| 2.2   | ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTĚ .....      | 5 |
| 3     | UMÍSTĚNÍ A ZDŮVODNĚNÍ STAVBY..... | 6 |
| 4     | GEOLOGICKÉ PODMÍNKY .....         | 7 |
| 5     | PROSTOROVÉ URČENÍ STAVBY.....     | 7 |
| 6     | TECHNICKÝ POPIS .....             | 7 |
| 6.1   | SMĚROVÉ ŘEŠENÍ .....              | 7 |
| 6.2   | VÝŠKOVÉ ŘEŠENÍ .....              | 7 |
| 6.3   | PŘÍČNÉ USPOŘÁDÁNÍ .....           | 7 |
| 6.4   | STATICKÝ SYSTÉM.....              | 7 |
| 6.5   | SPODNÍ STAVBA .....               | 8 |
| 6.6   | ULOŽENÍ OK.....                   | 8 |
| 6.7   | VYBAVENÍ MOSTU .....              | 8 |
| 6.7.1 | ODVODNĚNÍ .....                   | 8 |
| 6.7.2 | IZOLACE.....                      | 8 |
| 6.7.3 | ŘÍMSY .....                       | 8 |
| 6.7.4 | OSVĚTLENÍ .....                   | 9 |
| 6.7.5 | ZÁBRADLÍ .....                    | 9 |
| 6.7.6 | SVODIDLA.....                     | 9 |
| 6.7.7 | MOSTNÍ ZÁVĚRY .....               | 9 |

|       |                                |    |
|-------|--------------------------------|----|
| 7     | TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU .....   | 9  |
| 7.1   | HLAVNÍ NOSNÍKY .....           | 9  |
| 7.2   | MOSTOVKA .....                 | 10 |
| 7.2.1 | PŘÍČNÍKY .....                 | 10 |
| 7.2.2 | ŽB DESKA.....                  | 10 |
| 7.3   | CHODNÍKY .....                 | 10 |
| 8     | MATERIÁL.....                  | 11 |
| 8.1   | PROTIKOROZNÍ OCHRANA .....     | 11 |
| 9     | VÝROBA A MONTÁŽ.....           | 12 |
| 9.1   | NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ..... | 12 |
| 9.2   | NÁVRH MONTÁŽE .....            | 12 |
| 10    | ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA .....       | 14 |
| 11    | ÚDRŽBA MOSTU .....             | 14 |
| 12    | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 15 |
| 13    | SEZNAM OBRÁZKŮ.....            | 15 |

# 1 ÚVOD

Předmětem této diplomové práce je rozpracování studie návrhu silničního mostu v obci Blansko zhotovené fy. PIS PECHAL, s.r.o. [1]. Cílem práce je návrh a posouzení ocelové nosné konstrukce mostu, návrh spodní stavby není předmětem diplomové práce.



Obr. 1-1: Vizualizace mostu zhotovená firmou PIS PECHAL, s.r.o. [1]

## 1.1 PODKLADY K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Podkladem pro zpracování diplomové práce byla studie fy. PIS PECHAL, s.r.o. [1], ze které byly převzaty:

- směrové i výškové řešení převáděné komunikace,
- geometrie a statický systém mostu,
- velikosti průřezů pro předběžný návrh a posouzení.

## 1.2 POPIS OBJEKTU

Navrhovaným objektem je novostavba silničního mostu s dolní mostovkou, který převádí komunikaci III. třídy přes koridor ČD a řeku Svitavu v Blansku. Důvodem k jeho stavbě je problematické propojení dvou částí města Blanska, které je v současné době realizováno pouze úroňovým křížením právě s koridorem ČD. Navrhovaný most by dopravu převáděl mimoúrovňově a propojil by silnici II/374 a III/37937. Přemostění je již ze stupně studie navrženo včetně navazujících úseků tak, aby bylo propojení obou částí města zajištěno i při extrémním průtoku  $Q_{100}$  v řece Svitavě.

Ocelová nosná konstrukce, dále jen OK, je navržena jako spojitý trámový nosník o 5 polích, který je ve 3 středních polích vyztužen příhradovinou. Rozpětí polí v ose mostu je 18,500m ; 30,525m ; 44,400m ; 30,525m a 18,500m. Mostovku tvoří ocelové příčníky spřažené s železobetonovou deskou. Součástí nosné konstrukce je jednostranný chodník na konzolách.

## 2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

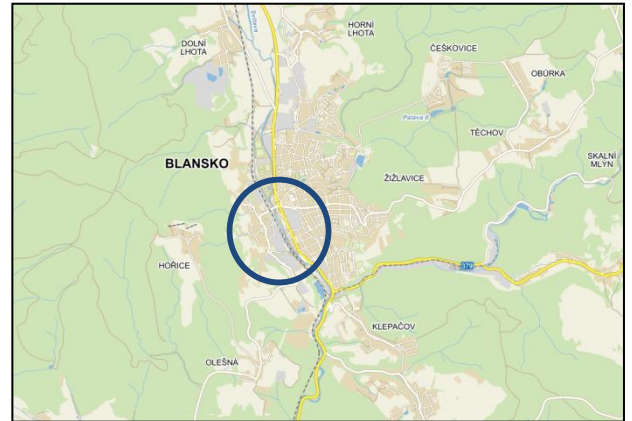
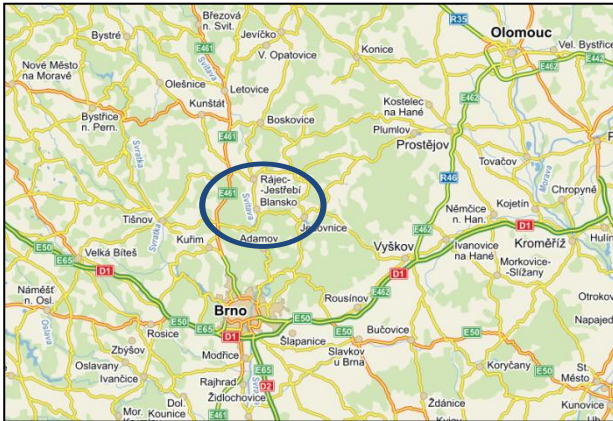
### 2.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Název stavby:           | Přemostění řeky Svitavy a koridoru SŽDC v Blansku |
| Kraj:                   | Jihomoravský                                      |
| Okres:                  | Blansko   |
| Katastrální území:      | Blansko   |
| Charakter stavby:       | novostavba  |
| Pozemní komunikace:     | propojení krajských silnic II/374 a III/379 37    |
| Přemostřovaná překážka: | řeka Svitava a koridor SŽDC                       |

### 2.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTĚ

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Délka přemostění:     | 140,950 m                                    |
| Počet polí:           | 5  |
| Teoretické rozpětí:   |  |
| - levý nosník         | 18,500 + 33,300 + 44,400 + 27,750 + 18,500 m |
| - v ose mostu         | 18,500 + 30,525 + 44,400 + 30,525 + 18,500 m |
| - pravý nosník        | 18,500 + 27,750 + 44,400 + 33,300 + 18,500 m |
| Délka ocelové NK:     | 143,450 m (v úrovni nivelety komunikace)     |
| Šikmost uložení:      | 90,000° (u opěr a pilířů 2 a 5)              |
| Šikmost uložení:      | 58,196° (u pilířů 3 a 4)                     |
| Stavební výška:       | 0,750 m                                      |
| Šířka mostu:          | 12,640 m                                     |
| Volná šířka vozovky:  | 7,0 m  |
| Volná šířka chodníku: | 3,0 m  |

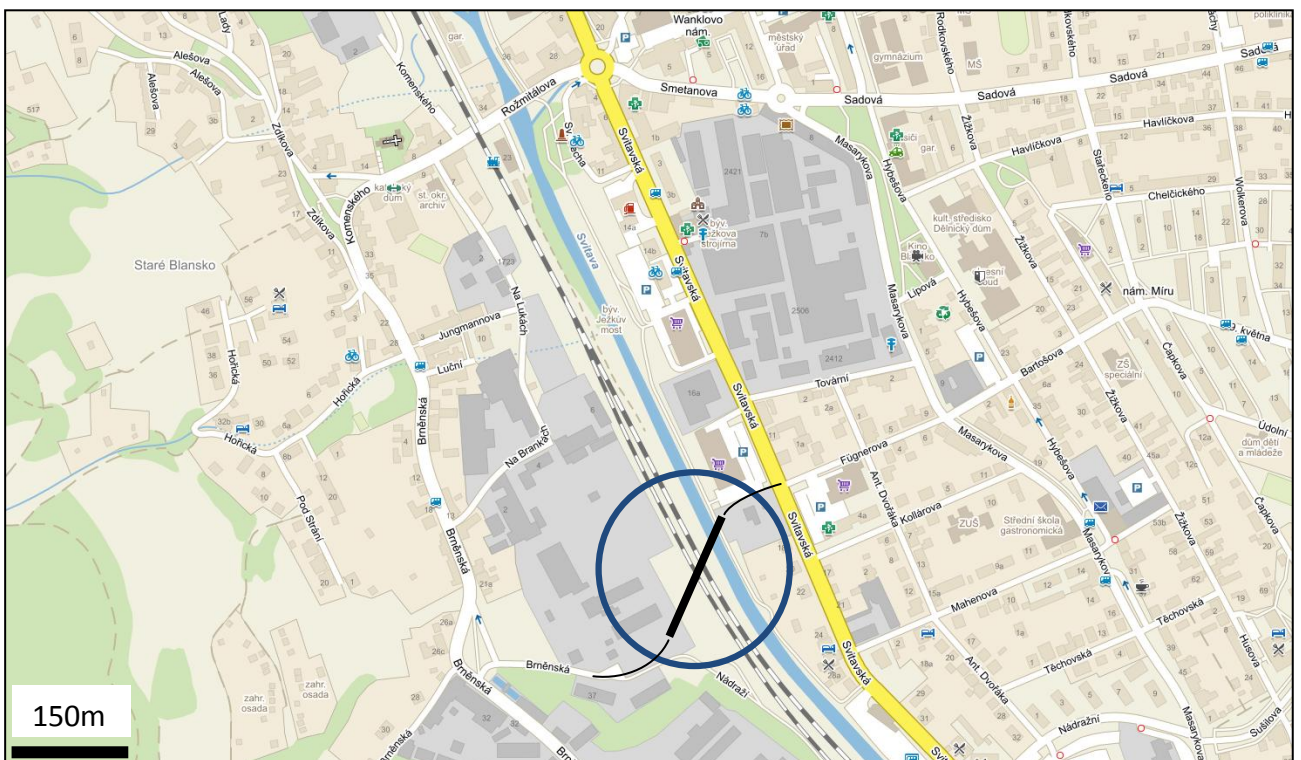
### 3 UMÍSTĚNÍ A ZDŮVODNĚNÍ STAVBY



Obr. 3-1: Poloha na mapě [2]

Navrhovaná stavba se nachází v intravilánu města Blanska. Přemostění propojuje ulice Brněnská a Fügnerova a tím i místní část Staré Blansko s centrem města. V současné době je jediným propojením těchto částí úroňový přejezd přes koridor SŽDC v ulici Rožmitálůva. Tento úroňový přejezd je problematický zejména z důvodu bezpečnosti převádění dopravy a také z důvodu nízké kapacity, která vede ke zhušťování dopravy v centru města.

Navrhované přemostění by tak usnadnilo propojení obou částí města a zvýšilo kapacitu a bezpečnost převáděné dopravy. Riziko kolize vozidel s vlaky by tímto bylo odstraněno. Navíc by bylo zajištěno převedení dopravy i při extrémním průtoku  $Q_{100}$  v řece Svitavě.



Obr. 3-2: Schematická situace umístění stavby [2]

## 4 GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Řešení spodní stavby není předmětem diplomové práce. Předpokládají se dobré podmínky založení stavby a tedy i to, že navrhovaná konstrukce není náchylná k nerovnoměrnému poklesu podpěr.

## 5 PROSTOROVÉ URČENÍ STAVBY

Polohové určení nosné konstrukce navazuje na umístění spodní stavby, které bude provedeno v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání.

## 6 TECHNICKÝ POPIS

### 6.1 SMĚROVÉ ŘEŠENÍ

Trasa přemostění je vedena tak, že je mostní objekt ve směrové přímé. Propojení mostního objektu se stávající dopravní sítí je realizováno v prodloužení dotčených ulic Fügnerova a Brněnská a následným obloukovým propojením.

### 6.2 VÝŠKOVÉ ŘEŠENÍ

Výškové řešení vychází z požadavků ze stupně studie. Je třeba dodržet max. podélný sklon 8,33% (tj. 1:12) a respektovat požadovaný průjezdní profil na koridoru ČD o výšce 6,5m nad temenem kolejnic. Niveleta je vedena tak, že je umožněna průjezdnost trasy i při průtoku  $Q_{100}$  v řece Svitavě. Ve směru staničení niveleta stoupá ve sklonu 8,33%, přes vypuklý výškový oblouk se sklon mění a niveleta klesá ve sklonu 6%.

### 6.3 PŘÍČNÉ USPOŘÁDÁNÍ

Šířkové uspořádání převáděné komunikace je MO 8,0/50 s volnou šířkou 7,0m mezi svodidly. Most převádí pěší dopravu realizovanou na pravostranném chodníku volné šířky 3,0m

### 6.4 STATICKÝ SYSTÉM

Ocelová nosná konstrukce je navržena jako spojitý trám výšky 1,3m o 5 polích, který je ve 3 středních polích vyztužen příhradovou konstrukcí s horním pásem a soustavou diagonál bez svislic. Výška hlavního nosníku je v místě vyztužení příhradovinou 4,75m. Rozpětí polí v ose mostu je 18,500m ; 30,525m ; 44,400m ; 30,525m a 18,500m.

Hlavní nosníky jsou propojeny ocelovými příčníky výšky 450mm, které jsou spřaženy s železobetonovou deskou mostovky výšky 200mm. Součástí nosné konstrukce je pravostranný nosník na konzolách s proměnnou výškou, deska chodníku má výšku 150mm.

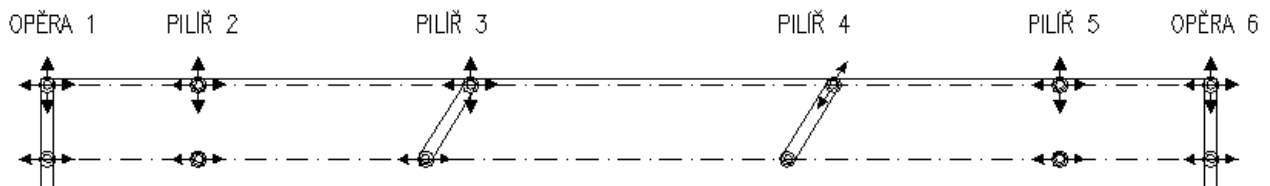
Šikmost uložení je 90° u opěr a pilířů 2 a 5, u pilířů 3 a 4 je šikmost uložení 58,196°.

## 6.5 SPODNÍ STAVBA

Spodní stavba mostu bude masivní železobetonová. Tvoří ji dvě opěry a 4 mezilehlé pilíře. Rovnoběžná křídla na opěře 1 budou kopírovat tvar navazující komunikace, proti směru staničení budou navazovat opěrné zdi. Pilíře 2 a 5 jsou tvořeny vždy dvěma kruhovými sloupovými pilíři o průměru 1,5m. Pilíře 3 a 4 tvoří šikmá stěna tloušťky 1,5m a délky 12m. Opěra 6 bude mít (obdobně jako opěra 1) rovnoběžná křídla, na která budou navazovat opěrné zdi. Opěrné zdi se předpokládají z důvodu minimalizace požadavku na zábor pozemků. Založení opěr a pilířů se předpokládá na pilotách či mikropilotách. Konkrétní návrh a výpočet spodní stavby není předmětem diplomové práce.

## 6.6 ULOŽENÍ OK

Uložení nosné konstrukce na spodní stavbu bude realizováno pomocí hrncových ložisek. Na pilíři 4 je uvažováno podélné pevné podepření. Ložiska budou k ocelové konstrukci připojena pomocí pozinkovaných šroubů jakosti 10.9. Při výměně ložisek se předpokládá přizvednutí konstrukce pomocí dvojice hydraulických lisů umístěných pod přídavnými výztuhami trámu u pilířů, u opěr bude osazen vždy jeden lis pod přídavnou výztuhou příčnicku. Mezi lis a pásnici profilu je třeba umístit roznášecí desku.



Obr. 6-1: Uspořádání ložisek

## 6.7 VYBAVENÍ MOSTU

### 6.7.1 ODVODNĚNÍ

Povrch vozovky bude odvodněn podélným a příčným sklonem vozovky k odvodňovačům v úžlabí mostovky, které musí být umístěny mimo koridor ČD. Chodník bude také odvodněn příčným a podélným sklonem.

### 6.7.2 IZOLACE

Železobetonová deska vozovky bude opatřena celoplošnou izolací, deska chodníku bude opatřena celoplošnou přímopochozí izolací.

### 6.7.3 ŘÍMSY

Na mostě budou po obou stranách vozovky vybetonovány ŽB římsy, do nichž bude kotveno zábradelní svodidlo. Římsy budou kotveny do ŽB desky vozovky.



#### **6.7.4 OSVĚTLENÍ**

Na mostě bude v oblasti vozovky i chodníku zřízeno osvětlení.

#### **6.7.5 ZÁBRADLÍ**

Po straně chodníku a na opěrách bude zřízeno ocelové mostní zábradlí minimální výšky 1,3m se svislou výplní. Zábradlí musí splňovat požadavky uvedené v normě 73 6201. V oblasti nad koridorem ČD nad trakčním vedením budou po obou stranách umístěny zábrany proti dotyku.

#### **6.7.6 SVODIDLA**

Po obou stranách komunikace bude do říms osazeno zábradelní svodidlo.

#### **6.7.7 MOSTNÍ ZÁVĚRY**

Přechod mostu na opěry bude realizován pomocí nízkohlučných lamelových mostních závěrů.

## **7 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU**

### **7.1 HLAVNÍ NOSNÍKY**

Nosná konstrukce mostu je tvořena spojitým plnostěnným trámem o 5 polích, který je ve 3 středních polích vyztužen příhradovinou. Osová vzdálenost nosníků je 8,95m. Trám ve tvaru I-profilu má výšku 1,3m a proměnou tloušťku pásnic (20 – 60mm) i stojiny (12 – 18mm). Šířka horní pásnice je 384mm, dolní pásnice 450mm. Po délce nosníku je také dle potřeby vystřídán materiál S355J2+N a S460N/NL, který je použit v krajním poli a nad přiléhající podporou (pilíř 2 a 5). Průřezy jsou po délce konstrukce navrženy tak, aby co nejlépe kopírovaly průběh ohybových momentů a posouvajících sil, přičemž zesílení stojiny ze základních 12mm je navrženo zejména kvůli smykovému namáhání. Trám je vyztužen svislými příčnými výztuhami tl. 12mm po obou stranách stojiny, jejichž vzdálenost odpovídá vzdálenosti příčníků, tj.  $a = 1,85m$ . V místech podepření jsou zesíleny na 30mm. Jsou také navrženy přídatné výztuhy pro přivednutí mostu v osově vzdálenosti 800m od osy uložení na pilířích.

Osová vzdálenost trámu a horního pásu příhradoviny je proměnná v závislosti na použitých průřezích, řádově se tato hodnota pohybuje okolo hodnoty 3,95m. Horní pás je s trámem propojen diagonálami ve tvaru svařovaného symetrického I-profilu. Diagonály jsou k trámu připojeny se svislou excentricitou 350mm pod úrovní horního líce horní pásnice trámu. Šířka pásnic vnitřních diagonál je odstupňována po délce konstrukce, použité šířky pásnic jsou 200mm, 250mm, 300mm, 350mm a 400mm. Stojina průřezů tl. 10mm, u dvou největších průřezů diagonál je stojina tl. 14mm. Horní pás a krajní diagonály jsou navrženy jako svařovaný uzavřený obdélníkový průřez s tloušťkou stojin 18mm a proměnnou tloušťkou pásnic. Pásnice je odstupňována po délce konstrukce – 18mm, 22mm a 35mm.

Hlavní nosníky jsou nadvýšeny – viz část C. Statický výpočet.

## 7.2 MOSTOVKA

### 7.2.1 PŘÍČNÍKY

Běžné příčníky jsou svařované I-profily o rozpětí 8,95m s proměnnou výškou kopírující spád vozovky. Maximální výška příčníku je 450mm uprostřed rozpětí, horní pásnice P16\*200mm, dolní pásnice P20\*240mm, tloušťka stojiny je 12mm. Příčníky jsou na konstrukci umístěny ve vzájemné vzdálenosti  $a = 1,85\text{m}$ . Příčník má výrobní nadvýšení 30mm.

Nadpodporové příčníky jsou taktéž svařované I-profily o rozpětí 8,95m s proměnnou výškou, ale jsou oproti běžným příčníkům zesíleny za účelem zvýšení tuhosti příčných polorámů a kvůli přizvedání konstrukce na opěrách. Příčníky jsou na konstrukci umístěny v místech uložení konstrukce na spodní stavbu, dodržují však běžné uspořádání příčníků  $a = 1,85\text{m}$ . Horní pásnice P20\*300mm, dolní pásnice P25\*340mm, tloušťka stojiny je 16mm. Příčníky mají výrobní nadvýšení 15mm.

Příčníky jsou z materiálu jakosti S355J2+N a jsou uvažovány jako spřažené s železobetonovou deskou mostovky.

### 7.2.2 ŽB DESKA

Železobetonová deska je s ocelovým nosníkem spřažena pomocí nízké perforované spřahovací lišty P12\*81 přivařené k horní pásnici ocelového nosníku. Otvory v liště mají průměr 32mm a osovou vzdálenost 75mm. Každým druhým otvorem bude protažena hlavní podélná výztuž desky. Deska má tl. 200mm a materiálem je beton C30/37-XF2. Za opěrovým příčníkem je deska tl. 350mm z důvodu osazení mostního závěru. Deska je vyztužena betonářskou výztuží B500B s minimálním krytím 40mm, betonována bude do ztraceného bednění ze sklolaminátových vyztužených panelů. Toto řešení je navrženo z důvodu přemostování koridoru ČD.

## 7.3 CHODNÍKY

Nosnými prvky chodníku jsou ocelové konzoly ze svařovaného I-profilu s proměnnou výškou stojiny 200-350mm směrem k hlavnímu nosníku. Konzoly jsou dvojího typu, který odpovídá uspořádání příčníků (běžné a nadpodporové). Běžné konzoly mají pásnice P12\*150mm, konzoly v místě uložení konstrukce na spodní stavbu mají pásnice P12\*200mm. Vzdálenost konzol odpovídá vzdálenosti příčníků  $a = 1,85\text{m}$ . Konzoly jsou z materiálu jakosti S355J2+N.

Železobetonová deska chodníku tl. 150mm je s konzolami spřažena pouze konstrukčně pomocí vždy 5 spřahovacích trnů průměru 19mm a délky 100mm. Deska stejně jako deska vozovky vyztužena betonářskou výztuží B500B s minimálním krytím 40mm a betonována do ztraceného bednění ze sklolaminátových vyztužených panelů a z materiálu C30/37-XF2.

## 8 MATERIÁL

Nosná konstrukce mostu je zhotovena z oceli S355J2+N, v krajních polích a nad přilehlými podporami je pro průřez trámu použita ocel S460 N/NL. Nenosné části konstrukce (zábradlí, zábrany) jsou zhotoveny z oceli S235JR. Výkaz materiálu ocelové konstrukce je přílohou této diplomové práce. Předběžné požadavky na zkoušení základního materiálu:

- Zkouška v tahu
- Zkouška rázem v ohybu
- Zkoušky svařitelnosti
  - a) ohybová návarová zkouška – pro plechy tl. > 25mm
  - b) Zkouška lámavosti svarů
- Kontrola svarů ultrazvukem a kapilární metodou

Nosným podkladem mostního svršku je železobetonová deska z betonu C30/37-XF2, ze stejného materiálu je i železobetonová deska chodníku. Pro římsu a chodník je požadováno prostředí XF4. Obě desky jsou vyztuženy betonářskou výztuží B500B.

### 8.1 PROTİKOROZNÍ OCHRANA

Návrh protikorozní ochrany proveden dle ČSN ISO 12944 [3]:

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Stupeň korozní agresivity | C4 (vysoká)              |
| Očekávaná životnost       | vysoká (H), tj. > 15 let |
| Zvolený nátěrový systém   | A4.15                    |

- Základní nátěr s vysokým obsahem zinku - Zn(R)  
NDFT = 60  $\mu$ m; 1 vrstva; pojivo EP (epoxid)
- Následující nátěry  
NDFT = 240  $\mu$ m; 4 vrstvy; pojivo PUR (polyuretan)
- Vrchní nátěr  
NDFT = 60  $\mu$ m; 1 vrstva; PUR

V části konstrukce, která je ve finální poloze nad koridorem ČD bude provedena kompletní protikorozní ochrana již z dílny, v ostatních částech bude vrchní nátěr proveden až po montáži.

## 9 VÝROBA A MONTÁŽ

Dle ČSN EN 1090-2+A1 [4] bude konstrukce vyrobena pro výrobní kategorii PC2 v třídě provedení EXC4 (třída následků CC3 dle Přílohy B ČSN EN 1990 ed. 2 [5]).

Postup výroby a montáže je v případě realizace stavby mostu nutno podrobně dořešit ve vyšších stupních projektové dokumentace, v rámci diplomové práce je řešen pouze přibližný návrh. Je třeba dodržet příslušné výrobní a montážní tolerance.

### 9.1 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Navržená konstrukce je celo-svařovaná, její rozměry však neumožňují její kompletní sestavení v mostárně a následný převoz celé konstrukce na stavbu. Konstrukce tedy bude rozdělena na jednotlivé montážní dílce, zjednodušený návrh dělení:

- hlavní příhradový nosník – 2\*(6ks),
- trám v krajních polích – 2\*(1ks),
- příčníky samostatně (78ks),
- chodníkové konzoly samostatně (78ks),
- zábradlí a zábrany.

Vzhledem k vysoké výšce hlavního příhradového nosníku, tj. 4,75m, mohou nastat problémy s dopravou celého dílce na stavbu. V tomto případě by se příhradový nosník rozdělil na dílčí dílce trámu, horního pásu a diagonály.

Během výroby ocelové konstrukce budou probíhat povinné dílenské přejímky, při kterých prostorově sestavená konstrukce musí splňovat příslušné tolerance a požadavky. Kontrola svarů ultrazvukem je požadována u tupých příčných svarů trámu, všech tažených a 25% tlačných diagonál a horního pásu příhradoviny hlavního nosníku. Svary musí vyhovovat podmínkám jakosti UT SP2.

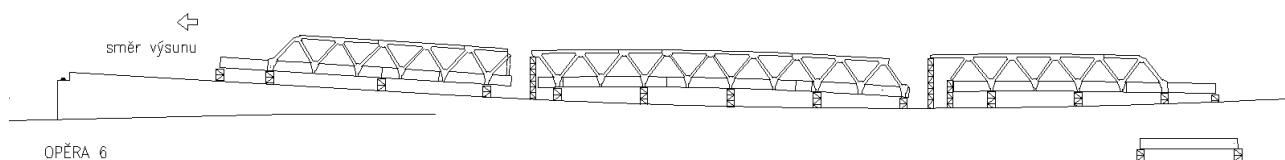
### 9.2 NÁVRH MONTÁŽE

Montáž nosné konstrukce by měla být navržena tak, aby vyhověly stávající navržené průřezy a nebylo nutno je zesilovat. V době montáže mostu není třeba nijak omezovat dopravu ani zřizovat náhradní přemostění – jedná se o zcela nový objekt, tudíž výstavba mostu nemá vliv na stávající dopravní síť. Z důvodu přemostování koridoru ČD a problematice výluk na těchto tratích, je navrženo smontování ocelové části konstrukce včetně panelů ztraceného bednění v prostoru za opěrou 6 a její podélný výsun. Most je ve směrové přímé, což výsun mostu nijak neomezuje.

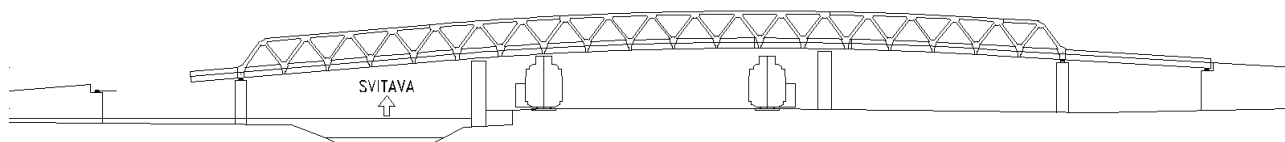
ZHOTOVENÍ SPODNÍ STAVBY



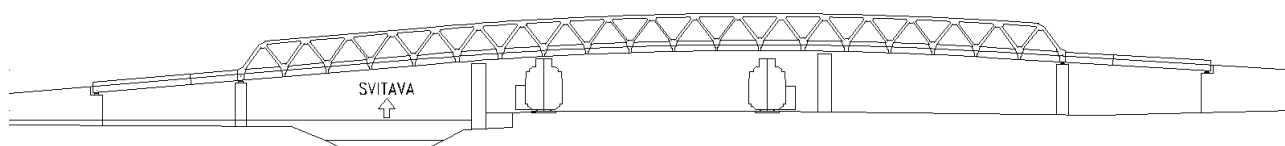
MONTÁŽ OK ZA OPĚROU 6



POZICE OK PO VÝSUNU



MONTÁŽ OK V KRAJNÍM POLI



Obr. 9-1: Schéma montáže

Přibližný technologický postup výstavby:

- příprava staveniště,
- vybudování spodní stavby mostu,
- přivezení montážních dílců na staveniště,
- zřízení montážních podpěr,
- montáž části OK za opěrou 6 a osazené panelů ztraceného bednění,
- osazení konstrukce na montáží podpěry,
- výsun mostu,
- montáž krajní části 1. pole u opěry 1,
- přeměření konstrukce po finálním sestavení tvaru a svaření,
- montážní prohlídka,
- betonáž železobetonové desky mostovky a chodníku:
  1. fáze – betonáž oblasti záporných ohybových momentů od podpor směrem do pole
  2. fáze – betonáž oblastí s kladným ohybovým momentem (pole)
- podlité ložisek,
- osazení konstrukce na ložiska, nastavení ložisek,
- osazení mostních závěrů,

- zhotovení izolace mostovky, betonáž říms,
- zhotovené vrstev vozovky a přímopochozí izolace na chodníku,
- osazení zábradlí a zábran,
- provedení vrchního nátěru OK v části konstrukce, která je ve finální poloze mimo koridor ČD,
- úprava terénu v okolí spodní stavby.

## 10 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA

Hotový mostní objekt bude podroben základní statické zatěžovací zkoušce. Při této zkoušce budou sledovány průhyby hlavních nosníků, stlačování ložisek a mostních podpěr, sedání spodní stavby a vodorovné deformace horního pásu příhradové konstrukce.

## 11 ÚDRŽBA MOSTU

Údržba mostu je zodpovědností správce mostu, kterým v případě jeho realizace bude Správa a údržba silnic Jihomoravského kraje – oblast Blansko. Je nutné most udržovat v řádném technickém a provozuschopném stavu a provádět tak zejména:

- pravidelné čištění ložisek, mostních dilatačních závěrů a částí konstrukce, kde se udržují nečistoty,
- údržbu v zimním období, a to hlavně odstranění od posypových materiálů (solí),
- kontrolu odvodňovačů a zajištění jejich průchodnosti,
- kontrolu a obnovu nátěrů OK.

Při výměně či rektifikaci ložisek bude na mostě vyloučena doprava, konstrukce nadzvedána soustavou lisů následovně:

- opěry – zvedání přes příčník, u každého ložiska bude osazen 1 lis ve vzdálenosti 0,8 m od osy ložiska,
- pilíře – zvedání přes trám hlavního nosníku, u každého ložiska budou osazeny 2 lisy ve vzdálenosti 0,8 m od osy ložiska.

## 12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] fa. PIS PECHAL, s.r.o. *Přemostění řeky Svitavy a koridoru SŽDC v Blansku – Studie*. Brno, 2013
- [2] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. ©Seznam.cz, a.s., 2014 [cit. 2014-12-08].  
Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=16.6426959&y=49.3575784&z=15>
- [3] ČSN EN ISO 12944. *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. ČNI, říjen 1998
- [4] ČSN EN 1090-2+A1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí. Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. ČNI, leden 2012.
- [5] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, únor 2012.

## 13 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1: Vizualizace mostu zhotovená firmou PIS PECHAL, s.r.o. [1]

Obr. 3-1: Poloha na mapě [2]

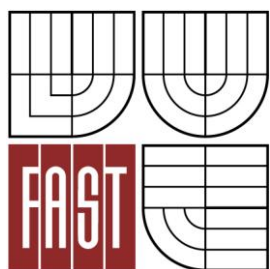
Obr. 3-2: Schematická situace umístění stavby [2]

Obr. 6-1: Uspořádání ložisek

Obr. 9-1: Schéma montáže



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## PŘEMOSTĚNÍ ŘEKY SVITAVY A TRATĚ ČD V BLANSKU

BRIDGE CROSSING OVER SVITAVA RIVER AND RAILWAY TRACK IN BLANSKO

### C. STATICKÝ VÝPOČET

DESIGN CALCULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KŘIŽAN

BRNO 2015



# OBSAH

|     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 1   | ÚVOD.....                         | 5  |
| 2   | GEOMETRIE.....                    | 5  |
| 2.1 | Schéma v příčném směru.....       | 5  |
| 2.2 | Schéma v podélném směru.....      | 5  |
| 3   | MATERIÁL .....                    | 6  |
| 3.1 | OCEL S355J2+N.....                | 6  |
| 3.2 | OCEL S460 N/NL .....              | 6  |
| 3.3 | BETON C30/37 .....                | 6  |
| 3.4 | BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ B500B .....     | 6  |
| 3.5 | DÍLČÍ SOUČINITELE MATERIÁLU ..... | 7  |
| 4   | VÝPOČTOVÝ MODEL.....              | 7  |
| 4.1 | KOMENTÁŘ .....                    | 8  |
| 5   | ZATÍŽENÍ .....                    | 8  |
| 5.1 | STÁLÁ (G) .....                   | 8  |
| 5.2 | PROMĚNNÁ (Q) .....                | 9  |
| 5.3 | MIMOŘÁDNÁ (A) .....               | 16 |
| 5.4 | KOMBINACE .....                   | 16 |
| 6   | ŽB DESKA MOSTOVKY.....            | 17 |
| 6.1 | VNITŘNÍ SÍLY.....                 | 17 |
| 6.2 | PARAMETRY PRO VÝPOČET .....       | 17 |
| 6.3 | NÁVRH VÝZTUŽE NA OHYB.....        | 18 |
| 6.4 | ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ.....           | 19 |
| 6.5 | NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE .....       | 19 |
| 6.6 | MSP.....                          | 20 |
| 7   | ŽB DESKA CHODNÍKU .....           | 21 |
| 7.1 | VNITŘNÍ SÍLY.....                 | 21 |
| 7.2 | PARAMETRY PRO VÝPOČET .....       | 21 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 7.3  | NÁVRH VÝZTUŽE NA OHYB.....               | 22 |
| 7.4  | ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ.....                  | 22 |
| 7.5  | NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE .....              | 22 |
| 7.6  | MSP.....                                 | 23 |
| 8    | CHODNÍKOVÉ KONZOLY .....                 | 25 |
| 8.1  | BĚŽNÉ KONZOLY .....                      | 25 |
| 8.2  | PODPOROVÉ KONZOLY .....                  | 27 |
| 9    | PŘÍČNÍK BĚŽNÝ.....                       | 30 |
| 9.1  | NESPŘAŽENÝ PRŮŘEZ .....                  | 30 |
| 9.2  | SPŘAŽENÝ PRŮŘEZ.....                     | 33 |
| 9.3  | VÝSLEDNÁ NAPĚTÍ .....                    | 41 |
| 9.4  | PRŮHYB.....                              | 41 |
| 9.5  | POSOUZENÍ NA SMYK .....                  | 41 |
| 9.6  | POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ .....                 | 42 |
| 9.7  | SPOJE .....                              | 43 |
| 10   | PŘÍČNÍK NADPODPOROVÝ .....               | 44 |
| 10.1 | NESPŘAŽENÝ PRŮŘEZ .....                  | 44 |
| 10.2 | SPŘAŽENÝ PRŮŘEZ.....                     | 46 |
| 10.3 | VÝSLEDNÁ NAPĚTÍ .....                    | 51 |
| 10.4 | PRŮHYB.....                              | 51 |
| 10.5 | POSOUZENÍ NA SMYK .....                  | 51 |
| 10.6 | POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ .....                 | 52 |
| 10.7 | SPOJE .....                              | 52 |
| 10.8 | VÝMĚNA LOŽISEK.....                      | 53 |
| 11   | HLAVNÍ NOSNÍK - TRÁM .....               | 54 |
| 11.1 | PŘÍČNÉ VÝZTUHY .....                     | 55 |
| 11.2 | PRŮŘEZ V ULOŽENÍ – OPĚRA 1 (6).....      | 56 |
| 11.3 | PRŮŘEZ V KRAJNÍM POLI – POLE 1 (5) ..... | 59 |

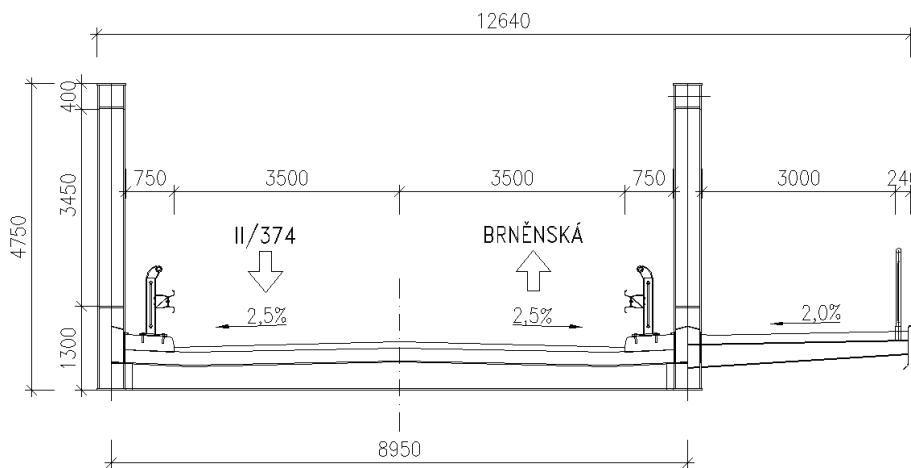
|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 11.4  | PRŮŘEZ NAD PODPOROU – PILÍŘ 2 (5) .....    | 65  |
| 11.5  | PRŮŘEZ VE STŘEDNÍCH POLÍCH.....            | 69  |
| 11.6  | PRŮŘEZ NAD PODPOROU – PILÍŘ 4 (3) .....    | 73  |
| 11.7  | PŘECHODOVÝ PRŮŘEZ.....                     | 77  |
| 11.8  | SPOJE .....                                | 79  |
| 12    | HLAVNÍ NOSNÍK – PŘÍHRADOVINA .....         | 82  |
| 12.1  | HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 35mm.....          | 83  |
| 12.2  | HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 22mm.....          | 85  |
| 12.3  | HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 18mm.....          | 86  |
| 12.4  | KRAJNÍ DIAGONÁLA – PÁSNICE tl. 18 mm ..... | 87  |
| 12.5  | STABILITA HORNÍHO TLAČENÉHO PÁSU .....     | 88  |
| 12.6  | DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 400mm.....          | 95  |
| 12.7  | DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 350mm.....          | 96  |
| 12.8  | DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 300mm.....          | 97  |
| 12.9  | DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 250mm.....          | 99  |
| 12.10 | DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 200mm.....          | 100 |
| 13    | HLAVNÍ NOSNÍK – MSP.....                   | 102 |
| 13.1  | SVISLÉ DEFORMACE.....                      | 102 |
| 13.2  | VODOROVNÉ DEFORMACE .....                  | 102 |
| 14    | ÚNAVA.....                                 | 103 |
| 14.1  | PŘÍČNÍK .....                              | 104 |
| 14.2  | HLAVNÍ NOSNÍK.....                         | 105 |
| 15    | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....            | 108 |
| 16    | SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ.....              | 109 |

# 1 ÚVOD

Statický výpočet této diplomové práce obsahuje vypracování návrhu silničního mostu s dolní mostovkou. V této části je popsán postup prací na výpočtovém modelu. Pro výpočet vnitřních sil je použit program Scia Engineer verze 2013.1. Výpočty jsou provedeny ručně a opakující se výpočty jsou doplněny výpisem tabulek z programu MS Excel. Posouzeny jsou hlavní nosné prvky ocelové konstrukce a je navrženo vyztužení železobetonových desek. Součástí výpočtu je také návrh a posouzení vybraných svarových spojů a je ověřeno namáhání konstrukce na únavu.

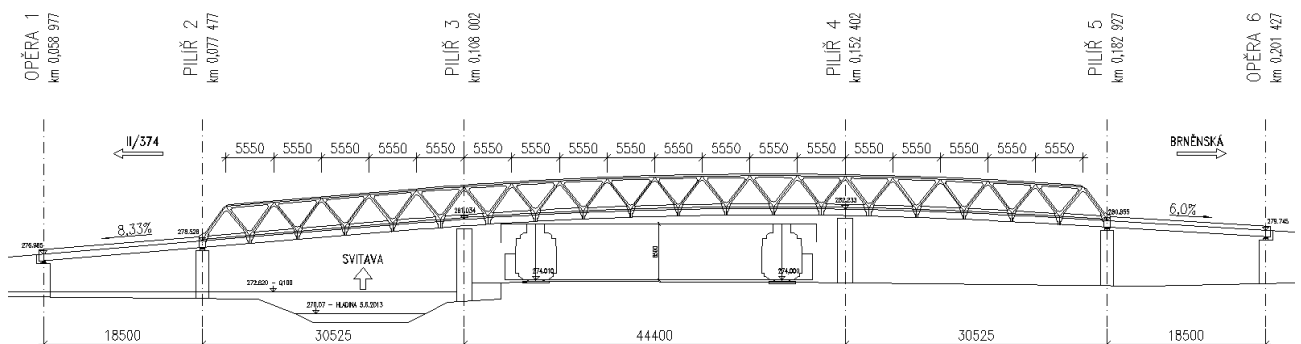
## 2 GEOMETRIE

### 2.1 Schéma v příčném směru



2-1: Schematický příčný řez

### 2.2 Schéma v podélném směru



2-2: Schematický podélný řez

## 3 MATERIÁL

### 3.1 OCEL S355J2+N

- Objemová hmotnost  $\rho = 7\,850\text{ kg/m}^3$
- Objemová tíha  $\gamma = 78,5\text{ kN/m}^3$
- Mez pevnosti v tahu  $f_u = 490\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } t \leq 40\text{mm}$   
 $f_u = 470\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$
- Mez kluzu  $f_y = 355\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } t \leq 16\text{mm}$   
 $f_y = 345\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } 16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$   
 $f_y = 335\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } 40\text{mm} < t \leq 63\text{mm}$
- Modul pružnosti v tahu a tlaku  $E = 210\text{ GPa}$
- Modul pružnosti ve smyku  $G = 81\text{ GPa}$
- Teplotní roztažnost  $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$
- Poissonův součinitel  $\nu = 0,3$

### 3.2 OCEL S460 N/NL

- Mez pevnosti v tahu  $f_u = 540\text{ MPa}$
- Mez kluzu  $f_y = 460\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } t \leq 16\text{mm}$   
 $f_y = 440\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } 16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$   
 $f_y = 430\text{ MPa} \rightarrow \text{pro } 40\text{mm} < t \leq 63\text{mm}$

### 3.3 BETON C30/37

- Objemová hmotnost  $\rho = 2\,500\text{ kg/m}^3$
- Objemová tíha  $\gamma = 25\text{ kN/m}^3$
- Pevnost v tlaku  $f_{ck} = 30\text{ MPa}$
- Průměrná pevnost v tlaku  $f_{cm} = 38\text{ MPa}$
- Pevnost v dostředném tahu  $f_{ctm} = 2,9\text{ MPa}$
- Modul pružnosti  $E_{cm} = 33\text{ GPa}$
- Teplotní roztažnost  $\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$
- Poissonův součinitel  $\nu = 0,15$
- Mezní poměrné přetvoření  $\varepsilon_{cu} = 3,5\%$

### 3.4 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ B500B

- Objemová hmotnost  $\rho = 7\,850\text{ kg/m}^3$
- Objemová tíha  $\gamma = 78,5\text{ kN/m}^3$
- Mez kluzu  $f_s = 500\text{ MPa}$
- Modul pružnosti  $E = 200\text{ GPa}$
- Teplotní roztažnost  $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$
- Poissonův součinitel  $\nu = 0,3$

### 3.5 DÍLČÍ SOUČINITELE MATERIÁLU

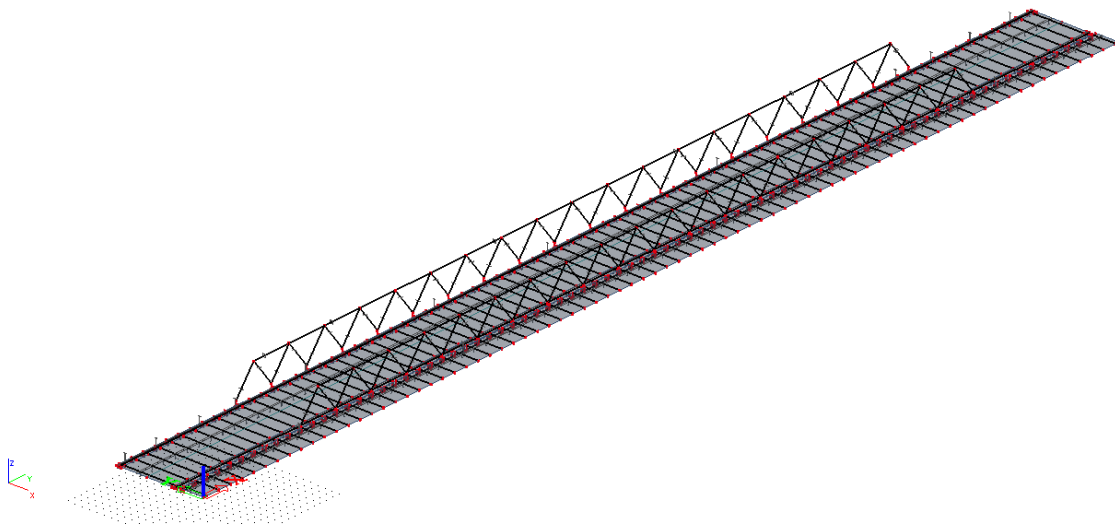
- V MSÚ pro beton (trvalé a dočasné návrhové situace)  $\gamma_c = 1,50$
- V MSÚ pro betonářskou ocel (trvalé a dočasné návrh. situace)  $\gamma_s = 1,15$
- Únosnost průřezů:
  - při nadměrném zplastizování včetně lokálního boulení  $\gamma_{M0} = 1,00$
  - při posuzování stability prutů  $\gamma_{M1} = 1,10$
  - při porušení oslabeného průřezu v tahu  $\gamma_{M2} = 1,25$
- Únosnost spojů:
  - únosnost svarů  $\gamma_{M2} = 1,25$

## 4 VÝPOČTOVÝ MODEL

Výpočet vnitřních sil a deformací na konstrukci je proveden ve studentské verzi výpočtového programu Scia Engineer 2013.1.

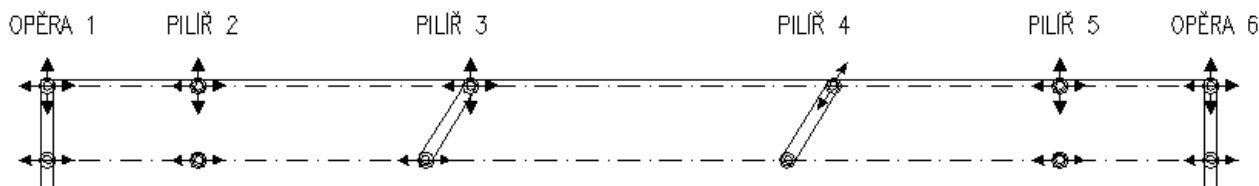
Konstrukce je modelována jako „Obecná XYZ“. Části ocelové konstrukce (trámy a pruty příhradoviny) jsou modelovány jako 1D prvky – pruty, železobetonová deska mostovky je modelována jako 2D prvek. Příčníky, které jsou ve skutečnosti s železobetonovou deskou spřaženy, jsou do modelu vloženy jako žebra desky. Žebra mají definovanou efektivní šířku jako pro výpočet vnitřních sil, tak i pro posudky spolupůsobení s betonem. Železobetonová deska chodníku je modelována jako 2D prvek.

Jednotlivým prvkům je nastavena excentricita tak, aby model co nejlépe vystihoval skutečné provedení konstrukce. V případě potřeby jsou do modelu doplněna tuhá ramena. V modelu je zanedbán podélný sklon konstrukce, nosníky jsou modelovány jako vodorovné.



Obr. 4-1: Prostorový výpočtový model

Uložení konstrukce je realizováno na 12 ložiskách a je zvoleno následujícím způsobem, přičemž je dodrženo pevné podélné uložení na pilíři č. 4, které je předpokládáno ve studii.



Obr. 4-2: Uspořádání ložisek

## 4.1 KOMENTÁŘ

V průběhu zpracování diplomové práce jsem provedla výpočet na několika výpočtových modelech, které byly postupně zpřesňovány. První model byl sestaven z průřezů, které byly převzaty ze studie a nastínil chování konstrukce jako celku a její problematická místa. Na základě této analýzy bylo nutné průřezy zoptimalizovat a zkrátit rozteč příčníků na 1,85m. Přepočet průřezů byl vložen do nového modelu, nové průřezy byly znovu posouzeny a tyto posudky jsou součástí diplomové práce. Bylo také ověřeno, že v ložiskách nevznikají svislé tahové reakce.

## 5 ZATÍŽENÍ

Níže uvedené skutečnosti jsou stanoveny na základě příslušných normativních dokumentů, konkrétně ČSN EN 1990 ed. 2, ČSN EN 1991 a jejich dílčích částí. Pro zatížení platí následující předpoklady:

- Uvedené hodnoty jsou hodnoty charakteristické.
- Zatížení sněhem neuvažuji, jelikož je výrazně menší než zatížení od dopravy, se kterým se vzájemně vylučuje.
- Vzhledem k tvaru nosné konstrukce mostu, který lze považovat za běžný, a rozpětí jednotlivých polí spojitého nosníku není nutný výpočet dynamické odezvy.
- Zatížení od nerovnoměrného sedání a tedy poklesu podpor neuvažuji, předpokládají se dobré podmínky založení spodní stavby konstrukce.

### 5.1 STÁLÁ (G)

#### 5.1.1 VLASTNÍ TÍHA

Vlastní tíha ocelové konstrukce, dále jen OK, a ŽB desky mostovky i chodníku je generována výpočtetním programem automaticky. Tato hodnota je navýšena o 15% z důvodu následného návrhu výtuh a jiných částí OK, které v modelu neuvažuji.

#### 5.1.2 OSTATNÍ STÁLÁ

Vozovka  $g_{voz} = h \cdot \gamma_{voz} = 0,1 \cdot 25 = 2,50 \text{ kN/m}^2$

Přímopochozí izolace  $g_{izo} = h \cdot \gamma_{izo} = 0,005 \cdot 22 = 0,11 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Římsy} \quad g_{\text{řím}} = A \cdot \frac{\gamma_{\text{bet}}}{Z\text{Š}} = 0,176 \cdot \frac{25}{0,75} = 5,87 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zábradelní svodidla} \quad g_{\text{svo}} = 1,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Zábradlí} \quad g_{\text{záb}} = 0,50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Zábradlí nad koridorem} \quad g_{\text{záb,kor}} = 1,00 \text{ kN/m}$$

### 5.1.3 SMRŠTĚNÍ

Poměrné autogenní smršťování neuvažuji, konečná hodnota poměrného smršťování vysycháním:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,725 \cdot 0,27 = 0,20 \text{ mm/m}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 8530 \cdot 200}{8530} = 400 \text{ mm} \quad \rightarrow k_h = 0,725$$

$$RH_{\text{dle ČHMÚ}} = 80\% \wedge \text{beton C30/37} \rightarrow \varepsilon_{cd,0} = 0,270\text{‰}$$

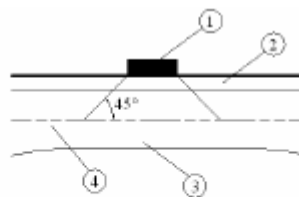
Železobetonová deska mostu je zatížena poměrnou deformací:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,20 + 0 = 0,20 \text{ mm/m}$$

## 5.2 PROMĚNNÁ (Q)

### 5.2.1 SILNIČNÍ DOPRAVA

Navrhovaný most bude součástí běžné komunikace III. třídy. Pro výpočty zatížení silniční dopravou, hodnoty regulačních součinitelů, apod. je most zařazen do skupiny pozemních komunikací 1. Ve výpočtu zatížení je uvažován roznoš soustředěných zatížení pod úhlem 45° do střednice desky.



#### Legenda

1 dotykový tlak kola

2 vozovka

3 betonová deska mostovky

4 střednicová plocha betonové desky mostovky

Obr. 5-1: Roznoš do střednice [Příloha A.2 ČSN EN 1991-2]

#### 5.2.1.1 LM1

Model zatížení 1 uvažuje kombinaci spojitého rovnoměrného a soustředěného zatížení (zatížení od náprav). Vozovka je po šířce rozdělena na 2 zatěžovací pruhy a zbývající plochu. Vzájemné uspořádání pruhů je závislé na posuzovaných prvcích – pro posudky hlavního nosníku je pruh č. 1 umístěn nejbližší hlavnímu nosníku (uspořádání Z-2-1), pro posudek příčnicku je pruh č. 1 umístěn co nejbližší ose komunikace (uspořádání Z-1-2).



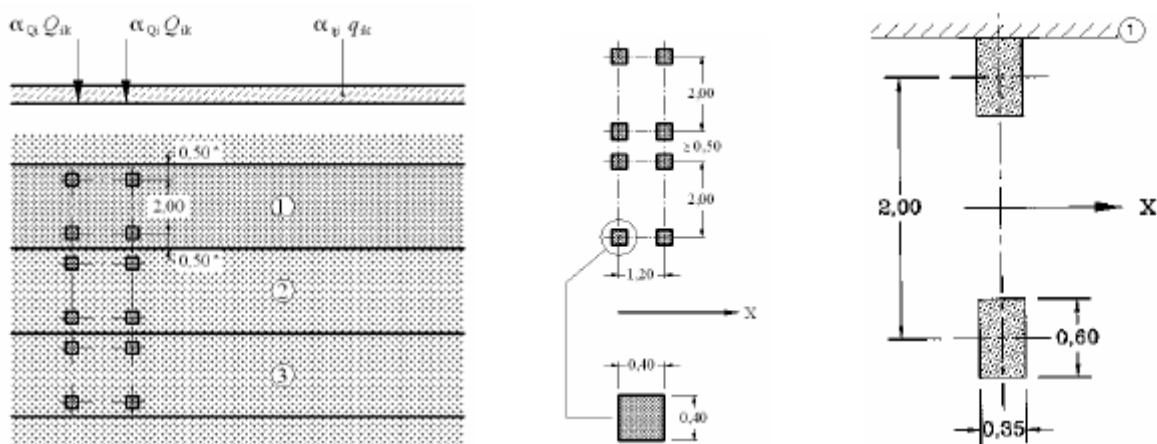
Tabulka 1: Přehled zatížení LM1

|                  | šířka [m] | TS (dvounáprava)  | UDL (rovnoměrné zatížení)                                       |
|------------------|-----------|---|---|
| Pruh č. 1        | 3,00      | $\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 1,0 \cdot 300 = 300 \text{ kN}$ | $\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 1,0 \cdot 9,0 = 9,0 \text{ kN/m}^2$ |
| Pruh č. 2        | 3,00      | $\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 1,0 \cdot 200 = 200 \text{ kN}$ | $\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 2,4 \cdot 2,5 = 6,0 \text{ kN/m}^2$ |
| Zbývající plocha | 1,00      | 0   | $\alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 1,2 \cdot 2,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$ |

### 5.2.1.2 LM2

Model zatížení 2 uvažuje působení jedné nápravové síly F:

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



Obr. 5-2: Geometrie modelů zatížení - Použití LM1; dvounápravy; LM2 [ČSN EN 1991-2]

### 5.2.1.3 LM3 - zvláštní vozidlo

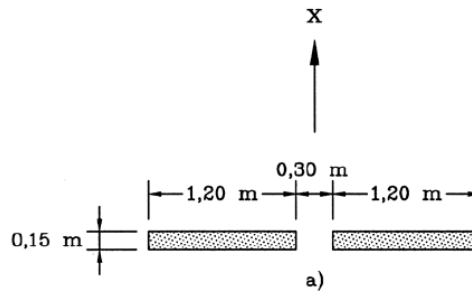
Model zatížení 3 reprezentuje výskyt zvláštního vozidla na mostě, které považuje za jediné pohyblivé zatížení vyskytující se na mostě. Parametry modelu zatížení jsou zřejmé z tabulky níže, síla od jedné nápravy:

$$Q = \varphi \cdot Q_{nápr} = 1,25 \cdot 150 = 187,50 \text{ kN}$$

Tabulka NA.2.4 – Zvláštní vozidla pro silnice III. třídy v pozemních komunikacích skupiny 1

|                      |   |
|----------------------|---|
| Celková tíha         | 900 kN  |
| Označení             | 900/150   |
| Nápravy              | $n = 6 \times 150 \text{ kN}$ ,<br>$e = 1,50 \text{ m}$                       |
| Umístění zatížení    | Zvláštní vozidlo se pohybuje v prostoru zatěžovacích pruhů podle čl. A.3 (2). |
| Kombinace zatížení   | Po celé délce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.               |
| Rychlost             | Normální<br>( $\leq 70 \text{ km/hod}$ )                                      |
| Dynamický součinitel | Ano, $\varphi = 1,25$   |
| Poznámka             | Jedná se o jediné vozidlo na mostě.   |

Obr. 5-3: Tabulka NA.2.4. [ČSN EN 1991-2/Z3]



Obr. 5-4: Geometrie modelu LM3 [Příloha A.2 ČSN EN 1991-2]

#### 5.2.1.4 LM4 - Dav lidí

Zatížení davem lidí uvažují v příslušných částech délky i šířky nosné konstrukce tak, aby působilo nepříznivě:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

#### 5.2.1.5 Brzdné a rozjezdové síly

Tyto síly působí v úrovni povrchu vozovky, v ose jakéhokoliv zatěžovacího pruhu, lze je uvažovat v ose vozovky. V modelu jsou uvažovány jako rovnoměrné spojité zatížení na příčnicku. Brzdná a rozjezdová síla mají stejnou velikost, ale působí v opačném směru, mají tedy různá znaménka.

##### a) Vodorovná síla související s modelem zatížení LM1 :

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot (2 \cdot 300) + 0,1 \cdot 1,0 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 142,45 = 360 + 2,7 \cdot 142,45 = 744,615 = \pm 745 \text{ kN}$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{lk} = \pm 745 \text{ kN} \leq 900 \text{ kN}$$

##### b) Vodorovná síla související s modelem zatížení LM3 :

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot Q_{LM3} + 0,1 \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{2k} \cdot w_1 \cdot L = 0,6 \cdot 1800 + 0,1 \cdot 2,4 \cdot 2,5 \cdot 3 \cdot 142,45 = \pm 1336 \text{ kN}$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{lk} = 1336 \text{ kN} \leq 600 \text{ kN} \rightarrow Q_{lk} = \pm 600 \text{ kN}$$

→ rozhoduje vodorovná síla související s LM1

##### c) Vodorovné síly přenášené mostními závěry:

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot 300 = 180 \text{ kN}$$

#### 5.2.1.6 Odstředivé a jiné příčné síly

Tyto síly působí současně s podélnou silou  $Q_{lk}$  v úrovni povrchu vozovky. Jelikož most není půdorysně zakřiven  $\rightarrow r = \infty$  a tedy pro  $r > 1500 \text{ m}$  by byla síla  $Q_{tk} = 0 \text{ kN}$ , příčné síly jsou uvažovány hodnotou:

$$Q_{tk} = 0,25 \cdot Q_{lk} = 0,25 \cdot 745 = 186,25 \text{ kN}$$

### 5.2.1.7 Zatížení chodníku

Na chodník bude zamezeno vjezdu vozidel.

Rovnoměrné zatížení chodci  $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$

Soustředěné zatížení  $Q_{fk} = 2 \text{ kN}$  působící na ploše  $0,1 \times 0,1 \text{ m}$

### 5.2.1.8 Sestavy zatížení

Sestavy dopravního zatížení definují jednotlivé zatěžovací stavy, které zatížení od dopravy vyvolává.

Tabulka 4.4a – Stanovení sestav zatížení dopravou (charakteristické hodnoty vicesložkových zatížení)<sup>NP21)</sup>

| Typ zatížení  | VOZOVKA  |                                |                             |                                 |  |   | CHODNÍKY<br>A CYKLISTICKÉ<br>PRUHY       |
|---|--|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--|---|--|
|   | Svislé síly                                      |                                |                             |                                 | Vodorovné síly                           |   | Pouze svislé<br>zatížení                 |
| Odkaz   | 4.3.2  | 4.3.3                          | 4.3.4                       | 4.3.5                           | 4.4.1                                    | 4.4.2   | 5.3.2.1                                  |
| Zatěžovací systém   | LM1<br>(dvojnáprava<br>a rovnoměrné<br>zatížení) | LM2<br>(jednotlivá<br>náprava) | LM3<br>(zvláštní vozidla)   | LM4<br>(zatížení davem<br>lidí) | brzdné<br>a rozjezdové síly <sup>a</sup> | odstředivé síly<br>a příčné síly <sup>a</sup> | rovnoměrné<br>zatížení                   |
| Sestavy<br>zatížení   | gr1a   | charakteristické<br>hodnoty    |                             |                                 |  |   | kombinační<br>hodnota <sup>b</sup>       |
|   | gr1b   |                                | charakteristická<br>hodnota |                                 |  |   |  |
|   | gr2  | časté hodnoty                  |                             |                                 | charakteristická<br>hodnota              | charakteristická<br>hodnota                   |  |
|   | gr3 <sup>d</sup>                                 |                                |                             |                                 |  |   | charakteristická<br>hodnota <sup>c</sup> |
|   | gr4  |                                |                             |                                 | charakteristická<br>hodnota              |   | charakteristická<br>hodnota              |
|   | gr5  | viz příloha A                  |                             | charakteristická<br>hodnota     |  |   |  |
| Hlavní složka zatížení (označená jako složka příslušející k sestavě)  |  |                                |                             |                                 |  |   |  |
| <sup>a</sup> Lze definovat v národní příloze (pro uvedené případy)  |  |                                |                             |                                 |  |   |  |
| <sup>b</sup> Lze definovat v národní příloze. Doporučená hodnota je $3 \text{ kN/m}^2$ .  |  |                                |                             |                                 |  |   |  |
| <sup>c</sup> Viz 5.3.2.1(2). Pokud je účinek od zatížení pouze jednoho chodníku nepříznivější než při zatížení obou dvou, má se uvažovat zatížení pouze na jednom chodníku. |  |                                |                             |                                 |  |   |  |
| <sup>d</sup> Tato sestava nemá praktický význam, pokud se uvažuje sestava gr4.  |  |                                |                             |                                 |  |   |  |

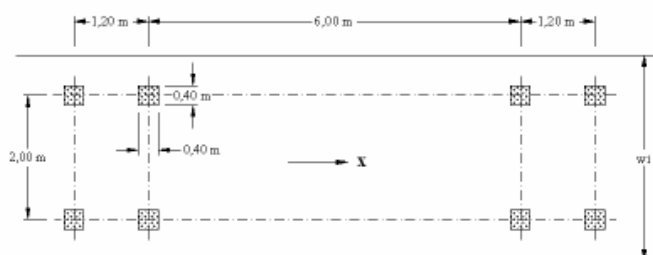
ČSN EN 1991-2/Op. 1

Obr. 5-5: Sestavy zatížení od dopravy [Tabulka 4.4a ČSN EN 1991-2 Oprava 1]

### 5.2.1.9 Model zatížení na únavu

Pro výpočet rozkmitu napětí a posouzení detailů na únavu, je použit model zatížení na únavu 3. Model již zahrnuje dynamický součinitel a na vozovce je umístěn dle posuzovaného detailu. Model má 4 nápravy o nápravové síle  $120 \text{ kN}$ , dotyková plocha kola je  $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ . Celková tíha:

$$Q_{únavu} = n \cdot Q_{nápr} = 4 \cdot 120 = 480 \text{ kN}$$



Obr. 5-6: Geometrie modelu zatížení na únavu [Obrázek 4.8.ČSN EN 1991-2]

## 5.2.2 VÍTR

### 5.2.2.1 Směr X

Vzhledem k tomu, že dynamický výpočet odezvy není nutný, lze použít zjednodušenou metodu výpočtu:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot C_i \cdot A_{ref,x}$$

- Měrná hmotnost vzduchu:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1,00$
- Součinitel ročního období:  $c_{season} = 1,00$
- Výchozí základní rychlost větru:  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$  (Blansko – oblast II)

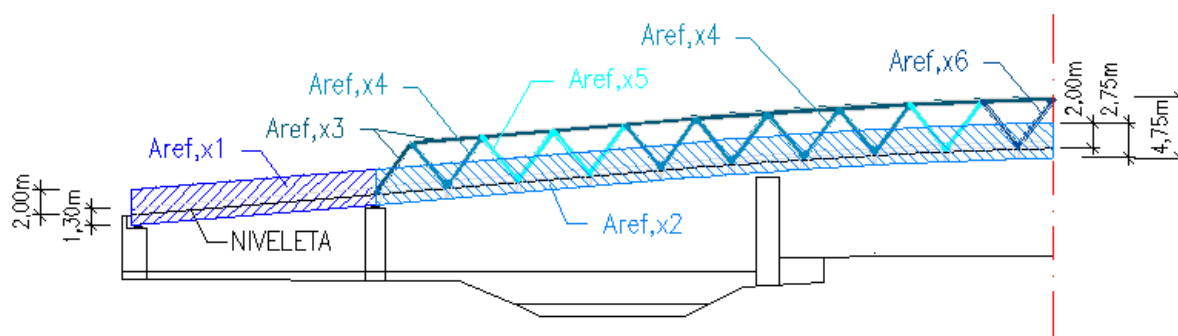
Uvažuji současné působení zatížení větrem a zatížení od silniční dopravy, použije se tedy omezená hodnota základní rychlosti větru:  $v_{b,0}^* = 23 \text{ m/s}$

$$v_b^* = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 23 = 23 \text{ m/s}$$

$$F_w^* = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^{*2} \cdot C \cdot A_{ref,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 23^2 \cdot C_i \cdot A_{ref,x}$$

Součinitel zatížení větrem  $C$  pro  $z_e = 8,50 \text{ m}$  je vyčíslen pro dvě různé výšky nosné konstrukce:

- Trám  $b/d_{tot,1} = 12,46/1,30 = 9,72 \Rightarrow C_1 = 3,60$
- Trám + příhrada  $b/d_{tot,2\sim6} = 12,46/4,75 = 2,62 \Rightarrow C_{2\sim6} = 4,82$



Obr. 5-7: Přehled zatížení větrem ve směru X

Výsledný tlak větru na konstrukci závisí na skutečnosti, zda zatížení větrem působí společně se zatížením od dopravy, kdy se má použít omezení na hodnotu  $F_w^*$ . Dle přílohy A.2 ČSN 1990 ed. 2 se však má se sestavou zatížení gr1a kombinovat menší z hodnot  $F_w^*$  a  $\psi F_w$ , přičemž z následující tabulky vyplývá, že kombinační hodnota  $\psi F_w$  je menší a bude tedy použita ke kombinaci zatížení se sestavou zatížení gr1a, v ostatních případech bude použita omezená hodnota  $F_w^*$ .

Tabulka 2: Hodnoty tlaku větru na jednotlivé prvky

| i  | Prvek   | Ci       | -       | Aref,xi |       | Fw*         | Fw          | ψFw         |             |
|----|---------|----------|---------|---------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|    |         |          | Aref,xi |         | -     |             |             |             |             |
|    |         |          | bf [m]  | L [m]   | h [m] | [kN/m]      | [kN/m]      | [kN/m]      |             |
| 1* | Trám    | 3.60     | -       | 1       | 1.30  | <b>1.55</b> | -           | -           |             |
| 2* | Trám    | 4.82     | -       | 1       | 1.30  | <b>2.07</b> | -           | -           |             |
| 1  | Trám    | 3.60     | -       | 1       | 1.30  | -           | <b>1.83</b> | <b>1.10</b> |             |
|    | Doprava | 3.60     | -       | 1       | 1.45  | -           | <b>2.04</b> | <b>1.22</b> |             |
| 2  | Trám    | 4.82     | -       | 1       | 1.30  | -           | <b>2.45</b> | <b>1.47</b> |             |
|    | Doprava | 4.82     | -       | 1       | 1.45  | -           | <b>2.73</b> | <b>1.64</b> |             |
| 3* | 3       | Příhrada | 4.82    | 0.40    | 1     | -           | <b>0.64</b> | <b>0.75</b> | <b>0.45</b> |
| 4* | 4       |          | 4.82    | 0.35    | 1     | -           | <b>0.56</b> | <b>0.66</b> | <b>0.40</b> |
| 5* | 5       |          | 4.82    | 0.30    | 1     | -           | <b>0.48</b> | <b>0.56</b> | <b>0.34</b> |
| 6* | 6       |          | 4.82    | 0.25    | 1     | -           | <b>0.40</b> | <b>0.47</b> | <b>0.28</b> |

Dopočet pro nejslabší diagonálu

|      |      |   |   |             |             |      |
|------|------|---|---|-------------|-------------|------|
| 4.82 | 0.20 | 1 | - | <b>0.32</b> | <b>0.38</b> | 0.23 |
|------|------|---|---|-------------|-------------|------|

### 5.2.2.2 Směr Z

$$F_{w,z} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,z} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 23^2 \cdot (\pm 0,9 \cdot 1,57) \cdot 1\,775 = \pm 829\,232,3\,N = \pm 829\,kN$$

Součinitel vztlaku:  $c_{f,z} = \pm 0,90$

Součinitel expozice:  $c_e = 1,57$

Referenční plocha:  $A_{ref,z} = b \cdot L = 12,46 \cdot 142,45 = 1\,775\,m^2$

Takto stanovená síla od větru ve směru Z má významné účinky pouze tehdy, kdy je stejného řádu jako reakce od stálého zatížení:  $R_{z,G} = 15\,785\,kN \gg 829\,kN$

Vzhledem k velikosti reakce od stálého zatížení nebudou síly od větru ve směru Z uvažovány.

### 5.2.2.3 Směr Y

Podélné síly od větru nejsou ve výpočtu uvažovány.

### 5.2.3 TEPLOTA

Pro účely zatížení mostu teplotními změnami je nosná konstrukce zatříděna do dvou skupin dle typu prvků, kterých se zatížení týká:

- 1. typ: ocelová nosná konstrukce – pro rovnoměrnou složku teploty a pro rozdíl v rovnoměrné složce teploty mezi různými nosnými prvky OK,
- 2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce – pro rozdílovou složku teploty mezi ŽB deskou a příčnickem.

#### 5.2.3.1 Rovnoměrná složka teploty

Uvažuje se pro prodloužení a zkrácení celého mostu, výpočet bude tedy potřebný k nastavení mostních závěrů.

$$T_{max} = +38^{\circ}\text{C}$$

$$T_{min} = -30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 16^{\circ}\text{C} = 38 + 16 = 54^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} - 3^{\circ}\text{C} = -30 - 3 = -33^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 10^{\circ}\text{C}$$

Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet:

- Zkrácení:  $\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10 - (-33) = 43^{\circ}\text{C}$
- Prodloužení:  $\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 54 - 10 = 44^{\circ}\text{C}$
- Celkový rozsah:  $\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min} = 54 - (-33) = 87^{\circ}\text{C}$

Pro ložiska a dilatační spáry je stanoven maximální rozsah rovnoměrné složky teploty pro výpočet:

- Zkrácení:  $\Delta T_{N,con,lož} = \Delta T_{N,con} + 20^{\circ}\text{C} = 43 + 20 = 63^{\circ}\text{C}$
- Prodloužení:  $\Delta T_{N,exp,lož} = \Delta T_{N,exp} + 20^{\circ}\text{C} = 44 + 20 = 64^{\circ}\text{C}$

#### 5.2.3.2 Rozdílová složka teploty

Uvažuje se změna teploty po výšce mezi železobetonovou deskou a ocelovým příčnickem. Pro tento případ uvažuji zatřídění uvedené části konstrukce jako 2. typ. Je použito zjednodušené varianty postupu 2 dle kap. 6.1.4.2. ČSN EN 1991-1-5, který předpokládá změnu teploty po výšce ŽB desky a ocelového profilu. Změna teploty ocelového profilu se neuvažuje, v oblasti celé výšky desky je teplota konstantní:

- Oteplení:  $\Delta T_1 = +10^{\circ}\text{C}$
- Ochlazení:  $\Delta T_1 = -10^{\circ}\text{C}$

#### 5.2.3.3 Rozdíly v rovnoměrné složce teploty

Uvažuje se rozdíl teplot mezi horním pasem příhradoviny a trámem:

- Horní pas teplejší než trám o 15°C.
- Horní pas chladnější než trám o 15°C.

### 5.3 MIMOŘÁDNÁ (A)

Mimořádná zatížení nejsou do výpočtu uvažována.

### 5.4 KOMBINACE

Kombinace zatěžovacích stavů jsou sestaveny dle ČSN EN 1990 ed. 2, jsou dodržena kombinační pravidla pro mosty pozemních komunikací. Kombinace zatěžovacích stavů jsou dle příslušných pravidel kombinována ručně.

#### 5.4.1 MSÚ

Pro mezní stav únosnosti jsou použity výrazy 6.10a a 6.10b, konzervativní výraz 6.10 použit není, jelikož vede k méně hospodárnému návrhu:

- 6.10a :  $E_d = \sum \gamma_{G,j,sup} \cdot G_{k,j,sup} + \sum \gamma_{G,j,inf} \cdot G_{k,j,inf} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 6.10b :  $E_d = \sum \xi \cdot \gamma_{G,j,sup} \cdot G_{k,j,sup} + \sum \gamma_{G,j,inf} \cdot G_{k,j,inf} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

#### 5.4.2 MSP

Pro mezní stav použitelnosti jsou použity následující výrazy:

- Charakteristická      6.14b :  $E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- Častá                      6.15b :  $E_d = \sum G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
- Kvazistálá              6.16b :  $E_d = \sum G_{k,j} + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

#### 5.4.3 KOMBINAČNÍ SOUČINITELE

Tabulka A2.1 – Doporučené hodnoty součinitelů  $\psi$  pro mosty pozemních komunikací

| Zatížení   | Značka  | $\psi_0$  | $\psi_1$ | $\psi_2$ |   |
|--|---|---|----------|----------|---|
| Zatížení dopravou<br>(viz EN 1991-2,<br>Tabulka 4.4) | gr1a<br>(LM1+ zatížení<br>chodci nebo<br>cyklisty <sup>1)</sup> | TS (dvojnápravy)                                  | 0,75     | 0,75     | 0 |
|  |   | UDL (rovnoměrné zatížení)                         | 0,40     | 0,40     | 0 |
|  |   | Zatížení chodci + zatížení cyklisty <sup>2)</sup> | 0,40     | 0,40     | 0 |
|  | gr1b (jednotlivá náprava)                                       |   | 0        | 0,75     | 0 |
|  | gr2 (vodorovné síly)  |   | 0        | 0        | 0 |
|  | gr3 (zatížení chodci)   |   | 0        | 0,40     | 0 |
|  | gr4 (LM4 (zatížení davem lidí))                                 |   | –        | 0        |   |
|  | gr5 (LM3 (zvláštní vozidla))                                    |   | –        | 0        |   |
| Zatížení větrem                                      | $F_{w,k}$   |   |          |          |   |
|  | – Trvalé návrhové situace                                       | 0,6   | 0,2      | 0        |   |
|  | – Provádění   | 0,8   | –        | 0        |   |
|  | $F_w^*$   | 1,0   | –        | –        |   |
| Zatížení teplotou                                    | $T_k$   | 0,6 <sup>3)</sup>                                 | 0,6      | 0,5      |   |
| Zatížení sněhem                                      | $Q_{sn,k}$ (během provádění)                                    | 0,8   | –        | –        |   |
| Staveništní zatížení                                 | $Q_c$   | 1,0   | –        | 1,0      |   |

Obr. 5-8: Hodnoty kombinačních součinitelů  $\psi$  [Tabulka A2.1 ČSN EN 1990 ed.2]

## 6 ŽB DESKA MOSTOVKY

Železobetonová deska mostovky výšky 200 mm je spřažena s ocelovými příčnicí pomocí spřahovací lišty. Betonována je do ztraceného bednění ze sklolaminátových vyztužených panelů. Pevnost těchto panelů je srovnatelná s pevností betonu, proto není třeba desku oslabovat. Modelována je jako deska s žebry a ve výpočtu uvažují pruh o šířce 1m.

### 6.1 VNITŘNÍ SÍLY

Deska je dimenzována na vnitřní síly v krajním poli, ve středních polích jsou síly menší. Stejně tak nad podporou vznikají vnitřní síly obdobné či menší silám v krajním poli. Výztuž je dimenzována při obou površích stejně, což pokryje kladný moment v poli i jeho obdobnou hodnotu nad podporami. Podélná výztuž bude blíže okrajům betonové desky, příčná rozdělovací blíže středu desky.

Maximální vnitřní síly v krajním poli:

- $m_{y,d} = 95,93 \text{ kNm/m}$
- $n_{y,d} = 509,69 \text{ kN/m}$
- $q_{z,d} = 232,54 \text{ kN/m}$

### 6.2 PARAMETRY PRO VÝPOČET

#### 6.2.1 Materiál

$$\text{Beton } f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 17 \text{ MPa}$$

$$\text{Výztuž } f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 454,78 \text{ MPa}$$

#### 6.2.2 Krytí

$$c \geq c_{nom} = c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 + 5 = 40 \text{ mm}$$

- Předpokládaný návrh výztuže  $\phi_{pod} = 22 \text{ mm}$ ,  $\phi_{př} = 14 \text{ mm}$
- $c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10) = \max(22; 35; 10) = 35 \text{ mm}$
- $\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm} \rightarrow$  pro řádnou kontrolu ukládání výztuže

$$c = 40 \text{ mm}$$

#### 6.2.3 Účinná výška průřezu

$$d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 40 + 11 = 51 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 200 - 51 = 149 \text{ mm}$$

$$\text{Odhad: } z \cong 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 149 = 134 \text{ mm}$$



### 6.3 NÁVRH VÝZTUŽE NA OHYB

Nutná plocha výztuže:  $A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z_s \cdot f_{sd}} = \frac{95,93 \cdot 10^3}{0,134 \cdot 434,78} = 1\,645 \text{ mm}^2$

Návrh  $\phi 22$  à  $150 \text{ mm}$  (vzdálenost prutů vychází z předpokládaného uspořádání spřahovací lišty):

$$A_{st} = 2\,534 \text{ mm}^2$$

$$\rho_s = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{2\,534}{1\,000 \cdot 149} = 0,017$$

$$\rho_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0015 \quad \dots \rho_s \geq \rho_{s,min}$$

Min. plocha výztuže:  $A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 149 = 194 \text{ mm}^2$

Max. plocha výztuže:  $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d = 0,04 \cdot 1000 \cdot 149 = 5\,960 \text{ mm}^2$

$$\dots A_{s,min} \leq A_{st} \leq A_{s,max}$$

Rovnováha sil:  $F_s = F_c$

$$F_s = A_{st} \cdot \sigma_s = A_{st} \cdot f_{sd} = 2\,534 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 1\,101,7 \text{ kN}$$

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{sd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{sd}$$

Poloha neutrálné osy:  $x = \frac{A_{st} \cdot f_{sd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2\,534 \cdot 434,78}{0,8 \cdot 1000 \cdot 17} = 81 \text{ mm}$

Dostatečná velikost poměrného přetvoření – protažení výztuže

$$\varepsilon_{st} = |\varepsilon_{cu}| \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) = 3,5 \cdot \left( \frac{149}{81} - 1 \right) = 2,94\text{‰}$$

$$\varepsilon_{sd} = \frac{f_{sd}}{E_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,17\text{‰} \quad \dots \varepsilon_{sd} \leq \varepsilon_{st}$$

Vzdálenost neutrálné osy od tlačného kraje:

$$x_{bal,1} = \frac{|\varepsilon_{cu}|}{\varepsilon_{sd} + |\varepsilon_{cu}|} \cdot d = \frac{3,5}{2,17 + 3,5} \cdot 149 = 92 \text{ mm} \quad \dots x \leq x_{bal,1}$$

Návrhový moment:  $z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = d - 0,4 \cdot x = 149 - 0,4 \cdot 81 = 116,6 \text{ mm}$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = 1\,101,7 \cdot 0,1166 = 128,46 \text{ kNm}$$

Posouzení:  $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

$$95,93 \leq 128,46 \text{ kNm}$$

→ **VYHOVUJE (75%)**

Rezerva napětí ve výztuži:  $\sigma_{r,s} = f_{sd} \cdot \left(1 - \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) = 434,78 \cdot \left(1 - \frac{95,93}{128,46}\right) = 110,1 \text{ MPa}$

Napětí od osově síly:  $\sigma_s = \frac{N_d}{2 \cdot A_{st}} = \frac{509,69 \cdot 10^3}{2 \cdot 2\,534} = 100,57 \text{ MPa}$

Posouzení:  $\sigma_s \leq \sigma_{r,s}$

$$100,6 \leq 110,1 \text{ kNm}$$

→ **VYHOVUJE (91%)**

## 6.4 ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

Návrh  $\phi 14$  à 150mm:  $A_{sr} = 1\,026 \text{ mm}^2$

$$A_{sr,min} = 0,2 \cdot A_{st} = 0,2 \cdot 2\,534 = 507 \text{ mm}^2 \quad \dots A_{sr} \geq A_{sr,min}$$

## 6.5 NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE

Únosnost bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{149}} = 2,159 \not\leq 2,0 \rightarrow k = 2,0$
- $A_{sl} = 0,5 \cdot A_{st} = 0,5 \cdot 2\,534 = 1\,267 \text{ mm}^2$
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{1\,267}{1000 \cdot 149} = 0,0085 \leq 0,02$
- $k_1 = 0,150$
- $\sigma_p = 0 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0085 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1 \cdot 0,149 = 0,105\,255 \text{ MN} = 105,26 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot 30^{1/2} = 0,542 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1 \cdot 0,149 = 0,080\,758 \text{ MN} = 80,76 \text{ kN}$$

$$\dots V_{Rd,c} \geq V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Ed} = 232,54 \text{ kN} \not\leq V_{Rd,c} = 105,26 \text{ kN} \rightarrow \text{NEVYHOVÍ, nutný návrh smykové výztuže}$$

Návrh  $\phi 8$  à 150mm:  $A_s = 335 \text{ mm}^2 \rightarrow$  spony v rastru 600x600 mm

$$A_{sw} = \frac{b}{s_l} \cdot A_s = \frac{1000}{600} \cdot 335 = 558 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_t} \cdot f_{yw} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{558}{150} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 116,6 \cdot \cot 30 = 326,83 \text{ kN}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1,0 \cdot 1000 \cdot 116,6 \cdot 0,528 \cdot 17}{\cot 30 + \tan 30} \cdot 10^{-3} = 453,19 \text{ kN}$$

$$\dots V_{Rd,s} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed} = 232,54 \text{ kN} \leq V_{Rd,s} = 326,83 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (71\%)}$$

Konstrukční zásady:  $\rho_s = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_t} = \frac{558}{1000 \cdot 150} = 0,0037$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{wk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,0009 \quad \dots \rho_s \geq \rho_{s,min}$$

## 6.6 MSP

Napětí ve výztuži  $\sigma_{sd} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \cdot f_{sd} + \frac{N_d}{2 \cdot A_{st}} = \frac{95,93}{128,46} \cdot 434,78 + \frac{509,69 \cdot 10^3}{2 \cdot 2534} = 423,4 \text{ MPa}$

$$\sigma_{sk} = \frac{\sigma_{sd}}{\gamma_f} = \frac{423,4}{1,35} = 313,6 \text{ MPa}$$

### 6.6.1 MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 119\,000}{313,6} = 880 \text{ mm}^2$$

- Součinitel charakteru rozdělení napětí  $k_c = 0,4 \dots \text{pro ohyb}$
- Součinitel nerovnoměrnosti rozdělení napětí  $k = 1,0$
- Tahová pevnost betonu  $f_{ct,eff} = \min\{f_{ctm}; 2,9 \text{ MPa}\} = 2,9 \text{ MPa}$
- Plocha taženého betonu  $A_{ct} = b \cdot (h - x) = 1000 \cdot 119 = 119\,000 \text{ mm}^2$

$$A_{s,min} = 880 \text{ mm}^2 \leq A_s = 2\,354 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

### 6.6.2 VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

- Maximální vzdálenost trhlin:

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot c + 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,eff}} = 3,4 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{3,23}{0,064} = 144,6 \text{ mm}$$

- Krytí podélné výztuže  $c = 40 \text{ mm}$
- Průměr podélné výztuže  $\phi = 22 \text{ mm}$
- Vliv povrchové úpravy výztuže  $k_1 = 0,8 \dots \text{pro žebírkovou výztuž}$

- Vliv napětí v betonu  $k_2 = 0,5 \dots \text{pro ohyb}$
- Účinný stupeň vyztužení  $\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{2\,534}{1000 \cdot 39,7} = 0,064$
- Výška taženého betonu  $h_{c,eff} = \min \left\{ \begin{matrix} 2,5(c + \phi/2) \\ (h - x)/3 \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 2,5(40 + 22/2) \\ 119/3 \end{matrix} \right\} = 39,7 \text{ mm}$
- Maximální tabulkový průměr  $\phi_s^* = 10,1765 \text{ mm} \dots \text{interpolace dle napětí z tabulky}$   
 $\phi_s = \phi_s^* \cdot \left( \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \right) \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 10,18 \cdot 1 \cdot \frac{0,4 \cdot 81}{2 \cdot (200 - 149)} = 3,23$
- Empirický součinitel  $k_t = 0,4 \dots \text{pro dlouhodobé zatížení}$
- $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06$

Rozdíl poměrných přetvoření:

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{1}{E_s} \left( \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right) =$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot \left( 313,6 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,064} \cdot (1 + 6,06 \cdot 0,064) \right) = 1,44 \cdot 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,6 \cdot \frac{313,6}{200 \cdot 10^3} = 9,41 \cdot 10^{-4}$$

$$1,44 \cdot 10^{-3} \geq 9,41 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{OK}$$

Šířka trhliny  $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 144,6 \cdot 1,44 \cdot 10^{-3} = 0,208 \text{ mm}$

$$w_k = 0,208 \leq w_{max} = 0,300 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7 ŽB DESKA CHODNÍKU

### 7.1 VNITŘNÍ SÍLY

Maximální vnitřní síly v krajním poli:

- $m_{y,d} = 34,82 \text{ kNm/m}$
- $n_{y,d} = 407,89 \text{ kN/m}$
- $q_{z,d} = 80,04 \text{ kN/m}$

### 7.2 PARAMETRY PRO VÝPOČET

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

$$d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 40 + 7 = 47 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 150 - 47 = 103 \text{ mm}$$

$$\text{Odhad: } z \cong 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 103 = 93 \text{ mm}$$

### 7.3 NÁVRH VÝZTUŽE NA OHYB

$$A_{st,rq} = 864 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1539 \text{ mm}^2 \rightarrow \boxed{\phi 14 \text{ a } 100} \text{ mm}$$

$$\rho_s = 0.0149$$

$$\rho_{s,min} = 0.0015 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_{s,min} = 134 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 4120 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Síla ve výztuži (z rovnováhy sil  $F_s=F_c$ )  
 Poloha neutrálné osy  
 Max. vzdálenost neutrálné osy od tlačného okraje

$$F_s = 669.130 \text{ kN}$$

$$x = 49.201 \text{ mm}$$

$$x_{bal,1} = 63.580 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Rameno  
 Návrhový moment

$$z = 83.320 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 55.752 \text{ kNm}$$

Jednotkový posudek

$$0.625 < 1.000 \rightarrow \text{OK}$$

Rezerva napětí ve výztuži  
 Napětí od osově síly

$$\sigma_{r,s} = 163.24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 132.52 \text{ MPa}$$

$$132.52 < 163.24 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### 7.4 ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

$$A_{sr} = 524 \text{ mm}^2 \rightarrow \boxed{\phi 10 \text{ a } 150} \text{ mm}$$

$$A_{sr,min} = 308 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

### 7.5 NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE

#### Posouzení únosnosti bez smykové výztuže

Empirický součinitel  
 Parametr vlivu výšky průřezu  
 Plocha podélné výztuže  
 Stupeň vyztužení podélnou výztuží

$$C_r = 0.120$$

$$k = 2.000$$

$$A_{sl} = 769.500 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = 0.007$$

Normálové napětí od návrhové hodnoty osově síly

$$k_1 = 0.150$$

$$\sigma_{cp} = 0.000 \text{ MPa}$$

Návrhová únosnost ve smyku  
 Minimální hodnota smykového napětí  
 Minimální hodnota únosnosti ve smyku

$$V_{Rdc} = 69.697 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0.542 \text{ MPa}$$

$$V_{Rdc,min} = 55.848 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Jednotkový posudek

$$1.1484 > 1.000 \rightarrow !!!$$

## Návrh výztuže na smyk

Úhel smykové výztuže s horizontální osou prvku  
Sklon tlačných diagonál

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\Theta = 30^\circ$$

$$\cotg \alpha = 0.000 \text{ rad}$$

$$\cotg \Theta = 1.732 \text{ rad}$$

Nabývá hodnot od 1.0 do 2.5!!!

Vzdálenost spon podélně

$$s_l = 600 \text{ mm}$$

Vzdálenost spon příčně

$$s_t = 150 \text{ mm}$$

$$A_s = 335 \text{ mm}^2 \rightarrow \boxed{\phi 8 \text{ a } 150} \text{ mm}$$

$$A_{sw} = 558 \text{ mm}^2$$

Redukční součinitel pevnosti betonu

$$v_1 = v = 0.528$$

Součinitel interakce napětí od vnějšího zatížení

$$\alpha_{cw} = 1.000$$

Maximální smyková odolnost

$$V_{Rd,max} = 323.840 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Jednotkový posudek

$$0.34 < 1.00 \rightarrow \text{OK}$$

Konstrukční zásady

Stupeň vyztužení

$$\rho_s = 0.0037$$

$$\rho_{s,min} = 0.0009 \rightarrow \text{OK}$$

## 7.6 MSP

$$\text{Napětí ve výztuži} \quad \sigma_{sd} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \cdot f_{sd} + \frac{N_d}{2 \cdot A_{st}} = 0,625 \cdot 434,78 + \frac{407,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 1539} = 404,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sk} = \frac{\sigma_{sd}}{\gamma_f} = \frac{404,26}{1,35} = 299,5 \text{ MPa}$$

### 7.6.1 MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 101\,000}{299,5} = 391 \text{ mm}^2$$

- Součinitel charakteru rozdělení napětí  $k_c = 0,4 \dots \text{pro ohyb}$
- Součinitel nerovnoměrnosti rozdělení napětí  $k = 1,0$
- Tahová pevnost betonu  $f_{ct,eff} = \min\{f_{ctm}; 2,9 \text{ MPa}\} = 2,9 \text{ MPa}$
- Plocha taženého betonu  $A_{ct} = b \cdot (h - x) = 1000 \cdot 101 = 101\,000 \text{ mm}^2$

$$A_{s,min} = 391 \text{ mm}^2 \leq A_s = 1\,539 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

### 7.6.2 VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

- Maximální vzdálenost trhlin:

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot c + 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,eff}} = 3,4 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{2,29}{0,046} = 144,5 \text{ mm}$$

- Krytí podélné výztuže  $c = 40 \text{ mm}$

- Průměr podélné výztuže  $\phi = 14 \text{ mm}$
- Vliv povrchové úpravy výztuže  $k_1 = 0,8 \dots \text{pro žebírkovou výztuž}$
- Vliv napětí v betonu  $k_2 = 0,5 \dots \text{pro ohyb}$
- Účinný stupeň vyztužení  $\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,ef}} = \frac{1539}{1000 \cdot 33,7} = 0,046$
- Výška taženého betonu  $h_{c,ef} = \min \left\{ \frac{2,5(c + \phi/2)}{(h-x)/3} \right\} = \min \left\{ \frac{2,5(40 + 14/2)}{101/3} \right\} = 33,7 \text{ mm}$
- Maximální tabulkový průměr  $\phi_s^* = 11 \text{ mm} \dots \text{interpolace dle napětí z tabulky}$   
 $\phi_s = \phi_s^* \cdot \left( \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \right) \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h-d)} = 11 \cdot 1 \cdot \frac{0,4 \cdot 49}{2 \cdot (150-103)} = 2,29$
- Empirický součinitel  $k_t = 0,4 \dots \text{pro dlouhodobé zatížení}$
- $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06$

Rozdíl poměrných přetvoření:

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{1}{E_s} \left( \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right) =$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot \left( 299,5 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,046} \cdot (1 + 6,06 \cdot 0,046) \right) = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,6 \cdot \frac{299,5}{200 \cdot 10^3} = 8,99 \cdot 10^{-4}$$

$$1,34 \cdot 10^{-3} \geq 8,99 \cdot 10^{-4} \rightarrow OK$$

Šířka trhliny  $w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 144,5 \cdot 1,34 \cdot 10^{-3} = 0,193 \text{ mm}$

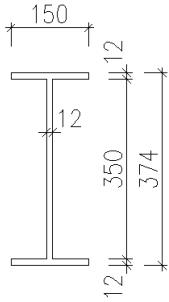
$$w_k = 0,193 \leq w_{max} = 0,300 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8 CHODNÍKOVÉ KONZOLY

### 8.1 BĚŽNÉ KONZOLY

Jedná se o průřez konzoly použitý pro všechny konzoly kromě konzol v místě podepření pravého hlavního nosníku, které jsou uvažovány jako podporové.

#### 8.1.1 PRŮŘEZ



$$A = 7,8000 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 1,0191 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = 1,6086 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$L = 2 \cdot 3,215 \text{ m}$$

$$I_z = 6,8086 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_t = 3,8131 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 2,2114 \cdot 10^{-7} \text{ m}^6$$

Ocel S355  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{69}{12} = 5,75 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{350}{12} = 29,17 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$

#### 8.1.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed} = -69,63 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 80,61 \text{ kNm}$$

#### 8.1.3 OHYB S KLOPENÍM

Průžný kritický moment  $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$

Bezrozměrný kritický moment  $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$

- Bezrozměrný parametr kroucení  $k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{2,6,43} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,2114 \cdot 10^{-7}}{81 \cdot 10^9 \cdot 3,8131 \cdot 10^{-7}}} = 0,300$

- Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot Z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,337}{2,6,43} \sqrt{\frac{210 \cdot 6,8086 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 3,8131 \cdot 10^{-7}}} = 0,560$$

- $z_a = 0,337 \text{ m}$
- $z_s = 0,000 \text{ m}$
- $Z_g = z_a - z_s = 0,337 \text{ m}$



- $Z_j = 0$
- $k_y = k_z = k_w = 2,0 \rightarrow$  pro konzolu

Je možné použít přibližné vztahy pro výpočet součinitelů  $C_1$  a  $C_2$ :

- $k_{wt} = 0,300 \leq 2 \rightarrow C_1 = 4,11 + 11,2k_{wt} - 5,65k_{wt}^2 + 0,975k_{wt}^3 = 6,988$
- $\xi_g = 0,560 \geq 0 \rightarrow C_2 = 1,661 + 1,068k_{wt} - 0,609k_{wt}^2 + 0,153k_{wt}^3 - 0,014k_{wt}^4 = 1,931$

$$\mu_{cr} = \frac{6,988}{2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0,3^2 + (1,931 \cdot 0,56)^2} - (1,931 \cdot 0,56) \right] = 1,474$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,474 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,8086 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 3,8131 \cdot 10^{-7}}}{6,43} \cdot 10^{-3} = 151,215 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,0191 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{151,215 \cdot 10^3}} = 1,547$

Součinitel imperfekce při klopení  $\alpha_{LT} = 0,49 \rightarrow$  křivka "c"

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,547 - 0,2) + 1,547^2] = 2,026$$

Součinitel klopení  $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,026 + \sqrt{2,026^2 - 1,547^2}} = 0,300 \leq 1,0 \rightarrow OK$

Posudek napětí  $\sigma^h = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^h = \frac{-69,63 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 1,6086 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,187) = 269,8 \text{ MPa}$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^d = \frac{-69,63 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 1,6086 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,187 = -269,8 \text{ MPa}$$

$$269,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1,1} = 322,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (84\%)}$$

#### 8.1.4 SMYK

$$\tau_{max} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{80,61 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 0,012} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$19,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 186,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (10\%)}$$

#### 8.1.5 SROVNÁVACÍ NAPĚTÍ

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{269,8^2 + 3 \cdot 19,2^2} = 271,8 \text{ MPa} \leq 322,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (84\%)}$$

### 8.1.6 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU A PÁSNIC

$$V_{Ed,max} = 80,61 \text{ kN}$$

$$\text{Navržená výška koutového svaru} \quad a = 5 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{80,61 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 12 \cdot 175}{1,6086 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 15,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 269,8 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{269,8^2 + 3 \cdot 15,8^2} = 271,2 \text{ MPa}$$

$$271,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.1.7 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

$$\text{Navržená výška koutového svaru} \quad a = 5 \text{ mm}$$

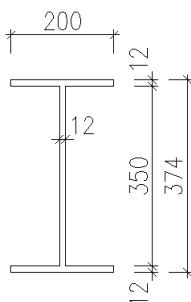
$$V_{Ed,max} = 80,61 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{h_{w,bez\ výpalů} \cdot 2 \cdot a} = \frac{80,61 \cdot 10^3}{320 \cdot 2 \cdot 5} = 25,2 \text{ MPa}$$

$$25,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.2 PODPOROVÉ KONZOLY

### 8.2.1 PRŮŘEZ



$$A = 9,0000 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 1,2363 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = 2,0019 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$L = 3,215 \text{ m}$$

$$I_z = 1,6050 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 4,3891 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 5,2418 \cdot 10^{-7} \text{ m}^6$$

$$\text{Ocel S355} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\text{Pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{94}{12} = 7,83 \leq 10\varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,10 \rightarrow \text{tř. 2}$$

$$\text{Stojina} \quad \frac{c}{t} = \frac{350}{12} = 29,17 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$$

### 8.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed} = -96,68 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 117,68 \text{ kNm}$$

### 8.2.3 OHYB S KLOPENÍM

Výpočet součinitele klopení v programu MS Excel:

|   |   |          |          |   |       |                    |                |   |         |
|---|---|----------|----------|---|-------|--------------------|----------------|---|---------|
| $I_{fc}$  | = | 0.000008 | $\psi_f$ | = | 0.000 | → z tab.           | $k_y$          | = | 2.00    |
| $I_{ft}$  | = | 0.000008 |          |   |       |                    | $k_w$          | = | 2.00    |
|   |   |          |          |   |       |                    | $k_z$          | = | 2.00    |
| $z_a$   | = | 0.337 m  |          |   |       |                    | C1             | = | 7.96    |
| $z_s$   | = | 0.000 m  |          |   |       |                    | C2             | = | 2.02    |
| $z_g$   | = | 0.337 m  |          |   |       |                    | C3             | = | 0.00    |
| $z_j$   | = | 0.000 m  |          |   |       |                    |                |   |         |
| Bezrozměrný parametr kroucení                         |   |          |          |   |       |                    | $k_{wt}$       | = | 0.430   |
| Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem k Cs |   |          |          |   |       |                    | $\xi_g$        | = | 0.802   |
| Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu               |   |          |          |   |       |                    | $\xi_j$        | = | 0.000   |
| Bezrozměrný kritický moment                           |   |          |          |   |       |                    | $\mu_{cr}$     | = | 1.321   |
| Pružný kritický moment                                |   |          |          |   |       |                    | $M_{cr}$       | = | 223.438 |
| Poměrná štíhlost                                      |   |          |          |   |       |                    | $\lambda_{LT}$ | = | 1.402   |
| Součinitel imperfekce při klopení                     |   |          |          |   |       | - křivka klopení C | $\alpha_{LT}$  | = | 0.490   |
|   |   |          |          |   |       |                    | $\phi_{LT}$    | = | 1.776   |
| Součinitel klopení                                    |   |          |          |   |       |                    | $\chi_{LT}$    | = | 0.349   |

Posudek napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^h = \frac{-96,68 \cdot 10^{-3}}{0,349 \cdot 2,0019 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,187) = 258,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^d = \frac{-96,68 \cdot 10^{-3}}{0,349 \cdot 2,0019 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,187 = -258,8 \text{ MPa}$$

$$258,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1,1} = 322,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (80\%)}$$

### 8.2.4 SMYK

$$\tau_{max} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{117,68 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 0,012} = 28,0 \text{ MPa}$$

$$28,0 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 186,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (15\%)}$$

### 8.2.5 SROVNÁVACÍ NAPĚTÍ

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{258,8^2 + 3 \cdot 28^2} = 263,3 \text{ MPa} \leq 322,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (82\%)}$$

### 8.2.6 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU A PÁSNIC

$$V_{Ed,max} = 117,68 \text{ kN}$$

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{117,68 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 12 \cdot 175}{2,0019 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 24,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 258,8 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{258,8^2 + 3 \cdot 24,7^2} = 262,3 \text{ MPa}$$

$$262,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.2.7 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed,max} = 117,68 \text{ kN}$$

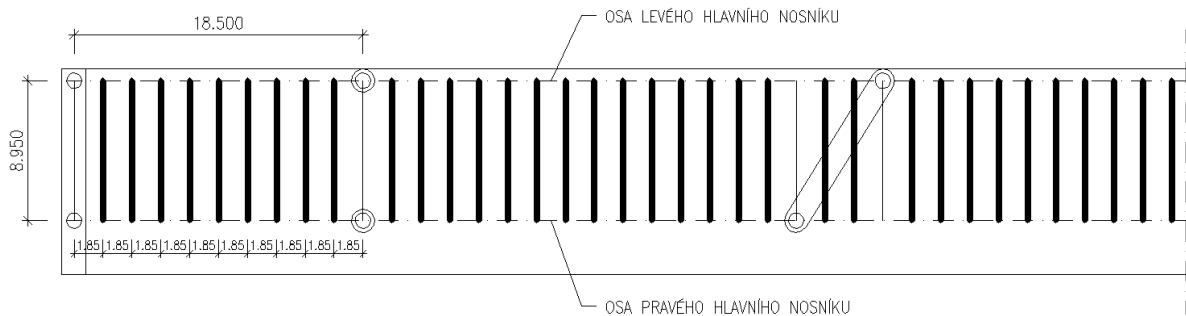
$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{h_{w,bez\ výpalů} \cdot 2 \cdot a} = \frac{117,68 \cdot 10^3}{320 \cdot 2 \cdot 5} = 36,8 \text{ MPa}$$

$$36,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 9 PŘÍČNÍK BĚŽNÝ

Běžné příčníky jsou svařované I-profilu o rozpětí 8,95m s proměnnou výškou. Maximální výška příčníku je 450mm uprostřed rozpětí. Příčníky jsou na konstrukci umístěny ve vzájemné vzdálenosti  $a = 1,85\text{m}$ . Příčníky jsou uvažovány jako spřažené s železobetonovou deskou mostovky.

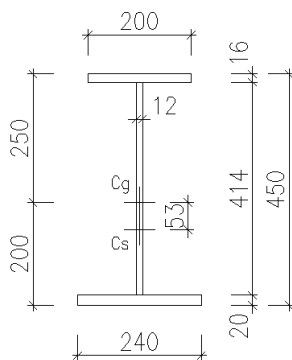
Průřez je nejprve posouzen jako nespřažený průřez, což vystihuje chování nosníku v montážním stavu při betonáži, kdy ještě nepůsobí spřažení. Nosník je zatížen jen vlastní tíhou a tíhou betonu a je nutné posoudit klopení nosníku. Následně je posouzen spřažený průřez, kdy na nosník působí krátkodobé i dlouhodobé zatížení. Mezi ocelovým průřezem a ŽB deskou uvažují dokonale tuhé spřažení bez vlivu prokluzu. Stejný postup je použit i pro posouzení nepodporových příčníků (viz kapitola 10).



Obr. 9-1: Schéma umístění běžných příčníků v konstrukci

### 9.1 NESPŘAŽENÝ PRŮŘEZ

#### 9.1.1 PRŮŘEZ



$$A = 1,2968 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = 4,3549 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$L = 8,95 \text{ m}$$

$$I_z = 3,3766 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 1,1619 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,3607 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$\text{Ocel S355} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\text{Horní pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{94}{16} = 5,88 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$$

$$\text{Dolní pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{114}{16} = 7,13 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$$

$$\text{Stojina} \quad \frac{c}{t} = \frac{414}{12} = 34,5 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$$

### 9.1.2 VNITŘNÍ SÍLY

$M_{y,k}^{G1} = 91,68 \text{ kNm}$  Moment od vlastní tíhy a tíhy betonu působící na ocelový průřez

$M_{y,Ed}^{G1} = 123,77 \text{ kNm}$

### 9.1.3 ÚNOSNOST NA KLOPENÍ

Parametr nesymetrie průřezu  $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 0,016 \cdot 0,2^3 - \frac{1}{12} \cdot 0,02 \cdot 0,24^3}{\frac{1}{12} \cdot 0,016 \cdot 0,2^3 + \frac{1}{12} \cdot 0,01 \cdot 0,24^3} = -0,367 \rightarrow C_1, C_2, C_3$

Pružný kritický moment  $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$

Bezrozměrný kritický moment  $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$

- Bezrozměrný parametr kroucení  $k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,8,95} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,3607 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,1619 \cdot 10^{-6}}} = 0,612$
- Bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot Z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,503}{1,8,95} \sqrt{\frac{210 \cdot 3,3766 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 1,1619 \cdot 10^{-6}}} = 1,533$$

- Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot Z_j}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot (-0,071)}{1,8,95} \sqrt{\frac{210 \cdot 3,3766 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 1,1619 \cdot 10^{-6}}} = -0,217$$

- $z_a = 0,450 \text{ m}$
- $z_s = -0,053 \text{ m}$
- $Z_g = z_a - z_s = 0,45 + 0,053 = 0,503 \text{ m}$
- $Z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0,45 \cdot (-0,367) \cdot 0,432 = -0,071 \text{ m}$
- $k_z = k_w = 1,0$
- $C_1 = 1,13$
- $C_2 = 0,46$
- $C_3 = 0,53$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0,612^2 + (0,46 \cdot 1,533 - 0,53 \cdot (-0,217))^2} - (0,46 \cdot 1,533 + 0,53 \cdot 0,217) \right] = 0,690$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 0,69 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 3,3766 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,1619 \cdot 10^{-6}}}{8,95} = 197,808 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,195 \cdot 10^{-3} \cdot 345 \cdot 10^6}{197,808 \cdot 10^3}} = 1,955$

Součinitel imperfekce při klopení  $\alpha_{LT} = 0,49 \rightarrow$  křivka "c"

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,955 - 0,2) + 1,955^2] = 2,840$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,840 + \sqrt{2,840^2 - 1,955^2}} = 0,204 \leq 1,0 \rightarrow OK$$

Posudek napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^h = \frac{123,77 \cdot 10^{-3}}{0,204 \cdot 4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,25) = -348,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^d = \frac{123,77 \cdot 10^{-3}}{0,204 \cdot 4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,2 = 278,6 \text{ MPa}$$

$$348,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Nosník nevyhoví, navrhuji tedy montážní příhradové ztužení v polovině nosníku, které zkrátí délku na klopení na polovinu. Výpočet je proveden v programu MS Excel analogicky výše uvedenému postupu, výsledkem je nový součinitel klopení.

$$L = 8,95/2 = 4,475 \text{ m}$$

|          |   |                        |          |   |                 |       |   |      |
|----------|---|------------------------|----------|---|-----------------|-------|---|------|
| $I_{fc}$ | = | 1.1E-05 m <sup>3</sup> | $\psi_f$ | = | -0.367 → z tab. | $k_y$ | = | 1.00 |
| $I_{ft}$ | = | 2.3E-05 m <sup>3</sup> |          |   |                 | $k_w$ | = | 1.00 |
|          |   |                        |          |   |                 | $k_z$ | = | 1.00 |
| $z_a$    | = | 0.450 m                |          |   |                 | C1    | = | 1.13 |
| $z_s$    | = | -0.053 m               |          |   |                 | C2    | = | 0.46 |
| $z_g$    | = | 0.503 m                |          |   |                 | C3    | = | 0.53 |
| $z_j$    | = | -0.071 m               |          |   |                 |       |   |      |

|   |  |          |   |        |
|---|--|----------|---|--------|
| Bezrozměrný parametr kroucení                         |  | $k_{wt}$ | = | 1.223  |
| Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem k Cs |  | $\xi_g$  | = | 3.065  |
| Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu               |  | $\xi_j$  | = | -0.435 |

|                              |  |            |   |         |
|------------------------------|--|------------|---|---------|
| Bezrozměrný kritický moment  |  | $\mu_{cr}$ | = | 0.720   |
| Pružný kritický moment [kNm] |  | $M_{cr}$   | = | 412.911 |

|                                   |              |                |   |       |
|-----------------------------------|--------------|----------------|---|-------|
| Poměrná štíhlost                  |              | $\lambda_{LT}$ | = | 1.353 |
| Součinitel imperfekce při klopení | - křivka "c" | $\alpha_{LT}$  | = | 0.490 |
|                                   |              | $\phi_{LT}$    | = | 1.698 |
| Součinitel klopení                |              | $\chi_{LT}$    | = | 0.367 |

Posudek napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^h = \frac{123,77 \cdot 10^{-3}}{0,367 \cdot 4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,25) = -193,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^d = \frac{123,77 \cdot 10^{-3}}{0,367 \cdot 4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,2 = 154,9 \text{ MPa}$$

$$193,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (62\%)}$$

### 9.1.4 MSP

Hodnoty jsou uvedeny orientačně, následně se budou napětí sčítat s napětími na spřaženém průřezu. Posouzení tedy bude provedeno celkově, tj. se spřaženým průřezem.

#### 9.1.4.1 Napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,k}^{G1}}{I_y} \cdot z^h = \frac{91,68 \cdot 10^{-3}}{4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,25) = -52,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,k}^{G1}}{I_y} \cdot z^d = \frac{91,68 \cdot 10^{-3}}{4,3549 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,2 = 42,10 \text{ MPa}$$

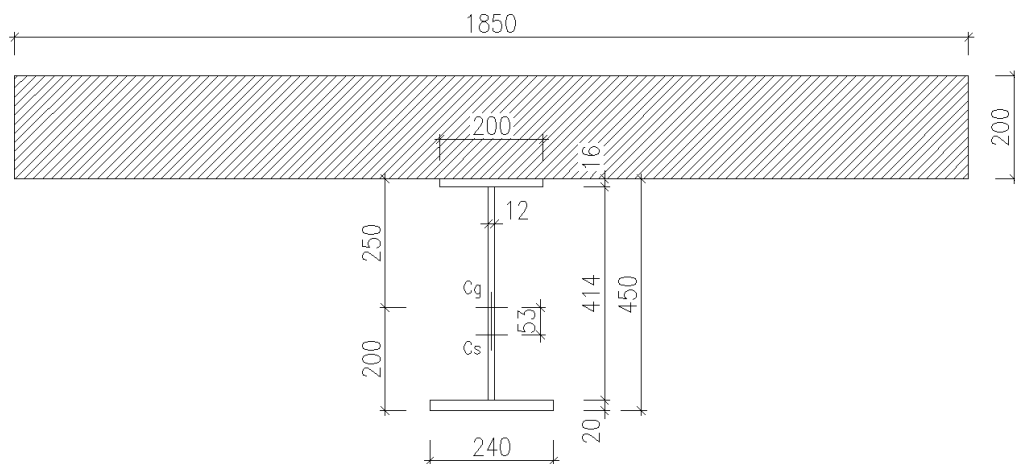
#### 9.1.4.2 Průhyb

$$w = 17,8 \text{ mm}$$

## 9.2 SPŘAŽENÝ PRŮŘEZ

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti je uvažováno plastické rozdělení napětí po průřezu.

### 9.2.1 PRŮŘEZ



Obr. 9-2: Geometrie běžného spřaženého průřezu

Ocelová část průřezu:  $A_a = 1,2968 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

$$I_a = 4,3549 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Betonová část průřezu:  $A_c = b \cdot h = 1,85 \cdot 0,2 = 0,37 \text{ m}^2$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,85 \cdot 0,2^3 = 1,2333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$



### 9.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

Moment od vlastní tíhy a tíhy betonu působící na ocelový průřez:  $M_{y,k}^{G1} = 91,68 \text{ kNm}$

$M_{y,Ed}^{G1} = 123,77 \text{ kNm}$

Moment od ostatního stálého zatížení působící na sprážený průřez:  $M_{y,k}^{G2} = 48,45 \text{ kNm}$

$M_{y,Ed}^{G2} = 65,41 \text{ kNm}$

Moment od pohyblivého zatížení:  $M_{y,k}^Q = 731,73 \text{ kNm}$

$M_{y,Ed}^Q = 987,84 \text{ kNm}$

Maximální ohybový moment:  $M_{y,k}^{max} = 871,86 \text{ kNm}$

$M_{y,Ed}^{max} = 1\,177,02 \text{ kNm}$

### 9.2.3 POSOUZENÍ MSÚ

- Spolupůsobící šířka:  $a = 1\,850 \text{ mm}$
  - Náhradní délka:  $l_0 = 8\,950 \text{ mm}$
  - Efektivní šířka:  $b_{e,i} = \frac{l_0}{8} = \frac{8\,950}{8} = 1\,119 \text{ mm}$
- $b_{eff,i} = 2 \cdot b_{e,i} = 2 \cdot 1\,119 = 2\,238 \text{ mm}$
- $b_{eff} = \min\{b_{eff,i}; a\} = 1,850 \text{ m}$

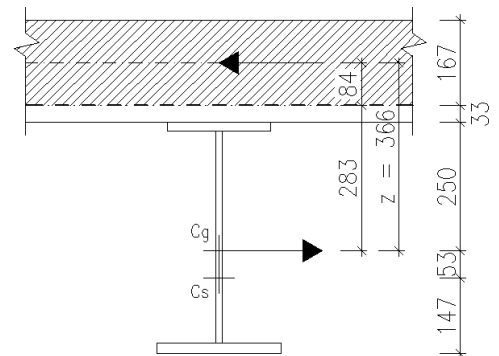
Poloha neutrálné osy (za předpokladu, že prochází betonem):

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{1,2968 \cdot 10^{-2} \cdot 345}{1,85 \cdot 0,85 \cdot 17} = 0,167 \text{ m}$$

$$x < h = 0,2 \text{ m} \rightarrow OK$$

$$M_{pl,Rd} = F_a \cdot z = A_a \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{pl,Rd} = 1,2968 \cdot 10^{-2} \cdot 345 \cdot 0,366 = 1\,637,47 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 1\,177,03 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 1\,637,47 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (72\%)}$$

Průřez na ohyb vyhoví. Vliv smršťování a dotvarování betonu lze v MSÚ zanedbat, jelikož se jedná o průřez třídy 1.

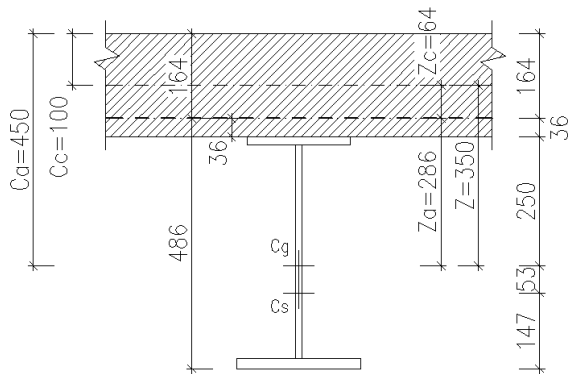
## 9.2.4 POSOUZENÍ MSP – KRÁTKODOBÉ ZATÍŽENÍ

### 9.2.4.1 Ideální průřez 1

Pracovní součinitel  $n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{33} = 6,364$

Plocha ideálního průřezu  $A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 1,30 \cdot 10^{-2} + \frac{0,37}{6,364} = 0,071 \text{ m}^2$

Poloha neutrálné osy  $z_i = \frac{\frac{A_c}{n} \cdot c_c + A_a \cdot c_a}{A_i} = \frac{\frac{0,37}{6,364} \cdot 0,1 + 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 0,45}{0,071} = 0,164 \text{ mm}$



Moment setrvačnosti

$$I_i = I_a + A_a \cdot z_a^2 + \frac{1}{n} \cdot (I_c + A_c \cdot z_c^2)$$

$$I_i = 4,35 \cdot 10^{-4} + 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 0,286^2 + \frac{1}{6,364} \cdot (1,23 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 0,064^2)$$

$$I_i = 1,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

### 9.2.4.2 Napětí

#### a) Napětí na spřaženém průřezu

$$\rightarrow M_{y,k} = 48,45 + 731,73 = 780,18 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^h = \frac{1}{6,364} \cdot \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,164) = -10,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^d = 0 \rightarrow \text{beton v tahu neuvažují}$$

$$\sigma_a^h = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,036 = 14,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,486 = 196,46 \text{ MPa}$$

#### b) Výsledná napětí (spolu s napětím na ocelovém průřezu)

$$\sigma_c^h = -10,42 \text{ MPa}$$

$$10,4 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sigma_c^d \rightarrow \text{beton v tahu neuvažují}$$

$$\sigma_a^h = 14,55 - 52,63 = -38,08 \text{ MPa}$$

$$38,1 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sigma_a^d = 196,46 + 42,10 = 238,56 \text{ MPa}$$

$$238,6 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 345 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### c) Napětí na spřaženém průřezu od ostatního stálého zatížení

$$\rightarrow M_{y,k} = 48,45 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^h = \frac{1}{6,364} \cdot \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,164) = -0,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^d = 0 \rightarrow \text{beton v tahu neuvažují}$$

$$\sigma_a^h = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,036 = 0,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,486 = 12,20 \text{ MPa}$$

### 9.2.5 POSOUZENÍ MSP - NEROVNOMĚRNÁ ZMĚNA TEPLoty

Uvažuje se změna teploty po výšce mezi železobetonovou deskou a ocelovým příčnickem. Pro tento případ uvažují zatřídění uvedené části konstrukce jako 2. typ. Je použito zjednodušené varianty postupu 2 (dle kap. 6.1.4.2. ČSN EN 1991-1-5), který předpokládá změnu teploty po výšce ŽB desky a ocelového profilu. Změna teploty ocelového profilu se neuvažuje, v oblasti celé výšky desky je teplota konstantní:

- Oteplení:  $\Delta T_1 = \Delta t = +10^\circ\text{C}$
- Ochlazení:  $\Delta T_1 = \Delta t = -10^\circ\text{C}$

$$\text{Protážení od teploty} \quad \Delta l = L \cdot \alpha \cdot \Delta t = 8,95 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 1,074 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Poměrné protážení} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{L} = \frac{1,074 \cdot 10^{-3}}{8,95} = 1,2 \cdot 10^{-4} = 0,00012$$

$$\text{Napětí v desce} \quad \sigma_c = \varepsilon \cdot E_c = 0,00012 \cdot 33\,000 = 3,96 \text{ MPa}$$

$$\text{Síla odpovídající napětí} \quad N_c = \sigma_c \cdot A_c = 3,96 \cdot 10^3 \cdot 0,37 = 1\,465,2 \text{ kN}$$

$$\text{Ohybový moment od } N_c \quad M_c = N_c \cdot z = 1\,465,2 \cdot (0,164 - 0,1) = 93,77 \text{ kNm}$$

#### 9.2.5.1 Napětí

##### a) Napětí na spřaženém průřezu

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_c^h \right) + \frac{N_c}{A_c} = \frac{1}{6,364} \cdot \left( \frac{-1\,465,2 \cdot 10^{-3}}{0,071} + \frac{93,77 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,164) \right) + \frac{1\,465,2 \cdot 10^{-3}}{0,37}$$

$$\sigma_c^h = -3,57 + 3,96 = 0,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_c^d \right) = \frac{1}{6,364} \cdot \left( \frac{-1\,465,2 \cdot 10^{-3}}{0,071} + \frac{93,77 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,036 \right) + \frac{1\,465,2 \cdot 10^{-3}}{0,37}$$

$$\sigma_c^d = -2,30 + 3,96 = 1,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^h = \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{-1\,465,2 \cdot 10^{-3}}{0,071} + \frac{93,77 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,036 = -18,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{-1\,239,5 \cdot 10^{-3}}{0,071} + \frac{93,77 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,486 = 2,96 \text{ MPa}$$

## 9.2.6 POSOUZENÍ MSP – DLOUHODOBÉ ZATÍŽENÍ

### 9.2.6.1 Dotvarování

Součinitel dotvarování  $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,612 \cdot 0,990 = \mathbf{1,596}$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,227 \cdot 2,725 \cdot 0,482 = 1,612$$

- $f_{cm} = 38 \text{ MPa} \rightarrow \varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1-RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[ 1 + \frac{1-80/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{448}} \cdot 0,944 \right] \cdot 0,984 = 1,227$
- $RH_{dle \text{ čHMÚ}} = 80\%$
- $h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 1\,850 \cdot 200}{1\,650} = 448 \text{ mm}$
- $\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,7} = 0,944$
- $\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,2} = 0,984$
- $\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,5} = 0,960$
- 
- $\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{38}} = 2,725$
- $\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1+t_0^{0,20})} = \frac{1}{(0,1+30^{0,20})} = 0,482$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} = \left[ \frac{36\,500 - 30}{1\,234 + 36\,500 - 30} \right]^{0,3} = 0,990$$

- $\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] \cdot 448 + 250 \cdot 0,96$
- $\beta_H = 1\,234 \leq 1\,500 \cdot \alpha_3 = 1\,500 \cdot 0,96 = 1\,440 \rightarrow OK$

### 9.2.6.2 Ideální průřez 2

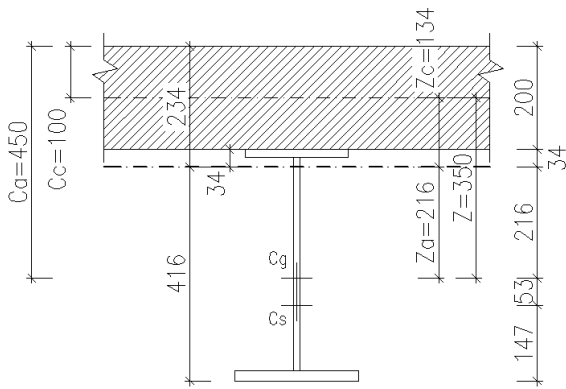
Původní pracovní součinitel  $n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{33} = 6,364$

Pracovní součinitel dotvarování  $\psi_L = 1,100$

$$n_L = n \cdot (1 + \psi_L \cdot \varphi(t, t_0)) = 6,364 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,596) = \mathbf{17,537}$$

Plocha ideálního průřezu  $A_i = A_a + \frac{A_c}{n_L} = 1,30 \cdot 10^{-2} + \frac{0,37}{17,537} = 0,034 \text{ m}^2$

Poloha neutrálné osy  $z_i = \frac{\frac{A_c}{n_L} \cdot c_c + A_a \cdot c_a}{A_i} = \frac{\frac{0,37}{17,537} \cdot 0,1 + 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 0,45}{0,034} = 0,234 \text{ mm}$



Moment setrvačnosti

$$I_i = I_a + A_a \cdot z_a^2 + \frac{1}{n_L} \cdot (I_c + A_c \cdot z_c^2)$$

$$I_i = 4,35 \cdot 10^{-4} + 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 0,216^2 +$$

$$+ \frac{1}{17,537} \cdot (1,23 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 0,134^2)$$

$$I_i = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

### 9.2.6.3 Napětí

#### a) Napětí na spřaženém průřezu

$$\rightarrow M_{y,k} = 48,45 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^h = \frac{1}{17,537} \cdot \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,234) = -0,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^d = \frac{1}{17,537} \cdot \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) = -0,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^h = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) = -1,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{48,45 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,416 = 13,53 \text{ MPa}$$

#### b) Výsledná napětí od dotvarování (spolu s napětím na ocelovém průřezu)

$$\sigma_c^h = -0,43 - 0,65 = -1,08 \text{ MPa}$$

$$1,1 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sigma_c^d = 0 - 0,06 = -0,06 \text{ MPa}$$

$$0,1 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sigma_a^h = -1,11 + 0,90 = -0,21 \text{ MPa}$$

$$0,2 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sigma_a^d = 13,53 + 12,20 = 25,73 \text{ MPa}$$

$$25,7 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 345 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

#### c) Napětí na spřaženém průřezu

$$\rightarrow M_{y,k} = 780,18 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^h = \frac{1}{17,537} \cdot \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,234) = -6,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_c^d = \frac{1}{17,537} \cdot \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) = -1,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^h = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) = -17,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{M_{y,k}}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{780,18 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,416 = 217,82 \text{ Pa}$$

#### d) Výsledné napětí v MSP (spolu s napětím na ocelovém průřezu)

$$\sigma_c^h = -6,98 \text{ MPa} \qquad 6,9 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_c^d = 0 - 1,02 = -1,02 \text{ MPa} \qquad 1,0 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_a^h = -17,80 - 52,63 = -70,43 \text{ MPa} \qquad 70,42 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_a^d = 217,82 + 42,10 = 259,92 \text{ MPa} \qquad 259,9 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 345 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

#### 9.2.6.4 Smršťování

Součinitel smršťování  $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 3,210 \cdot 0,994 = \mathbf{3,191}$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,296 \cdot 2,725 \cdot 0,909 = 3,210$$

- $f_{cm} = 38 \text{ MPa} \rightarrow \varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1-RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[ 1 + \frac{1-80/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{211}} \cdot 0,944 \right] \cdot 0,984 = 1,296$
- $RH_{ale} \text{ čHMÚ} = 80\%$
- $h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 1\,850 \cdot 200}{3\,500} = 211 \text{ mm}$
- $\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,7} = 0,944$
- $\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,2} = 0,984$
- $\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} = \left[ \frac{35}{38} \right]^{0,5} = 0,960$
- $\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{38}} = 2,725$
- $\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1+t_s^{0,20})} = \frac{1}{(0,1+1^{0,20})} = 0,909$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{t - t_s}{\beta_H + t - t_s} \right]^{0,3} = \left[ \frac{36\,500 - 1}{708 + 36\,500 - 1} \right]^{0,3} = 0,994$$

- $\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] \cdot 211 + 250 \cdot 0,96$
- $\beta_H = 708 \leq 1\,500 \cdot \alpha_3 = 1\,500 \cdot 0,96 = 1\,440 \rightarrow OK$

#### 9.2.6.5 Ideální průřez 3

Původní pracovní součinitel  $n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{33} = 6,364$

Pracovní součinitel smršťování  $\psi_L = 0,550$

$$n_L = n \cdot (1 + \psi_L \cdot \varphi(t, t_0)) = 6,364 \cdot (1 + 0,55 \cdot 3,191) = 17,533$$

Vzhledem k velikosti pracovního součinitele smršťování, který se po zaokrouhlení rovná pracovnímu součiniteli dotvarování, není nutné počítat charakteristiky nového ideálního průřezu, je možné použít hodnoty ideálního průřezu 2 z předchozího výpočtu.

Poměrné přetvoření od smršťování:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,997 \cdot 0,839 \cdot 0,00027 = 0,00023 \%$$

- $\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0,04\sqrt{h_o^3}} = \frac{36\,500-1}{(36\,500-1)+0,04\sqrt{211^3}} = 0,997$
- *interpolace*  $\rightarrow k_h = 0,839$
- *nterpolace*  $\rightarrow \varepsilon_{cd,0} = 0,00027\%$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1 \cdot 0,00005 = 0,00005 \%$$

- $\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2 \cdot t^{0,5})} = 1 - e^{(-0,2 \cdot 36\,500^{0,5})} = 1,000$
- $\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,00005 \%$

Celkové poměrné smršťování  $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,00023 + 0,00005 = 0,00028 \%$

Modul pružnosti  $n_L = \frac{E_a}{E_c} \rightarrow E_c = \frac{E_a}{n_L} = \frac{210}{17,533} = 11,977 \text{ GPa}$

Napětí v desce  $\sigma_c = \varepsilon_{cs} \cdot E_c = 0,00028 \cdot 11\,977 = 3,35 \text{ MPa}$

Síla odpovídající napětí  $N_c = \sigma_c \cdot A_c = 3,35 \cdot 10^3 \cdot 0,37 = 1\,239,5 \text{ kN}$

Ohybový moment od  $N_c$   $M_c = N_c \cdot z = 1\,239,5 \cdot (0,234 - 0,1) = 166,1 \text{ kNm}$

### 9.2.6.6 Napětí

#### a) Napětí na spřaženém průřezu od smršťování

$$\sigma_c^h = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_c^h \right) = \frac{1}{17,533} \cdot \left( \frac{-1\,239,5 \cdot 10^{-3}}{0,034} + \frac{166,1 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,234) \right) = -3,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_c^d \right) = \frac{1}{17,533} \cdot \left( \frac{-1\,239,5 \cdot 10^{-3}}{0,034} + \frac{166,1 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) \right) = -2,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^h = \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_a^h = \frac{-1\,239,5 \cdot 10^{-3}}{0,034} + \frac{166,1 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,034) = -40,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = \frac{N_c}{A_i} + \frac{M_c}{I_i} \cdot z_a^d = \frac{-1\,239,5 \cdot 10^{-3}}{0,034} + \frac{166,1 \cdot 10^{-3}}{1,49 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,416 = 9,92 \text{ MPa}$$

**b) Výsledná napětí na průřezu**

$$\sigma_c^h = 3,35 - 3,57 = -0,22 \text{ MPa}$$

$$0,2 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 17 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_c^d = 3,35 - 2,30 = 1,05 \text{ MPa}$$

$$1,1 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_a^h = -40,25 \text{ MPa}$$

$$40,3 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sigma_a^d = 9,92 \text{ MPa}$$

$$9,9 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 345 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

**9.3 VÝSLEDNÁ NAPĚTÍ**

|                | montáž   | $t^\infty$ | DOTV  | SMR    | T      | $\Sigma$                      |
|----------------|----------|------------|-------|--------|--------|-------------------------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = 0.00   | 3.35       | -1.08 | -3.57  | 0.39   | <b>-0.91 &lt; 17.00 MPa</b>   |
| $\sigma_{c,d}$ | = 0.00   | 3.35       | -0.06 | -2.30  | 1.66   | <b>2.65 &lt; 2.90 MPa</b>     |
| $\sigma_{a,h}$ | = -52.63 | 14.55      | -0.21 | -40.25 | -18.89 | <b>-97.43 &lt; 355.00 MPa</b> |
| $\sigma_{a,d}$ | = 42.10  | 196.46     | 25.73 | 9.92   | 2.98   | <b>277.19 &lt; 345.00 MPa</b> |

**9.4 PRŮHYB**

Průhyb od stálého zatížení (včetně smrštění desky)  $w^G = 22,6 \text{ mm}$

Průhyb od nahodilého zatížení  $w^Q = 28,7 \text{ mm}$

Hodnota nadvýšení pro běžné příčnický  $w^+ = w^G + 0,25 \cdot w^Q = 22,6 + 7,2 \cong 30 \text{ mm}$

Limitní hodnota průhybu  $w_{max} = \frac{L}{300} = \frac{8950}{300} = 29,8 \text{ mm} \geq 28,7 \text{ mm} \rightarrow OK$

**9.5 POSOUZENÍ NA SMYK****9.5.1 POSOUZENÍ**

Maximální posouvající síla  $V_{Ed,max} = 831,28 \text{ kN}$

Smyková plocha  $A_w = h_w \cdot t_w = 0,414 \cdot 0,012 = 4,968 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Návrhová únosnost  $V_{c,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4,968 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1018,24 \text{ kN}$

Jednotkový posudek  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{831,28}{1018,24} = 0,82 \leq 1,0$

Posouzení napětí  $\tau = \frac{V_{Ed,max}}{A_w} = \frac{831,28 \cdot 10^{-3}}{4,968 \cdot 10^{-3}} = 167,3 \text{ MPa}$

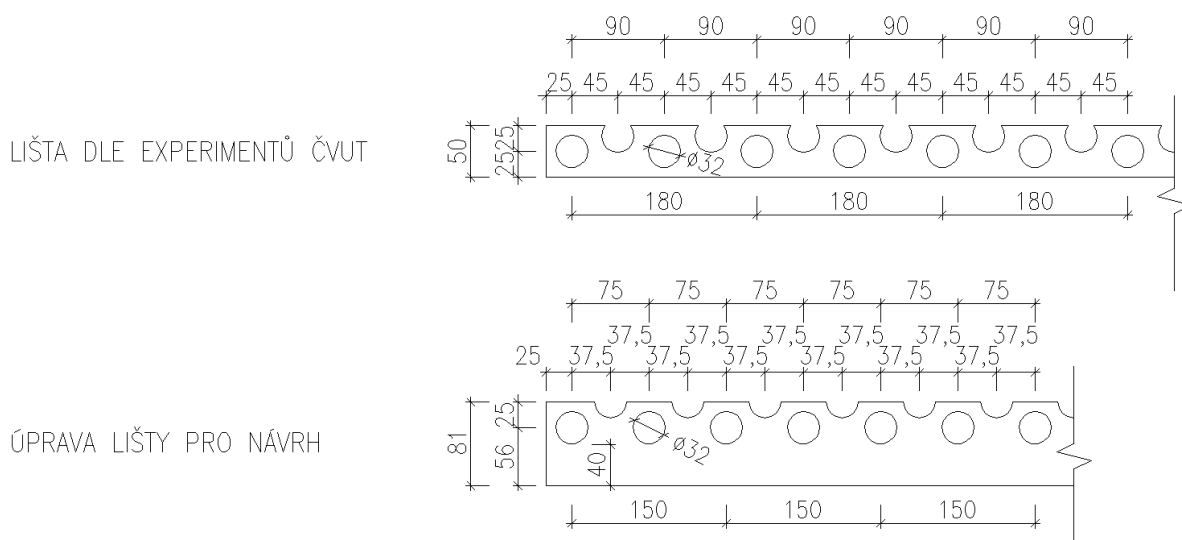
$$167,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (82\%)}$$



## 9.6 POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ

Železobetonová deska bude s ocelovým nosníkem spřažena pomocí perforované spřahovací lišty přivařené k horní pásnici ocelového nosníku. V posledních letech byly experimentálně ověřeny dva typy lišt, z nichž je použita upravená varianta nízké lišty.

Použitá lišta je upravena tak, aby pro do ní vloženou výztuž bylo dodrženo minimální krytí 40mm, průměr otvorů v liště je dodržen hodnotou 32mm a vzdálenosti otvorů jsou v menší osové vzdálenosti, tj. 37,5mm. Tloušťka lišty je 12mm.



Obr. 9-3: Spřahovací lišty

### 9.6.1 POSOUZENÍ

$$V_{Ed,SPŘ} = V_{Ed,max} - V_{Ed,OK} = 831,28 - 58,69 = 772,59 \text{ kN}$$

$$S_b = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{b,a} \\ S_{b,c} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 0,286 \\ \frac{1}{6,364} \cdot 0,37 \cdot 0,064 \end{array} \right\} = 3,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_l = \frac{V_{Ed} \cdot S_b}{I_i} = \frac{772,59 \cdot 3,72 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} = 1489 \text{ kN/m} = 1489 \text{ N/mm}$$

$$P_{Rk} = -68 + 12,4 \cdot f_{ck} + 797 \cdot A_{st} = -68 + 12,4 \cdot 30 + 797 \cdot 2534 \cdot 10^{-3} = 2324 \text{ N/mm}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{2324}{1,4} = 1660 \text{ N/mm}$$

$$V_l = 1489 \text{ N/mm} \leq P_{Rd} = 1660 \text{ N/mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (90\%)}$$

## 9.7 SPOJE

### 9.7.1 PŘÍPOJ SPRAHOVACÍ LIŠTY NA HORNÍ PÁSNICI PŘÍČNÍKU

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_l = 1\,489 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{2 \cdot a} = \frac{1\,489}{2 \cdot 5} = 148,9 \text{ MPa}$$

$$148,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.7.2 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU A PÁSNIC

Více namáhaný je svar mezi stěnou a dolní pásnicí příčnicku, bude tedy posouzen tento detail. Horní pásnice pak bude ke stěně příčnicku připojena stejným svarem, jelikož u horní pásnice je napětí menší.

$$V_{Ed,OK} = 58,69 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,SPŘ} = 772,59 \text{ kN}$$

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel,OK} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{58,69 \cdot 10^3 \cdot 240 \cdot 20 \cdot 180}{4,3549 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 11,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,SPŘ} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{772,59 \cdot 10^3 \cdot 240 \cdot 20 \cdot 466}{1,93 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 88,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 277,19 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{277,19^2 + 3 \cdot (11,6^2 + 88,2^2)} = 317,1 \text{ MPa}$$

$$317,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.7.3 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

Navržená výška koutového svaru  $a = 6 \text{ mm}$

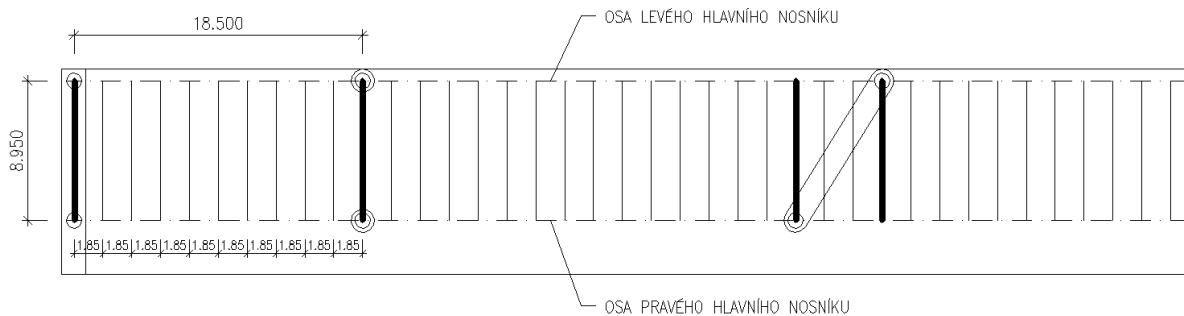
$$V_{Ed,max} = 831,28 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{h_{w,bez\ v\acute{y}pal\acute{u}} \cdot 2 \cdot a} = \frac{831,28 \cdot 10^3}{300 \cdot 2 \cdot 6} = 230,9 \text{ MPa}$$

$$230,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 10 PŘÍČNÍK NADPODPOROVÝ

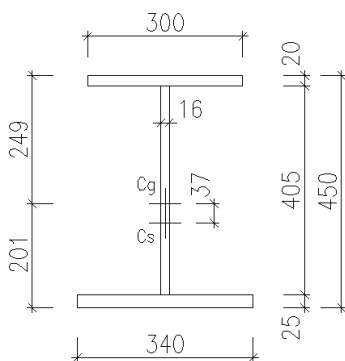
Nadpodporové příčníky jsou svařované I-profilý o rozpětí 8,95m s proměnnou výškou. Maximální výška příčníku je 450mm uprostřed rozpětí, oproti běžným příčníkům jsou uvažovány větší tloušťky průřezu. Příčníky jsou na konstrukci umístěny v místech uložení konstrukce na spodní stavbu, dodržují však běžné uspořádání příčníků  $a = 1,85\text{m}$ . Příčníky jsou uvažovány jako spřažené s železobetonovou deskou mostovky. Postup výpočtu je stejný jako u běžného příčníku, některé výpočty jsou tedy v této kapitole uvedeny zjednodušeně formou tabulek z programu MS Excel.



Obr. 10-1: Schéma umístění nadpodporových příčníků v konstrukci

### 10.1 NESPŘAŽENÝ PRŮŘEZ

#### 10.1.1 PRŮŘEZ



$$A = 2,0980 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_{pl,y} = 3,6609 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = 7,3852 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$L = 8,95 \text{ m}$$

$$I_z = 1,2702 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_t = 3,1545 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 5,3073 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$\text{Ocel S355} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\text{Horní pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{142}{20} = 7,10 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$$

$$\text{Dolní pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{162}{25} = 6,48 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$$

$$\text{Stojina} \quad \frac{c}{t} = \frac{405}{16} = 25,31 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$$

### 10.1.2 VNITŘNÍ SÍLY

$M_{y,k}^{G1} = 146,60 \text{ kNm}$  Moment od vlastní tíhy a tíhy betonu působící na ocelový průřez

$M_{y,Ed}^{G1} = 197,91 \text{ kNm}$

### 10.1.3 ÚNOSNOST NA KLOPENÍ

Výpočet součinitele klopení pomocí programu MS Excel:

|   |   |                        |          |   |                 |                |   |         |
|---|---|------------------------|----------|---|-----------------|----------------|---|---------|
| $I_{fc}$  | = | 5.9E-05 m <sup>3</sup> | $\psi_f$ | = | -0.254 → z tab. | $k_y$          | = | 1.00    |
| $I_{ft}$  | = | 9.8E-05 m <sup>3</sup> |          |   |                 | $k_w$          | = | 1.00    |
|   |   |                        |          |   |                 | $k_z$          | = | 1.00    |
| $z_a$   | = | 0.449 m                |          |   |                 | C1             | = | 1.13    |
| $z_s$   | = | -0.037 m               |          |   |                 | C2             | = | 0.46    |
| $z_g$   | = | 0.486 m                |          |   |                 | C3             | = | 0.53    |
| $z_j$   | = | -0.049 m               |          |   |                 |                |   |         |
| Bezrozměrný parametr kroucení                         |   |                        |          |   |                 | $k_{wt}$       | = | 0.733   |
| Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem k Cs |   |                        |          |   |                 | $\xi_g$        | = | 1.743   |
| Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu               |   |                        |          |   |                 | $\xi_j$        | = | -0.175  |
| Bezrozměrný kritický moment                           |   |                        |          |   |                 | $\mu_{cr}$     | = | 0.717   |
| Pružný kritický moment [kNm]                          |   |                        |          |   |                 | $M_{cr}$       | = | 656.932 |
| Poměrná štíhlost                                      |   |                        |          |   |                 | $\lambda_{LT}$ | = | 1.387   |
| Součinitel imperfekce při klopení - křivkla "c"       |   |                        |          |   |                 | $\alpha_{LT}$  | = | 0.490   |
|   |   |                        |          |   |                 | $\phi_{LT}$    | = | 1.752   |
| Součinitel klopení                                    |   |                        |          |   |                 | $\chi_{LT}$    | = | 0.354   |

Posudek napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^h = \frac{197,91 \cdot 10^{-3}}{0,354 \cdot 7,3852 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,249) = -188,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,Ed}^{G1}}{\chi_{LT} \cdot I_y} \cdot z^d = \frac{197,91 \cdot 10^{-3}}{0,354 \cdot 7,3852 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,201 = 152,2 \text{ MPa}$$

$$188,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (60\%)}$$

Nosník vyhoví, není třeba navrhovat montážní příhradové ztužení v polovině nosníku.

#### 10.1.4 MSP

Hodnoty jsou uvedeny orientačně, následně se budou napětí sčítat s napětími na spřaženém průřezu. Posouzení tedy bude provedeno celkově, tj. se spřaženým průřezem.

##### 10.1.4.1 Napětí

$$\sigma^h = \frac{M_{y,k}^{G1}}{I_y} \cdot z^h = \frac{146,6 \cdot 10^{-3}}{7,3852 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,249) = -66,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{M_{y,k}^{G1}}{I_y} \cdot z^d = \frac{146,6 \cdot 10^{-3}}{7,3852 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,201 = 53,86 \text{ MPa}$$

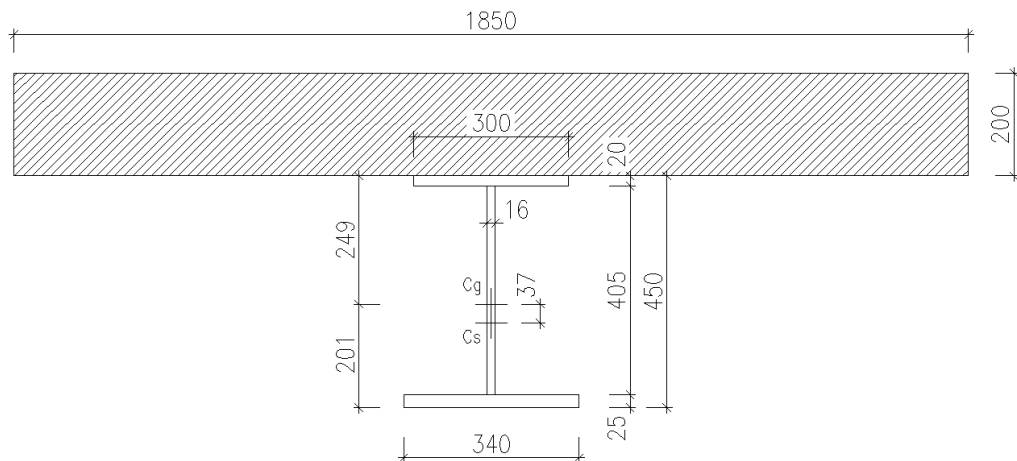
##### 10.1.4.2 Průhyb

$$w = 7,5 \text{ mm}$$

## 10.2 SPŘAŽENÝ PRŮŘEZ

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti je uvažováno plastické rozdělení napětí po průřezu.

### 10.2.1 PRŮŘEZ



Obr. 10-2: Geometrie nadpodporového spřaženého průřezu

Ocelová část průřezu:  $A_a = 2,098 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

$$I_a = 7,3852 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Betonová část průřezu:  $A_c = b \cdot h = 1,85 \cdot 0,2 = 0,37 \text{ m}^2$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,85 \cdot 0,2^3 = 1,2333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

### 10.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

Moment od vlastní tíhy a tíhy betonu působící na ocelový průřez:

$$M_{y,k}^{G1} = 146,60 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}^{G1} = 197,91 \text{ kNm}$$

Moment od ostatního stálého zatížení působící na spřažený průřez:

$$M_{y,k}^{G2} = 78,08 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}^{G2} = 105,41 \text{ kNm}$$

Moment od pohyblivého zatížení:

$$M_{y,k}^Q = 917,93 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}^Q = 1\,239,21 \text{ kNm}$$

Maximální ohybový moment:

$$M_{y,k}^{max} = 1\,142,61 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}^{max} = 1\,542,53 \text{ kNm}$$

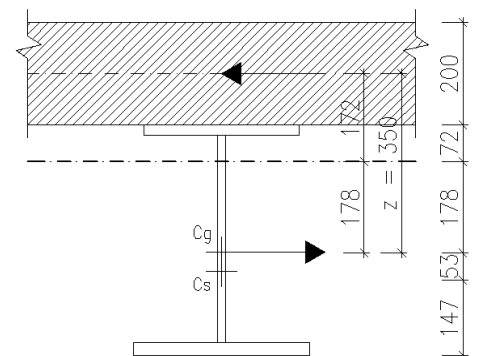
### 10.2.3 POSOUZENÍ MSÚ

Poloha neutrálné osy (za předpokladu, že prochází betonem):

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = 0,271 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = F_a \cdot z = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2\,526,10 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 1,2968 \cdot 10^{-2} \cdot 345 \cdot 0,350 = 1\,637,47 \text{ kN}$$



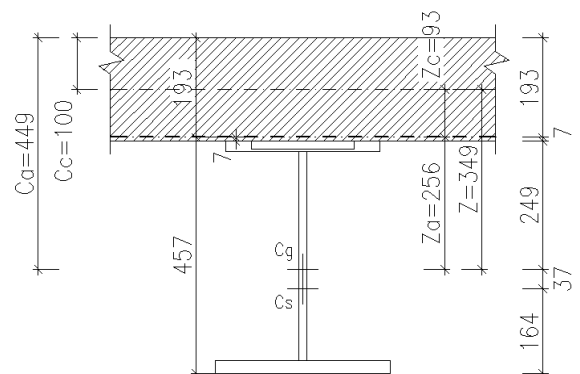
$$M_{Ed} = 1\,542,53 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 2\,526,10 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (61\%)}$$

Průřez na ohyb vyhoví. Vliv smršťování a dotvarování betonu lze v MSÚ zanedbat, jelikož se jedná o průřez třídy 1.

### 10.2.4 POSOUZENÍ MSP – KRÁTKODOBÉ ZATÍŽENÍ

#### 10.2.4.1 Ideální průřez 1

|                      |    |   |                         |
|----------------------|----|---|-------------------------|
| Pracovní součinitel  | n  | = | 6.364                   |
| Plocha               | Ai | = | 0.079 m <sup>2</sup>    |
|                      | cc | = | 0.100 m                 |
|                      | ca | = | 0.449 m                 |
|                      | zi | = | 0.193 m                 |
| Poloha neutrálné osy | za | = | 0.256 m                 |
|                      | zc | = | 0.093 m                 |
|                      | li | = | 2.81E-03 m <sup>4</sup> |
| Moment setrvačnosti  |    |   |                         |



### 10.2.4.2 Napětí

a) **Napětí na spřaženém průřezu**  $\rightarrow M_{y,k} = 78,08 + 97,93 = 996,01 \text{ kNm}$

|                |   |        |     |
|----------------|---|--------|-----|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -10.72 | MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -      | MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | 2.64   | MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 162.14 | MPa |

b) **Výsledná napětí (spolu s napětím na ocelovém průřezu)**

|                |   |        |     |
|----------------|---|--------|-----|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -10.72 | MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -      | MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -64,08 | MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 216,00 | MPa |

c) **Napětí na spřaženém průřezu od ostatního stálého zatížení**  $\rightarrow M_{y,k} = 78,08 \text{ kNm}$

|                |   |       |     |
|----------------|---|-------|-----|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -0.84 | MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -     | MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | 0.21  | MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 12.71 | MPa |

### 10.2.5 POSOUZENÍ MSP - NEROVNOMĚRNÁ ZMĚNA TEPLoty

- Oteplení:  $\Delta T_1 = \Delta t = +10^\circ\text{C}$
- Ochlazení:  $\Delta T_1 = \Delta t = -10^\circ\text{C}$

Protažení od teploty  $\Delta l = L \cdot \alpha \cdot \Delta t = 8,95 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 1,074 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Poměrné protažení  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} = \frac{1,074 \cdot 10^{-3}}{8,95} = 1,2 \cdot 10^{-4} = 0,00012$

Napětí v desce  $\sigma_c = \varepsilon \cdot E_c = 0,00012 \cdot 33\,000 = 3,96 \text{ MPa}$

Síla odpovídající napětí  $N_c = \sigma_c \cdot A_c = 3,96 \cdot 10^3 \cdot 0,37 = 1\,465,2 \text{ kN}$

Ohybový moment od  $N_c$   $M_c = N_c \cdot z = 1\,465,2 \cdot (0,193 - 0,1) = 136,26 \text{ kNm}$

#### 10.2.5.1 Napětí

a) **Napětí na spřaženém průřezu**

|                |   |        |     |
|----------------|---|--------|-----|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -0.41  | MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | 1.32   | MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -18.16 | MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 3.55   | MPa |

## 10.2.6 POSOUZENÍ MSP – DLOUHODOBÉ ZATÍŽENÍ

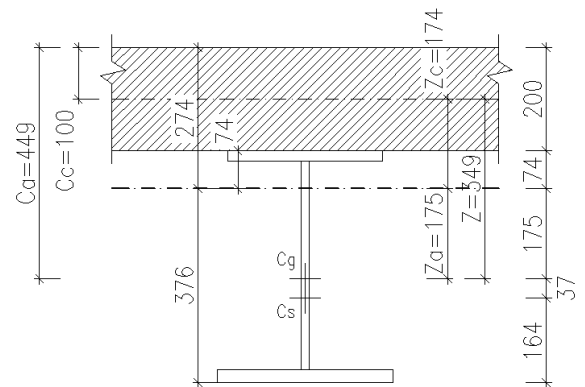
### 10.2.6.1 Dotvarování

Výpočet součinitele dotvarování:

|           |   |           |                |   |       |                   |      |              |
|-----------|---|-----------|----------------|---|-------|-------------------|------|--------------|
| $t_0$     | = | 30 dní    | $\alpha_1$     | = | 0.944 | $\varphi_0$       | =    | 1.605        |
| $t$       | = | 36500 dní | $\alpha_2$     | = | 0.984 | $\beta_{c,t,t_0}$ | =    | 0.990        |
| $f_{ctm}$ | = | 38 MPa    | $\alpha_3$     | = | 0.960 | $\varphi_{t,t_0}$ | =    | <b>1.588</b> |
| RH        | = | 80 %      | $\varphi_{RH}$ | = | 1.221 |                   |      |              |
| RH0       | = | 100 %     | $\beta_{fcm}$  | = | 2.725 |                   |      |              |
| $h_0$     | = | 477 mm    | $\beta_{t_0}$  | = | 0.482 |                   |      |              |
| $\psi_L$  | = | 1.100     | $\beta_H$      | = | 1300  | <                 | 1440 | OK           |

### 10.2.6.2 Ideální průřez 2

|                      |       |   |                               |
|----------------------|-------|---|-------------------------------|
| Pracovní součinitel  | $n_L$ | = | 17.478                        |
| Plocha               | $A_i$ | = | 0.042 m <sup>2</sup>          |
|                      | $c_c$ | = | 0.100 m                       |
|                      | $c_a$ | = | 0.449 m                       |
| Poloha neutrálné osy | $x_i$ | = | <b>0.274 m</b>                |
|                      | $z_a$ | = | 0.175 m                       |
|                      | $z_c$ | = | 0.174 m                       |
| Moment setrvačnosti  | $I_i$ | = | <b>2.09E-03 m<sup>4</sup></b> |



### 10.2.6.3 Napětí

a) Napětí na spřaženém průřezu →  $M_{y,k} = 78,08 \text{ kNm}$

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -0,58 MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -0,16 MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -2,75 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 14,04 MPa |

b) Výsledná napětí od dotvarování (spolu s napětím na ocelovém průřezu)

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -1,42 MPa |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -0,16 MPa |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -2,54 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 26,75 MPa |

c) Napětí na spřaženém průřezu →  $M_{y,k} = 996,10 \text{ kNm}$

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -7,45 MPa  |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -2,01 MPa  |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -35,09 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 179,11 MPa |



d) Výsledné napětí v MSP (spolu s napětím na ocelovém průřezu)

|                |   |             |
|----------------|---|-------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -7,45 MPa   |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -2,01 MPa   |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -101,81 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 232,97 MPa  |

**10.2.6.4 Smršťování**

Výpočet součinitele smršťování:

|           |   |           |                |   |       |                   |    |              |
|-----------|---|-----------|----------------|---|-------|-------------------|----|--------------|
| $t_0=t_s$ | = | 1 dní     | $\alpha_1$     | = | 0.944 | $\varphi_0$       | =  | 3.202        |
| $t$       | = | 36500 dní | $\alpha_2$     | = | 0.984 | $\beta_{c,t,t_0}$ | =  | 0.994        |
| $f_{ctm}$ | = | 38 MPa    | $\alpha_3$     | = | 0.960 | $\varphi_{t,t_0}$ | =  | <b>3.183</b> |
| RH        | = | 80 %      | $\varphi_{RH}$ | = | 1.292 |                   |    |              |
| RH0       | = | 100 %     | $\beta_{fcm}$  | = | 2.725 |                   |    |              |
| $h_0$     | = | 218 mm    | $\beta_{t_0}$  | = | 0.909 |                   |    |              |
| $\psi_L$  | = | 0.550     | $\beta_H$      | = | 723   | < 1440            | OK |              |

**10.2.6.5 Ideální průřez 3**

|                      |       |   |                               |
|----------------------|-------|---|-------------------------------|
| Pracovní součinitel  | $n_L$ | = | 17.505                        |
| Plocha               | $A_i$ | = | 0.042 m <sup>2</sup>          |
|                      | $c_c$ | = | 0.100 m                       |
|                      | $c_a$ | = | 0.449 m                       |
| Poloha neutrálné osy | $x_i$ | = | <b>0.274 m</b>                |
|                      | $z_a$ | = | 0.175 m                       |
|                      | $z_c$ | = | 0.174 m                       |
| Moment setrvačnosti  | $I_i$ | = | <b>2.09E-03 m<sup>4</sup></b> |

Vzhledem k velikosti pracovního součinitele smršťování, který se po zaokrouhlení rovná pracovnímu součiniteli dotvarování, je zřejmé, že nový ideální průřez bude opět velmi podobný ideálnímu průřezu z předchozího výpočtu a hodnoty jsou pro oba průřezy stejné.

Výpočet celkového poměrného smršťování:

Vnitřní síly a napětí v desce:

|                       |   |         |                 |   |                |            |            |            |
|-----------------------|---|---------|-----------------|---|----------------|------------|------------|------------|
| $\beta_{ds(t,t_s)}$   | = | 0.99649 | $\epsilon_{cd}$ | = | 0.00023        | $E_c$      | =          | 11 996 MPa |
| $k_h$                 | = | 0.83900 | $\epsilon_{ca}$ | = | 0.00005        | $\sigma_c$ | =          | 3.31 MPa   |
| $\epsilon_{cd0}$      | = | 0.00027 | $\epsilon_{cs}$ | = | <b>0.00028</b> | $N_c$      | =          | 1223.89 kN |
| $\beta_{as(t)}$       | = | 1.00000 |                 |   | $M_c$          | =          | 212.78 kNm |            |
| $\epsilon_{ca\infty}$ | = | 0.00005 |                 |   |                |            |            |            |

### 10.2.6.6 Napětí

#### a) Napětí na spřaženém průřezu od smršťování

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | -3,25 MPa  |
| $\sigma_{c,d}$ | = | -2,09 MPa  |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -36,57 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 9,21 MPa   |

#### b) Výsledná napětí na průřezu

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = | 0,06 MPa   |
| $\sigma_{c,d}$ | = | 1,22 MPa   |
| $\sigma_{a,h}$ | = | -36,57 MPa |
| $\sigma_{a,d}$ | = | 9,21 MPa   |

## 10.3 VÝSLEDNÁ NAPĚTÍ

|                | montáž   | $t_{\infty}$ | DOTV  | SMR    | T      | $\Sigma$                       |
|----------------|----------|--------------|-------|--------|--------|--------------------------------|
| $\sigma_{c,h}$ | = 0.00   | 3.31         | -1.42 | -3.25  | -0.41  | <b>-1.77 &lt; 17,00 MPa</b>    |
| $\sigma_{c,d}$ | = 0.00   | 3.31         | -0.16 | -2.09  | 1.32   | <b>2.38 &lt; 2.90 MPa</b>      |
| $\sigma_{a,h}$ | = -66.72 | 2.64         | -2.54 | -36.57 | -18.16 | <b>-121.35 &lt; 355,00 MPa</b> |
| $\sigma_{a,d}$ | = 53.86  | 162.14       | 26.75 | 9.21   | 3.55   | <b>255.51 &lt; 345,00 MPa</b>  |

## 10.4 PRŮHYB

Průhyb od stálého zatížení (včetně smršťení desky)  $w^G = 11,6 \text{ mm}$

Průhyb od nahodilého zatížení  $w^Q = 12,8 \text{ mm}$

Hodnota nadvýšení pro běžné příčky  $w^+ = w^G + 0,25 \cdot w^Q = 14,8 \text{ mm} \cong \mathbf{15 \text{ mm}}$

Limitní hodnota průhybu  $w_{max} = \frac{L}{300} = \frac{8950}{300} = 29,8 \text{ mm} \geq 12,8 \text{ mm}$

## 10.5 POSOUZENÍ NA SMYK

### 10.5.1 POSOUZENÍ

Maximální posouvající síla  $V_{Ed,max} = 1\,221,63 \text{ kN}$

Smyková plocha  $A_w = h_w \cdot t_w = 0,405 \cdot 0,016 = 6,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Návrhová únosnost  $V_{c,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{6,48 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,328,14 \text{ kN}$

Jednotkový posudek  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1\,221,63}{1\,328,1} = 0,92 \leq 1,0$

Posouzení napětí  $\tau = \frac{V_{Ed,max}}{A_w} = \frac{1\,221,63 \cdot 10^{-3}}{6,48 \cdot 10^{-3}} = 167,3 \text{ MPa}$

$$167,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MO}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (82\%)}$$

## 10.6 POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ

Železobetonová deska bude s ocelovým nosníkem spřažena pomocí perforované spřahovací lišty přivařené k horní pásnici ocelového nosníku. Je použita stejná lišta jako u běžného příčnicku.

### 10.6.1 POSOUZENÍ

$$V_{Ed,SPŘ} = V_{Ed,max} - V_{Ed,OK} = 1\,221,63 - 112,68 = 1\,108,95 \text{ kN}$$

$$S_b = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{b,a} \\ S_{b,c} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,098 \cdot 10^{-2} \cdot 0,257 \\ \frac{1}{6,364} \cdot 0,37 \cdot 0,093 \end{array} \right\} = 5,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_l = \frac{V_{Ed} \cdot S_b}{I_i} = \frac{1\,108,95 \cdot 5,40 \cdot 10^{-3}}{2,81 \cdot 10^{-3}} = 1\,231 \text{ kN/m} = 1\,231 \text{ N/mm}$$

$$P_{Rk} = -68 + 12,4 \cdot f_{ck} + 797 \cdot A_{st} = -68 + 12,4 \cdot 30 + 797 \cdot 2\,534 \cdot 10^{-3} = 2\,324 \text{ N/mm}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{2\,324}{1,4} = 1\,660 \text{ N/mm}$$

$$V_l = 1\,231 \text{ N/mm} \leq P_{Rd} = 1\,660 \text{ N/mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (75\%)}$$

## 10.7 SPOJE

### 10.7.1 PŘÍPOJ SPŘAHOVACÍ LIŠTY NA HORNÍ PÁSNICI PŘÍČNÍKU

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_l = 1\,216 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{2 \cdot a} = \frac{1\,231}{2 \cdot 5} = 123,1 \text{ MPa}$$

$$123,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 10.7.2 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU A PÁSNIC

Více namáhaný je svar mezi stěnou a dolní pásnicí příčnicku, bude tedy posouzen tento detail. Horní pásnice pak bude ke stěně příčnicku připojena stejným svarem, jelikož u horní pásnice je napětí menší.

$$V_{Ed,OK} = 112,68 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,SPŘ} = 1\,108,95 \text{ kN}$$

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel,OK} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{112,68 \cdot 10^3 \cdot 340 \cdot 25 \cdot 176}{7,3852 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 22,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,SPŘ} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1\,108,95 \cdot 10^3 \cdot 240 \cdot 20 \cdot 432}{2,81 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 81,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 255,51 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{255,51^2 + 3 \cdot (22,8^2 + 81,8^2)} = 294,8 \text{ MPa}$$

$$294,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 10.7.3 PŘÍPOJ STĚNY PŘÍČNÍKU NA HLAVNÍ NOSNÍK

Navržená výška koutového svaru  $a = 9 \text{ mm}$

$$V_{Ed,max} = 1\,221,63 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{h_{w,bez\ výpalů} \cdot 2 \cdot a} = \frac{1\,221,63 \cdot 10^3}{300 \cdot 2 \cdot 9} = 226,2 \text{ MPa}$$

$$226,2 \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 10.8 VÝMĚNA LOŽISEK

Excentricita osazení lisů  $e = 0,8 \text{ m}$

Maximální reakce od stálého zatížení na opěrách  $R_z = 506,12 \text{ kN}$

$$V_{max} = 683,26 \text{ kN}$$

Moment vyvolaný excentricitou osazení lisů  $M_y = V_{max} \cdot e = 683,26 \cdot 0,8 = 547 \text{ kNm}$

Minimální potřebná plocha pro přenesení  $R_z$   $A_{req} = \frac{V_{max}}{f_{yd}} = \frac{683,26 \cdot 10^3}{313,6} = 2\,179 \text{ mm}^2$

Navržená oboustranná výztuha P12\*120  $A_s = 2 \cdot 15 \cdot 120 = 3\,600 \text{ mm}^2$

$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} \cdot z = \frac{547 \cdot 10^{-3}}{7,3852 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,249 = 184,4 \text{ MPa} \rightarrow 184,4 \text{ MPa} \leq 313,6 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{max}}{h_w \cdot t} = \frac{683,26 \cdot 10^{-3}}{0,405 \cdot 0,016} = 105,4 \text{ MPa} \rightarrow 105,4 \text{ MPa} \leq 181,1 \text{ MPa}$$

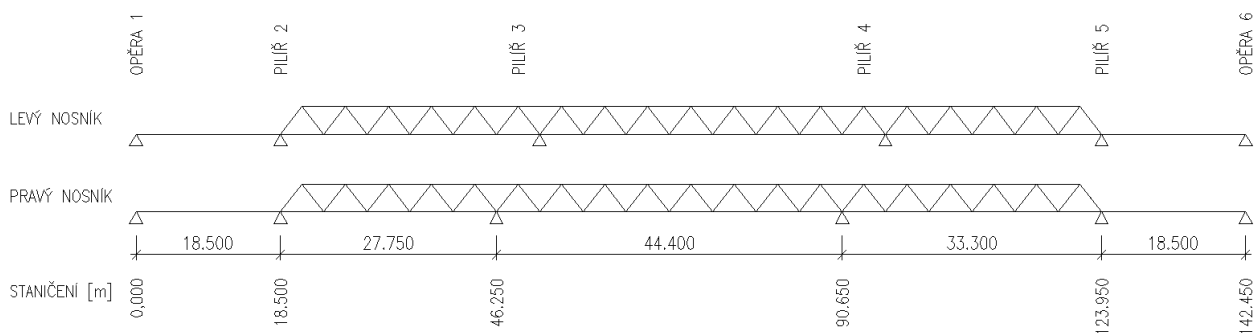
$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{184,4^2 + 3 \cdot 105,4^2} = 259,5 \text{ MPa} \rightarrow 259,5 \text{ MPa} \leq 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVÍ (83\%)}$$

## 11 HLAVNÍ NOSNÍK - TRÁM

Nosná konstrukce mostu je tvořena spojitým plnostěnným trámem o 5 polích, který je ve 3 středních polích vyztužen příhradovinou. Příhradovinu tvoří horní pás a soustava diagonál bez svislic. Konstrukce je středově souměrná – posouzen bude pouze pravý hlavní nosník, který je více namáhaný. Levý nosník je navržen jako středově souměrný k pravému nosníku. Osová vzdálenost nosníků je 8,95m.

Plnostěnný trám výšky 1,3m má proměnnou tloušťku pásnic (20 – 60mm) i stojiny (12 – 18mm). Po délce nosníku je také dle potřeby vystřídán materiál S355J2+N a S460N/NL, který je použit v krajním poli a nad přiléhající podporou (pilíř 2 a 5). Průřezy jsou po délce konstrukce navrženy tak, aby co nejlépe kopírovaly průběh ohybových momentů a posouvajících sil, přičemž zesílení stojiny ze základních 12mm je navrženo zejména kvůli smykovému namáhání.

Trám je vyztužen svislými příčnými výztuhami tl. 12mm po obou stranách stojiny, jejichž vzdálenost odpovídá vzdálenosti příčníků, tj.  $a = 1,85\text{m}$ . V místech podepření je zesílení výztuh dopočteno v rámci posouzení příslušného průřezu, stejně jako přidavné výztuhy pro přizvednutí mostu při výměně ložisek. Podélná výztuha není navržena.



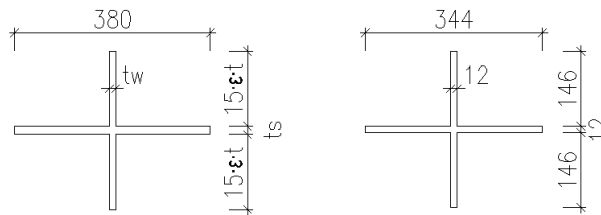
Obr. 11-1: Schéma hlavních nosníků

## 11.1 PŘÍČNÉ VÝZTUHY

Posouzena je výztuha v prostředním poli, která má největší výšku a která se nenachází v místě dobíhající pásnice diagonály k dolní pásnici trámu. Je třeba, aby byly splněny minimální požadavky na příčné výztuhy, které zajistí tuhé podepření stěny.

### 11.1.1 PRŮŘEZ

Spolupůsobící část stojiny:  $15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w$



Obr. 11-2: Tvar výztuhy

### 11.1.2 POSOUZENÍ

Spolupůsobící část stojiny:  $15 \cdot \varepsilon \cdot t$

Moment setrvačnosti:  $I_{st} = 7,632 \cdot 10^{-5} m^4$

Min. moment setrvačnosti:  $I_{st,min} = \frac{\sigma_m}{E} \cdot \left(\frac{b}{\pi}\right)^4 \cdot \left(1 + w_0 \cdot \frac{300}{b} \cdot u\right)$

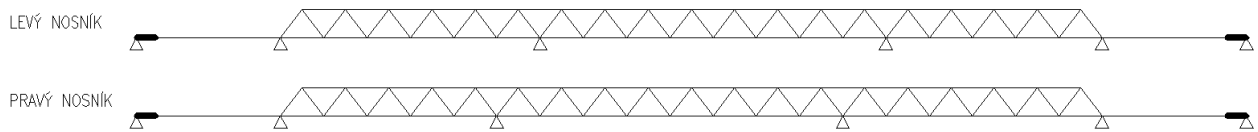
- $\sigma_m = \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \cdot \frac{N_{Ed}}{b} \cdot \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}\right) = \frac{7,986}{450,169} \cdot \frac{1\,354,68 \cdot 10^{-3}}{1,26} \cdot \left(\frac{1}{1,85} + \frac{1}{1,85}\right) = 0,021 \text{ MPa}$
- $\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0,012^2}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 1,85^2} = 7,986$
- $\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = 190\,000 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 190\,000 \cdot \left(\frac{0,012}{1,260}\right)^2 = 17,234 \text{ MPa}$
- $\sigma_{cr,p} = \sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E = 26,121 \cdot 17,234 = 450,169 \text{ MPa}$
- $N_{Ed} \geq \frac{A_s}{2} \cdot f_{w,d} = \frac{7,632 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1\,354,68 \text{ kN}$
- $b = h_w = 1,260 \text{ m}$
- $a_1 = a_2 = 1,850 \text{ m}$
- $w_0 = \min\left\{\frac{a_1}{300}; \frac{a_2}{300}; \frac{b}{300}\right\} = \frac{1,85}{300} = 6,167 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 6,167 \text{ mm}$
- $e_{max} = \frac{344}{2} = 172 \text{ mm}$
- $u = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot e_{max}}{f_y \cdot 300 \cdot b} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0,172}{355 \cdot 300 \cdot 1,26} = 2,922 \geq 1,0$

$$I_{st,min} = \frac{\sigma_m}{E} \cdot \left(\frac{b}{\pi}\right)^4 \cdot \left(1 + w_0 \cdot \frac{300}{b} \cdot u\right) = \frac{0,021}{210 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{1,26}{\pi}\right)^4 \cdot \left(1 + 6,167 \cdot \frac{300}{1\,260} \cdot 2,922\right)$$

$$I_{st,min} = 1,369 \cdot 10^{-8} m^4$$

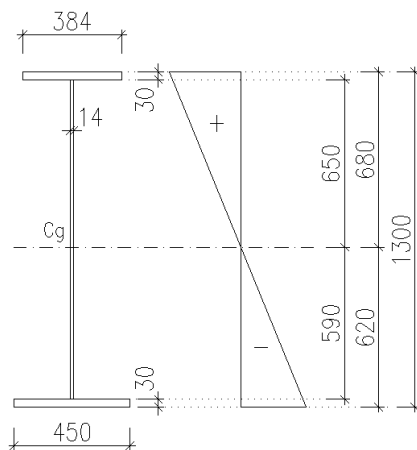
$$I_{st} = 4,075 \cdot 10^{-5} m^4 \geq I_{st,min} = 1,369 \cdot 10^{-8} m^4 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 11.2 PRŮŘEZ V ULOŽENÍ – OPĚRA 1 (6)



Obr. 11-3: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.2.1 PRŮŘEZ



$$A = 4,2380 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,2278 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,6965 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$cZ = 0,620 \text{ m}$$

Obr. 11-4: Geometrie průřezu

Ocel S355  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Horní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{186}{30} = 6,2 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$

Dolní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{219}{30} = 7,30 \leq 10\varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,10 \rightarrow \text{tř. 2}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{1240}{14} = 88,6 \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,81 = 100,44 \rightarrow \text{tř. 3, nedochází k lokálnímu boulení}$

### 11.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

Opěra 1 (řez 0,000m):

$$V_{Ed,max} = 2\,132 \text{ kN}$$

Kraj prvního pole (řez 2,500m):

$$M_{y,Ed,max} = 4\,795 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -590 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 13 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1\,600 \text{ kN}$$

Opěra 6:

$$V_{Ed,max} = -1\,901 \text{ kN}$$

### 11.2.3 BOULENÍ OD OHYBU PÁSNIC

Kritérium pro zabránění vybočení tlacené pásnice v rovině stojiny:  $\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

$$\frac{1,240}{0,014} \leq 0,4 \cdot \frac{210\,000}{345} \sqrt{\frac{1,240 \cdot 0,014}{0,45 \cdot 0,030}}$$

**88,6 ≤ 276,1** ... kritérium je splněno, boulení od ohybu pásnic nevzniká.

### 11.2.4 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU (řez 0,000m)

Vzdálenost tuhých příčných výztuh  $a = 1,850$  m.

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,240}{0,014} = 88,6 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

Příspěvek stojiny  $V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,763 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,24 \cdot 0,014}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 2\,470$  kN

- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,240} = 1,492 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,24/1,85)^2 + 0 = 7,137$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,24}{37,4 \cdot 0,014 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,137}} = 1,094 \geq 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} = \frac{1,37}{0,7 + 1,094} = 0,763$

Příspěvek pásnice  $V_{bf,Rd} = 0$  kN

Únosnost ve smyku  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,24 \cdot 0,014}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 3\,382$  kN

Posouzení  $V_{Ed} = 2\,132$  kN ≤  $V_{b,Rd} = 2\,470$  kN → **VYHOVUJE (86%)**

### 11.2.5 POSOUZENÍ PODPOROVÝCH VÝZTUH

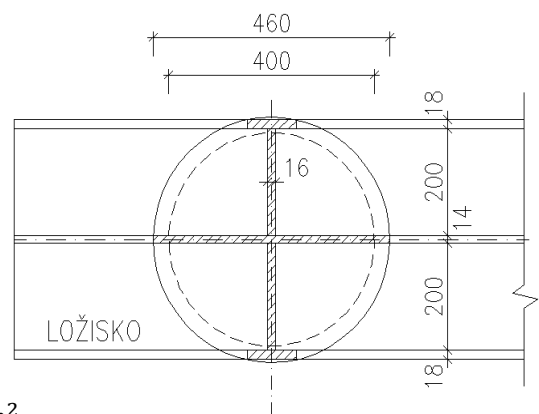
Reakce na opěře 1  $R_{z,max} = 2\,784$  kN

Reakce na opěře 6  $R_{z,max} = 2\,462$  kN

Potřebná plocha  $A_{req} = \frac{R_{z,max}}{f_{yd}} = \frac{2\,784 \cdot 10^3}{322,7} = 8\,627$  mm<sup>2</sup>

Plocha výztuh ložiska  $A_{s,lož} = 16\,281$  m<sup>2</sup> → uvažovaná tl. výztuh 2 · 16 mm

Posouzení  $\sigma_{pdp} = \frac{R_{z,max}}{A_{s,lož}} = \frac{2\,784 \cdot 10^3}{16\,281} = 171,0$  MPa ≤ 322,7 MPa → **VYHOVUJE (53%)**





### 11.2.6 POSOUZENÍ (řez 2,500m) – kontrola s výkresem

#### a) Kombinace pro Mmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-590 \cdot 10^{-3}}{4,238 \cdot 10^{-2}} + \frac{4 \cdot 795 \cdot 10^{-3}}{1,2278 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,680) + \frac{13 \cdot 10^{-3}}{3,6965 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -13,9 - 265,6 - 7,9 = -287,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-590 \cdot 10^{-3}}{4,238 \cdot 10^{-2}} + \frac{4 \cdot 795 \cdot 10^{-3}}{1,2278 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,620) + \frac{13 \cdot 10^{-3}}{3,6965 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -13,9 + 245,3 + 7,9 = 239,3 \text{ MPa}$$

$$287,4 \text{ MPa} \leq \frac{345}{1,1} = 131,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (92\%)}$$

Stabilita horního tlačeneho pásu je řešena v kapitole 13.3.5 v rámci posouzení průřezu krajního pole, který probíhá téměř po celé délce rozpětí krajního pole a je nejvíce namáhán.

#### b) Kombinace pro Nmax

Posouzení kombinace pro maximální normálovou sílu neuvažují, hodnoty vnitřních sil jsou výrazně nižší než u kombinace pro maximální ohybový moment.

### 11.2.7 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU (řez 2,500m)

Výpočet  $\chi_w$  dle kapitoly 11.2.4.

$$\text{Příspěvek stojiny} \quad V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,763 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,24 \cdot 0,014}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 2 \, 470 \text{ kN}$$

$$\text{Příspěvek pásnice} \quad V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Únosnost ve smyku} \quad V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,24 \cdot 0,014}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 3 \, 382 \text{ kN}$$

$$\text{Posouzení} \quad V_{Ed} = 1 \, 600 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 2 \, 470 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (65\%)}$$

### 11.2.8 INTERAKCE

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

$$\bullet \quad \bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,92$$

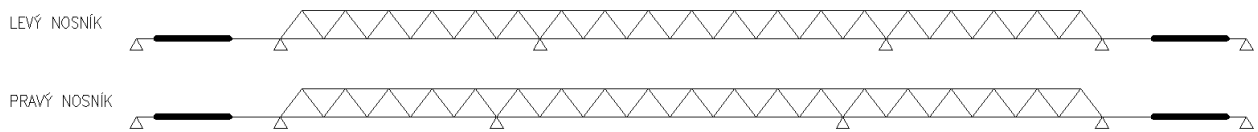
$$\bullet \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0,65$$

$$\bullet \quad s_{red} = \left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y}\right) = \left(1 - \frac{590}{(0,45 \cdot 0,03 + 0,384 \cdot 0,03) \cdot 345 \cdot 10^3}\right) = 1 - 0,068 = 0,932$$

$$\bullet \quad \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{(f_y \cdot A_{f2} \cdot z_f) \cdot s_{red}}{W_{pl,y} \cdot f_y + \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \equiv \frac{A_{f2} \cdot z_f \cdot s_{red}}{W_{pl,y} + W_{pl,z}} = \frac{0,384 \cdot 0,03 \cdot 1,24 \cdot 0,932}{2,12 \cdot 10^{-2} + 2,69 \cdot 10^{-3}} = 0,557$$

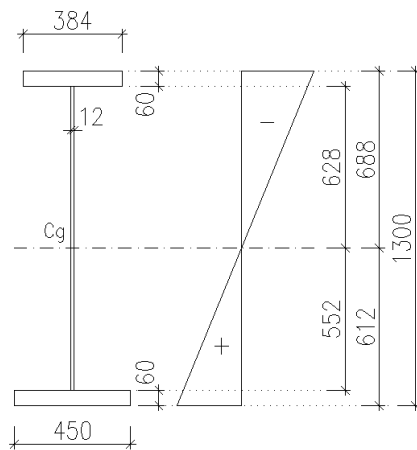
$$0,92 + (1 - 0,557) \cdot (2 \cdot 0,65 - 1)^2 = 0,87 + 0,066 = 0,96 \leq 1,00 \rightarrow \text{OK (96\%)}$$

## 11.3 PRŮŘEZ V KRAJNÍM POLI – POLE 1 (5)



Obr. 11-5: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.3.1 PRŮŘEZ



$$A = 6,4200 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,0800 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = 7,3891 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$cZ = 0,612 \text{ m}$$

Obr. 11-6: Geometrie průřezu

Ocel S460  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,71$

Horní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{186}{60} = 3,10 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \rightarrow \text{tř. 1}$

Dolní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{219}{60} = 3,65 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{1180}{12} = 98,3 \not\leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,71 = 88,04 \rightarrow \text{tř. 4} - \text{vliv boulení v tlačené části}$

### 11.3.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed,max} = 8\,788 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 5\,941 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = 1\,600 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -529 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -1\,317 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -11 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 358 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -683 \text{ kN}$$

### 11.3.3 ÚČINNÝ PRŮŘEZ

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

Stanovení součinitele boulení  $\rho$  pro vnitřní tlačené části průřezu:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{1,18/0,012}{28,4 \cdot 0,71 \cdot \sqrt{27,335}} = 0,933 > 0,5 + \sqrt{0,085 + 0,055 \cdot \psi}$$

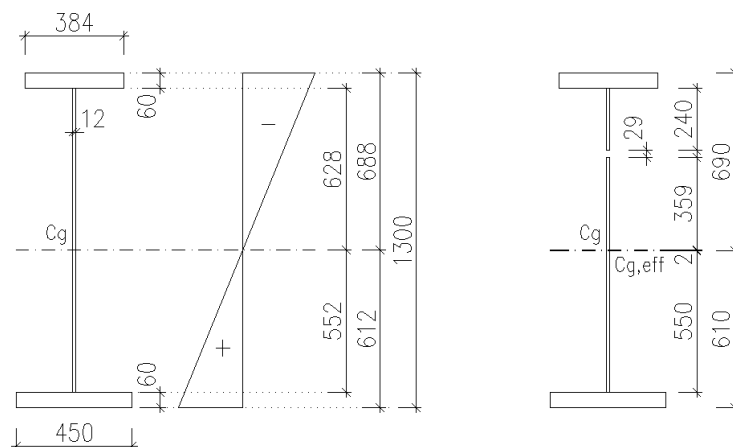
- $\bar{b} = b_w = 1,180 \text{ m}$
- $t = 0,012 \text{ m}$
- $\varepsilon = 0,71$
- $\psi = \frac{628}{-552} = -1,138 \rightarrow k_\sigma$
- $k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 5,98 \cdot (1 + 1,138)^2 = 27,335$

$$\bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,884 \rightarrow \rho$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,933 - 0,055 \cdot (3 - 1,138)}{0,933^2} = 0,954$$

Stanovení rozměrů účinného průřezu:

- $b_{eff} = \rho \cdot b_c = 0,954 \cdot 0,628 = 0,599 \text{ m} = 599 \text{ mm}$
- $b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 0,599 = 0,240 \text{ m} = 240 \text{ mm}$
- $b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 0,599 = 0,359 \text{ m} = 359 \text{ mm}$



Obr. 11-7: Geometrie účinného průřezu

Charakteristiky účinného průřezu:

- $A = 6,3852 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- $I_y = 2,0751 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$
- $I_z = 7,3891 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
- $\Delta cY = 0,000 \text{ m}$
- $\Delta cZ = -0,002 \text{ m}$

### 11.3.4 BOULENÍ OD OHYBU PÁSNIC

Kritérium pro zabránění vybočení tláčené pásnice v rovině stojiny:  $\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

$$\frac{1,180}{0,012} \leq 0,4 \cdot \frac{210\,000}{430} \sqrt{\frac{1,180 \cdot 0,011}{0,384 \cdot 0,060}}$$

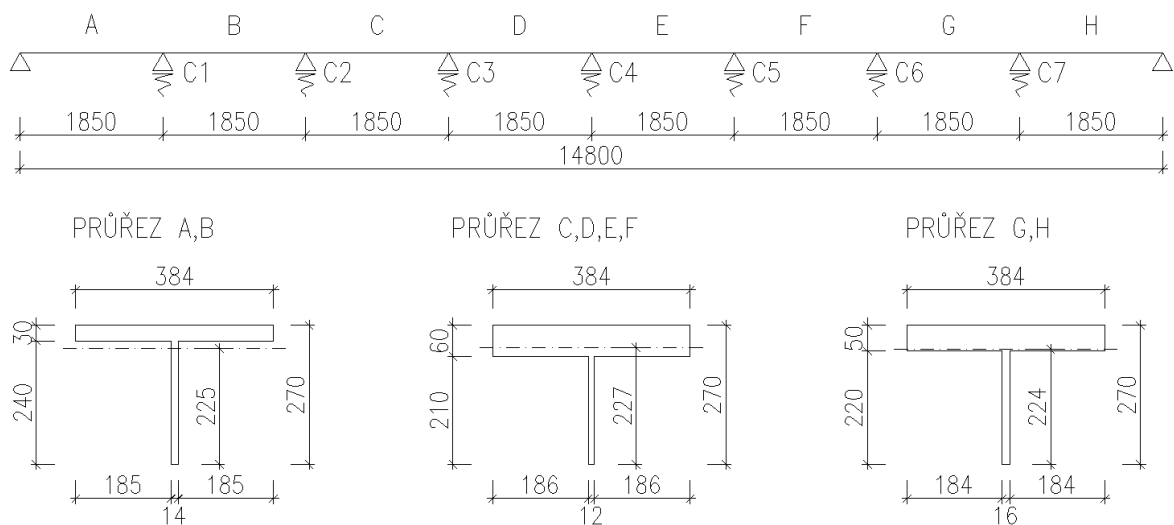
**98,3 ≤ 146,6** ... kritérium je splněno, boulení od ohybu pásnic nevzniká.

### 11.3.5 STABILITA TLAČENÉHO PÁSU – ÚČINKY II. ŘÁDU

Pro výpočet účinků II. řádu je použit stabilitní výpočet v programu Scia Engineer 2013.1, pomocí kterého je možné zjistit kritický násobek zatížení a následně součinitel klopení  $\chi$ .

Horní tlačný pás je namodelován jako spojitý nosník na pružných podporách o 8 polích, což odpovídá vzdálenosti nulových momentů v krajním poli mostu. Délka jednoho pole je rovna vzdálenosti příčníků. Ve směru vybočení je nosník v místě příčníků pružně podepřen - pružná podpora je do programu zadána tuhostí C příčných polorámů, které jsou tvořeny příčníky a hlavním nosníkem s příčnými výztuhami. Spojitý nosník je zatížen příslušnou maximální osovou tlakovou silou.

PODEPŘENÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU



Obr. 11-8: Model pro stabilitní výpočet

Výpočet jednotlivých tuhostí a maximálních osových sil je přehledně uveden v tabulce, pro výpočet byly použity tyto vzorce:

- $C = \frac{E}{\frac{h_s^3}{3 \cdot I_s} + \frac{b \cdot h^2}{2 \cdot I_p}}$
- $S_y = A \cdot z_c$
- $N_{Ed,max} = \frac{M_{yd,max} \cdot S_y}{I_y}$

Tabulka 3: Výpočet tuhostí a maximálních osových sil

| i | lv       | C <sub>i</sub> |   | M [kNm] | A [m <sup>2</sup> ] | z <sub>c</sub> [m] | S <sub>y</sub> [m <sup>3</sup> ] | I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ] | N <sub>max</sub> [kN] |
|---|----------|----------------|---|---------|---------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 1 | 4.14E-05 | 0.420          | A | 4025    | 1.49E-02            | 0.647              | 0.010                            | 1.23E-02                         | 3156                  |
| 2 | 4.05E-05 | 0.412          | B | 6626    | 1.49E-02            |                    | 0.010                            | 1.23E-02                         | 5196                  |
| 3 | 4.05E-05 | 0.412          | C | 8305    | 2.56E-02            |                    | 0.017                            | 2.08E-02                         | 6619                  |
| 7 | 4.05E-05 | 0.412          | D | 8788    | 2.56E-02            |                    | 0.017                            | 2.08E-02                         | 7004                  |
| 5 | 4.05E-05 | 0.412          | E | 8788    | 2.56E-02            |                    | 0.017                            | 2.08E-02                         | 7004                  |
| 6 | 4.05E-05 | 0.412          | F | 8182    | 2.56E-02            |                    | 0.017                            | 2.08E-02                         | 6521                  |
| 7 | 4.22E-05 | 0.429          | G | 6512    | 2.27E-02            |                    | 0.015                            | 1.85E-02                         | 5165                  |
|   |          |                | H | 3744    | 2.27E-02            |                    | 0.015                            | 1.85E-02                         | 2970                  |

Součinitel kritického zatížení  $k = 6,46$

Kritické zatížení  $N_{cr} = k \cdot N_{max} = 6,46 \cdot 7\,004 = 45\,246 \text{ kN}$

Křivka „d“  $\alpha = 0,76$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,556 \cdot 10^{-2} \cdot 430 \cdot 10^6}{45\,246 \cdot 10^3}} = 0,493$

$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,493 - 0,2) + 0,493^2] = 0,733$

$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,733 + \sqrt{0,733^2 - 0,493^2}} = 0,784$

### 11.3.6 POSOUZENÍ

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{f_y \cdot W_{eff}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0$$

Po úpravě a se zahrnutím účinků II. řádu dostanu tvar:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{\chi \cdot I_{y,eff}} \cdot z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{\chi \cdot I_{z,eff}} \cdot y_{eff} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

#### a) Kombinace pro Mmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{\chi \cdot I_{y,eff}} \cdot z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{\chi \cdot I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^h = \frac{-529 \cdot 10^{-3}}{6,3852 \cdot 10^{-2}} + \frac{8\,788 \cdot 10^{-3} - 529 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002}{0,784 \cdot 2,0751 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,690) + \frac{-5 \cdot 10^{-3} + 0}{0,784 \cdot 7,3891 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -8,3 - 372,7 + 1,9 = -379,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{\chi \cdot I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{\chi \cdot I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^d = \frac{-529 \cdot 10^{-3}}{6,3852 \cdot 10^{-2}} + \frac{8788 \cdot 10^{-3} - 529 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002}{2,07517 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,610) + \frac{-5 \cdot 10^{-3} + 0}{0,784 \cdot 7,3891 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -8,3 + 329,5 - 1,9 = 319,3 \text{ MPa}$$

$$379,1 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,1} = 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (97\%)}$$

#### b) Kombinace pro Nmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{\chi \cdot I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{\chi \cdot I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^h = \frac{-1317 \cdot 10^{-3}}{6,3852 \cdot 10^{-2}} + \frac{5941 \cdot 10^{-3} - 1317 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002}{0,784 \cdot 2,0751 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,690) + \frac{-11 \cdot 10^{-3} + 0}{0,784 \cdot 7,3891 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -20,6 - 251,9 + 4,3 = -268,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{\chi \cdot I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{\chi \cdot I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^d = \frac{-1317 \cdot 10^{-3}}{6,3852 \cdot 10^{-2}} + \frac{5941 \cdot 10^{-3} - 1317 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002}{0,784 \cdot 2,0751 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,610) + \frac{-11 \cdot 10^{-3} + 0}{0,784 \cdot 7,3891 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -20,6 + 222,7 - 4,3 = 197,8 \text{ MPa}$$

$$268,2 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,1} = 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (69\%)}$$

#### c) Smykové napětí

$$\tau_1 = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{358 \cdot 10^{-3}}{1,18 \cdot 0,012} = 25,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{683 \cdot 10^{-3}}{1,18 \cdot 0,012} = 48,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1600 \cdot 10^{-3}}{1,18 \cdot 0,012} = 113,0 \text{ MPa}$$

$$113 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{460}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 266 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (43\%)}$$

#### d) Srovnávací napětí

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1^d{}^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{379,1^2 + 3 \cdot 25,3^2} = 381,6 \text{ MPa} \leq 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_2^d{}^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = \sqrt{268,2^2 + 3 \cdot 48,2^2} = 280,9 \text{ MPa} \leq 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.3.7 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU

Vzdálenost tuhých příčných výztuh  $a = 1,850$  m.

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,180}{0,012} = 105 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,71 = 42,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

Příspěvek stojiny  $V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,651 \cdot 460 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 0,012}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 2\,227 \text{ kN}$

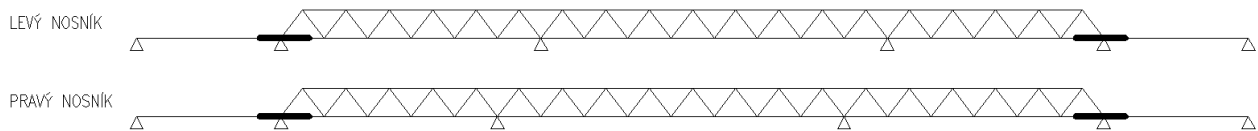
- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,180} = 1,568 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,18/1,85)^2 + 0 = 6,967$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,18}{37,4 \cdot 0,012 \cdot 0,71 \cdot \sqrt{6,967}} = 1,403 \geq 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} = \frac{1,37}{0,7 + 1,403} = 0,651$

Příspěvek pásnice  $V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$

Únosnost ve smyku  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 460 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 0,012}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 4\,103 \text{ kN}$

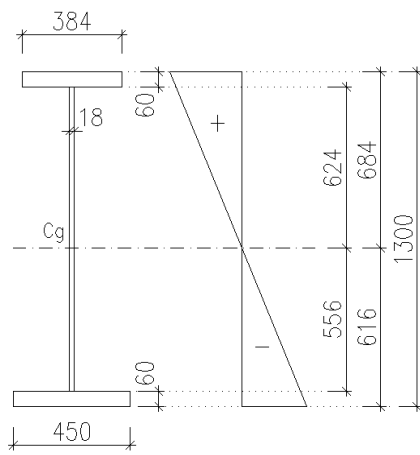
Posouzení  $V_{Ed} = 1\,600 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 2\,227 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (72\%)}$

## 11.4 PRŮŘEZ NAD PODPOROU – PILÍŘ 2 (5)



Obr. 11-9: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.4.1 PRŮŘEZ



$$A = 7,1280 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,1630 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = 7,3931 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$cZ = 0,616 \text{ m}$$

Obr. 11-10: Geometrie průřezu

Ocel S460  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,71$

Horní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{183}{60} = 3,05 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \rightarrow \text{tř. 1}$

Dolní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{216}{60} = 3,60 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{1180}{18} = 65,56 \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,71 = 88,04 \rightarrow \text{tř. 3, nedochází k lokálnímu boulení}$

### 11.4.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed,max} = -10\,509 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -5\,852 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = -3\,037 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -2\,742 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -2\,951 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -15 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -2\,911 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -2\,117 \text{ kN}$$



### 11.4.3 BOULENÍ OD OHYBU PÁSNIC

Kritérium pro zabránění vybočení tlačené pásnice v rovině stojiny:  $\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

$$\frac{1,180}{0,018} \leq 0,4 \cdot \frac{210\,000}{430} \sqrt{\frac{1,180 \cdot 0,018}{0,45 \cdot 0,060}}$$

**65,6 ≤ 153,7** ... kritérium je splněno, boulení od ohybu pásnic nevzniká.

### 11.4.4 POSOUZENÍ

#### a) Kombinace pro Mmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-2\,742 \cdot 10^{-3}}{7,128 \cdot 10^{-2}} + \frac{-10\,509 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{-5 \cdot 10^{-3}}{7,3931 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -38,5 + 332,3 + 1,5 = 295,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-2\,742 \cdot 10^{-3}}{7,128 \cdot 10^{-2}} + \frac{-10\,509 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{-5 \cdot 10^{-3}}{7,3931 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -38,5 - 299,3 - 1,5 = -339,3 \text{ MPa}$$

$$339,3 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,1} = 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (87\%)}$$

#### b) Kombinace pro Nmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-5\,852 \cdot 10^{-3}}{7,128 \cdot 10^{-2}} + \frac{-2\,951 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{-15 \cdot 10^{-3}}{7,3931 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -82,1 + 93,3 + 4,6 = 15,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-5\,852 \cdot 10^{-3}}{7,128 \cdot 10^{-2}} + \frac{-2\,951 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{-15 \cdot 10^{-3}}{7,3931 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -82,1 - 84,0 - 4,6 = -170,7 \text{ MPa}$$

$$170,7 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,1} = 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (44\%)}$$

### 11.4.5 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU

Vzdálenost tuhých příčných výtuh  $a = 1,850 \text{ m}$ .

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,180}{0,018} = 65,6 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,71 = 42,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

Příspěvek stojiny  $V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,887 \cdot 440 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 0,018}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 4\,353 \text{ kN}$

- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,180} = 1,568 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,18/1,85)^2 + 0 = 6,967$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,18}{37,4 \cdot 0,018 \cdot 0,71 \cdot \sqrt{6,967}} = 0,935 < 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,935} = 0,887$

Příspěvek pásnice  $V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$

Únosnost ve smyku  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 440 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 0,018}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 5\,886 \text{ kN}$

Posouzení  $V_{Ed} = 3\,037 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 4\,353 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (70\%)}$

$V_{Ed} \not\leq 0,5 \cdot V_{b,Rd} \rightarrow \text{nutná interakce}$

#### 11.4.6 INTERAKCE

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

- $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,87$
- $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0,70$
- $s_{red} = \left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y}\right) = \left(1 - \frac{2\,742}{(0,45 \cdot 0,06 + 0,384 \cdot 0,06) \cdot 430 \cdot 10^3}\right) = 1 - 0,127 = 0,873$
- $\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{(f_y \cdot A_{f2} \cdot z_f) \cdot s_{red}}{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{W_{pl,z} \cdot z_f}{\gamma_{M0}}} = \frac{A_{f2} \cdot z_f \cdot s_{red}}{W_{pl,y} + W_{pl,z}} = \frac{0,384 \cdot 0,06 \cdot 1,24 \cdot 0,873}{3,71 \cdot 10^{-2} + 5,34 \cdot 10^{-3}} = 0,588$

$0,87 + (1 - 0,588) \cdot (2 \cdot 0,70 - 1)^2 = 0,87 + 0,066 = 0,94 \leq 1,00 \rightarrow \text{OK (94\%)}$

#### 11.4.7 POSOUZENÍ PODPOROVÝCH VÝZTUH

Reakce na pilíři 2  $R_{z,max} = 6\,728 \text{ kN}$

Reakce na pilíři 5  $R_{z,max} = 7\,121 \text{ kN}$

Potřebná plocha  $A_{req} = \frac{R_{z,max}}{f_{yd}} = \frac{7\,121 \cdot 10^3}{304,5} = 23\,386 \text{ mm}^2$

Plocha výztuh ložiska  $A_{s,lož} = 30\,615 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{uvažovaná tl. výztuh } 2 \cdot 30 \text{ mm}$

Posouzení  $\sigma_{pdp} = \frac{R_{z,max}}{A_{s,lož}} = \frac{7\,121 \cdot 10^3}{30\,615} = 232,6 \text{ MPa} \leq 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (76\%)}$

### 11.4.8 VÝMĚNA LOŽISEK

|   |  |
|---|--|
| Excentricita osazení lisů                       | $e = 0,8 \text{ m}$  |
| Maximální reakce od stálého zatížení na opěrách | $R_z = 1\,738,33 \text{ kN}$   |
|   | $V_{max} = 2\,346,75 \text{ kN}$   |
| Síla připadající na 1 lis                       | $V_{lis} = 1\,173,38 \text{ kN}$   |
| Moment vyvolaný excentricitou osazení lisů      | $M_y = V_{max} \cdot e = 2\,346,75 \cdot 0,8 = 1\,877 \text{ kNm}$   |
| Minimální potřebná plocha pro přenesení $R_z$   | $A_{req} = \frac{V_{lis}}{f_{yd}} = \frac{1\,173,38 \cdot 10^3}{322,7} = 3\,636 \text{ mm}^2$                              |
| Navržená <u>oboustranná výztuha P12*196</u>     | $A_s = 2 \cdot 12 \cdot 196 = 4\,704 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$<br>(vyhoví i bez započítání plochy stojiny) |

$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} \cdot z = \frac{1\,877 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,657 = 57,0 \text{ MPa}$$

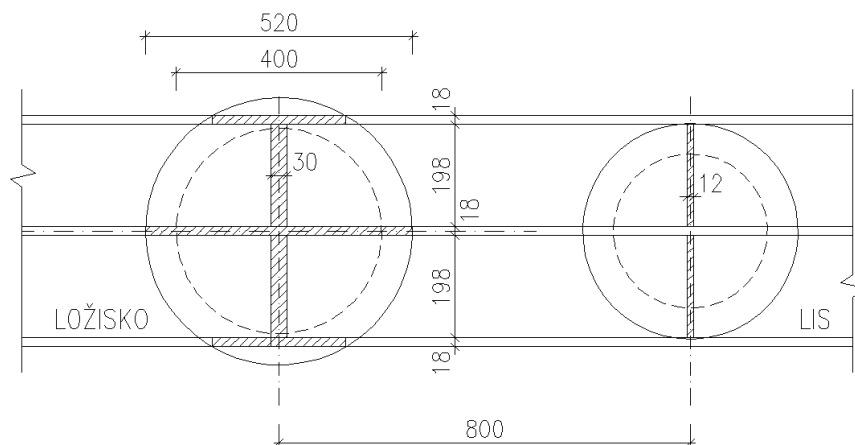
$$\rightarrow 57,0 \text{ MPa} \leq 390,9 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{max}}{h_w \cdot t} = \frac{2\,346,75 \cdot 10^{-3}}{1,18 \cdot 0,018} = 110,5 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow 110,5 \text{ MPa} \leq 225,7 \text{ MPa}$$

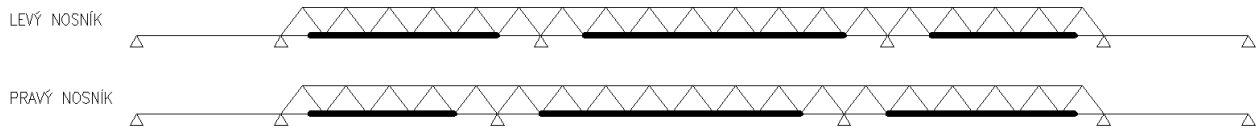
$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{57^2 + 3 \cdot 110,5^2} = 259,5 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow 199,7 \text{ MPa} \leq 390,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVÍ (51\%)}$$



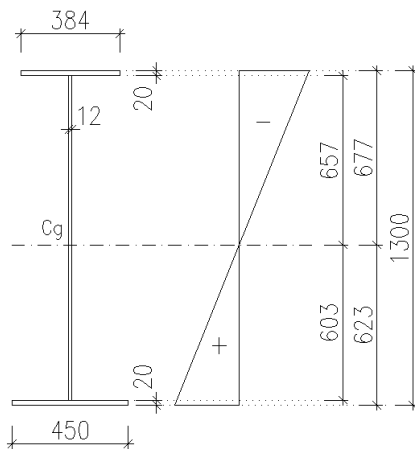
Obr. 11-11: Výztuhy v oblasti pilíře 2 a 5

## 11.5 PRŮŘEZ VE STŘEDNÍCH POLÍCH



Obr. 11-12: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.5.1 PRŮŘEZ



$$A = 3,1800 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 8,8106 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,4643 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$cZ = 0,623 \text{ m}$$

Obr. 11-13: Geometrie průřezu

Ocel S355  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Horní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{186}{20} = 9,30 \leq 14\varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34 \rightarrow \text{tř. 3}$

Dolní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{219}{20} = 10,95 \leq 14\varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34 \rightarrow \text{tř. 3}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{1260}{12} = 108 \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,81 = 100,44 \rightarrow \text{tř. 4} - \text{vliv boulení v tlačené části}$

### 11.5.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed,max} = 1\,701 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 1\,057 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = -1\,171 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 951 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = 1\,241 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -34 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 46 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -154 \text{ kN}$$

### 11.5.3 ÚČINNÝ PRŮŘEZ

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

Stanovení součinitele boulení pro vnitřní tlačené části průřezu:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{1,26/0,012}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{26,121}} = 0,893 > 0,5 + \sqrt{0,085 + 0,055 \cdot \psi}$$

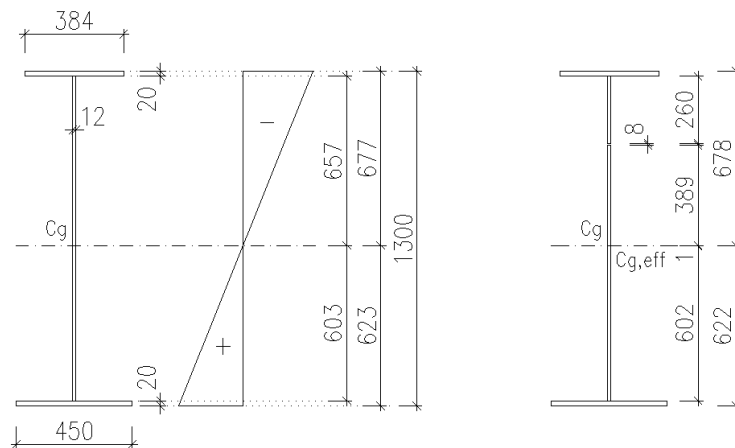
- $\bar{b} = b_w = 1,260 \text{ m}$
- $t = 0,012 \text{ m}$
- $\varepsilon = 0,81$
- $\psi = \frac{657}{-603} = -1,090 \rightarrow k_\sigma$
- $k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 5,98 \cdot (1 + 1,09)^2 = 26,121$

$$\bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,881 \rightarrow \rho$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,893 - 0,055 \cdot (3 - 1,09)}{0,893^2} = 0,988$$

Stanovení rozměrů účinného průřezu:

- $b_{eff} = \rho \cdot b_c = 0,988 \cdot 0,657 = 0,649 \text{ m} = 649 \text{ mm}$
- $b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 0,649 = 0,260 \text{ m} = 260 \text{ mm}$
- $b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 0,649 = 0,356 \text{ m} = 389 \text{ mm}$



Obr. 11-14: Geometrie účinného průřezu

Charakteristiky účinného průřezu:

- $A = 3,1704 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- $I_y = 8,7957 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$
- $I_z = 2,4643 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
- $\Delta cY = 0,000 \text{ m}$
- $\Delta cZ = -0,001 \text{ m}$

### 11.5.4 BOULENÍ OD OHYBU PÁSNIC

Kritérium pro zabránění vybočení tláčené pásnice v rovině stojiny:  $\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

$$\frac{1,260}{0,012} \leq 0,4 \cdot \frac{210\,000}{345} \sqrt{\frac{1,260 \cdot 0,012}{0,384 \cdot 0,020}}$$

**105,0 ≤ 341,6** ... kritérium je splněno, boulení od ohybu pásnic nevzniká.

### 11.5.5 POSOUZENÍ

#### a) Kombinace pro Mmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^h = \frac{951 \cdot 10^{-3}}{3,1704 \cdot 10^{-2}} + \frac{1\,701 \cdot 10^{-3} + 951 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001}{8,7957 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,678) + \frac{-5 \cdot 10^{-3} + 0}{2,4643 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = 30,0 - 131,2 + 4,6 = -87,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^d = \frac{951 \cdot 10^{-3}}{3,1704 \cdot 10^{-2}} + \frac{1\,701 \cdot 10^{-3} + 951 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001}{8,7957 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,622) + \frac{-5 \cdot 10^{-3} + 0}{2,4643 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = 30,0 + 120,4 - 4,6 = 137,8 \text{ MPa}$$

$$137,8 \text{ MPa} \leq \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (44\%)}$$

#### b) Kombinace pro Nmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^h = \frac{1\,241 \cdot 10^{-3}}{3,1704 \cdot 10^{-2}} + \frac{1\,057 \cdot 10^{-3} + 1\,241 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001}{8,7957 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,678) + \frac{-34 \cdot 10^{-3} + 0}{2,4643 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = 39,1 - 81,6 + 31,0 = -11,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{I_{y,eff}} \cdot Z_{eff} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{I_{z,eff}} \cdot y_{eff}$$

$$\sigma^d = \frac{1\,241 \cdot 10^{-3}}{3,1704 \cdot 10^{-2}} + \frac{1\,057 \cdot 10^{-3} + 1\,241 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001}{8,7957 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,622) + \frac{-34 \cdot 10^{-3} + 0}{2,4643 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = 39,1 + 74,8 - 31,0 = 82,9 \text{ MPa}$$

$$82,9 \text{ MPa} \leq \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (26\%)}$$

### c) Smykové napětí

$$\tau_1 = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{46 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 0,012} = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{154 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 0,012} = 10,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1\,171 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 0,012} = 77,4 \text{ MPa}$$

$$77,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (38\%)}$$

### d) Srovnávací napětí

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{137,8^2 + 3 \cdot 3^2} = 138 \text{ MPa} \leq 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = \sqrt{82,9^2 + 3 \cdot 10,2^2} = 85 \text{ MPa} \leq 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 11.5.6 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU

Vzdálenost tuhých příčných výztuh  $a = 1,850 \text{ m}$ .

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,260}{0,012} = 105 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

$$\text{Příspěvek stojiny} \quad V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,688 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,26 \cdot 0,012}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 1\,938 \text{ kN}$$

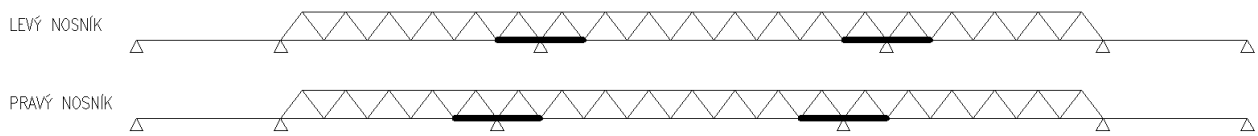
- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,260} = 1,468 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,26/1,85)^2 + 0 = 7,195$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,26}{37,4 \cdot 0,012 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,195}} = 1,292 \geq 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} = \frac{1,37}{0,7 + 1,292} = 0,688$

$$\text{Příspěvek pásnice} \quad V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Únosnost ve smyku} \quad V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,26 \cdot 0,012}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 3\,381 \text{ kN}$$

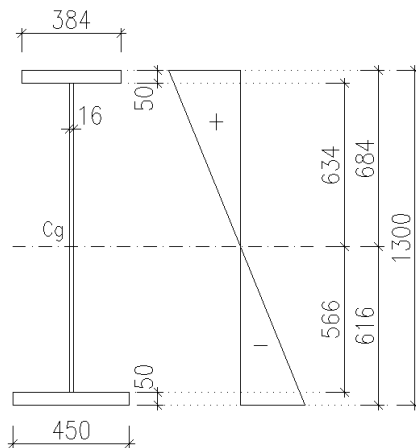
$$\text{Posouzení} \quad V_{Ed} = 1\,171 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 1\,938 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (60\%)}$$

## 11.6 PRŮŘEZ NAD PODPOROU – PILÍŘ 4 (3)



Obr. 11-15: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.6.1 PRŮŘEZ



$$A = 6,0900 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,8532 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,1603 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$cZ = 0,616 \text{ m}$$

Obr. 11-16: Geometrie průřezu

Ocel S355  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Horní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{186}{50} = 3,72 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$

Dolní pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{219}{50} = 4,38 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{1200}{16} = 75 \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,81 = 100,44 \rightarrow \text{tř. 3, nedochází k lokálnímu boulení}$

### 11.6.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed,max} = -5\,563 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -488 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = -1\,693 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -4\,712 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -5\,463 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -32 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -30 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -1\,604 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -1\,016 \text{ kN}$$



### 11.6.3 BOULENÍ OD OHYBU PÁSNIC

Kritérium pro zabránění vybočení tlačené pásnice v rovině stojiny:  $\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

$$\frac{1,200}{0,016} \leq 0,4 \cdot \frac{210\,000}{335} \sqrt{\frac{1,200 \cdot 0,016}{0,450 \cdot 0,050}}$$

$75 \leq 231,6$  ... kritérium je splněno, boulení od ohybu pásnic nevzniká.

### 11.6.4 POSOUZENÍ

#### a) Kombinace pro Mmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-4\,712 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-5\,563 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{-32 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -77,4 + 205,3 + 11,7 = 139,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-4\,712 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-5\,563 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{-32 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -77,4 - 184,9 - 11,7 = -274,0 \text{ MPa}$$

$$274,0 \text{ MPa} \leq \frac{335}{1,1} = 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (90\%)}$$

#### b) Kombinace pro Nmax

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-5\,463 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-488 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{-30 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -90,7 + 18,0 + 10,9 = -61,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-5\,463 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-488 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{-30 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -90,7 - 16,2 - 10,9 = -117,8 \text{ MPa}$$

$$117,8 \text{ MPa} \leq \frac{335}{1,1} = 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (39\%)}$$

### 11.6.5 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU

Vzdálenost tuhých příčných výtuh  $a = 1,850$  m.

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,200}{0,016} = 75 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

Příspěvek stojiny  $V_{Dw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,888 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 0,016}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 3\,179 \text{ kN}$

- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,200} = 1,542 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,2/1,85)^2 + 0 = 7,023$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,2}{37,4 \cdot 0,016 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,023}} = 0,934 < 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,934} = 0,888$

Příspěvek pásnice  $V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$

Únosnost ve smyku  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,20 \cdot 0,016}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 4\,293 \text{ kN}$

Posouzení  $V_{Ed} = 1\,693 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 3\,179 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (53\%)}$

$V_{Ed} \not\leq 0,5 \cdot V_{b,Rd} \rightarrow \text{nutná interakce}$

### 11.6.6 INTERAKCE

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

- $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,90$
- $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0,53$
- $s_{red} = \left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y}\right) = \left(1 - \frac{4\,712}{(0,45 \cdot 0,05 + 0,384 \cdot 0,05) \cdot 335 \cdot 10^3}\right) = 1 - 0,291 = 0,709$
- $\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{(f_y \cdot A_{f2} \cdot z_f) \cdot s_{red}}{W_{pl,y} \cdot f_y + \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \equiv \frac{A_{f2} \cdot z_f \cdot s_{red}}{W_{pl,y} + W_{pl,z}} = \frac{0,384 \cdot 0,05 \cdot 1,25 \cdot 0,709}{3,17 \cdot 10^{-2} + 4,45 \cdot 10^{-3}} = 0,471$

$$0,90 + (1 - 0,471) \cdot (2 \cdot 0,53 - 1)^2 = 0,90 + 0,002 = 0,90 \leq 1,00 \rightarrow \text{OK (90\%)}$$

### 11.6.7 POSOUZENÍ PODPOROVÝCH VÝZTUH

Reakce na pilíři 3  $R_{z,max} = 9\,779 \text{ kN}$

Reakce na pilíři 4  $R_{z,max} = 11\,081 \text{ kN}$

Potřebná plocha  $A_{req} = \frac{R_{z,max}}{f_{yd}} = \frac{11\,081 \cdot 10^3}{304,5} = 36\,391 \text{ mm}^2$

Plocha výztuh ložiska  $A_{s,lož} = 37\,333 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{uvažovaná tl. výztuh } 2 \cdot 30\text{mm a } 4 \cdot 12\text{mm}$

Posouzení  $\sigma_{pdp} = \frac{R_{z,max}}{A_{s,lož}} = \frac{11\,081 \cdot 10^3}{37\,333} = 296,8 \text{ MPa} \leq 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (76\%)}$

### 11.6.8 VÝMĚNA LOŽISEK

|   |  |
|---|--|
| Excentricita osazení lisů                       | $e = 0,8 \text{ m}$  |
| Maximální reakce od stálého zatížení na opěrách | $R_z = 2\,577,75 \text{ kN}$   |
|   | $V_{max} = 3\,479,96 \text{ kN}$   |
| Síla připadající na 1 lis                       | $V_{lis} = 1\,739,98 \text{ kN}$   |
| Moment vyvolaný excentricitou osazení lisů      | $M_y = V_{max} \cdot e = 3\,479,96 \cdot 0,8 = 2\,784 \text{ kNm}$   |
| Minimální potřebná plocha pro přenesení $R_z$   | $A_{req} = \frac{V_{lis}}{f_{yd}} = \frac{1\,739,98 \cdot 10^3}{322,7} = 5\,392 \text{ mm}^2$                                |
| Navržená <u>oboustranná výztuha P16*197</u>     | $A_s = 2 \cdot 16 \cdot 197 = 6\,304 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$<br>(vyhoví i bez započítání plochy stojiny) |

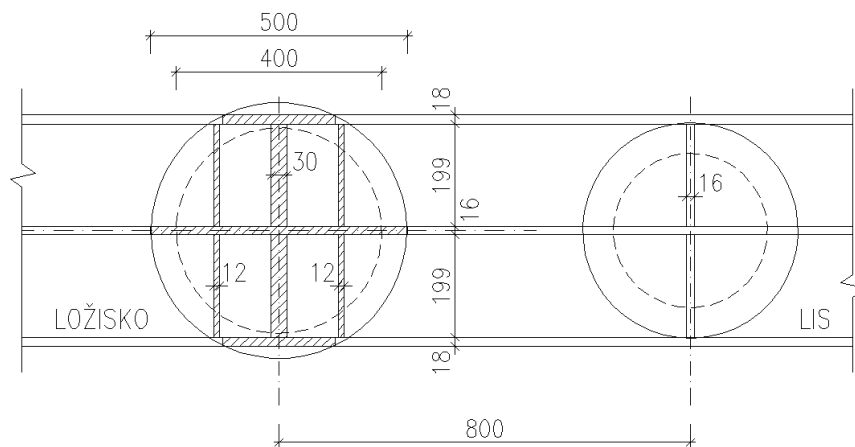
$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} \cdot z = \frac{2\,784 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,634 = 95,2 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow 95,2 \text{ MPa} \leq 304,5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{max}}{h_w \cdot t} = \frac{3\,479,96 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 0,016} = 161,1 \text{ MPa}$$

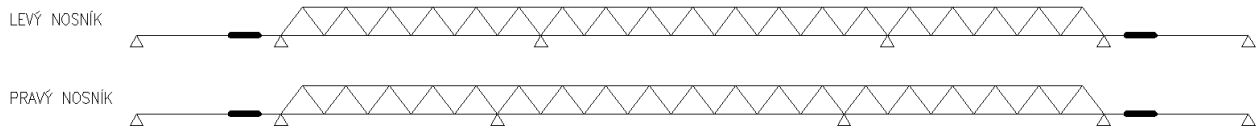
$$\rightarrow 161,2 \text{ MPa} \leq 186,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{95,2^2 + 3 \cdot 161,1^2} = 259,5 \text{ MPa} \rightarrow 294,8 \text{ MPa} \leq 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \mathbf{VYHOVÍ (97\%)}$$



Obr. 11-17: Výztuhy v oblasti pilíře 3 a 4

## 11.7 PŘECHODOVÝ PRŮŘEZ



Obr. 11-18: Poloha průřezu v konstrukci

### 11.7.1 PRŮŘEZ

V místě přechodu mezi průřezem v poli 1 (resp. 5) a nadpodporovým průřezem nad pilířem 2 (resp. 5) je použitý stejný průřez jako nad pilířem 4 (resp. 3), viz kapitola 11.6.1. Jedná se o průřez třídy 3, nedochází tedy k lokálnímu boulení ani k boulení od ohybu pásnic. Použitý materiál – ocel S355.

### 11.7.2 VNITŘNÍ SÍLY

Řez 12,000 m:

$$M_{y,Ed,max} = 5\,166 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 2\,168 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -1\,587 \text{ kN}$$

Řez 15,700 m:

$$M_{y,Ed,max} = -2\,814 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2\,271 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -2\,624 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = -2\,624 \text{ kN}$$

### 11.7.3 POSOUZENÍ

a) **Řez 12,000m**

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{2\,168 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{5\,166 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = 35,6 - 190,7 - 1,5 = -156,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{2\,168 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{5\,166 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = 35,6 + 171,7 + 1,5 = 208,8 \text{ MPa}$$

$$208,8 \text{ MPa} \leq \frac{335}{1,1} = 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (69\%)}$$

b) **Řez 15,700m**

$$\sigma^h = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-2\,271 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-2\,814 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225)$$

$$\sigma^h = -37,3 + 103,9 - 1,1 = 65,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma^d = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y = \frac{-2\,271 \cdot 10^{-3}}{6,09 \cdot 10^{-2}} + \frac{-2\,814 \cdot 10^{-3}}{1,8532 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,616) + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{6,1603 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,225)$$

$$\sigma^d = -37,3 - 93,5 + 1,1 = -129,7 \text{ MPa}$$

$$129,7 \text{ MPa} \leq \frac{335}{1,1} = 304,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK (43\%)}$$

#### 11.7.4 POSOUZENÍ BOULENÍ VE SMYKU

Vzdálenost tuhých příčných výztuh  $a = 1,850 \text{ m}$ .

$$\frac{h_w}{t} = \frac{1,200}{0,016} = 75 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6$$

→ nutno stěnu posoudit na únosnost při boulení ve smyku

Příspěvek stojiny  $V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,888 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 0,016}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 2\,999 \text{ kN}$

- $\frac{a}{h_w} = \frac{1,850}{1,200} = 1,542 \geq 1 \rightarrow k_\tau$
- $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} = 5,34 + 4 \cdot (1,2/1,85)^2 + 0 = 7,023$
- $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{1,2}{37,4 \cdot 0,016 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,023}} = 0,934 < 1,08 \rightarrow \chi_w$
- $\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,934} = 0,888$

Příspěvek pásnice  $V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$

Únosnost ve smyku  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,20 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 1,20 \cdot 0,016}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 4\,293 \text{ kN}$

Posouzení

a) Řez 12,000m:  $V_{Ed} = 1\,587 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 2\,999 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (53\%)}$

$$V_{Ed} \not\leq 0,5 \cdot V_{b,Rd} \rightarrow \text{nutná interakce}$$

b) Řez 15,700m:  $V_{Ed} = 2\,642 \text{ kN} \leq V_{b,Rd} = 2\,999 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE (88\%)}$

$$V_{Ed} \not\leq 0,5 \cdot V_{b,Rd} \rightarrow \text{nutná interakce}$$

#### 11.7.5 INTERAKCE

a) Řez 12,000m

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

- $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,69$
- $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0,53$

- $$s_{red} = \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y} \right) = \left( 1 - \frac{2168}{\frac{(0,45 \cdot 0,05 + 0,384 \cdot 0,05) \cdot 335 \cdot 10^3}{1,0}} \right) = 1 - 0,146 = 0,854$$
- $$\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{(f_y \cdot A_{f2} \cdot z_f) \cdot s_{red}}{W_{pl,y} \cdot f_y + \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \equiv \frac{A_{f2} \cdot z_f \cdot s_{red}}{W_{pl,y} + W_{pl,z}} = \frac{0,384 \cdot 0,05 \cdot 1,25 \cdot 0,854}{3,17 \cdot 10^{-2} + 4,45 \cdot 10^{-3}} = 0,567$$

$$0,69 + (1 - 0,567) \cdot (2 \cdot 0,53 - 1)^2 = 0,69 + 0,002 = \mathbf{0,69} \leq \mathbf{1,00} \rightarrow \mathbf{OK} \text{ (69\%)}$$

### b) Řez 15,700m

$$\bar{\eta}_1 + \left( 1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

- $$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,43$$
- $$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0,88$$
- $$s_{red} = \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y} \right) = \left( 1 - \frac{2271}{\frac{(0,45 \cdot 0,05 + 0,384 \cdot 0,05) \cdot 335 \cdot 10^3}{1,0}} \right) = 1 - 0,153 = 0,847$$
- $$\frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{(f_y \cdot A_{f2} \cdot z_f) \cdot s_{red}}{W_{pl,y} \cdot f_y + \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \equiv \frac{A_{f2} \cdot z_f \cdot s_{red}}{W_{pl,y} + W_{pl,z}} = \frac{0,384 \cdot 0,05 \cdot 1,25 \cdot 0,847}{3,17 \cdot 10^{-2} + 4,45 \cdot 10^{-3}} = 0,562$$

$$0,43 + (1 - 0,562) \cdot (2 \cdot 0,88 - 1)^2 = 0,43 + 0,25 = \mathbf{0,68} \leq \mathbf{1,00} \rightarrow \mathbf{OK} \text{ (69\%)}$$

## 11.8 SPOJE

V této kapitole jsou navrženy a posouzeny koutové svary mezi stěnou a pásnicemi trámu hlavního nosníku. Posouzeny jsou vždy více namáhané detaily. Protilehlé pásnice jsou pak ke stěně hlavního nosníku připojeny stejným svarem, jelikož je zde napětí menší.

### 11.8.1 PRŮŘEZ U OPĚR

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 1901 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1901 \cdot 10^3 \cdot 384 \cdot 30 \cdot 650}{1,2278 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 5} = 115,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 287,4 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{287,4^2 + 3 \cdot 115,9^2} = 350,6 \text{ MPa}$$

$$350,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.8.2 PRŮŘEZ V KRAJNÍCH POLÍCH (1 a 5)

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 1\,600 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1\,600 \cdot 10^3 \cdot 384 \cdot 60 \cdot 628}{2,08 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 5} = 111,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^h = 379,1 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 388,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{379,1^2 + 3 \cdot 111,3^2} = 425,3 \text{ MPa}$$

$$425,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{540}{1,0 \cdot 1,25} = 432 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.8.3 PŘECHODOVÝ PRŮŘEZ

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 2\,624 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{2\,624 \cdot 10^3 \cdot 450 \cdot 50 \cdot 566}{1,8532 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 5} = 180,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 208,8 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 338,4 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{338,4^2 + 3 \cdot 180,3^2} = 375,7 \text{ MPa}$$

$$375,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 417,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.8.4 PRŮŘEZ NAD PILÍŘEM 2 (5)

Navržená výška koutového svaru  $a = 7 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 3\,037 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{3\,037 \cdot 10^3 \cdot 450 \cdot 60 \cdot 566}{2,163 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 7} = 153,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 339,3 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 388,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{339,3^2 + 3 \cdot 153,3^2} = 430,8 \text{ MPa}$$

$$430,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{540}{1,0 \cdot 1,25} = 432 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.8.5 PRŮŘEZ NAD PILÍŘEM 3 (4)

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 1\,693 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1\,693 \cdot 10^3 \cdot 450 \cdot 50 \cdot 566}{1,8532 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 5} = 116,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 274,0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 338,4 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{274^2 + 3 \cdot 116,3^2} = 340,1 \text{ MPa}$$

$$340,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 417,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 11.8.6 PRŮŘEZ VE VNITRNÍCH POLÍCH (2, 3 a 4)

Navržená výška koutového svaru  $a = 5 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = 1\,171 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1\,171 \cdot 10^3 \cdot 450 \cdot 20 \cdot 603}{8,8106 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 72,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^d = 137,8 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{137,8^2 + 3 \cdot 72,1^2} = 186,0 \text{ MPa}$$

$$186,0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



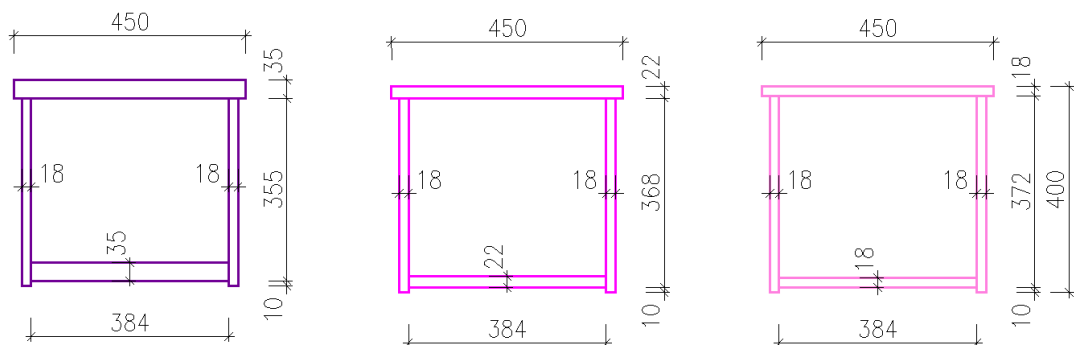
## 12 HLAVNÍ NOSNÍK – PŘÍHRADOVINA

Příhradovinu tvoří horní pás a soustava diagonál bez svislíc. Osová vzdálenost nosníků je 8,95m, výška 4,75m a vzdálenost styčniců horního pásu je 5,55m. Vzpěrné délky pro diagonální prvky jsou dle ČSN EN 1993-2, Příloha D uvažovány následovně:

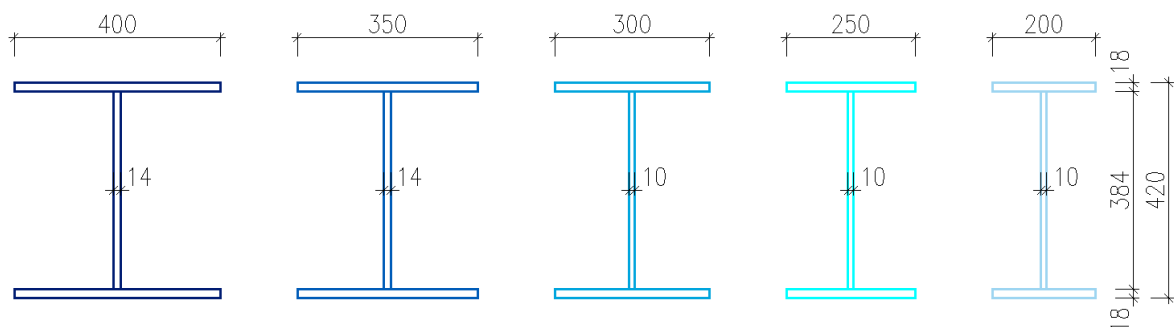
- $\beta = 0,9$  ... vybočení v rovině
- $\beta = 1,0$  ... vybočení z roviny

Návrh odstupňování průřezů na konstrukci byl proveden na základě analýzy velikostí normálových sil na všech prutech. Posouzen bude pouze pravý hlavní nosník, který je výrazně více namáhaný. Horní pás a krajní diagonály levého nosníku jsou navrženy středově souměrně k pravému nosníku. Diagonály levého nosníku jsou navrženy a odstupňovány pouze na základě analýzy normálových sil, všechny průřezy jsou však navrženy s dostatečnou rezervou tak, aby při podrobnějším výpočtu bezpečně vyhověly. Použité průřezy jsou uvedeny na obrázcích níže, všechny jsou z materiálu S355J2+N. Vzorově je posouzen jeden prvek, ostatní posouzení jsou doloženy výpočty v MS Excel.

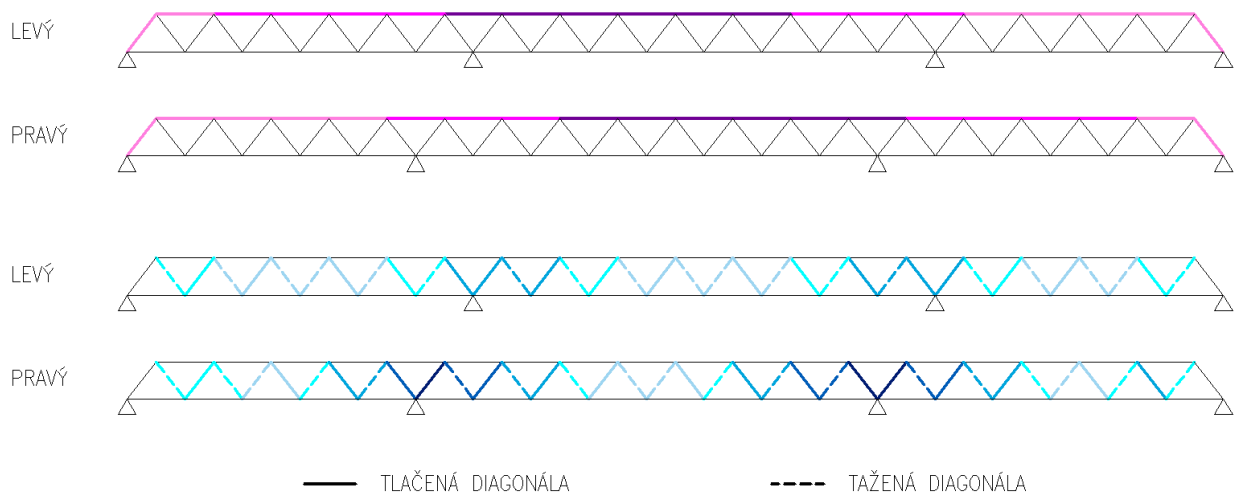
Jedná se o most s dolní mostovkou bez horizontálního ztužení v úrovni horního tlačového pásu, je tedy nutné ověřit jeho stabilitu. Posouzení stability je provedeno v kapitole 12.5.



Obr. 12-1: Průřezy horního pásu a krajních diagonál



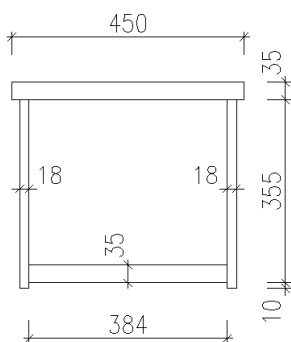
Obr. 12-2: Průřezy výplňových diagonál



Obr. 12-3: Odstupňování průřezů na konstrukci

## 12.1 HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 35mm

### 12.1.1 PRŮŘEZ



$$A = 4,2330 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$I_y = 1,0749 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$cZ = 0,208 \text{ m}$$

$$I_z = 9,6216 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,159 \text{ m}$$

$$i_z = 0,151 \text{ m}$$

$$\text{Ocel S355} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\text{Pásnice} \quad \frac{c}{t} = \frac{384}{35} = 10,97 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{tř. 1}$$

$$\text{Stojina} \quad \frac{c}{t} = \frac{310}{18} = 17,22 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$$

### 12.1.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed} = -9\,516,36 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 134,35 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 51,78 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 22,7 \text{ kN}$$

### 12.1.3 POSOUZENÍ

a) **Vybočení průřezu v rovině**  $L_{cr,y} = 1,0 \cdot a = 5,550m$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,648 + \sqrt{0,648^2 - 0,457^2}} = 0,903$$

- $\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$
- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5,55}{0,151} \cdot \frac{1}{76,399} = 0,457$
- $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,457 - 0,2) + 0,457^2] = 0,648$

b) **Vybočení průřezu z roviny**  $L_{cr,z} = 1,0 \cdot a = 5,550m$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,663 + \sqrt{0,663^2 - 0,481^2}} = 0,893 \rightarrow \text{rozhoduje}$$

- $\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$
- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5,55}{0,151} \cdot \frac{1}{76,399} = 0,481$
- $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,481 - 0,2) + 0,481^2] = 0,663$

c) **Napětí**

$$\sigma_{max} = \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot A} + \frac{M_{y,d}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{z,d}}{I_z} \cdot y$$

$$\sigma_{max} = \frac{-9\,516,36 \cdot 10^{-3}}{0,893 \cdot 4,233 \cdot 10^{-2}} + \frac{134,35 \cdot 10^{-3}}{1,0749 \cdot 10^{-3}} \cdot (-0,192) + \frac{51,78 \cdot 10^{-3}}{9,6216 \cdot 10^{-4}} \cdot (-0,225) = -287,85 \text{ MPa}$$

$$287,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (92\%)}$$

$$\tau = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{22,7 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,018 \cdot 0,365} = 1,73 \text{ MPa}$$

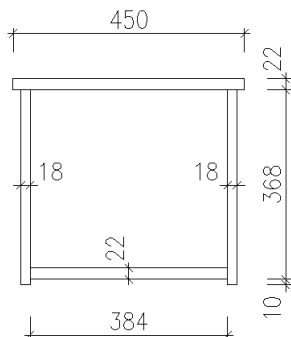
$$1,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{345}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 199,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{287,9^2 + 3 \cdot 1,7^2} = 287,9 \text{ MPa}$$

$$287,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (92\%)}$$

## 12.2 HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 22mm

### 12.2.1 PRŮŘEZ



$$A = 3,1956 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$I_y = 7,8737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cZ = 0,207 \text{ m}$$

$$I_z = 8,2102 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,157 \text{ m}$$

$$i_z = 0,160 \text{ m}$$

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{384}{22} = 17,45 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{378}{18} = 21,00 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$

### 12.2.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ

|    |   |          |     |
|----|---|----------|-----|
| N  | = | -7452.60 | kN  |
| My | = | 103.53   | kNm |
| Mz | = | 63.16    | kNm |
| V  | = | 53.19    | kN  |

#### Posouzení

#### Vybočení v rovině

#### Vybočení z roviny

Vzpěrná délka

$$L_{cr,y} = 5.550$$

$$L_{cr,z} = 5.550$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_1 = 76.399$$

$$\lambda_1 = 76.399$$

Součinitel imperfekce

$$\lambda = 0.463$$

$$\lambda = 0.454$$

Křivka "c"

$$\alpha = 0.340$$

$$\alpha = 0.340$$

$$\phi = 0.652$$

$$\phi = 0.646$$

$$\chi = 0.900$$

$$\chi = 0.904$$

→ rozhoduje

Normálové napětí

$$\sigma = -301.706 \text{ MPa}$$

$$-301.7 < 313.6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$$

→ OK

Smykové napětí

$$\tau = 3.940 \text{ MPa}$$

$$3.9 < 199.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 199.186 \text{ MPa}$$

→ OK

Srovnávací napětí

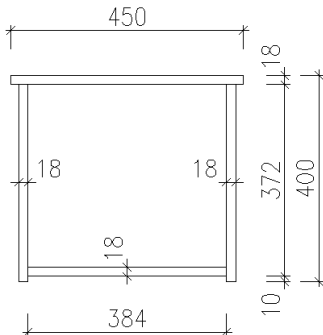
$$\sigma_{srov} = 301.783 \text{ MPa}$$

$$301.8 < 313.6 \text{ MPa}$$

→ OK

## 12.3 HORNÍ PÁS – PÁSNICE tl. 18mm

### 12.3.1 PRŮŘEZ



$$A = 2,8764 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$I_y = 6,8966 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cZ = 0,206 \text{ m}$$

$$I_z = 7,7759 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,155 \text{ m}$$

$$i_z = 0,164 \text{ m}$$

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{384}{18} = 21,33 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{382}{18} = 21,22 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$

### 12.3.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ

|    |   |          |     |
|----|---|----------|-----|
| N  | = | -4082.37 | kN  |
| My | = | 80.14    | kNm |
| Mz | = | 38.13    | kNm |
| V  | = | 25.51    | kN  |

#### Posouzení

#### Vybočení v rovině

#### Vybočení z roviny

Vzpěrná délka

$$L_{cr,y} = 5.550$$

$$L_{cr,z} = 5.550$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_1 = 76.399$$

$$\lambda_1 = 76.399$$

Součinitel imperfekce

$$\lambda = 0.469$$

$$\lambda = 0.443$$

Křivka "c"

$$\alpha = 0.340$$

$$\alpha = 0.340$$

$$\phi = 0.656$$

$$\phi = 0.639$$

$$\chi = 0.898$$

$$\chi = 0.909$$

→ rozhoduje

Normálové napětí

$$\sigma = -191.653 \text{ MPa}$$

$$-191.7 < 313.6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$$

→ OK

Smykové napětí

$$\tau = 1.890 \text{ MPa}$$

$$1.9 < 199.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 199.186 \text{ MPa}$$

→ OK

Srovnávací napětí

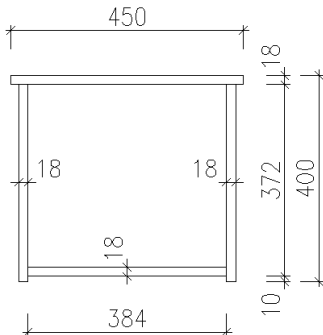
$$\sigma_{srov} = 191.681 \text{ MPa}$$

$$191.7 < 313.6 \text{ MPa}$$

→ OK

## 12.4 KRAJNÍ DIAGONÁLA – PÁSNICE tl. 18 mm

### 12.4.1 PRŮŘEZ



$$A = 2,8764 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$cY = 0,225 \text{ m}$$

$$I_y = 6,8966 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cZ = 0,206 \text{ m}$$

$$I_z = 7,7759 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,155 \text{ m}$$

$$i_z = 0,164 \text{ m}$$

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{384}{18} = 21,33 \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{tř. 1}$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{382}{18} = 21,22 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{tř. 1}$

### 12.4.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ

|    |   |          |     |
|----|---|----------|-----|
| N  | = | -2518.40 | kN  |
| My | = | -496.37  | kNm |
| Mz | = | -134.58  | kNm |
| V  | = | -121.84  | kN  |

#### Posouzení

#### Vybočení v rovině

#### Vybočení z roviny

Vzpěrná délka

$$L_{cr,y} = 4.091$$

$$L_{cr,z} = 4.545$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_1 = 76.399$$

$$\lambda_1 = 76.399$$

Součinitel imperfekce

$$\lambda = 0.345$$

$$\lambda = 0.363$$

Křivka "c"

$$\alpha = 0.340$$

$$\alpha = 0.340$$

$$\phi = 0.584$$

$$\phi = 0.593$$

$$\chi = 0.947$$

$$\chi = 0.941$$

→ rozhoduje

Normálové napětí

$$\sigma = -280.289 \text{ MPa}$$

$$-280.3 < 313.6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$$

→ OK

Smykové napětí

$$\tau = -9.025 \text{ MPa}$$

$$-9.0 < 199.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 199.186 \text{ MPa}$$

→ OK

Srovnávací napětí

$$\sigma_{srov} = 280.725 \text{ MPa}$$

$$280.7 < 313.6 \text{ MPa}$$

→ OK

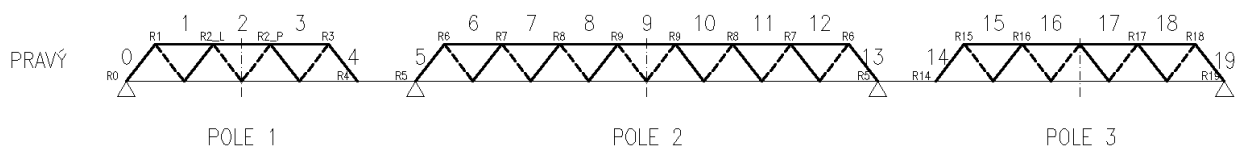
## 12.5 STABILITA HORNÍHO TLAČENÉHO PÁSU

Problematikou mostů s dolní mostovkou bez horního ztužení tlačných pásů je právě stabilita. Proto v této kapitole bude proveden výpočet dvojího typu.

### 12.5.1 TUHOST PŘÍČNÝCH POLORÁMŮ

Metoda výpočtu tuhosti příčných polorámů je určena především pro výpočty tuhosti na prostých nosnících, proto je třeba postup upravit, aby jej bylo možné použít pro výpočet na pojitém nosníku. Z výpočtu jsem tedy vyloučila tažené oblasti horního pásu a tím vznikly 3 fiktivní prosté nosníky pro posouzení. Fiktivní nosník v poli 2 lze posoudit najednou, jelikož je průřezově symetrický, fiktivní nosníky v poli 1 a 3 posuzují zvlášť pro pravou a levou část, aby byla zohledněna rozdílná tuhost reálné krajní diagonály (průřezy 0 a 19) a fiktivní krajní diagonály (průřezy 4 a 14), které jsou ve skutečnosti výplňovými diagonálami.

Vlivem tuhosti příčných polorámů, vznikají podružné síly ( $R_1 - R_{19}$ ), které jsou uvažovány v posudcích jednotlivých diagonál jako přídavná posouvající síla. Síly vyvolají na příčniku podružný moment, který je v závěru této kapitoly dopočítán a příčník je kontrolně posouzen.



Obr. 12-4: Schéma pro výpočet

Tuhost polorámu, který tvoří svislice a příčníky, je vypočtena ze vzorce:

$$C = \frac{E \cdot I_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 \cdot b_p \cdot I_v}{2 \cdot I_p}} \rightarrow \text{úprava na tvar } C = \frac{E}{\frac{h_v^3}{3 \cdot (I_{v1} + I_{v2})} + \frac{h^2 \cdot b_p}{2 \cdot \left(\frac{I_{p1}}{n} + \frac{I_{p2}}{2}\right)}}$$

- $h$  ... osová vzdálenost těžiště příčníku a horního tlačného pásu
- $h_v$  ... vzdálenost výztuhy a těžiště horního tlačného pásu
- $b_p$  ... šířka příčníku
- $I_v$  ... moment setrvačnosti svislic
- $I_p$  ... moment setrvačnosti spřažených příčníků
- $n$  ... parametr výpočtu pro krajní polorám ( $n=1$ ) a vnitřní polorám ( $n=2$ )

a) Pole 1 – levá část

STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO POMĚRU  $b_m$  - POUZE PŮLKA POLE    alfa 1 = 0.49    křivka c

| Dílčí pole                         | A (mm <sup>2</sup> ) | i <sub>z</sub> (mm) | N <sub>sd</sub> (kN) | N <sub>Rd</sub> (kN) | c     | l - poměrná | l     | l <sub>cr</sub> (mm) | S <sub>min</sub> (mm) | b              | b-red       |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------|-------------|-------|----------------------|-----------------------|----------------|-------------|
| 0                                  | 28 764               | 164                 | 2 518                | 8 859                | 0.284 | 1.600       | 121.7 | 19958                | 4545                  | 4.39           | 3.00        |
| 1                                  | 28 764               | 164                 | 1 863                | 8 859                | 0.210 | 1.920       | 146.1 | 23954                | 5550                  | 4.32           | 3.00        |
| 2                                  | 28 764               | 164                 | 3 597                | 8 859                | 0.406 | 1.260       | 95.9  | 15720                | 5550                  | 2.83           | 2.83        |
| <b>MINIMÁLNÍ TUHOST POLORÁMU</b>   |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | Celkem         | 8.83        |
| C <sub>min</sub> [N/mm] <b>219</b> |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | b <sub>m</sub> | <b>3.53</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST VNITŘNÍHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>v</sub>   | [N/mm]             | <b>2797</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>v</sub>                   | -      | 1.40       |
| u <sub>v</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 306        |
| C <sub>v</sub>                   | [N/mm] | 2797       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST KONCOVÉHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 6.900E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 2.810E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>k</sub>   | [N/mm]             | <b>3689</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>k</sub>                   | -      | 4.24       |
| u <sub>k</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 927        |
| C <sub>k</sub>                   | [N/mm] | 3689       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**PŘÍČNÁ SÍLA VZNIKAJÍCÍ VLIVEM VZPĚRU TLAČENÉHO PÁSU**

| Polorám | C [N/mm] | I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]*10 <sup>6</sup> | N <sub>cr</sub> (kN) | S <sub>k</sub> (mm) | 1,2*s (mm) | F <sub>sd</sub> (kN) |
|---------|----------|---|----------------------|---------------------|------------|----------------------|
| R0      | 3689     | 774   | 22 967               | 8 351               | 5454       | <b>19</b>            |
| R1      | 2797     | 774   | 18 098               | 9 408               | 6660       | <b>18</b>            |
| R2_L    | 2797     | 774   | 18 098               | 9 408               | 6660       | <b>24</b>            |



b) Pole 1 – pravá část

STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO POMĚRU  $b_m$  - POUZE PŮLKA POLE    alfa 1 = 0.49    křivka c

| Dílčí pole                       | A (mm <sup>2</sup> ) | i <sub>z</sub> (mm) | N <sub>sd</sub> (kN) | N <sub>Rd</sub> (kN) | c     | l - poměrná | l     | l <sub>cr</sub> (mm) | S <sub>min</sub> (mm) | b              | b-red       |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------|-------------|-------|----------------------|-----------------------|----------------|-------------|
| 4                                | 14 640               | 74                  | 2 636                | 4 509                | 0.585 | 0.925       | 70.3  | 5206                 | 4545                  | 1.15           | 1.15        |
| 3                                | 28 764               | 164                 | 2 980                | 8 859                | 0.336 | 1.436       | 109.2 | 17906                | 5550                  | 3.23           | 3.00        |
| 2                                | 28 764               | 164                 | 3 597                | 8 859                | 0.406 | 1.260       | 95.9  | 15720                | 5550                  | 2.83           | 2.83        |
| <b>MINIMÁLNÍ TUHOST POLORÁMU</b> |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | Celkem         | 5.56        |
| C <sub>min</sub> [N/mm]          |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | 552            |             |
|                                  |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | b <sub>m</sub> | <b>2.22</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST VNITŘNÍHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>v</sub>   | [N/mm]             | <b>2797</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>v</sub>                   | -      | 1.40       |
| u <sub>v</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 772        |
| C <sub>v</sub>                   | [N/mm] | 2797       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST KONCOVÉHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 6.900E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 2.810E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>k</sub>   | [N/mm]             | <b>3689</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>k</sub>                   | -      | 2.67       |
| u <sub>k</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 1473       |
| C <sub>k</sub>                   | [N/mm] | 3689       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**PŘÍČNÁ SÍLA VZNIKAJÍCÍ VLIVEM VZPĚRU TLAČENÉHO PÁSU**

| Polorám | C [N/mm] | I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]*10 <sup>6</sup> | N <sub>cr</sub> (kN) | s <sub>k</sub> (mm) | 1,2*s (mm) | F <sub>sd</sub> (kN) |
|---------|----------|---|----------------------|---------------------|------------|----------------------|
| R4      | 3689     | 80  | 7 393                | 4 738               | 5454       | <b>26</b>            |
| R3      | 2797     | 774   | 18 098               | 9 408               | 6660       | <b>25</b>            |
| R2_P    | 2797     | 774   | 18 098               | 9 408               | 6660       | <b>30</b>            |

c) Pole 2

STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO POMĚRU  $b_m$  - POUZE PŮLKA POLE    alfa 1 = 0.49    křivka c

| Dílčí pole | A (mm <sup>2</sup> ) | $i_z$ (mm) | $N_{sd}$ (kN) | $N_{Rd}$ (kN) | c     | l - poměrná | l     | $l_{cr}$ (mm) | $S_{min}$ (mm) | b    | b-red |
|------------|----------------------|------------|---------------|---------------|-------|-------------|-------|---------------|----------------|------|-------|
| 5          | 19 776               | 99         | 5 285         | 6 091         | 0.868 | 0.455       | 34.6  | 3428          | 4545           | 0.75 | 0.75  |
| 6          | 31 956               | 160        | 1 727         | 9 842         | 0.175 | 2.133       | 162.2 | 25959         | 5550           | 4.68 | 3.00  |
| 7          | 31 956               | 160        | 6 249         | 9 842         | 0.635 | 0.843       | 64.2  | 10265         | 5550           | 1.85 | 1.85  |
| 8          | 42 330               | 151        | 8 986         | 13 038        | 0.689 | 0.757       | 57.6  | 8693          | 5550           | 1.57 | 1.57  |
| 9          | 42 330               | 151        | 9 764         | 13 038        | 0.749 | 0.661       | 50.2  | 7587          | 5550           | 1.37 | 1.37  |

MINIMÁLNÍ TUHOST POLORÁMU

|           |        |             |
|-----------|--------|-------------|
| $C_{min}$ | [N/mm] | <b>1472</b> |
|-----------|--------|-------------|

|        |             |
|--------|-------------|
| Celkem | 15.71       |
| $b_m$  | <b>2.24</b> |

SKUTEČNÁ TUHOST VNITŘNÍHO POLORÁMU

|           |                    |             |
|-----------|--------------------|-------------|
| b         | [mm]               | 8950        |
| h         | [mm]               | 4340        |
| $h_v$     | [mm]               | 4132        |
| $I_{v,1}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| $I_{v,2}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| $I_{p,1}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| $I_{p,2}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| $C_v$     | [N/mm]             | <b>2677</b> |

SKUTEČNÁ TUHOST KONCOVÉHO POLORÁMU

|           |                    |             |
|-----------|--------------------|-------------|
| b         | [mm]               | 8950        |
| h         | [mm]               | 4340        |
| $h_v$     | [mm]               | 4132        |
| $I_{v,1}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 8.577E+08   |
| $I_{v,2}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 5.660E+08   |
| $I_{p,1}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 2.810E+09   |
| $I_{p,2}$ | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| $C_k$     | [N/mm]             | <b>4032</b> |

|                 |        |            |
|-----------------|--------|------------|
| $u_v$           | -      | 1.40       |
| $u_v * C_{min}$ | [N/mm] | 2061       |
| $C_v$           | [N/mm] | 2677       |
| Vyhoví ?        | -      | <b>Ano</b> |

|                 |        |            |
|-----------------|--------|------------|
| $u_k$           | -      | 2.69       |
| $u_k * C_{min}$ | [N/mm] | 3964       |
| $C_k$           | [N/mm] | 4032       |
| Vyhoví ?        | -      | <b>Ano</b> |

PŘÍČNÁ SÍLA VZNIKAJÍCÍ VLIVEM VZPĚRU TLAČENÉHO PÁSU

| Polorám | C [N/mm] | $I_z$ [mm <sup>4</sup> ]*10 <sup>6</sup> | $N_{cr}$ (kN) | $s_k$ (mm) | 1,2*s (mm) | $F_{sd}$ (kN) |
|---------|----------|--|---------------|------------|------------|---------------|
| R5      | 4032     | 194                                      | 12 018        | 5 779      | 5454       | <b>93</b>     |
| R6      | 2677     | 818                                      | 18 204        | 9 646      | 6660       | <b>31</b>     |
| R7      | 2677     | 818                                      | 18 204        | 9 646      | 6660       | <b>37</b>     |
| R8      | 2677     | 965                                      | 19 773        | 10 053     | 6660       | <b>86</b>     |
| R9      | 2677     | 965                                      | 19 773        | 10 053     | 6660       | <b>123</b>    |

d) Pole 3 – levá část

STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO POMĚRU  $b_m$  - POUZE PŮLKA POLE    alfa 1 = 0.49    křivka c

| Dílčí pole                       | A (mm <sup>2</sup> ) | i <sub>z</sub> (mm) | N <sub>sd</sub> (kN) | N <sub>Rd</sub> (kN) | c     | l - poměrná | l    | l <sub>cr</sub> (mm) | S <sub>min</sub> (mm) | b              | b - red     |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------|-------------|------|----------------------|-----------------------|----------------|-------------|
| 14                               | 17 976               | 85                  | 3 780                | 5 537                | 0.683 | 0.767       | 58.4 | 4960                 | 4545                  | 1.09           | 1.09        |
| 15                               | 31 956               | 160                 | 4 202                | 9 842                | 0.427 | 1.214       | 92.4 | 14779                | 5550                  | 2.66           | 2.66        |
| 16                               | 31 956               | 160                 | 6 096                | 9 842                | 0.619 | 0.868       | 66.1 | 10568                | 5550                  | 1.90           | 1.90        |
| <b>MINIMÁLNÍ TUHOST POLORÁMU</b> |                      |                     |                      |                      |       |             |      |                      |                       | Celkem         | 5.66        |
| C <sub>min</sub> [N/mm]          |                      |                     |                      |                      |       |             |      |                      |                       | b <sub>m</sub> | <b>1.89</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST VNITŘNÍHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>v</sub>   | [N/mm]             | <b>2797</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>v</sub>                   | -      | 1.40       |
| u <sub>v</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 1821       |
| C <sub>v</sub>                   | [N/mm] | 2797       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST KONCOVÉHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 5.750E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.840E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>k</sub>   | [N/mm]             | <b>3188</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>k</sub>                   | -      | 2.26       |
| u <sub>k</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 2944       |
| C <sub>k</sub>                   | [N/mm] | 3188       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**PŘÍČNÁ SÍLA VZNIKAJÍCÍ VLIVEM VZPĚRU TLAČENÉHO PÁSU**

| Polorám | C [N/mm] | I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]*10 <sup>6</sup> | N <sub>cr</sub> (kN) | s <sub>k</sub> (mm) | 1,2*s (mm) | F <sub>sd</sub> (kN) |
|---------|----------|---|----------------------|---------------------|------------|----------------------|
| R19     | 3188     | 130   | 8 747                | 5 545               | 5454       | <b>68</b>            |
| R18     | 2797     | 818   | 18 611               | 9 540               | 6660       | <b>37</b>            |
| R17     | 2797     | 818   | 18 611               | 9 540               | 6660       | <b>52</b>            |

e) Pole 3 – pravá část

STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO POMĚRU  $b_m$  - POUZE PŮLKA POLE    alfa 1 = 0.49    křivka c

| Dílčí pole  | A (mm <sup>2</sup> ) | i <sub>z</sub> (mm) | N <sub>sd</sub> (kN) | N <sub>Rd</sub> (kN) | c     | l - poměrná | l     | l <sub>cr</sub> (mm) | S <sub>min</sub> (mm) | b                | b - red |            |                |             |
|---|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------|-------------|-------|----------------------|-----------------------|------------------|---------|------------|----------------|-------------|
| 19  | 28 764               | 164                 | 2 729                | 8 859                | 0.308 | 1.520       | 115.6 | 18964                | 4545                  | 4.17             | 3.00    |            |                |             |
| 18  | 28 764               | 164                 | 3 045                | 8 859                | 0.344 | 1.415       | 107.6 | 17651                | 5550                  | 3.18             | 3.00    |            |                |             |
| 17  | 31 956               | 160                 | 5 774                | 9 842                | 0.587 | 0.922       | 70.1  | 11215                | 5550                  | 2.02             | 2.02    |            |                |             |
| <b>MINIMÁLNÍ TUHOST POLORÁMU</b>  |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | Celkem           | 8.02    |            |                |             |
| <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>C<sub>min</sub></td> <td>[N/mm]</td> <td><b>613</b></td> </tr> </table> |                      |                     |                      |                      |       |             |       |                      |                       | C <sub>min</sub> | [N/mm]  | <b>613</b> | b <sub>m</sub> | <b>2.67</b> |
| C <sub>min</sub>  | [N/mm]               | <b>613</b>          |                      |                      |       |             |       |                      |                       |                  |         |            |                |             |

**SKUTEČNÁ TUHOST VNITŘNÍHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 3.380E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>v</sub>   | [N/mm]             | <b>2797</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>v</sub>                   | -      | 1.40       |
| u <sub>v</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 858        |
| C <sub>v</sub>                   | [N/mm] | 2797       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**SKUTEČNÁ TUHOST KONCOVÉHO POLORÁMU**

|                  |                    |             |
|------------------|--------------------|-------------|
| b                | [mm]               | 8950        |
| h                | [mm]               | 4340        |
| h <sub>v</sub>   | [mm]               | 4132        |
| I <sub>v,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 6.900E+08   |
| I <sub>v,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 4.110E+08   |
| I <sub>p,1</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 2.810E+09   |
| I <sub>p,2</sub> | [mm <sup>4</sup> ] | 1.930E+09   |
| C <sub>k</sub>   | [N/mm]             | <b>3689</b> |

|                                  |        |            |
|----------------------------------|--------|------------|
| u <sub>k</sub>                   | -      | 3.21       |
| u <sub>k</sub> *C <sub>min</sub> | [N/mm] | 1967       |
| C <sub>k</sub>                   | [N/mm] | 3689       |
| Vyhoví ?                         | -      | <b>Ano</b> |

**PŘÍČNÁ SÍLA VZNIKAJÍCÍ VLIVEM VZPĚRU TLAČENÉHO PÁSU**

| Polorám | C [N/mm] | I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]*10 <sup>6</sup> | N <sub>cr</sub> (kN) | s <sub>k</sub> (mm) | 1,2*s (mm) | F <sub>sd</sub> (kN) |
|---------|----------|---|----------------------|---------------------|------------|----------------------|
| R19     | 3689     | 774   | 22 967               | 8 351               | 5454       | <b>21</b>            |
| R18     | 2797     | 774   | 18 098               | 9 408               | 6660       | <b>25</b>            |
| R17     | 2797     | 818   | 18 611               | 9 540               | 6660       | <b>42</b>            |

### 12.5.2 DOPOČET PŘÍČNÍKŮ

a) BĚŽNÝ

$$F = R_9 = 123 \text{ kN} \rightarrow M_{pol} = \frac{123}{1,25} \cdot 4,34 = 427,06 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,tot} = 1\,177,03 + 427,06 = 1\,604,09 \text{ kNm}$$

$$1\,604,09 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 1\,637,47 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (98\%)}$$

b) PODPOROVÝ

$$F = R_6 = 31 \text{ kN} \rightarrow M_{pol} = \frac{31}{1,25} \cdot 4,34 = 107,63 \text{ kNm}$$

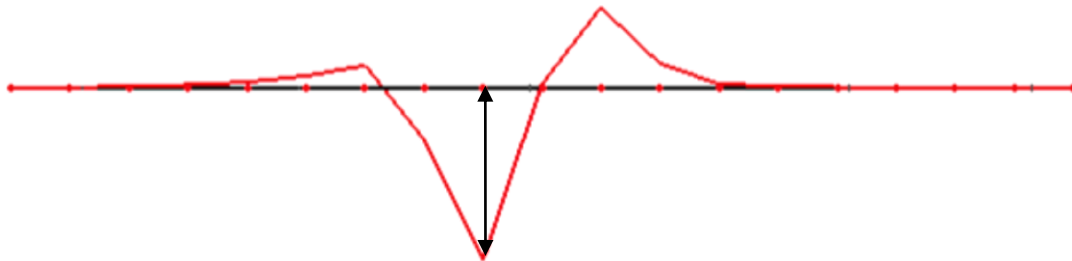
$$M_{Ed,tot} = 1\,542,53 + 107,63 = 1\,650,16 \text{ kNm}$$

$$1\,650,16 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 2\,526,10 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE (65\%)}$$

### 12.5.3 TEORIE DRUHÉHO ŘÁDU

Pro výpočet účinků II. řádu je pomocí programu Scia Engineer 2013.1 zjištěn první tvar vybočení pro stabilitní kombinaci, která odpovídá lineární kombinaci zatížení vyvolující maximální normálovou sílu v horním pásu. Posuzován je průřez uprostřed horního pásu příhradoviny. Maximální amplituda vybočení odpovídá ekvivalentní geometrické imperfekci  $e_0$ , ostatní hodnoty jsou rozděleny v odpovídajícím měřítku.

$$e_0 = \alpha_m \cdot L/500 \approx L/500 = 7 \cdot 1,85/500 = 0,0259 \text{ m} = 25,9 \text{ mm}$$



Obr. 12-5: Tvar vybočení horního pásu - maximální amplituda

$$\sigma_{II.řád}^H = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{yd}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{zd}}{I_z} \cdot y = \left( \frac{-11,42}{4,233 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,28 \cdot (-0,208)}{1,0749 \cdot 10^{-3}} + \frac{-101,33 \cdot (-0,225)}{9,6216 \cdot 10^{-4}} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_{II.řád}^H = -0,27 - 0,05 + 23,7 = +23,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{II.řád}^D = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{yd}}{I_y} \cdot z + \frac{M_{zd}}{I_z} \cdot y = \left( \frac{-11,42}{4,233 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,28}{1,0749 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,208 + \frac{-101,33}{9,6216 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,225 \right) \cdot 10^{-3}$$

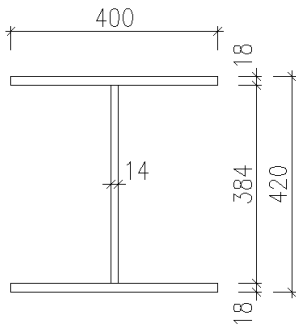
$$\sigma_{II.řád}^D = -0,27 + 0,05 - 23,7 = -23,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tot} = -287,9 - 23,92 = -311,82 \text{ MPa}$$

$$311,8 \text{ MPa} \leq 313,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE (99\%)}$$

## 12.6 DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 400mm

### 12.6.1 PRŮŘEZ



$$A = 1,9776 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$cY = 0,200 \text{ m}$$

$$I_y = 6,4822 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$cZ = 0,210 \text{ m}$$

$$I_z = 1,9209 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,181 \text{ m}$$

$$i_z = 0,099 \text{ m}$$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{384}{14} = 27,43 \leq 38\varepsilon = 38 \cdot 0,81 = 30,78 \rightarrow \text{tř. 2}$

### 12.6.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TLAČENÉ DIAGONÁLY D26

N = -5285.32 kN  
 My = 45.06 kNm  
 Mz = -29.11 kNm  
 V = 69.37 kN

V = 38,37 kN + 31 kN od polorámu

#### Posouzení

#### Vybočení z roviny

#### Vybočení v rovině

Vzpěrná délka

L<sub>cr,y</sub> = 4.545

L<sub>cr,z</sub> = 4.091

Poměrná štíhlost

λ<sub>1</sub> = 77.498

λ<sub>1</sub> = 77.498

Součinitel imperfekce

λ = 0.324

λ = 0.533

Křivka "c"

α = 0.340

α = 0.340

φ = 0.574

φ = 0.699

χ = 0.955

χ = 0.869

→ rozhoduje

Normálové napětí

σ = -291.756 MPa

**-291.8 < 313.6 MPa**

f<sub>yd</sub> = 313.636 MPa

→ OK

Smykové napětí

τ = 12.771 MPa

**12.8 < 205.0 MPa**

τ<sub>Rd</sub> = 204.959 MPa

→ OK

Srovnávací napětí

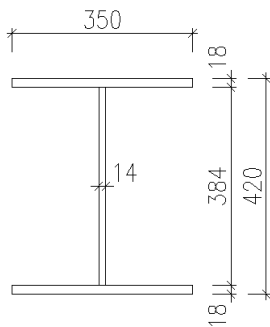
σ<sub>srov</sub> = 292.593 MPa

**292.6 < 313.6 MPa**

→ OK

## 12.7 DIAGONÁLA – PÁSNICE š. 350mm

### 12.7.1 PRŮŘEZ



$$A = 1,7976 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$c_Y = 0,175 \text{ m}$$

$$I_y = 5,7545 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$c_Z = 0,210 \text{ m}$$

$$I_z = 1,2871 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,179 \text{ m}$$

$$i_z = 0,085 \text{ m}$$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{384}{14} = 27,43 \leq 38\varepsilon = 38 \cdot 0,81 = 30,78 \rightarrow \text{tř. 2}$

### 12.7.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TLAČENÉ DIAGONÁLY D24

N = -4451.94 kN  
 My = 51.70 kNm  
 Mz = -16.13 kNm  
 V = 66.31 kN

V = 29,31 kN + 37 kN od polorámů

#### Posouzení

#### Vybočení z roviny

#### Vybočení v rovině

Vzpěrná délka

L<sub>cr,y</sub> = 4.545

L<sub>cr,z</sub> = 4.091

Poměrná štíhlost

λ<sub>1</sub> = 77.498

λ<sub>1</sub> = 77.498

Součinitel imperfekce

λ = 0.328

λ = 0.621

Křivka "c"

α = 0.340

α = 0.340

φ = 0.575

φ = 0.764

χ = 0.954

χ = 0.826

→ rozhoduje

Normálové napětí

σ = -296.622 MPa

-296.6 < 313.6 MPa

f<sub>yd</sub> = 313.636 MPa

→ OK

Smykové napětí

τ = 12.207 MPa

12.2 < 205.0 MPa

τ<sub>Rd</sub> = 204.959 MPa

→ OK

Srovnávací napětí

σ<sub>srov</sub> = 297.374 MPa

297.4 < 313.6 MPa

→ OK

### 12.7.3 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TAŽENÉ DIAGONÁLY D25

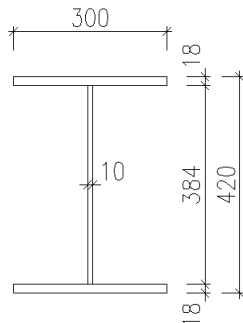
|    |   |         |     |                               |
|----|---|---------|-----|-------------------------------|
| N  | = | 5203.09 | kN  |                               |
| My | = | 89.31   | kNm |                               |
| Mz | = | -37.40  | kNm |                               |
| V  | = | 61.04   | kN  | V = 30,01 + 31 kN od polorámů |

#### Posouzení

|                   |                |   |         |     |              |   |              |     |      |
|-------------------|----------------|---|---------|-----|--------------|---|--------------|-----|------|
| Normálové napětí  | $\sigma$       | = | 271.188 | MPa | <b>271.2</b> | < | <b>313.6</b> | MPa |      |
|                   | $f_{yd}$       | = | 313.636 | MPa |              |   |              |     | → OK |
| Smykové napětí    | $\tau$         | = | -11.237 | MPa | <b>-11.2</b> | < | <b>205.0</b> | MPa |      |
|                   | $\tau_{Rd}$    | = | 204.959 | MPa |              |   |              |     | → OK |
| Srovnávací napětí | $\sigma_{rov}$ | = | 271.885 | MPa | <b>271.9</b> | < | <b>313.6</b> | MPa |      |
|                   |                |   |         |     |              |   |              |     | → OK |

## 12.8 DIAGONÁLA – PÁSNICE Š. 300mm

### 12.8.1 PRŮŘEZ



$$A = 1,460 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$c_Y = 0,150 \text{ m}$$

$$I_y = 4,8381 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$c_Z = 0,210 \text{ m}$$

$$I_z = 8,1032 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,182 \text{ m}$$

$$i_z = 0,074 \text{ m}$$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{384}{10} = 38,40 \leq 48\varepsilon = 48 \cdot 0,81 = 38,88 \rightarrow \text{tř. 3, nedochází k lokálnímu boulení}$

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{145}{18} = 8,01 \leq 9\varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,10 \rightarrow \text{tř. 2} \rightarrow \text{možno klasifikovat jako tř. 2}$

→ náhradní části  $20\varepsilon t_w$  se protínají, je možné počítat s plným průřezem

### 12.8.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TLAČENÉ DIAGONÁLY D22

|    |   |          |     |                                  |
|----|---|----------|-----|----------------------------------|
| N  | = | -2834.27 | kN  |                                  |
| My | = | 41.84    | kNm |                                  |
| Mz | = | 2.85     | kNm |                                  |
| V  | = | 111.09   | kN  | V = 25,09 kN + 86 kN od polorámů |



| <u>Posouzení</u>      | <u>Vybočení z roviny</u>  | <u>Vybočení v rovině</u>            |             |
|-----------------------|---|-------------------------------------|-------------|
| Vzpěrná délka         | $L_{cr,y} = 4.545$  | $L_{cr,z} = 4.091$                  |             |
|                       | $\lambda_1 = 77.498$  | $\lambda_1 = 77.498$                |             |
| Poměrná štíhlost      | $\lambda = 0.322$   | $\lambda = 0.713$                   |             |
| Součinitel imperfekce | $\alpha = 0.340$  | $\alpha = 0.340$                    |             |
| Křivka "c"            | $\phi = 0.573$  | $\phi = 0.842$                      |             |
|                       | $\chi = 0.956$  | $\chi = 0.776$                      |             |
|                       |   |                                     | → rozhoduje |
| Normálové napětí      | $\sigma = -272.866 \text{ MPa}$<br>$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$ | <b>-272.9 &lt;</b> <b>313.6 MPa</b> | → OK        |
| Smykové napětí        | $\tau = 28.631 \text{ MPa}$<br>$\tau_{Rd} = 204.959 \text{ MPa}$  | <b>28.6 &lt;</b> <b>205.0 MPa</b>   | → OK        |
| Srovnávací napětí     | $\sigma_{srov} = 277.336 \text{ MPa}$                             | <b>277.3 &lt;</b> <b>313.6 MPa</b>  | → OK        |

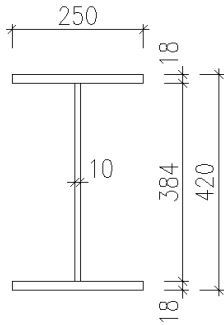
### 12.8.3 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TAŽENÉ DIAGONÁLY D23

|    |   |            |                                  |
|----|---|------------|----------------------------------|
| N  | = | 4453.45 kN |                                  |
| My | = | 52.62 kNm  |                                  |
| Mz | = | -18.29 kNm |                                  |
| V  | = | -64.39 kN  | V = 27,39 kN + 37 kN od polorámů |

| <u>Posouzení</u>  |   |                                    |      |
|-------------------|---|------------------------------------|------|
| Normálové napětí  | $\sigma = 293.180 \text{ MPa}$<br>$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$  | <b>293.2 &lt;</b> <b>313.6 MPa</b> | → OK |
| Smykové napětí    | $\tau = -16.595 \text{ MPa}$<br>$\tau_{Rd} = 204.959 \text{ MPa}$ | <b>-16.6 &lt;</b> <b>205.0 MPa</b> | → OK |
| Srovnávací napětí | $\sigma_{srov} = 294.586 \text{ MPa}$                             | <b>294.6 &lt;</b> <b>313.6 MPa</b> | → OK |

## 12.9 DIAGONÁLA – PÁSNICE Š. 250mm

### 12.9.1 PRŮŘEZ



$$A = 1,2840 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$c_Y = 0,125 \text{ m}$$

$$I_y = 4,1104 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$c_Z = 0,210 \text{ m}$$

$$I_z = 4,6907 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,179 \text{ m}$$

$$i_z = 0,060 \text{ m}$$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{384}{10} = 38,40 \leq 48\varepsilon = 48 \cdot 0,81 = 38,88 \rightarrow$  tř. 3, *nedochází k lokálnímu boulení*

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{120}{18} = 6,67 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow$  tř. 1  $\rightarrow$  *možno klasifikovat jako tř. 2*

$\rightarrow$  *náhradní části  $20\varepsilon t_w$  se protínají, je možné počítat s plným průřezem*

### 12.9.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TLAČENÉ DIAGONÁLY D3

N = -1503.00 kN

My = 29.67 kNm

Mz = 6.44 kNm

V = 41.17 kN

V = 17,17 + 24 kN od polorámů

#### Posouzení

#### Vybočení z roviny

#### Vybočení v rovině

Vzpěrná délka

L<sub>cr,y</sub> = 4.545

L<sub>cr,z</sub> = 4.091

Poměrná štíhlost

λ<sub>1</sub> = 77.498

λ<sub>1</sub> = 77.498

Součinitel imperfekce

λ = 0.328

λ = 0.880

Křivka "c"

α = 0.340

α = 0.340

φ = 0.575

φ = 1.002

χ = 0.954

χ = 0.674

$\rightarrow$  rozhoduje

Normálové napětí

σ = -205.940 MPa

-205.9 < 313.6 MPa

f<sub>yd</sub> = 313.636 MPa

$\rightarrow$  OK

Smykové napětí

τ = 10.611 MPa

10.6 < 205.0 MPa

τ<sub>Rd</sub> = 204.959 MPa

$\rightarrow$  OK

Srovnávací napětí

σ<sub>rov</sub> = 206.758 MPa

206.8 < 313.6 MPa

$\rightarrow$  OK

### 12.9.3 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TAŽENÉ DIAGONÁLY D21

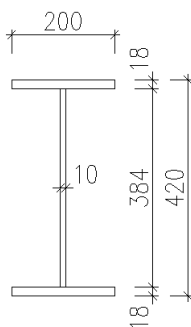
$$\begin{aligned}
 N &= 2811.37 \text{ kN} \\
 M_y &= 46.91 \text{ kNm} \\
 M_z &= -4.51 \text{ kNm} \\
 V &= 107.99 \text{ kN} \quad V = 21,99 + 86 \text{ kN od polorámů}
 \end{aligned}$$

#### Posouzení

|                   |                 |   |             |              |   |                  |      |
|-------------------|-----------------|---|-------------|--------------|---|------------------|------|
| Normálové napětí  | $\sigma$        | = | 230.902 MPa | <b>230.9</b> | < | <b>313.6 MPa</b> |      |
|                   | $f_{yd}$        | = | 313.636 MPa |              |   |                  | → OK |
| Smykové napětí    | $\tau$          | = | -27.832 MPa | <b>-27.8</b> | < | <b>205.0 MPa</b> |      |
|                   | $\tau_{Rd}$     | = | 204.959 MPa |              |   |                  | → OK |
| Srovnávací napětí | $\sigma_{srov}$ | = | 235.881 MPa | <b>235.9</b> | < | <b>313.6 MPa</b> |      |
|                   |                 |   |             |              |   |                  | → OK |

### 12.10 DIAGONÁLA – PÁSNICE Š. 200mm

#### 12.10.1 PRŮŘEZ



$$\begin{aligned}
 A &= 1,7976 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 & c_Y &= 0,175 \text{ m} \\
 I_y &= 5,7545 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & c_Z &= 0,210 \text{ m} \\
 I_z &= 1,2871 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 i_y &= 0,179 \text{ m} \\
 i_z &= 0,085 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Stojina  $\frac{c}{t} = \frac{384}{10} = 38,40 \leq 48\varepsilon = 48 \cdot 0,81 = 38,88 \rightarrow$  tř. 3, *nedochází k lokálnímu boulení*

Pásnice  $\frac{c}{t} = \frac{95}{18} = 5,28 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow$  tř. 1  $\rightarrow$  *možno klasifikovat jako tř. 2*

$\rightarrow$  *náhradní části  $20\varepsilon t_w$  se protínají, je možné počítat s plným průřezem*

#### 12.10.2 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TLAČENÉ DIAGONÁLY D20

$$\begin{aligned}
 N &= -1299.96 \text{ kN} \\
 M_y &= 26.15 \text{ kNm} \\
 M_z &= -2.03 \text{ kNm} \\
 V &= 145.65 \text{ kN} \quad V = 22,65 \text{ kN} + 123 \text{ kN od polorámů}
 \end{aligned}$$

| <u>Posouzení</u>      | <u>Vybočení z roviny</u>  | <u>Vybočení v rovině</u>         |             |
|-----------------------|---|----------------------------------|-------------|
| Vzpěrná délka         | $L_{cr,y} = 4.545$  | $L_{cr,z} = 4.091$               |             |
|                       | $\lambda_1 = 77.498$  | $\lambda_1 = 77.498$             |             |
| Poměrná štíhlost      | $\lambda = 0.335$   | $\lambda = 1.123$                |             |
| Součinitel imperfekce | $\alpha = 0.340$  | $\alpha = 0.340$                 |             |
| Křivka "c"            | $\phi = 0.579$  | $\phi = 1.288$                   |             |
|                       | $\chi = 0.951$  | $\chi = 0.522$                   |             |
|                       |   |                                  | → rozhoduje |
| Normálové napětí      | $\sigma = -233.534 \text{ MPa}$<br>$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$ | <b>-233.5</b> < <b>313.6 MPa</b> | → OK        |
| Smykové napětí        | $\tau = 37.539 \text{ MPa}$<br>$\tau_{Rd} = 204.959 \text{ MPa}$  | <b>37.5</b> < <b>205.0 MPa</b>   | → OK        |
| Srovnávací napětí     | $\sigma_{srov} = 242.417 \text{ MPa}$                             | <b>242.4</b> < <b>313.6 MPa</b>  | → OK        |

### 12.10.3 VNITŘNÍ SÍLY A POSOUZENÍ TAŽENÉ DIAGONÁLY D19

|    |   |            |                    |
|----|---|------------|--------------------|
| N  | = | 1274.55 kN |                    |
| My | = | 31.74 kNm  |                    |
| Mz | = | -1.34 kNm  |                    |
| V  | = | 142.37 kN  | V = 19,37 + 123 kN |

#### Posouzení

|                   |  |                                 |      |
|-------------------|--|---------------------------------|------|
| Normálové napětí  | $\sigma = 129.577 \text{ MPa}$<br>$f_{yd} = 313.636 \text{ MPa}$ | <b>129.6</b> < <b>313.6 MPa</b> | → OK |
| Smykové napětí    | $\tau = 36.693 \text{ MPa}$<br>$\tau_{Rd} = 204.959 \text{ MPa}$ | <b>36.7</b> < <b>205.0 MPa</b>  | → OK |
| Srovnávací napětí | $\sigma_{srov} = 144.324 \text{ MPa}$                            | <b>144.3</b> < <b>313.6 MPa</b> | → OK |

## 13 HLAVNÍ NOSNÍK – MSP

### 13.1 SVISLÉ DEFORMACE

Teoretická hodnota nadvýšení  $w^+ = w^G + 0,25 \cdot w^Q$

Maximální povolené deformace pro jednotlivá pole pravého (levého) nosníku:

- $w_{1,max} = \frac{L_1}{300} = \frac{18\,500}{300} = 61,7 \text{ mm}$
- $w_{1,max} = \frac{L_2}{300} = \frac{27\,750}{300} = 92,5 \text{ mm (111 mm)}$
- $w_{1,max} = \frac{L_3}{300} = \frac{44\,400}{300} = 148 \text{ mm}$
- $w_{1,max} = \frac{L_4}{300} = \frac{33\,300}{300} = 111 \text{ mm (92,5 mm)}$
- $w_{1,max} = \frac{L_5}{300} = \frac{18\,500}{300} = 61,7 \text{ mm}$

Tabulka 4: Průhyby a nadvýšení v jednotlivých polích

| [m]           | Pole 1          |       | Pole 2          |       | Pole 3          |       | Pole 4          |       | Pole 5          |       |
|---------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|               | P               | L     | P               | L     | P               | L     | P               | L     | P               | L     |
| G             | 17.30           | 11.40 | 3.00            | 4.10  | 23.20           | 16.70 | 6.80            | 1.20  | 16.70           | 11.90 |
| Q             | 19.10           | 19.40 | 5.00            | 7.50  | 14.90           | 17.20 | 12.20           | 7.00  | 10.80           | 12.00 |
|               | 15.00           | -2.10 | 4.10            | -1.50 | 20.10           | -3.40 | 7.70            | -0.70 | 14.30           | -2.20 |
|               | 13.80           | 12.80 | 5.60            | 6.60  | 10.00           | 9.40  | 7.10            | 5.10  | 13.90           | 12.80 |
| průhyb        | 65.20           | 41.50 | 17.70           | 16.70 | 68.20           | 39.90 | 33.80           | 12.60 | 55.70           | 34.50 |
| průměr        | 53.35           |       | 17.20           |       | 54.05           |       | 23.20           |       | 45.10           |       |
| nadvýšení     | 29.28           | 18.93 | 6.68            | 7.25  | 34.45           | 22.50 | 13.55           | 4.05  | 26.45           | 17.55 |
| <b>průměr</b> | <b>48.20 mm</b> |       | <b>13.93 mm</b> |       | <b>56.95 mm</b> |       | <b>17.60 mm</b> |       | <b>44.00 mm</b> |       |

### 13.2 VODOROVNÉ DEFORMACE

Vodorovnou deformaci celého horního pásu příhradoviny uvažují jako průměr tří hodnot, které přísluší jednotlivým polím celého nosníku. Jedná se o vodorovnou deformaci od stálého zatížení a od smršťování. Nosníky vybočují směrem k ose komunikace.

#### 13.2.1 LEVÝ NOSNÍK

- $w^G = w^{G1} + w^{Gs} = \frac{(12,6+8,1)+(17,1+7,8)+(15,3+7,6)}{3} = 22,8 \text{ mm} \cong 23 \text{ mm}$

#### 13.2.2 PRAVÝ NOSNÍK

- $w^G = w^{G1} + w^{Gs} = \frac{(11,9+7,5)+(7,4+7,6)+(9,6+7,3)}{3} = 17,1 \text{ mm} \cong 17 \text{ mm}$

$\rightarrow w^+ = \frac{23+17}{2} = \mathbf{20 \text{ mm}}$  ... oba nosníky budou vykloněny o 20mm směrem k ose komunikace.

## 14 ÚNAVA

V této kapitole je provedeno posouzení vybraných detailů na únavu. Rozkmit napětí je vyvolán zatížením od dopravy – modelem zatížení 3 na únavu (viz kapitola 5.2.1.9). Posouzeny jsou vybrané detaily a předpokládán montážní spoj hlavního nosníku v poli 1.

- Dílčí součinitel únavového zatížení  $\gamma_{Ff} = 1,00$
- Dílčí součinitel únavové pevnosti  $\gamma_{Mf} = 1,15$
- Ekvivalentní dynamický součinitel  $\phi_2 = 1,0 \dots \text{pro mosty PK}$
- Součinitel ekvivalentního poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4$   
 $\lambda \leq \lambda_{max}$

$\lambda_1$  ... součinitel účinků poškození od dopravy

- Pole 1  $L_i = 18,5 \text{ m} \rightarrow \lambda_1 = 2,55 - 0,7 \cdot \frac{L-10}{70} = 2,55 - 0,7 \cdot \frac{8,5}{70} = 2,465$
- Pole 3  $L_i = 44,4 \text{ m} \rightarrow \lambda_1 = 2,55 - 0,7 \cdot \frac{L-10}{70} = 2,55 - 0,7 \cdot \frac{34,4}{70} = 2,206$
- Podpora 2  $L_i = \frac{18,5+27,75}{2} = 23,1 \text{ m} \rightarrow \lambda_1 = 2,0 - 0,3 \cdot \frac{L-1}{20} = 2,0 - 0,3 \cdot \frac{22,1}{20} = 1,669$
- Podpora 4  $L_i = \frac{44,4+33,30}{2} = 38,9 \text{ m} \rightarrow \lambda_1 = 1,7 + 0,5 \cdot \frac{L-30}{50} = 1,7 + 0,5 \cdot \frac{8,9}{50} = 1,789$
- Příčník  $L_i = 8,95 \text{ m} \rightarrow \lambda_1 = 2,55$

$\lambda_2$  ... součinitel objemu dopravy

- Pro průměrnou celkovou hmotnost nákladních vozidel  $Q_m = 400 \text{ kN}$  a pro  $0,5 \cdot 10^6$  nákladních vozidel za rok:  $\rightarrow \lambda_2 = 0,625$

$\lambda_3$  ... součinitel návrhové životnosti mostu

- Návrhová životnost 100 let:  $\rightarrow \lambda_3 = 1,00$

$\lambda_4$  ... součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pružích

$$\rightarrow \lambda_4 = 1,00$$

$\lambda_{max}$  ... největší hodnota součinitele  $\lambda$  s uvážením meze únavy

- Pole 1  $L_i = 18,5 \text{ m} \rightarrow \lambda_{max} = 2,5 - 0,5 \cdot \frac{L-10}{15} = 2,5 - 0,5 \cdot \frac{8,5}{15} = 2,217$
- Pole 3  $L_i = 44,4 \text{ m} \rightarrow \lambda_{max} = 2,00$
- Podpora 2  $L_i = \frac{18,5+27,75}{2} = 23,1 \text{ m} \rightarrow \lambda_{max} = 1,80$
- Podpora 4  $L_i = \frac{44,4+33,30}{2} = 38,9 \text{ m} \rightarrow \lambda_{max} = 1,8 + 0,9 \cdot \frac{L-30}{50} = 1,7 + 0,5 \cdot \frac{8,9}{50} = 1,960$
- Příčník  $L_i = 8,95 \text{ m} \rightarrow \lambda_{max} = 2,50$

## 14.1 PŘÍČNÍK

### 14.1.1 PŘÍPOJ STĚNY BĚŽNÉHO PŘÍČNÍKU K DOLNÍ PÁSNICI

**Kategorie detailu 112** (automatové oboustranné koutové nebo tupé svary s místy přerušeni svařování)

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Referenční rozkmit napětí | $\Delta\sigma_c = 112 \text{ MPa}$   |
| Největší napětí           | $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_i} \cdot z = \frac{137,71 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,180 = 12,84 \text{ MPa}$                               |
| Nejmenší napětí           | $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,min}}{I_i} \cdot z = \frac{-33,47 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,180 = -3,12 \text{ MPa}$                               |
| Rozkmit napětí            | $\Delta\sigma_p =  \sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}  = 12,84 + 3,12 = 15,96 \text{ MPa}$<br>$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 355 = 532,5 \text{ MPa}$ |
| Součinitel ekv. poškození | $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,55 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,594$<br>$\lambda = 1,594 \leq \lambda_{max} = 2,50$  |
| Ekvivalentní rozkmit      | $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,594 \cdot 1 \cdot 15,96 = 25,44 \text{ MPa}$  |
| Posouzení                 | $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 25,44 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{112}{1,15}$   |

$$25,44 \leq 97,39 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### 14.1.2 PŘÍPOJ STĚNY PODPOROVÉHO PŘÍČNÍKU K DOLNÍ PÁSNICI

**Kategorie detailu 112** (automatové oboustranné koutové nebo tupé svary s místy přerušeni svařování)

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Referenční rozkmit napětí | $\Delta\sigma_c = 112 \text{ MPa}$  |
| Největší napětí           | $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_i} \cdot z = \frac{261,50 \cdot 10^{-3}}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,176 = 16,38 \text{ MPa}$                              |
| Nejmenší napětí           | $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,min}}{I_i} \cdot z = \frac{-43,39 \cdot 10^{-3}}{2,81 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,176 = -2,72 \text{ MPa}$                              |
| Rozkmit napětí            | $\Delta\sigma_p =  \sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}  = 16,38 + 2,72 = 19,1 \text{ MPa}$<br>$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y$                                     |
| Součinitel ekv. poškození | $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,55 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,594$<br>$\lambda = 1,594 \leq \lambda_{max} = 2,50$ |
| Ekvivalentní rozkmit      | $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,594 \cdot 1 \cdot 19,1 = 30,45 \text{ MPa}$  |
| Posouzení                 | $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 30,45 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{112}{1,15}$  |

$$30,45 \leq 97,39 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

## 14.2 HLAVNÍ NOSNÍK

### 14.2.1 PŘÍPOJ SVISLÉ PŘÍČNÉ VÝZTUHY K DOLNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (POLE 1)

**Kategorie detailu 80** (svislé výztuhy přivařené k válcovanému nebo svařovanému průřezu)

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$

Největší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_y} \cdot z = \frac{684,27 \cdot 10^{-3}}{2,08 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,552 = 18,16 \text{ MPa}$

Nejmenší napětí  $\sigma_{p,min} = \frac{M_{Q,min}}{I_y} \cdot z = \frac{-632,45 \cdot 10^{-3}}{2,08 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,552 = -16,78 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 18,16 + 16,78 = 34,94 \text{ MPa}$

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 460 = 690 \text{ MPa}$$

Součinitel ekv. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,465 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,541$

$$\lambda = 1,541 \leq \lambda_{max} = 2,217$$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,541 \cdot 1 \cdot 34,94 = 53,84 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 53,84 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{80}{1,15}$

$$53,84 \leq 69,57 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### 14.2.2 PŘÍPOJ SVISLÉ PŘÍČNÉ VÝZTUHY K DOLNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (POLE 3)

**Kategorie detailu 80** (svislé výztuhy přivařené k válcovanému nebo svařovanému průřezu)

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$

Největší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_y} \cdot z = \frac{145,91 \cdot 10^{-3}}{8,8106 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,603 = 9,99 \text{ MPa}$

Nejmenší napětí  $\sigma_{p,min} = \frac{M_{Q,min}}{I_y} \cdot z = \frac{-192,83 \cdot 10^{-3}}{8,8106 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,603 = -13,20 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 9,99 + 13,20 = 23,19 \text{ MPa}$

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 355 = 532,5 \text{ MPa}$$

Součinitel ekv. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,206 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,379$

$$\lambda = 1,379 \leq \lambda_{max} = 2,00$$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,379 \cdot 1 \cdot 23,19 = 31,98 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 31,98 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{80}{1,15}$

$$31,98 \leq 69,57 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$



### 14.2.3 MONTÁŽNÍ SPOJ (POLE 1)

**Kategorie detailu 71** (příčný tupý svar)

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 18,16 + 16,78 = 34,94 \text{ MPa}$

Součinitel ekviv. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,465 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,541$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,541 \cdot 1 \cdot 34,94 = 53,84 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 53,84 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{71}{1,15}$

$$53,84 \leq 61,74 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### 14.2.4 PÁSNICE DIAGONÁL DOBÍHAJÍCÍ K DOLNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (POLE 3)

**Kategorie detailu 56** (podélně připojený prvek, přípoj délky  $L > 100 \text{ mm}$ )

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 9,99 + 13,20 = 23,19 \text{ MPa}$

Součinitel ekviv. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2,206 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,379$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,379 \cdot 1 \cdot 15,14 = 31,98 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 31,98 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{56}{1,15}$

$$31,98 \leq 48,70 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

### 14.2.5 PÁSNICE DIAGONÁL DOBÍHAJÍCÍ K DOLNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (PODPORA 4)

**Kategorie detailu 56** (podélně připojený prvek, přípoj délky  $L > 100 \text{ mm}$ )

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 3,11 + 6,63 = 9,74 \text{ MPa}$

Součinitel ekviv. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,789 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,118$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,118 \cdot 1 \cdot 9,74 = 31,98 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 10,89 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{56}{1,15}$

$$10,89 \leq 48,70 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

#### 14.2.6 PÁSNICE KRAJNÍ DIAGONÁLY DOBÍHAJÍCÍ K DOLNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (PODPORA 2)

Kategorie detailu 56 (podélně připojený prvek, přípoj délky  $L > 100$  mm)

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$

Největší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_y} \cdot z = \frac{94,52 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,556 = 2,43 \text{ MPa}$

Nejmenší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,min}}{I_y} \cdot z = \frac{-632,45 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,556 = -16,23 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 2,43 + 16,23 = 18,66 \text{ MPa}$

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 460 = 690 \text{ MPa}$$

Součinitel ekvív. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,669 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,043$

$$\lambda = 1,043 \leq \lambda_{max} = 1,80$$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,043 \cdot 1 \cdot 18,66 = 19,46 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 19,46 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{56}{1,15}$

$$19,46 \leq 48,70 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

#### 14.2.7 PÁSNICE KRAJNÍ DIAGONÁLY DOBÍHAJÍCÍ K HORNÍ PÁSNICI HLAVNÍHO NOSNÍKU (PODPORA 2)

Kategorie detailu 56 (podélně připojený prvek, přípoj délky  $L > 100$  mm)

Referenční rozkmit napětí  $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$

Největší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,max}}{I_y} \cdot z = \frac{94,52 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) = -2,99 \text{ MPa}$

Nejmenší napětí  $\sigma_{p,max} = \frac{M_{Q,min}}{I_y} \cdot z = \frac{-632,45 \cdot 10^{-3}}{2,163 \cdot 10^{-2}} \cdot (-0,684) = 20,00 \text{ MPa}$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = 2,99 + 20,00 = 22,99 \text{ MPa}$

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 460 = 690 \text{ MPa}$$

Součinitel ekvív. poškození  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,669 \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1 = 1,43$

$$\lambda = 1,043 \leq \lambda_{max} = 1,80$$

Ekvivalentní rozkmit  $\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1,043 \cdot 1 \cdot 22,99 = 23,98 \text{ MPa}$

Posouzení  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1 \cdot 23,98 \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{56}{1,15}$

$$23,98 \leq 48,70 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

## 15 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] fa. PIS PECHAL, s.r.o. *Přemostění řeky Svitavy a koridoru SŽDC v Blansku – Studie*. Brno, 2013
- [2] ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, únor 2012.
- [3] ČSN EN 1991-1-1 OPRAVA 1. *Eurokód 1: zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI, únor 2010.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. ČNI, duben 2007.
- [5] ČSN EN 1991-1-5. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou*. ČNI, květen 2005.
- [6] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 2: Zatížení mostů dopravou*. ČNI, červenec 2005.
- [7] ČSN EN 1991-2 ZMĚNA Z3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 2: Zatížení mostů dopravou*. ČNI, říjen 2012.
- [8] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, 2006.
- [9] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, červenec 2011.
- [10] ČSN EN 1993-1-5. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Boulení stěn*. ČNI, únor 2018.
- [11] ČSN EN 1993-1-5 ZMĚNA Z1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Boulení stěn*. ČNI, březen 2010.
- [12] ČSN EN 1993-1-8 ed. 2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-8: Navrhování styčníků*. ČNI, červenec 2011.
- [13] ČSN EN 1993-1-9. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-9: Únava*. ČNI, září 2006.
- [14] ČSN EN 1993-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 2: Ocelové mosty*. ČNI, leden 2008.
- [15] ČSN EN 1994-1-1 ed. 2. *Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Část 1 : Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, únor 2011.
- [16] ČSN EN 1994-1-2. *Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Část 2 : Obecná pravidla a pravidla pro mosty*. ČNI, únor 2007.
- [17] ČSN EN 1999-1-1. *Eurokód 9: Navrhování hliníkových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro konstrukce*. ČNI, březen 2009.
- [18] ČSN EN 10025-2. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí. Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. ČNI, říjen 2005.
- [19] ČSN EN 10025-2. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí. Část 3: Technické dodací podmínky pro normalizačně žíhané/normalizačně válcované svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli*. ČNI, říjen 2005.
- [20] ČSN 73 6205. *Navrhování ocelových mostních konstrukcí*. Vydavatelství ÚNM, Praha, 1984.
- [21] ČSN 73 6205. *Navrhování ocelových mostních konstrukcí. Komentář k ČSN 73 6205*. Vydavatelství ÚNM, Praha, 1986.
- [22] ČSN 01 3483. *Výkresy kovových konstrukcí*. Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [23] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [24] ROTTER, T., STUDNIČKA, J. *Ocelové konstrukce 30. Ocelové mosty, pomůcka pro cvičení*. ČVUT, Praha.
- [25] BILČÍK, J., FILLO, L., BENKO, V., HALVONIK, J. *Betónové konstrukcie*. Bratislava, 2008.
- [26] HOLICKÝ, M., MARKOVÁ, J. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1990*. ČKAIT, Praha, 2007.

[27]MACHÁČEK, J., SOKOL, Z., VRANÝ, T., WALD, F. *Navrhování ocelových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8. Navrhování hliníkových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1999-1.* ČKAIT, Praha, 2009.

[28]KOLÁŘ, V. *Příčinkové čáry. Spojitých nosníků a rámových soustav. Tabulky příčinkových pořadnic.* SNTL, 1956.

## 16 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Tabulka 1: Přehled zatížení LM1

Tabulka 2: Hodnoty tlaku větru na jednotlivé prvky

Tabulka 3: Výpočet tuhostí a maximálních osových sil

Tabulka 4: Průhyby a nadvýšení v jednotlivých polích

Obr. 4-1: Prostorový výpočtový model

Obr. 4-2: Uspořádání ložisek

Obr. 5-1: Roznos do střednice [Příloha A.2 ČSN EN 1991-2]

Obr. 5-2: Geometrie modelů zatížení - Použití LM1; dvounápravy; LM2 [ČSN EN 1991-2]

Obr. 5-3: Tabulka NA.2.4. [ČSN EN 1991-2/Z3]

Obr. 5-4: Geometrie modelu LM3 [Příloha A.2 ČSN EN 1991-2]

Obr. 5-5: Sestavy zatížení od dopravy [Tabulka 4.4a ČSN EN 1991-2 Oprava 1]

Obr. 5-6: Geometrie modelu zatížení na únavu [Obrázek 4.8.ČSN EN 1991-2]

Obr. 5-7: Přehled zatížení větrem ve směru X

Obr. 5-8: Hodnoty kombinačních součinitelů  $\psi$  [Tabulka A2.1 ČSN EN 1990 ed.2]

Obr. 9-1: Schéma umístění běžných příčníků v konstrukci

Obr. 9-2: Geometrie běžného spřaženého průřezu

Obr. 9-3: Spřahovací lišty

Obr. 10-1: Schéma umístění nadpodporových příčníků v konstrukci

Obr. 10-2: Geometrie nadpodporového spřaženého průřezu

Obr. 11-1: Schéma hlavních nosníků

Obr. 11-2: Tvar výztuhy

Obr. 11-3: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 11-4: Geometrie průřezu

Obr. 11-5: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 11-6: Geometrie průřezu

Obr. 11-7: Geometrie účinného průřezu

Obr. 11-8: Model pro stabilitní výpočet

Obr. 11-9: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 11-10: Geometrie průřezu

Obr. 11-11: Výztuhy v oblasti pilíře 2 a 5

Obr. 11-12: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 11-13: Geometrie průřezu

Obr. 11-14: Geometrie účinného průřezu

Obr. 11-15: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 11-16: Geometrie průřezu

Obr. 11-17: Výztuhy v oblasti pilíře 3 a 4

Obr. 11-18: Poloha průřezu v konstrukci

Obr. 12-1: Průřezy horního pásu a krajních diagonál

Obr. 12-2: Průřezy výplňových diagonál

Obr. 12-3: Odstupňování průřezů na konstrukci

Obr. 12-4: Schéma pro výpočet

Obr. 12-5: Tvar vybočení horního pásu - maximální amplituda