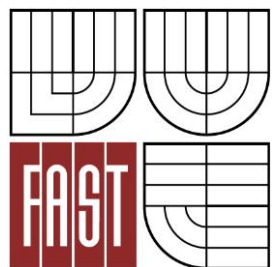




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

NOSNÁ KONSTRUKCE JÍZDÁRNY

LOAD CARRING STRUCTURE OF A RIDING HALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL KUBÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013



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	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. MICHAL KUBÍČEK

Název Nosná konstrukce jízdního pásu

Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Sýkora

**Datum zadání
diplomové práce** 31. 3. 2012

**Datum odevzdání
diplomové práce** 11. 1. 2013

V Brně dne 31. 3. 2012

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

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

Podklady a literatura

1. Prostorové uspořádání jízdrny.
2. ČSN EN 1993 (731401), Navrhování ocelových konstrukcí.
3. Literatura podle doporučení vedoucího diplomové práce.
4. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice , podle doporučení vedoucího diplomové práce.

Zásady pro vypracování

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce jízdrny.

Návrh rozměrů nosné konstrukce proveďte tak, aby minimální rozměry jízdní plochy byly 29,0 x 66,0 m v souladu s prostorovým uspořádáním objektu.

Konstrukci navrhňte pro oblast Blansko.

Konstrukci orientačně navrhňte v několika variantách, vybranou variantu podrobně rozpracujte.

Požadované výstupy:

1. Technická zpráva obsahující základní charakteristiky navržené konstrukce, požadavky na materiál, spojovací prostředky montáž a ochranu.
2. Statický výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce.
3. Výkresová dokumentace obsahující zejména dispoziční výkres, výkres vybraných konstrukčních dílců, charakteristické detaily podle pokynů vedoucího diplomové práce.
4. Orientační výkaz spotřeby materiálu.
5. Specializace z oboru konstrukcí pozemních staveb.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Karel Sýkora
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je návrh a posouzení nosné konstrukce jízdárny. Jsou zde porovnány dvě varianty nosné konstrukce. Pro zvolenou variantu je zpracována technická zpráva, statický výpočet, výkaz materiálu a výkresová dokumentace. Dále je vypracována specializace z oboru pozemních staveb.

Klíčová slova

Nosná konstrukce, jízdárna, ocel, rám, příhradový nosník, oblouk, příčel, vaznice, trubka, dílec, zavěšení, táhlo, ztužidlo, kotvení

Abstract

Master's thesis describes the design and check of the construction of the riding hall. Here are compared two versions the steel structure riding hall. For select version is here technical report, design calculation, statement of material and design documentation. Next is prepared specialization in the field of building construction.

Keywords

Structure, riding hall, steel, frame, truss girder, arc, rung, purlin, tube, component, suspension, rod, bracing, anchoring

...

Bibliografická citace VŠKP

KUBÍČEK, Michal. *Nosná konstrukce jízďárny*. Brno, 2012. 111 s., 68 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2013

.....
podpis autora
Michal Kubíček

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Karlu Sýkorovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, kterými mi velice pomohl při zpracovávání řešené problematiky.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a blízkým za podporu při tvorbě diplomové práce i při celém studiu na vysoké škole.

V Brně dne 11. 1. 2013

.....
podpis autora
Michal Kubíček

OBSAH:

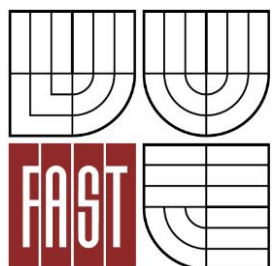
- I. Návrh konstrukčního řešení
- II. Technická zpráva
- III. Statický výpočet

ÚVOD

Předmětem diplomové práce je návrh nosné konstrukce jízdárny. Jízdárna je navržena ve dvou variantách, které jsou mezi sebou porovnány. Následně je u zvolené varianty provedeno podrobné rozpracování. Návrh splňuje zadané podmínky pro minimální rozměry jízdni plochy 29,0 x 66,0 m.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

I. NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

AUTOR PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. MICHAL KUBÍČEK

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

Obsah:

1. Úvod.....	2
2. Dispoziční řešení.....	2
3. Varianty řešení.....	3
3.1 Varianta A.....	3
3.1.1 Popis konstrukce.....	3
3.1.2 Geometrie.....	4
3.1.3 Dimenze prvků.....	5
3.1.4 Ukazatele konstrukce.....	5
3.2 Varianta B.....	6
3.2.1 Popis konstrukce.....	6
3.2.2 Porovnání variant uložení.....	6
3.2.3 Geometrie.....	8
3.2.4 Dimenze prvků.....	9
3.2.5 Ukazatele konstrukce.....	9
4. Porovnání a volba varianty.....	10

1. Úvod

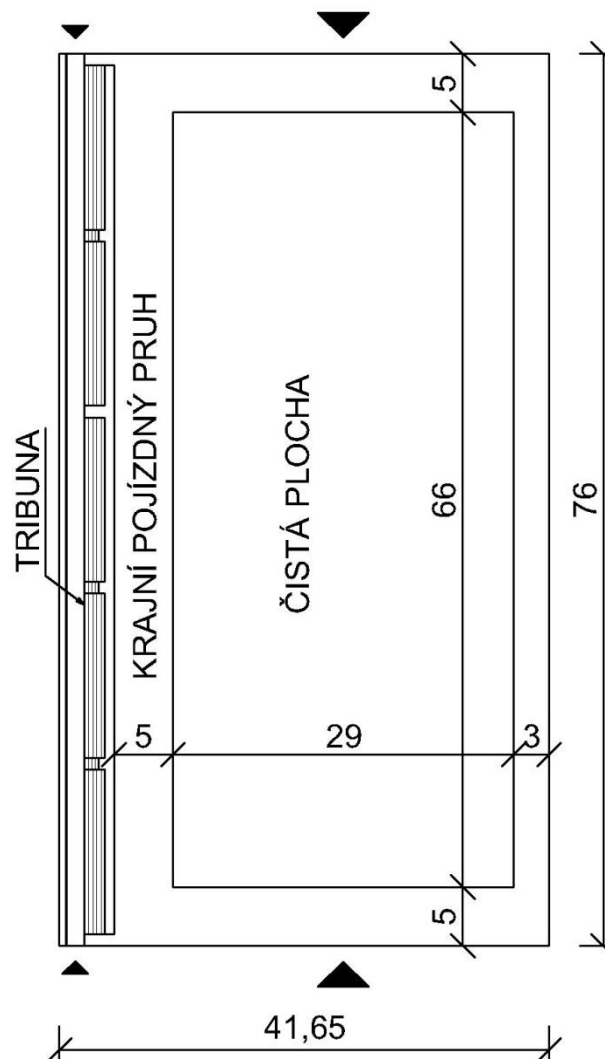
Jízdárna je navržena nad obdélníkovým půdorysem minimálně 76,0 x 41,65 m. Minimální světlá výška na dráze je uvažována 8,0 m. Objekt je navržen pro lokalitu Blansko. Jízdárna je navržena ve dvou variantách, které jsou mezi sebou porovnány. Zvolená varianta je podrobně rozpracována a posouzena na základě platných norem.

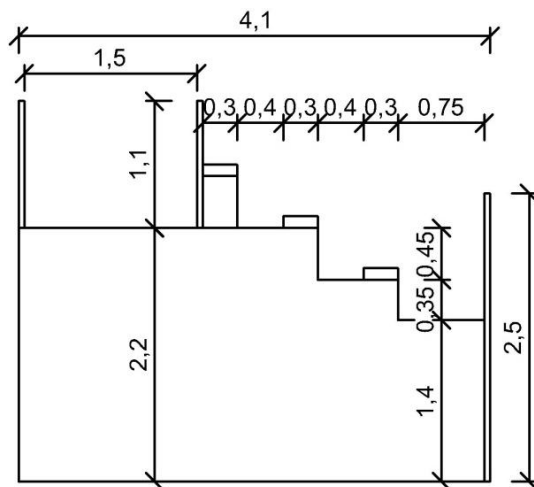
Ve variantě A jsou příčné vazby tvořeny sedlovými příhradovými vazníky a plnostěnnými sloupy. Varianta B má příčné vazby tvořeny dvoukloubovými příhradovými rámy.

Výpočtový model konstrukce je u obou variant vytvořen výpočtním programem Scia Engineer 2012.0. Model je zatížen účinky stálých a proměnných zatížení. U obou variant byl proveden optimalizovaný návrh.

2. Dispoziční řešení

Půdorys jízďárny



Řez tribunou**Základní rozměry**

- čistý rozměr dráhy – 66,0 x 29,0 m
- šířka tribuny – 4,1 m
- krajní pojízdný pruh – 3,0 m; u tribuny 5,0 m
- přední pojízdný pruh u vjezdů – 5,0 m
- minimální vzdálenost od kopyt – 5,0 m – pro soutěže
- počet míst k sezení – cca 420 diváků
- počet míst k stání – cca 150 diváků

3. Varianty řešení**3.1 Varianta A****3.1.1 Popis konstrukce**

Ve variantě A jsou příčné vazby nosné ocelové konstrukce tvořeny sedlovými příhradovými vazníky a plnostěnnými sloupy. Ocelová konstrukce jízдарny je navržena na půdorysné rozměry 42,0 m x 76,0 m, výška v uložení vazníku je 11,7 m a výška v hřebeni 12,7 m, sklon střešní roviny je 5,2 % (3°). Výška vazníku v místě uložení je 3,2 m a výška v hřebeni 4,2 m. Světlá výška jízдарny je 8,5 m. Modulová vzdálenost příčných vazeb je 6,3 m.

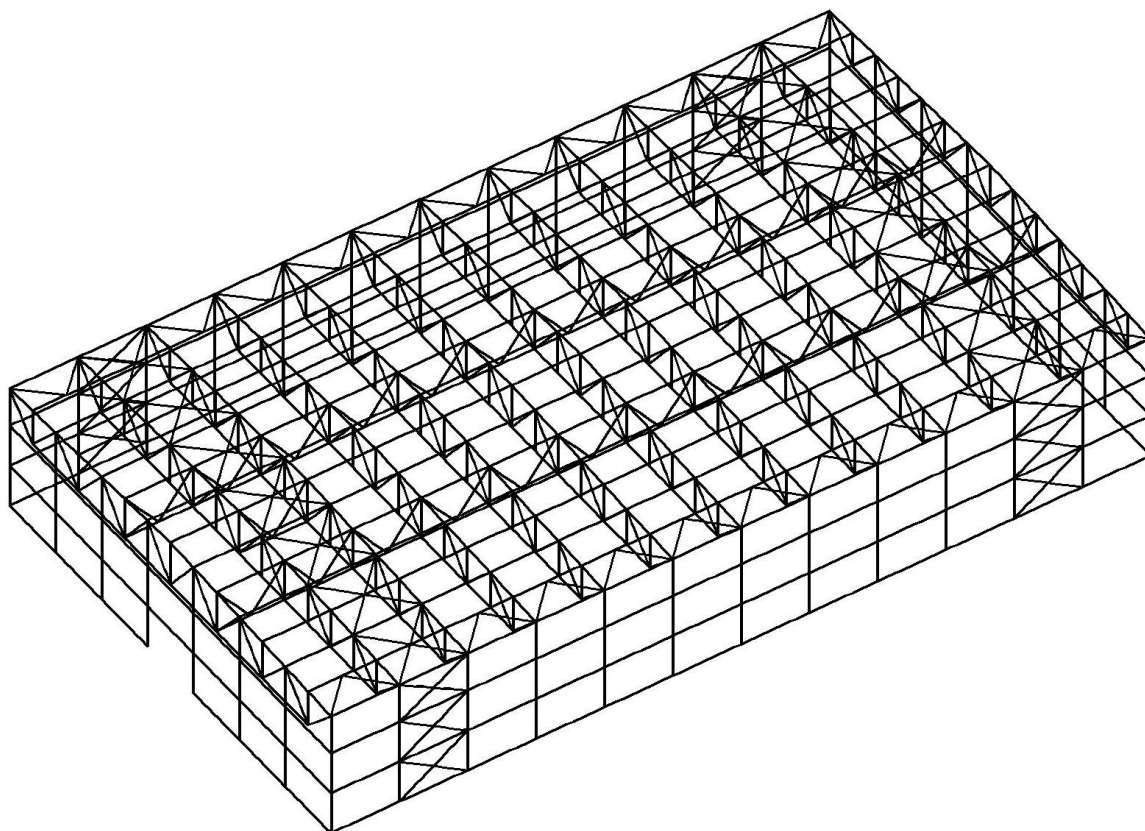
Vazníky jsou na sloupy uloženy kloubově, a to v místě horního pásu. Sloupy jsou vetknuty do patky. Na vaznicích jsou prostě uloženy vaznice. Ve vrcholu se nacházejí dvě vaznice. Střešní i obvodový plášť je tvořen panely Kingspan, které jsou připojeny k vaznicím (paždíkům).

Příčné ztužení je zajištěno pomocí dvou symetricky umístěných příčných ztužidel, a to ve druhém a jedenáctém poli. Dvojice podélných ztužidel je umístěna symetricky, a to ve třetinách dolního pásu vazníku, což je 12,0 m. Okapová ztužidla jsou umístěna mezi okapovou a první mezilehlou vaznicí.

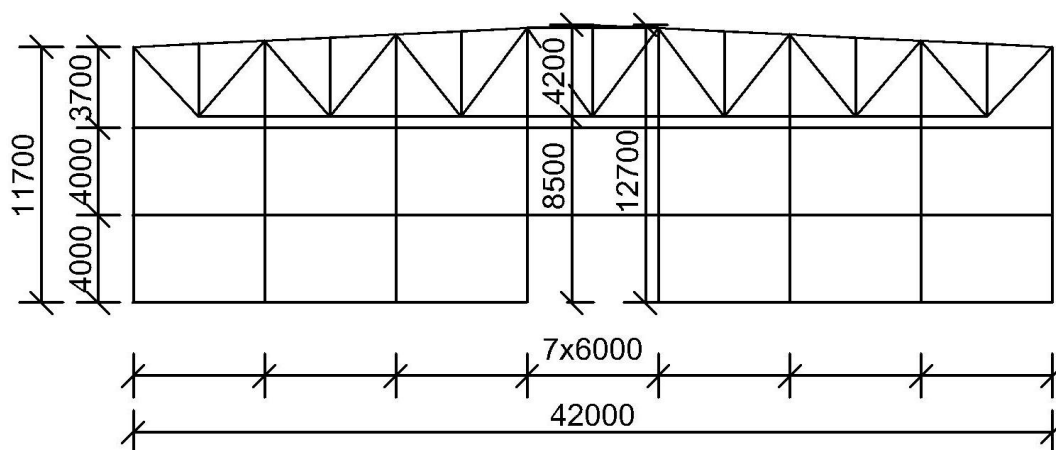
Čelní stěna je tvořena kloubově uloženými sloupky a kloubově připojenými paždíky.

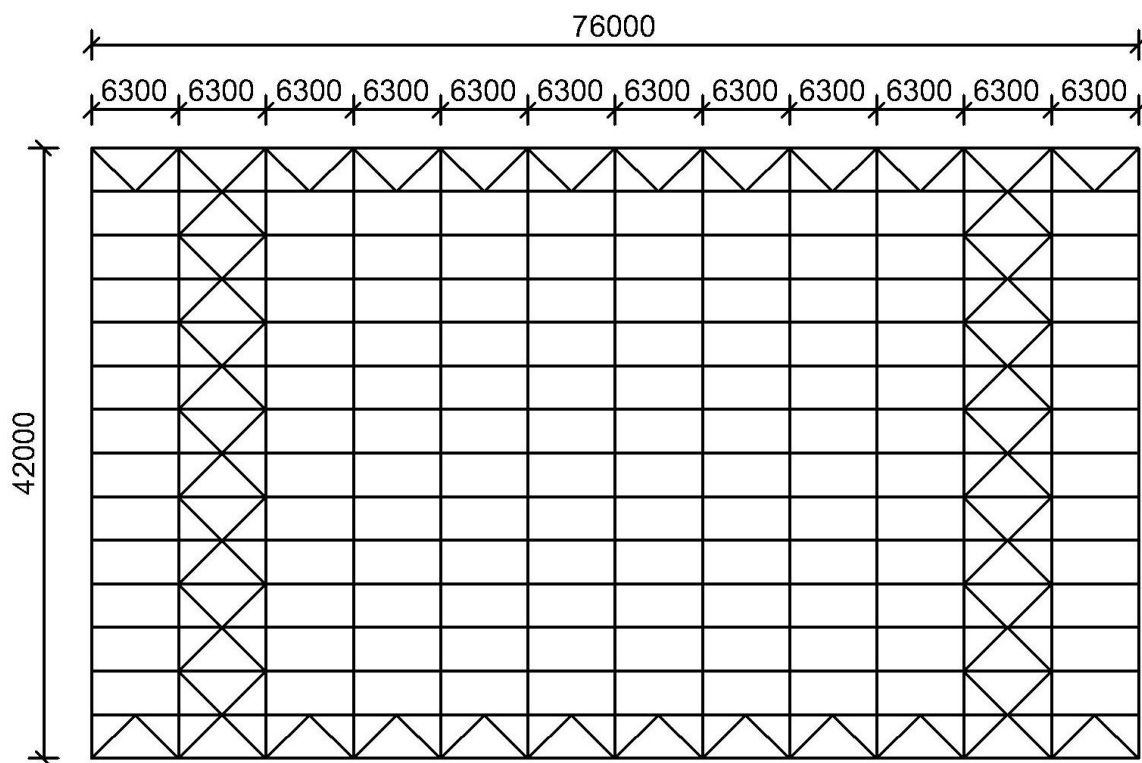
3.1.2 Geometrie

Axonometrie



Čelní pohled



Půdorys**3.1.3 Dimenze prvků**

- vazník (ocel S275) – horní pás CHS 168,3/6,3
– dolní pás CHS 168,3/6,3
– svislice CHS 88,9/6,3
– diagonály CHS 114,3/6,3; CHS 114,3/3,6
- vaznice (ocel S235) – IPE 240
- sloupy (ocel S235) – HEA 180
- pažďíky boční stěny (ocel S235) – IPE 220
- sloupky čelní stěny (ocel S235) – IPE 330
- pažďíky čelní stěny (ocel S235) – HEB 140
- ztužidla (ocel S235) – CHS 114,3/5,0

3.1.4 Ukazatele konstrukce

- hmotnost – ocel S275 – 55,2 t
– ocel S235 – 104,3 t
– celkem – 159,5 t

- povrch materiálu – 4312,0 m²
- kubatura – cca 40,5*10³ m³
- zastavěná plocha – 3192,0 m²

3.2 Varianta B

3.2.1 Popis konstrukce

Ve variantě B jsou příčné vazby nosné ocelové konstrukce tvořeny dvoukloubovými příhradovými rámy. Ocelová konstrukce je navržena na půdorysné rozměry 46,45 m x 76,0 m, výška boční stěny rámu je 7,0 m a výška v hřebeni 13,976 m, sklon střešní roviny je proměnný. Vzdálenost pásů rámu je 2,4 m. Příhradový rám je tvořen obloukovou příčí a šikmými stojkami. Minimální světlá výška na dráze je 8,785 m. Maximální světlá výška jízďárny je 11,576 m. Modulová vzdálenost příčných vazeb je 9,0 m.

Rámy jsou uloženy kloubově. Střešní plášť je nesen zavěšenými plnostěnnými vaznicemi. Vaznice jsou kloubově připojeny k rámu u dolního pásu. Závěsy jsou kloubově připojeny. Vyrožení závěsů je 2,0 m. Z důvodů zkrácení délky pro klopení jsou v rovině střechy použita táhla. Střešní i obvodový plášť je tvořen panely Kingspan, které jsou připojeny k vaznicím (paždíkům). Na závěsy jsou připojeny polykarbonátové desky, čímž vznikají světlíky po celé šířce objektu.

Příčné ztužení je zajištěno pomocí dvou symetricky umístěných příčných ztužidel, a to ve druhém a sedmém poli. Podélná ztužidla se zde nenacházejí, jejich funkci plní zavěšené vaznice.

Čelní stěna je o 2,0 m přesazena před příčnou vazbu. Je tvořena plnostěnnými sloupky a plnostěnnými paždíky. Sloupky jsou zavěšeny na krátkých vaznicích. Paždíky jsou ke sloupkům připojeny kloubově.

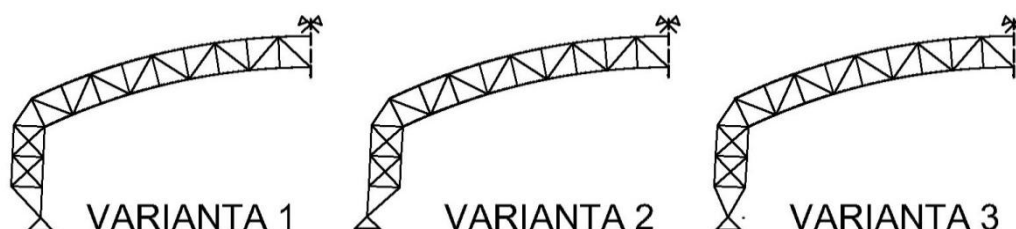
U této varianty byly zpracovány tři možnosti umístění uložení rámu, a také možnost použití prvků pro zmenšení záporného momentu v rohu rámu.

3.2.2 Porovnání variant uložení

Varianty jsou porovnávány z důvodu nalezení nejvýhodnějšího řešení vzhledem k zápornému ohybovému momentu v rohu rámu.

- varianta 1 – uložení na dolním pásu rámu
- varianta 2 – uložení na horním pásu rámu
- varianta 3 – uložení mezi pásy rámu (uprostřed)

Schéma uložení

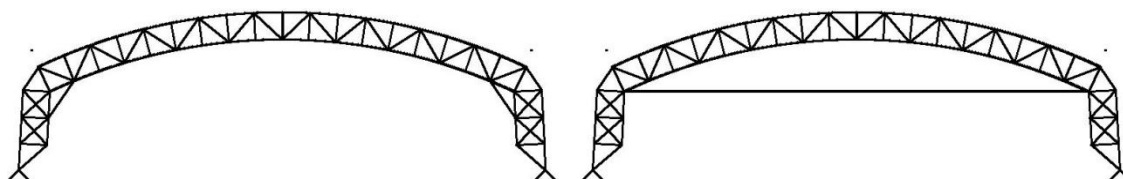


Výsledné záporné momenty

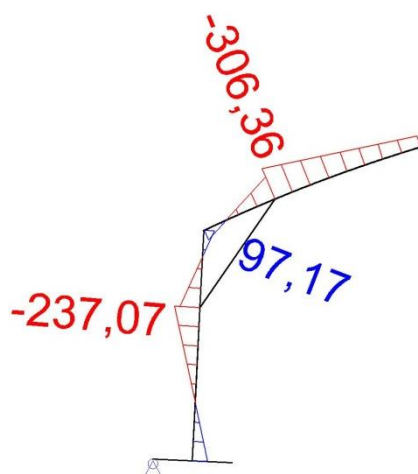
Z porovnání výsledků vychází nejpříznivěji varianta č. 2, bude tedy dále uvažováno uložení na horním pásu rámu.

Z důvodu stále poměrně velkého ohybového momentu je nutné roh upravit. Byly uvažovány dvě možnosti.

- zesílení rohu rámu výztužným prvkem
- natažení táhla mezi rohy rámu

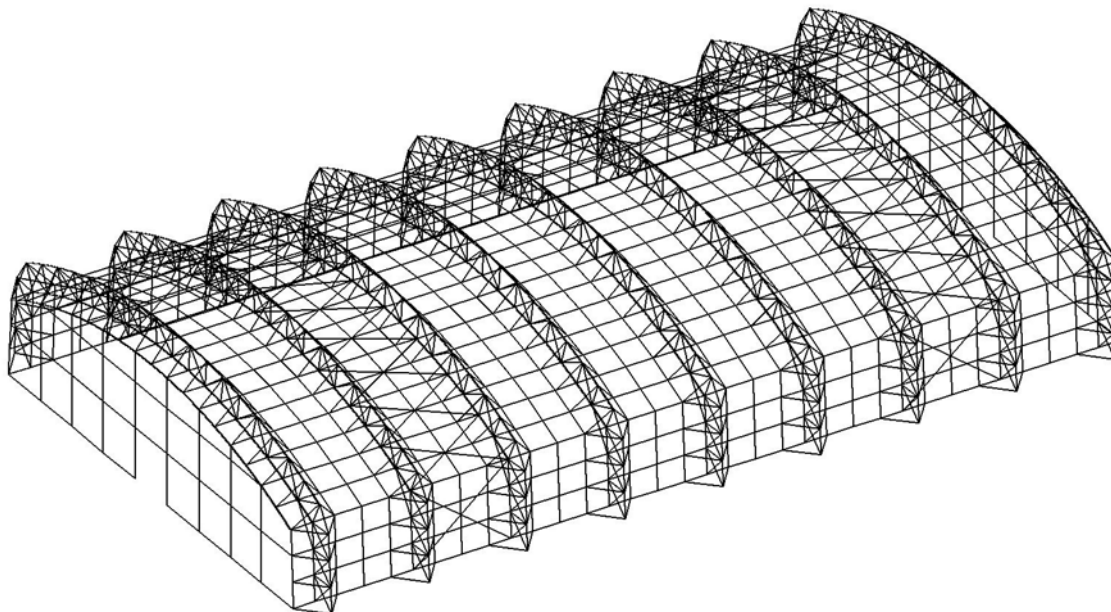
Schéma možností

Z těchto možností bylo vybráno zesílení rohu rámu, a to především z důvodů dispozičních a estetických.

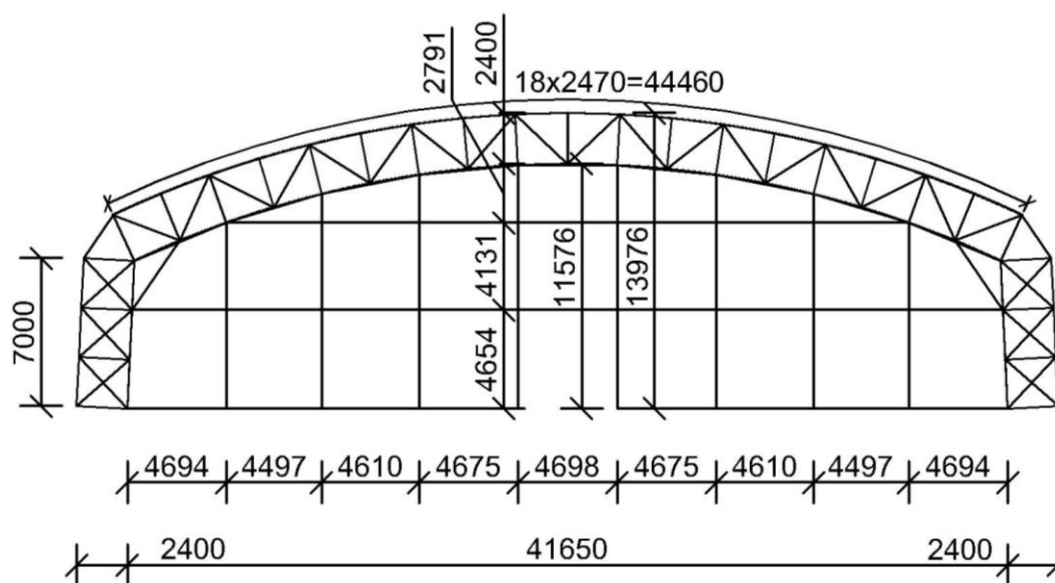
Výsledný záporný moment

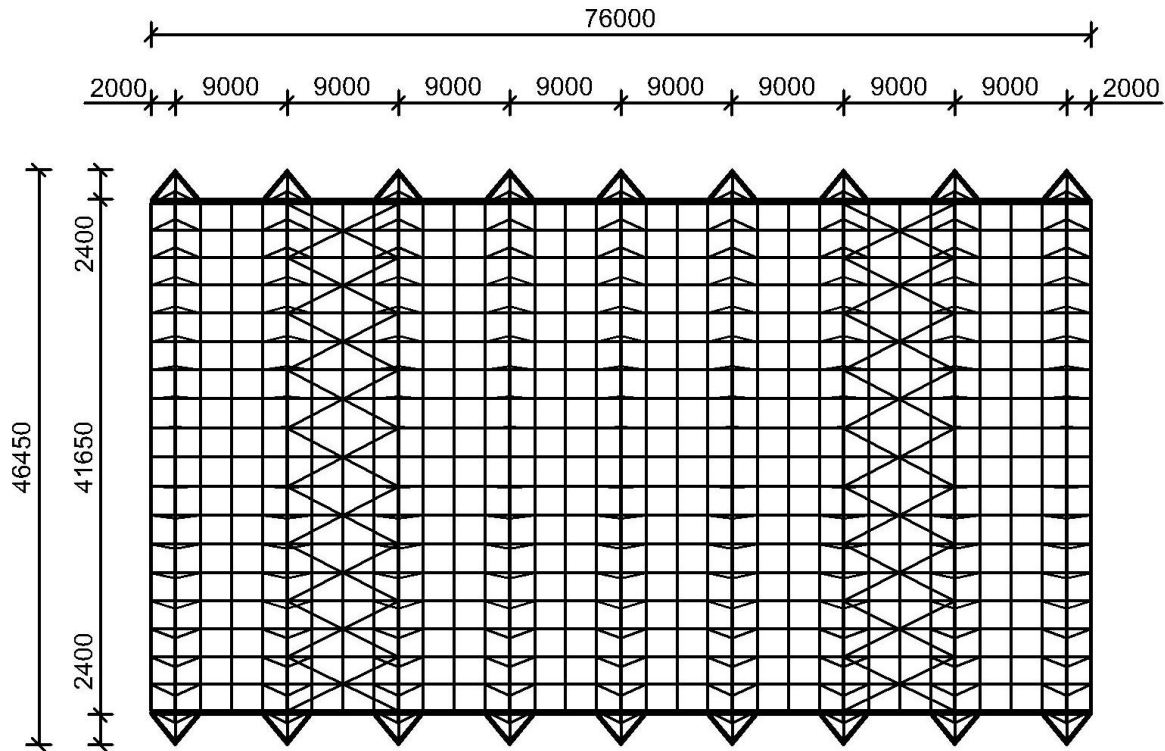
3.2.3 Geometrie

Axonometrie



Čelní pohled



Půdorys**3.2.4 Dimenze prvků**

- příhradový rám (ocel S275) – horní pás CHS 168,3/6,3; CHS 168,3/5,0
 – dolní pás CHS 168,3/8,0; CHS 168,3/5,0
 – svislice CHS 114,3/5,0; CHS 114,3/3,6
 – diagonály CHS 139,7/8,0; CHS 114,3/3,6
 – zesílení rohu CHS 168,3/8,0
- vaznice (ocel S235) – IPE 180; HEA 160
- závěsy vaznice (ocel S235) – CHS 88,9/5,0
- krátká vaznice (ocel S235) – IPE 160
- paždíky boční stěny (ocel S235) – IPE 140
- sloupky čelní stěny (ocel S235) – IPE 330
- paždíky čelní stěny (ocel S235) – HEB 180
- ztužidla (ocel S235) – CHS 76,1/5,0
- táhla vaznic (ocel S235) – R14; R20

3.2.5 Ukazatele konstrukce

- hmotnost – ocel S275 – 62,9 t
 – ocel S235 – 60,7 t
 – celkem – 123,6 t

- povrch materiálu – 3495,7 m²
- kubatura – cca 22,6*10³ m³
- zastavěná plocha – 3530,2 m²

4. Porovnání a volba varianty

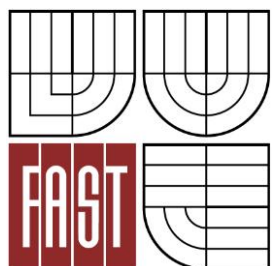
Z pohledu ukazatelů je takřka ve všech uvažovaných bodech poměrně výrazně výhodnější varianta B. Pouze zastavěnou plochu má varianta A menší, což ale není zásadní ukazatel.

S ohledem na ostatní vlastnosti konstrukce se dá říci, že varianta B vyniká architektonickým vzhledem, volnou výškovou dispozicí, a také prosvětlením přirozeným světlem. U varianty A se dá hovořit o jednodušším pokládání střešního pláště. Za nevýhodu se dá u varianty B považovat vyšší cena ohnutých trubek, vyšší požadavky na přesnost montáže i náročnější výroba.

Z výsledků porovnání variant volím pro další rozpracování variantu B.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

II. TECHNICKÁ ZPRÁVA

AUTOR PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. MICHAL KUBÍČEK

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

Obsah:

1. Obecné údaje.....	2
2. Normativní dokumenty.....	2
3. Konstrukční systém.....	2
3.1 Dvoukloubový příhradový rám.....	3
3.2 Vaznice.....	3
3.3 Závěsy vaznic.....	3
3.4 Paždíky podélných stěn.....	3
3.5 Čelní stěna.....	4
3.6 Příčné ztužidlo.....	4
3.7 Kotvení.....	4
4. Opláštění konstrukce.....	4
5. Ochrana konstrukce proti korozi.....	4
6. Požárně-bezpečnostní řešení.....	5
7. Materiál.....	5
8. Postup montáže.....	5

1. Obecné údaje

Jízdárna má parametry, které umožňují její použití pro drezúru, halové závody koní a soutěže. Čistý rozměr dráhy je 66,0 x 29,0 m. Kolem dráhy je vedlejší jízdní pás o šířce 5,0 m u čelních stěn a na straně u tribuny. Na druhé straně je pás široký 3,0 m. Tribuna má šířku 4,1 m a jsou zde tři řady k sezení a jedna k stání. Kapacita k sezení je cca 420 míst a k stání cca 150 míst. Vrata pro vjezd a výjezd koní jsou umístěna na obou čelních stěnách, stejně tak i vchody pro diváky. Jízdárna se nachází v lokalitě Blansko.

Půdorysné rozměry jízdárny jsou 76,0 x 46,45 m. Výška v hřebeni je 13,976 m. Minimální světlá výška na dráze je 8,785 m. Maximální světlá výška je 11,576 m.

2. Normativní dokumenty

Nosná ocelová konstrukce jízdárny byla navržena v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990 Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

3. Konstrukční systém

Příčná vazba nosné konstrukce je tvořena dvoukloubovým příhradovým rámem. Rám je složen ze šikmých stojek a obloukové příčle. Rám je uložen kloubově. Rohy rámu jsou zesíleny trubkami. Vzdálenost pásů rámu je 2,4 m. Modulová vzdálenost příčných vazeb je 9,0 m.

Střešní plášť je nesen zavěšenými plnostěnnými vaznicemi. Vaznice jsou kloubově připojeny k rámu u dolního pásu. Závěsy jsou kloubově připojeny. Vyložení závěsů je 2,0 m. Z důvodů zkrácení délky pro klopení jsou v rovině střechy použita táhla. Střešní i obvodový plášť je tvořen panely Kingspan, které jsou připojeny k vaznicím (paždíkům). Na závěsy jsou připojeny polykarbonátové desky, čímž vznikají světlíky po celé šířce objektu.

Příčné ztužení je zajištěno pomocí dvou symetricky umístěných příčných ztužidel, a to ve druhém a sedmém poli. Podélná ztužidla se zde nenacházejí, jejich funkci plní zavěšené vaznice, které také zajišťují polohu rámu při montáži.

Čelní stěna je o 2,0 m přesazena před příčnou vazbu. Je tvořena plnostěnnými sloupky a plnostěnnými paždíky. Sloupky jsou zavěšeny na krátkých vaznicích. Paždíky jsou ke sloupkům připojeny kloubově.

3.1 Dvoukloubový příhradový rám

Dvoukloubový příhradový rám je tvořen šikmými stojkami a příčlím ve tvaru oblouku. Pásky rámu jsou od sebe osově vzdáleny 2,4 m. Rám je v rozích zesílen trubkami, a to z důvodu snížení záporných momentů. Poloměr horního pásu je 50,4 m a poloměr dolního pásu je 48,0 m. Rám je tvořen z trubkových profilů. Celý rám je navržen z oceli pevnostní třídy S275. Z důvodů přepravy a úpravy povrchu je rám rozdělen na čtyři části, které budou smontovány na místě montáže.

Horní i dolní pás je tvořen trubkami o vnějším průměru 168,3 mm. Tloušťky stěny horního pásu jsou 5,0 a 6,3 mm a pro dolní pás jsou 5,0 a 8,0 mm.

Profily svislic mají vnější průměr 114,3 mm a tloušťky stěny 3,6 a 5,0 mm.

Diagonály jsou navrženy z profilů CHS 114,3/3,6 a CHS 139,7/8,0.

Zesílení rohu rámu je z trubek vnějšího profilu 168,3 mm a tloušťky stěny 8,0 mm

Spoje výplňových trubek s pásovými jsou provedeny koutovými $\frac{1}{2}$ V svary.

3.2 Vaznice

Vaznice jsou navrženy zavěšené. Vaznice spojují rámy a nesou střešní plášť. Jsou navrženy z válcovaných profilů IPE 180, teoretickou délku mají 9,0 m. Vaznice jsou uloženy kloubově, zavěšeny jsou 2,0 m od osy rámu.

Vaznice mají zajištěnu stabilitu proti klopení a vybočení v rovině střechy pomocí táhel z kruhové oceli. Táhla mají průměr 14 mm, na okrajích konstrukce 20 mm. Táhla jsou umístěna v místě zavěšení a uprostřed rozpětí vaznice. Táhla přenáší namáhání v rovině střechy a stabilitní síly z vaznic do vrcholové vaznice a okapových vaznic. Okapová vaznice je z válcovaného profilu HEA 160.

Krátké vaznice, které jsou na krajích konstrukce, mají teoretickou délku 2,0 m a jsou z válcovaných profilů IPE 160.

Vaznice i táhla jsou z oceli pevnostní třídy S235.

3.3 Závěsy vaznic

Na závěsy jsou použity trubky vnějšího průměru 88,9 mm a tloušťky stěny 5,0 mm, pevnostní třídy oceli 235. Teoretická délka závěsů je 3,124 m. Závěsy jsou připojeny kloubově k vaznici (paždíku) i rámu. Závěsy také nahrazují podélná ztužidla a stabilizují horní pás rámu.

3.4 Paždíky podélných stěn

Paždíky jsou provedeny z válcovaných profilů IPE 140, pevnostní třídy oceli 235. Paždíky jsou konstrukčně řešeny obdobně jako vaznice v bodě 3.2.

3.5 Čelní stěna

Čelní stěna je složena ze sloupků a paždíků. Na sloupky jsou použity válcované profily IPE 330 a na paždíky profily HEB 180. Oba prvky jsou z oceli S235.

Sloupky jsou zavěšeny na krátkých vaznicích a v místě kotvení je zabráněno pouze vodorovným deformacím.

Paždíky jsou připojeny ke sloupkům kloubově.

3.6 Příčné ztužidlo

Příčná ztužidla jsou tvořena trubkovými profily CHS 76,1/5,0, pevnostní třídy oceli S235. Ztužidla jsou konstruována jako zkřížené diagonály. Umístění ztužidel je symetrické, a to ve druhém a sedmém poli. Ztužidla jsou navržena pouze na přenos tahových sil.

3.7 Kotvení

Rám je kloubově podepřen v místě horního pásu. Připojení rámu k základovým patkám je řešeno pomocí čepů. Všechny patky budou do základové patky kotveny čtveřicí kotevních šroubů M42 s přivařenou hlavou. Patky budou podlity vrstvou malty o výšce 30 mm. Vodorovná reakce bude zachycena pomocí smykové zarážky z plechu.

Sloupky čelních stěn budou připojeny k patce šroubem M20. Patky jsou kotveny do základové patky dvojicí kotevních šroubů M30 s přivařenou hlavou. Šrouby budou do základu také přenášet vodorovné reakce. Patky budou podlity vrstvou malty o výšce 30 mm.

Příčné ztužidlo bude připojeno k patce dvěma šrouby M30. Patky jsou kotveny do základové patky dvojicí kotevních šroubů M30 s přivařenou hlavou. Patky budou podlity vrstvou malty o výšce 30 mm. Vodorovná reakce bude zachycena pomocí smykové zarážky z plechu.

4. Opláštění konstrukce

Střešní i obvodový plášť bude tvořen panely Kingspan KS1000 TOP-DEK o tloušťce 100,0 mm a plošné hmotnosti 12 kgm^{-2} . Tyto panely jsou vhodné pro obloukové střechy s poloměrem od 20,0 m. Panely budou k vaznicím (paždíkům) připojeny samovrtnými šrouby ve standardním rozmístění a v souladu s pokyny výrobce.

Světlíky budou tvořeny polykarbonátovými komůrkovými deskami Marlon ST tloušťky 32 mm. Připevnění bude v souladu s pokyny výrobce.

5. Ochrana konstrukce proti korozi

Ocelová konstrukce bude ve výrobě po otryskání opatřena základním antikoročním nátěrem Pragoprimer S2000 tloušťky 50 μm . Poté bude nanesen protipožární nátěr Flamizol S tloušťky 1000 μm . Na závěr bude provedena krycí vrstva barvou Hostagrund S2160 tloušťky 50 μm .

Z důvodu svařovaných montážních spojů budou nátěry ukončeny cca 1,0 m od montážních spojů. Po svaření konstrukce budou nátěry provedeny na stavbě.

6. Požárně-bezpečnostní řešení

Požární odolnost konstrukce je zajištěna zpěnitelným protipožárním nátěrem Flamizol S tloušťky 1000 μm . To zajišťuje požární odolnost konstrukce cca 30 minut.

Více nebyla v projektu požární bezpečnost řešena.

7. Materiál

Ocelová konstrukce je navržena z materiálu S235 a S275.

- příhradový rám – ocel S275
- vaznice – ocel S235
- závěsy vaznice – ocel S235
- krátká vaznice – ocel S235
- paždíky boční stěny – ocel S235
- sloupky čelní stěny – ocel S235
- paždíky čelní stěny – ocel S235
- ztužidla – ocel S235
- táhla vaznic – ocel S235
- šrouby, kotevní šrouby – pevnostní třída 5.6
- čepy – ocel S275
- patní desky – ocel S275
- svary – elektrody E-B 123 – dle EN 499: E42 3 B 42 H10

8. Postup montáže

Nejprve se provede spojení částí rámu R2 v jeden celek. Následně je nutné provést předepsané nátěry v místech montážních styků. Poté je možné provést osazení rámu na kotevní patky připevněné do předem vybetonované základové patky.

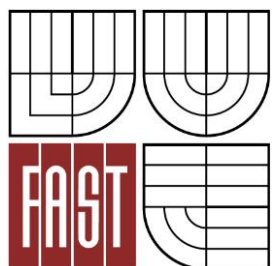
Dále je nutné provést provizorní zavětrování rámu. Následuje osazení rámu R3 a jeho ukotvení a spojení obou rámu zavěšenými vaznicemi a stěnovým i střešním ztužidlem. Jako první se připojí vrcholová a okapové vaznice a po nich se připevní ostatní vaznice a paždíky podélných stěn. Poloha vaznic bude vymezena táhly v rovině střechy.

Následně se odstraní provizorní zavětrování a proběhne montáž rámu R4 stejně jako předešlý rám. Pokračujeme dalšími rámy. Pokaždé je nutné provést napojení rámu na již smontovanou konstrukci. Dále se provede montáž krátkých vaznic. Následuje zavěšení a ukotvení sloupků čelních stěn a připojení paždíků čelních stěn. Poté je již možné provést pokládku střešního a obvodového pláště.

Nejtěžší prvek konstrukce je sloupek čelní stěny IPE 330, jeho hmotnost je cca 566 kg. Nejtěžší dílec konstrukce je krajní část příčle, její hmotnost je cca 1170 kg. Nejtěžší ucelená část konstrukce je příhradový rám, jeho hmotnost je cca 5250 kg. Je nutno na tuto hmotnost navrhnout zvedací zařízení.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

III. STATICKÝ VÝPOČET

AUTOR PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. MICHAL KUBÍČEK

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

Obsah:

1. Obecné údaje.....	3
2. Normativní dokumenty.....	3
3. Geometrie.....	4
4. Zatížení.....	7
4.1 Zatížení stálé.....	7
4.2 Zatížení proměnné.....	7
4.2.1 Zatížení sněhem.....	7
4.2.2 Zatížení větrem.....	9
4.2.3 Montážní zatížení.....	13
4.3 Přepočet zatížení na jednotlivé části konstrukce.....	13
4.3.1 Vaznice.....	13
4.3.2 Závěsy vaznic.....	15
4.3.3 Paždíky – podélná stěna.....	17
4.3.4 Závěsy – podélná stěna.....	18
4.3.5 Paždíky – čelní stěna.....	19
5. Kombinace zatěžovacích stavů.....	21
5.1 Výpis zatěžovacích stavů.....	21
5.2 Kombinace – Mezní stav únosnosti.....	21
5.3 Kombinace – Mezní stav použitelnosti.....	22
6. Vnitřní síly.....	22
7. Posouzení konstrukce.....	22
7.1 Ruční posouzení vybraných prvků – mezní stav únosnosti.....	23
7.1.1 Příhradový rám.....	23
7.1.1.1 Horní pás rámu I CHS 168,3/6,3.....	23
7.1.1.2 Dolní pás rámu I CHS 168,3/8,0.....	26
7.1.1.3 Dolní pás rámu II CHS 168,3/5,0.....	29
7.1.1.4 Zesílení rohu rámu CHS 168,3/8,0.....	32
7.1.1.5 Diagonála rámu CHS 139,7/8,0.....	35
7.1.1.6 Svislice rámu CHS 114,3/3,6.....	38
7.1.2 Závěs vaznice CHS 88,9/5,0.....	39
7.1.3 Vaznice.....	42
7.1.3.1 Vaznice IPE 180.....	42
7.1.3.2 Krátká vaznice IPE 160.....	49
7.1.4 Sloupek čelní stěny IPE 330.....	52
7.1.5 Paždík čelní stěny HEB 180.....	54
7.1.6 Táhlo vaznic R14.....	56
7.1.7 Ztužidlo CHS 76,1/5,0.....	57
7.2 Posouzení deformací – mezní stav použitelnosti.....	58
7.2.1 Příhradový rám.....	58
7.2.2 Vaznice IPE 180.....	58
7.2.3 Okapová vaznice HEA 160.....	58
7.2.4 Krátká vaznice IPE 160.....	59

7.2.5 Paždík IPE 140	59
7.2.6 Závěs vaznice CHS 88,9/5,0	59
7.2.7 Sloupek čelní stěny IPE 330	60
7.2.8 Paždík čelní stěny HEB 180	60
8. Posouzení spojů	61
8.1 Příhradový rám	61
8.1.1 Posouzení na porušení povrchu	61
8.1.2 Posouzení styčníků příhradového rámu – svař	67
8.1.3 Montážní spoje	68
8.2 Spoj příhradový rám – vaznice IPE 180	70
8.3 Spoj příhradový rám – krátká vaznice IPE 160	72
8.4 Spoj příhradový rám – paždík IPE 140	74
8.5 Spoj vaznice IPE 180 – závěs vaznice 88,9/5,0	76
8.6 Spoj příhradový rám – závěs vaznice 88,9/5,0	78
8.7 Spoj krátká vaznice IPE 160 – sloupek čelní stěny IPE 330	79
8.8 Spoj příhradový rám (vaznice) – ztužidlo CHS 76,1/5,0	81
8.9 Spoj horní pás příhradového rámu – deska čepu	83
8.10 Spoj diagonála příhradového rámu – deska čepu	84
9. Kotvení	86
9.1 Příhradový rám	86
9.1.1 Čepový spoj	86
9.1.2 Patka	87
9.2 Ztužidlo	90
9.3 Sloupek čelní stěny	93
9.3.1 Spoj sloupek čelní stěny – patní deska	93
9.3.2 Patka	94
10. Výkaz materiálu	96

1. Obecné údaje

Předmětem statického výpočtu je návrh a posouzení nosné konstrukce jízdárny. Ocelová konstrukce je navržena na půdorysné rozměry 46,45 m x 76,0 m, výška boční stěny rámu je 7,0 m a výška v hřebeni 13,976 m. Příčné vazby jsou tvořeny dvoukloubovými příhradovými rámy. Modulová vzdálenost příčných vazeb je 9,0 m.

Objekt je navržen pro lokalitu Blansko.

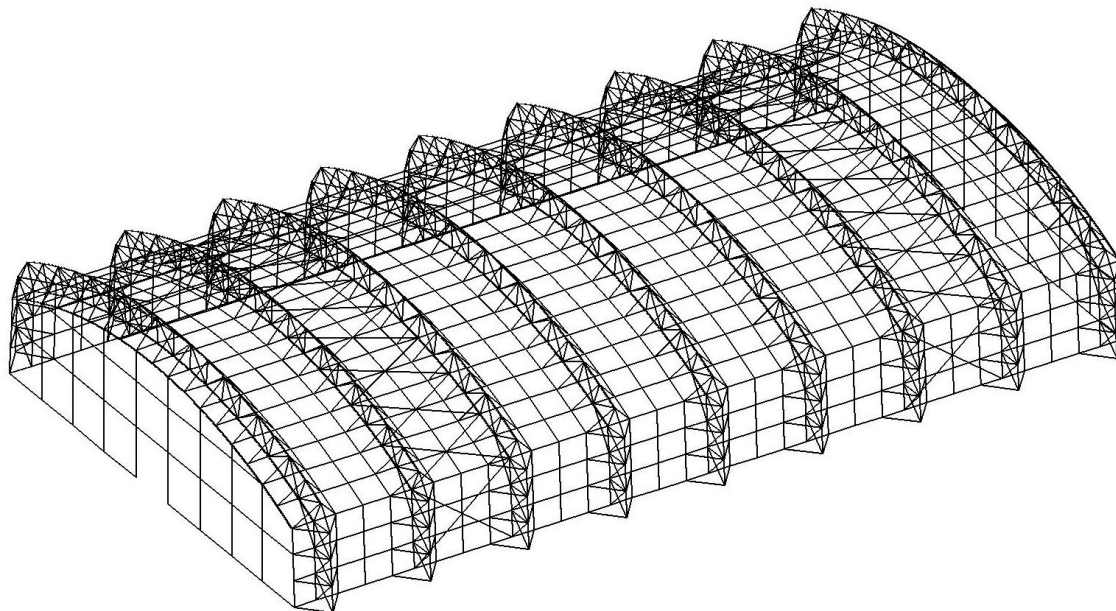
2. Normativní dokumenty

Nosná ocelová konstrukce jízdárny byla navržena v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

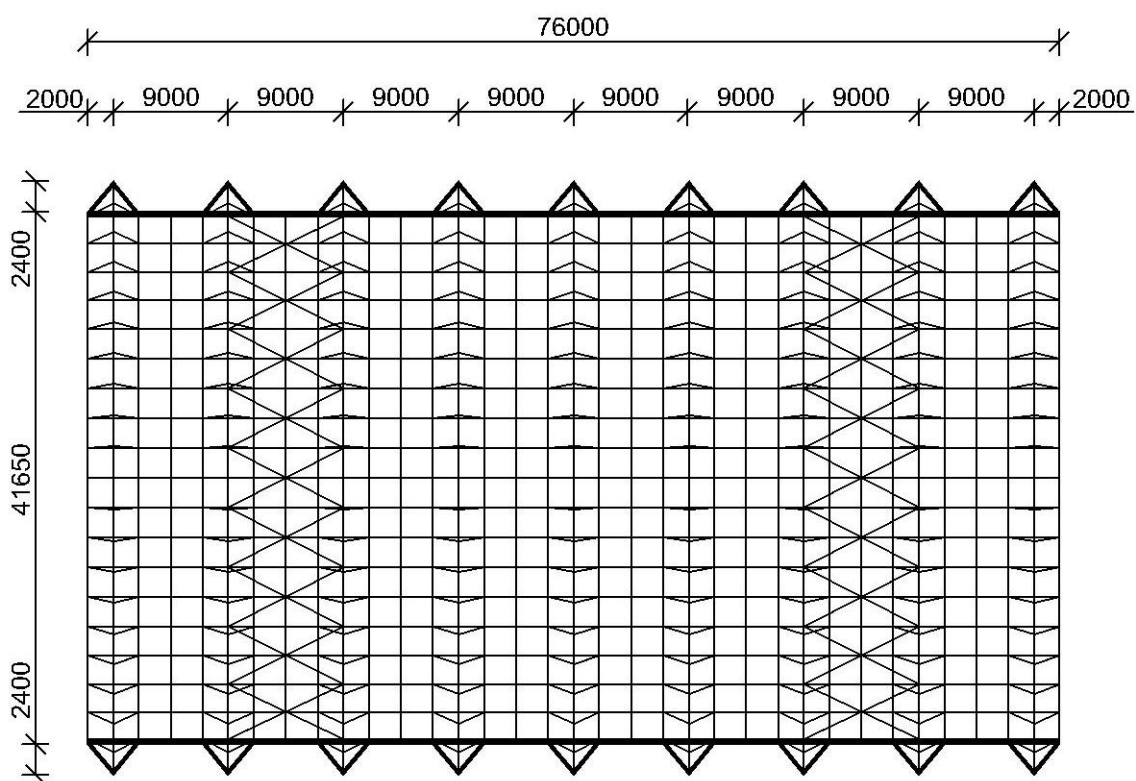
- ČSN EN 1990 Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

3. Geometrie konstrukce

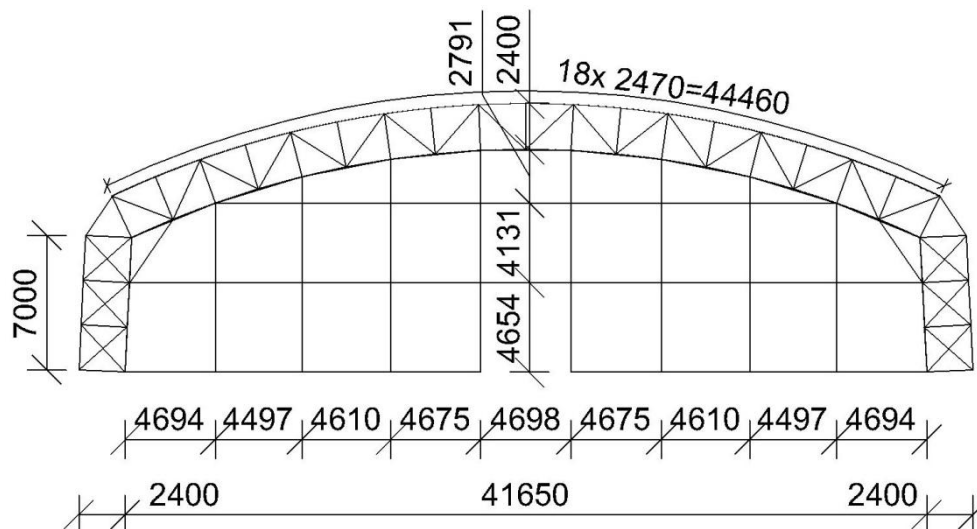
Axonometrie



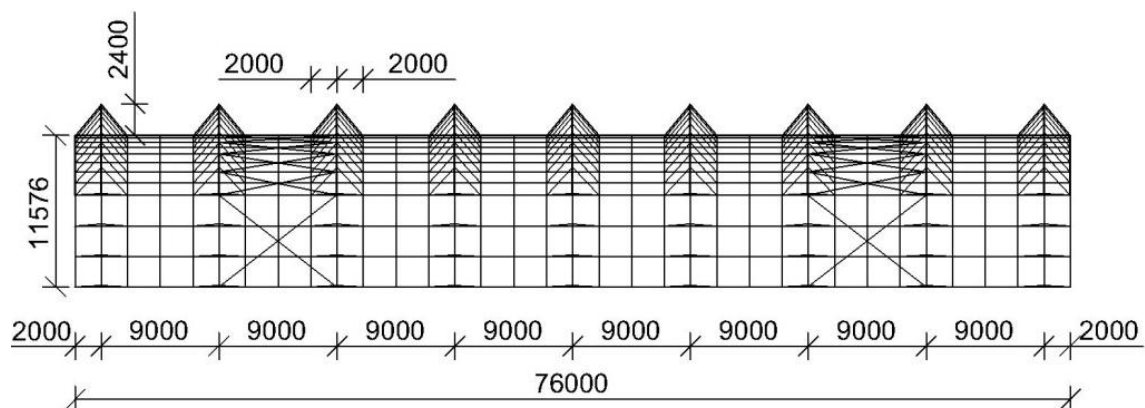
Půdorys



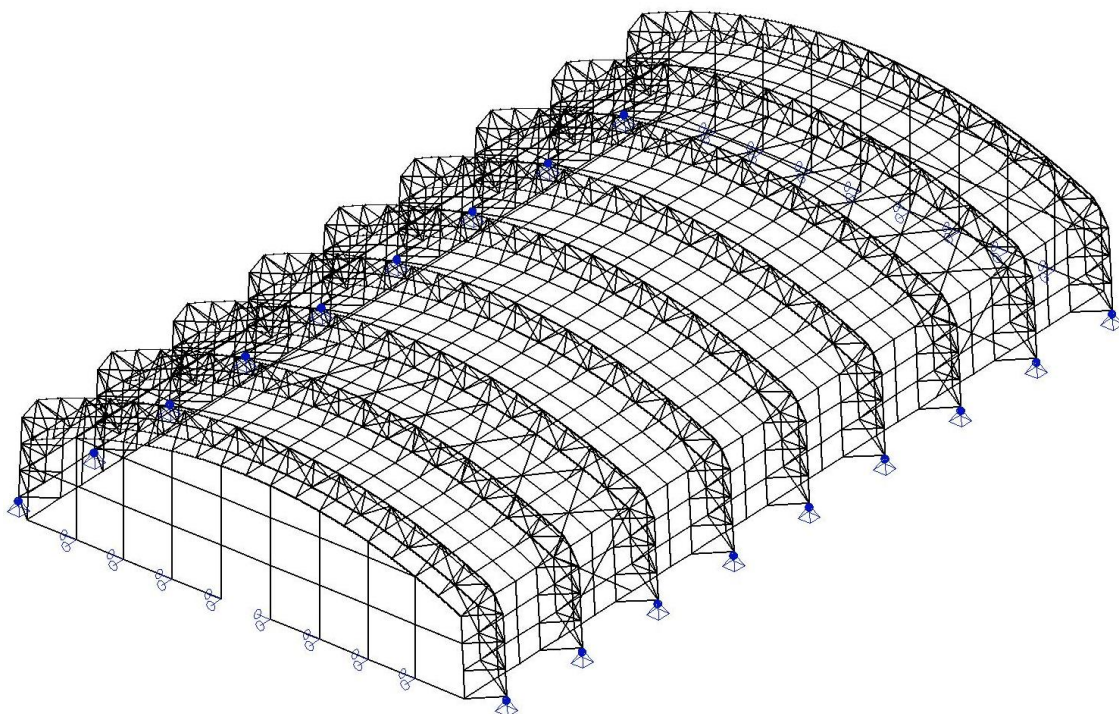
Čelní pohled



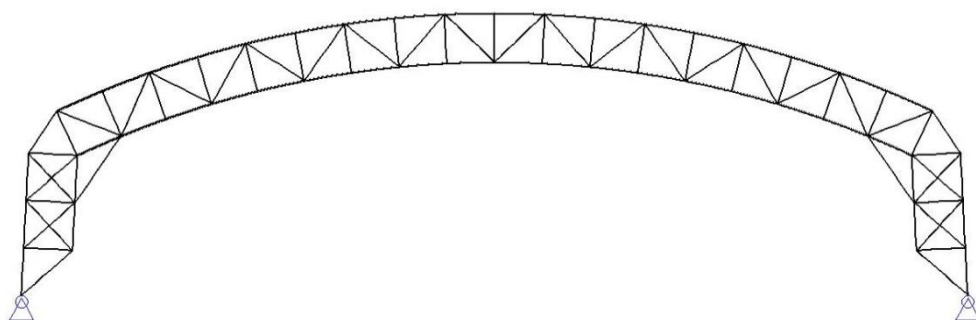
Boční pohled



Axonometrie – výpočtový model



Příhradový rám – výpočtový model



4. Zatížení

- uvažováno v souladu s dokumenty uvedenými v bodě 2
- jsou uváděny charakteristické hodnoty zatížení

4.1 Zatížení stálé

- součinitele zatížení

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_{G, \min} = 1,00$$

ZS1 Vlastní tíha nosné konstrukce

- vygenerováno pomocí programu Scia Engineer 2012.0

ZS2 Ostatní stálé zatížení

- střešní panel

vrstva	t [mm]	g_k [kN/m ²]
Kingspan KS1000 TOP-DEK	100	0,12

- světlík

vrstva	t [mm]	g_k [kN/m ²]
polykarbonátová výplň + profily	32	0,04

- ostatní

vrstva	g_k [kN/m ²]
vzduchotechnika + osvětlení	0,15

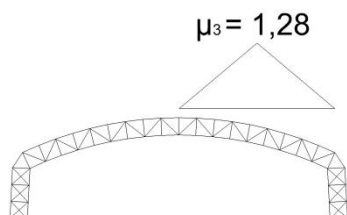
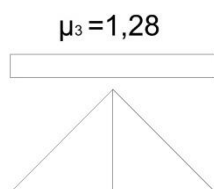
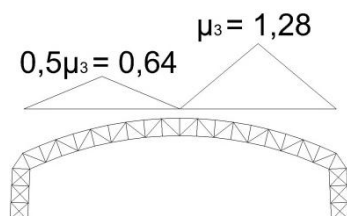
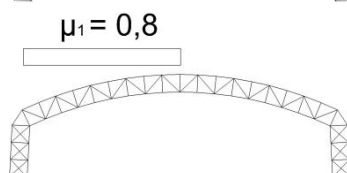
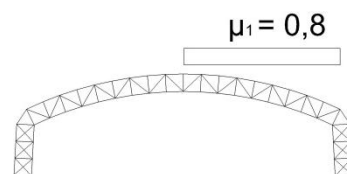
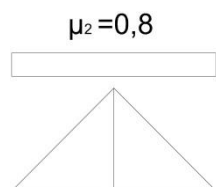
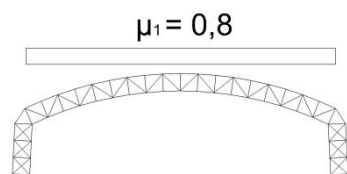
4.2 Zatížení proměnné

- součinitel zatížení

$$\gamma_Q = 1,50$$

4.2.1 Zatížení sněhem

- sněhová oblast III – lokalita Blansko
- charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
 $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- součinitel expozice $C_e = 1,0$ – normální typ krajiny
- tepelný součinitel $C_t = 1,0$ – běžné podmínky

ZS3 Sníh rovnoměrný

- tvarový součinitel zatížení sněhem pro válcovou střechu
 $\mu_1 = 0,8$
- zatížení sněhem na střeše
 $s_1 = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kN/m}^2$
- zatížení sněhem na světlík
Tvarový součinitel uvažován jako pro válcovou střechu. Sklon světlíku je zanedbán.
 $\mu_2 = \mu_1 = 0,8$
 $s_2 = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kN/m}^2$

ZS4 Sníh pravý

- shodné s ZS3
 $s_1 = s_2 = 1,2 \text{ kN/m}^2$

ZS5 Sníh levý

- shodné s ZS3
 $s_1 = s_2 = 1,2 \text{ kN/m}^2$

ZS6 Sníh navátý

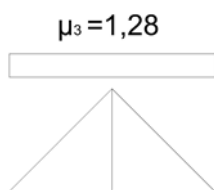
- tvarový součinitel zatížení sněhem pro válcovou střechu s navátým sněhem
 μ_3 pro $\beta \leq 60^\circ$
 $\mu_3 = 0,2 + 10h/b = 0,2 + 10 \cdot 4,575/42 = 1,28$
 $0,5 \mu_3 = 0,5 \cdot 1,3 = 0,64$

- zatížení sněhem na střeše
 $s_{1, \max} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_3 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,28 = 1,92 \text{ kN/m}^2$
 $s_{1; 0,5; \max} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot 0,5 \mu_3 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,28 = 1,92 \text{ kN/m}^2$

- zatížení sněhem na světlík
 $\mu_2 = \mu_3 = 1,28$
 $s_2 = s_{1, \max} = 1,92 \text{ kN/m}^2$

ZS7 Sníh navátý poloviční

- tvarový součinitel zatížení sněhem pro válcovou střechu s navátým sněhem
 μ_3 pro $\beta \leq 60^\circ$
 $\mu_3 = 0,2 + 10h/b = 0,2 + 10 \cdot 4,575/42 = 1,28$



- zatížení sněhem na střeše

$$s_{1, \max} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_3 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,28 = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

- zatížení sněhem na světlík

$$\mu_2 = \mu_3 = 1,28$$

$$s_2 = s_{1, \max} = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

4.2.2 Zatížení větrem

- větrová oblast III – lokalita Blansko

- základní rychlost větru v_b

$$\text{výchozí základní rychlost větru} \quad v_{b, 0} = 27,5 \text{ m/s}$$

$$\text{součinitel směru větru} \quad c_{dir} = 1,0$$

$$\text{součinitel ročního období} \quad c_{season} = 1,0$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b, 0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

- kategorie terénu II

$$z_0 = 0,05 \text{ m}, z_{\min} = 2 \text{ m}$$

- součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$ pro $(z_{\min} = 2 \text{ m} \leq z \leq z_{\max} = 200 \text{ m})$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,05/0,05)^{0,07} = 0,190$$

- střední rychlost větru $v_m(z)$

$$\text{součinitel orografie} \quad c_0(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

- intenzita turbulence $I_v(z)$

$$\text{součinitel turbulence} \quad k_t = 1,0$$

$$I_v(z) = k_t / (c_0(z) \cdot \ln(z/z_0))$$

- maximální dynamický tlak $q_p(z)$

$$\text{měrná hmotnost vzduchu} \quad \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

- vnější tlak větru

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

- síly od větru

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$$c_s \cdot c_d = 1,0$$

ZS8 Vítr příčný – A

- délka rovnoběžná se směrem větru $d = 42,0$ m
- délka kolmá na směr větru $b = 72,0$ m
- zatížená plocha $A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe, 10}$

Podélné stěny

- referenční výška $z_e = h = 14,0$ m
- poměr $h/d = 14/42 = 0,333$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
D	0,71	1,07	29,44	0,177	1,21	0,86
E	-0,31	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,38

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Čelní stěny

- referenční výška $z_e = h = 14,0$ m
- poměr $h/d = 14/42 = 0,333$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)
- $e = \min(b, 2h) = \min(72, 28) = 28,0$ m
- $e = 28,0 \text{ m} < d = 42,0$ m

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	1,07	29,44	0,177	1,21	-1,46
B	-0,82	1,07	29,44	0,177	1,21	-1,00
C	-0,5	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,61

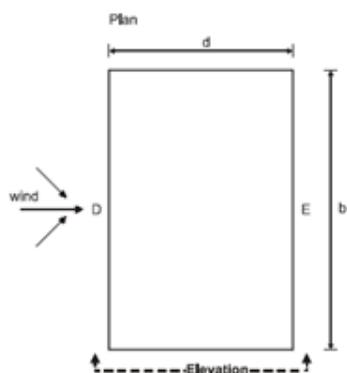
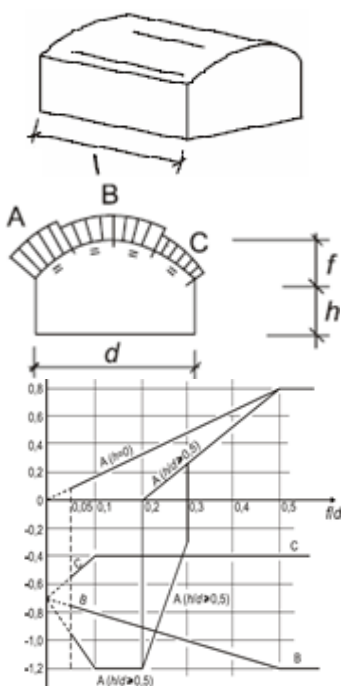
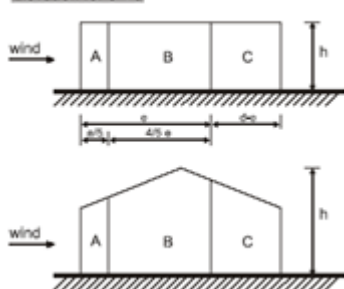
(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Střecha

- referenční výška $z_e = h + f = 7,0 + 7,0 = 14,0$ m
- délka střechy $l = 72$ m
- šířka střechy $d = 42$ m
- výška podélné stěny $h = 7,0$ m
- vzezpetí oblouku $f = 7,0$ m
- poměr $h/d = 7/42 = 0,167$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)
- poměr $f/d = 7/42 = 0,167$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	0,2	1,07	29,44	0,177	1,21	0,23
B	-0,85	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,98
C	-0,4	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,48

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Elevation for $e < d$ 

ZS9 Vítr příčný – B

- délka rovnoběžná se směrem větru $d = 42,0 \text{ m}$
- délka kolmá na směr větru $b = 72,0 \text{ m}$
- zatížená plocha $A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe, 10}$

Podélné stěny

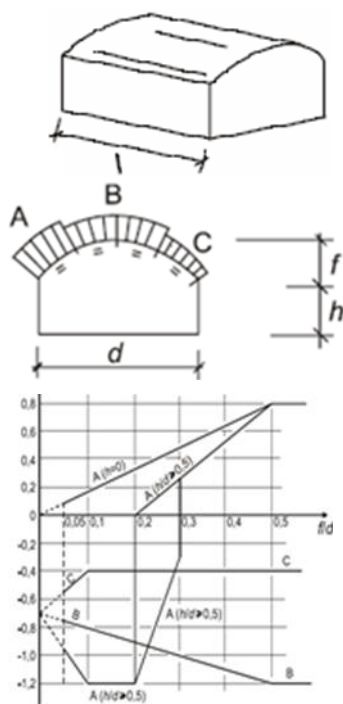
- shodné s ZS8, viz str. 10

Čelní stěny

- shodné s ZS8, viz str. 10

Střecha

- referenční výška $z_e = h + f = 7,0 + 7,0 = 14,0 \text{ m}$
- délka střechy $l = 72 \text{ m}$
- šířka střechy $d = 42 \text{ m}$
- výška podélné stěny $h = 7,0 \text{ m}$
- vzepětí oblouku $f = 7,0 \text{ m}$
- poměr $h/d = 7/42 = 0,167$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)
- poměr $f/d = 7/42 = 0,167$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)



oblast	c_{pe}	$c_{r(z)}$	$v_m(z) \text{ [m/s]}$	$l_v(z)$	$q_p(z) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$
A	-0,62	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,75
B	-0,85	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,98
C	-0,4	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,48

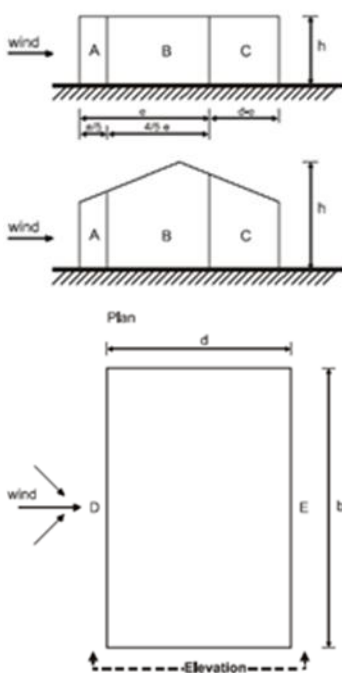
(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

ZS10 Vítr podélný

- délka rovnoběžná se směrem větru $d = 72,0 \text{ m}$
- délka kolmá na směr větru $b = 42,0 \text{ m}$
- zatížená plocha $A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe, 10}$

Podélné stěny

- referenční výška $z_e = h = 14,0 \text{ m}$
- poměr $h/d = 14/72 = 0,194$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)
- $e = \min(b; 2h) = \min(42; 28) = 28,0 \text{ m}$
- $e = 28,0 \text{ m} < d = 72,0 \text{ m}$
- $e/5 = 5,6 \text{ m}$
- $4/5e = 22,4 \text{ m}$

Elevation for $e \leq d$ 

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$l_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	1,07	29,44	0,177	1,21	-1,46
B	-0,8	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,97
C	-0,5	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,61

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Čelní stěny

- referenční výška $z_e = h = 14,0$ m
- poměr $h/d = 14/72 = 0,194$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$l_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
D	0,7	1,07	29,44	0,177	1,21	0,85
E	-0,3	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,36

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Střecha

- referenční výška $z_e = h = 14,0$ m
- poměr $h/d = 14/72 = 0,194$ (pro určení součinitele vnějšího tlaku)
- $e = \min(b; 2h) = \min(42; 28) = 28,0$ m
- $e/2 = 14,0$ m
- $e/4 = 7,0$ m
- $e/10 = 2,8$ m

První světlík

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$l_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
F +40°	0,7	1,07	29,44	0,177	1,21	0,85
G +40°	0,7	1,07	29,44	0,177	1,21	0,85
H +40°	oblast se zde nenachází $e/10 = 2,8$ m $>$ 2,0 m					

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Ostatní světlíky

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$l_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
F +40°	0,7	1,07	29,44	0,177	1,21	0,85
G +40°	0,7	1,07	29,44	0,177	1,21	0,85
H +40°	oblast se zde nenachází $e/10 = 2,8$ m $>$ 2,0 m					
J +40°	-0,3	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,36
I +40°	oblast se zde nenachází $e/10 = 2,8$ m $>$ 2,0 m					

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

Střecha mezi světlíky

oblast	c_{pe}	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
F + G	oblast se nachází na světlíku, který je řešen výše					
H + 15°	-0,6	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,73
I + 15°	-0,5	1,07	29,44	0,177	1,21	-0,61

(hodnoty se znaménkem + tlak, - sání větru)

4.2.3 Montážní zatížení

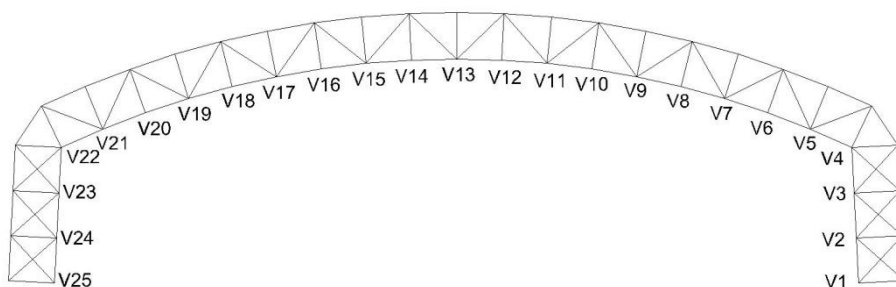
- osamělé břemeno
 $Q_k = 1,0$ kN
nebo
- plošné zatížení na ploše $A = 10$ m²
 $q_k = 1,0$ kN/m²

Bude zanedbáno → není rozhodující

4.3 Přepočet zatížení na jednotlivé prvky konstrukce

4.3.1 Vaznice

- u zatěžovací šířky bude zanedbáno její zmenšení vlivem náklonu vaznic

Označení vaznic a paždíkůZS2 Ostatní stálé zatížení

prvek	ZŠ [m]	g_k [kN/m]
V4 - V22	2,35	0,63

ZS3 Sníh rovnoměrný

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
V5 - V21	2,350	2,82
V4, V22	1,175	1,41

ZS4 Sníh pravý

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
V5 - V13	2,350	2,82
V4	1,175	1,41

ZS5 Sníh levý

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
V13 - V21	2,350	2,82
V22	1,175	1,41

ZS6 Sníh navátý + ZS7 Sníh navátý poloviční

prvek	ZŠ [m]	ZS6	ZS7
		s_k [kN/m]	s_k [kN/m]
V4	1,175	0,18	0,18
V5	2,350	0,85	0,85
V6	2,350	1,69	1,69
V7	2,350	2,57	2,57
V8	2,350	3,53	3,53
V9	2,350	3,63	3,63
V10	2,350	2,82	2,82
V11	2,350	1,83	1,83
V12	2,350	1,06	1,06
V13	2,350	0,35	0,35
V14	2,350	0,53	0
V15	2,350	0,92	0
V16	2,350	1,41	0
V17	2,350	1,82	0
V18	2,350	1,77	0
V19	2,350	1,29	0
V20	2,350	0,85	0
V21	2,350	0,43	0
V22	1,175	0,09	0

ZS8 Vítr příčný – A

prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
V4	1,175	-0,56
V5 - V8	2,350	-1,13
V9 - V17	2,350	-2,30
V18 - V21	2,350	0,54
V22	1,175	0,27

ZS9 Vítr příčný – B

prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
V4	1,175	-0,56
V5 - V8	2,350	-1,13
V9 - V17	2,350	-2,30
V18 - V21	2,350	-1,76
V22	1,175	-0,88

ZS10 Vítr podélný

prvek	ZŠ [m]	oblast	w_e [kN/m]
V4, V22	1,175	1. + 2. pole	-0,86
		ostatní pole	-0,72
V5 - V21	2,350	1. + 2. pole	-1,72
		ostatní pole	-1,43

4.3.2 Závěsy vaznicOznačení závěsů

- označení závěsů Z4 – Z22, očíslování podle vaznic viz 2.3.1
- označení dle strany světlíku bude L – levá strana, P – pravá strana

ZS2 Ostatní stálé zatížení

prvek	ZŠ [m]	g_k [kN/m]
Z4 - Z22	2,350	0,12

ZS3 Sníh rovnoměrný

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
Z5 - Z21	2,350	2,82
Z4, Z22	1,175	1,41

ZS4 Sníh pravý

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
Z5 - Z13	2,350	2,82
Z4	1,175	1,41

ZS5 Sníh levý

prvek	ZŠ [m]	s_k [kN/m]
Z13 - Z21	2,350	2,82
Z22	1,175	1,41

ZS6 Sníh navátý + ZS7 Sníh navátý poloviční

prvek	ZŠ [m]	ZS6	ZS7
		s_k [kN/m]	s_k [kN/m]
Z4	1,175	0,18	0,18
Z5	2,350	0,85	0,85
Z6	2,350	1,69	1,69
V7	2,350	2,57	2,57
Z8	2,350	3,53	3,53
Z9	2,350	3,63	3,63
Z10	2,350	2,82	2,82
Z11	2,350	1,83	1,83
Z12	2,350	1,06	1,06
Z13	2,350	0,35	0,35
Z14	2,350	0,53	0
Z15	2,350	0,92	0
Z16	2,350	1,41	0
Z17	2,350	1,82	0
Z18	2,350	1,77	0
Z19	2,350	1,29	0
Z20	2,350	0,85	0
Z21	2,350	0,43	0
Z22	1,175	0,09	0

ZS8 Vítr příčný – A

prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
Z4	1,175	-0,56
Z5 - Z8	2,350	-1,13
Z9 - Z17	2,350	-2,30
Z18 - Z21	2,350	0,54
Z22	1,175	0,27

ZS9 Vítr příčný – B

prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
Z4	1,175	-0,56
Z5 - Z8	2,350	-1,13
Z9 - Z17	2,350	-2,30
Z18 - Z21	2,350	-1,76
Z22	1,175	-0,88

ZS10 Vítr podélný

Prvek	ZŠ [m]	oblast	w_e [kN/m]
Z4L, Z22L	1,175	1. světlík	1,00
		2. světlík	0,86
		ostatní světlíky	0,52
Z5L - Z21L	2,350	1. světlík	2,00
		2. světlík	1,72
		ostatní světlíky	1,03
Z4P, Z22P	1,175	1. světlík	0,43
		ostatní světlíky	0,26
Z5P - Z21P	2,350	1. světlík	0,85
		ostatní světlíky	0,52

4.3.3 Paždíky – podélná stěnaOznačení paždíků

- označení podle vaznic viz 4.3.1

ZS2 Ostatní stálé zatížení

Prvek	ZŠ [m]	g_k [kN/m]
V1, V25	1,165	0,32
V2, V3, V23, V24	2,330	0,63

ZS8 Vítr příčný – A, ZS9 Vítr příčný – B

Prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
V1, V4	1,165	-0,42
V2, V3	2,330	-0,84
V22, V25	1,165	0,99
V23, V24	2,330	1,98

ZS10 Vítr podélný

Prvek	ZŠ [m]	oblast	w_e [kN/m]
V1, V4, V22, V25	1,165	1,6 m 1. pole	-1,72
	2,330	1. - 3. pole	-1,14
	2,330	ostatní pole	-0,72
V2, V3, V23, V24	1,165	1,6 m 1. pole	-3,41
	2,330	1. - 3. pole	-2,28
	2,330	ostatní pole	-1,43

4.3.4 Závěsy – podélná stěnaOznačení závěsů

- označení závěsů Z1 – Z25, očíslování podle vaznic viz 4.3.1
- označení dle strany světlíku bude L – levá strana, P – pravá strana

ZS2 Ostatní stálé zatížení

prvek	ZŠ [m]	g_k [kN/m]
Z1, Z25	1,165	0,06
Z2 - Z4, Z22 - Z24	2,330	0,12

ZS8 Vítr příčný – A, ZS9 Vítr příčný – B

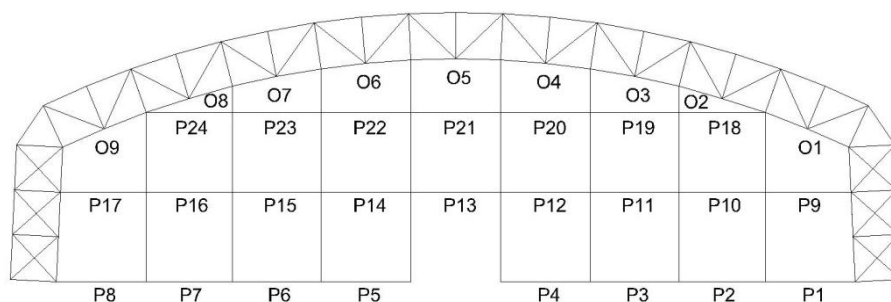
Prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
Z22, Z25	1,165	0,99
Z23, Z24	2,330	1,98
Z1, Z4	1,165	-0,42
Z2, Z3	2,330	-0,84

ZS10 Vítr podélný

Prvek	ZŠ [m]	oblast	w_e [kN/m]
Z1, Z4, Z22, Z25	1,165	1. pole	-1,72
		2. - 4. pole	-1,14
		ostatní pole	-0,72
Z2, Z3, Z23, Z24	2,330	1. pole	-3,41
		2. - 4. pole	-2,28
		ostatní pole	-1,43

4.3.5 Paždíky – čelní stěnaOznačení paždíků

- označení N – návětrná strana, Z – závětrná strana

ZS2 Ostatní stálé zatížení

Prvek	ZŠ [m]	g_k [kN/m]
P1 - P8	2,325	0,28
P9 - P17	4,393	0,53
P18, P24	2,667	0,32
P19, P20, P22, P23	3,955	0,48
P21	4,495	0,54

ZS8 Vítr příčný – A, ZS9 Vítr příčný – B

Prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
P1 - P4	2,325	-1,42
P5 - P7	2,325	-2,31
P8	2,325	-3,38
P9	5,495	-3,34
P10 - P12	4,393	-2,67
P13	2,197	-2,17
P14 - P16	4,393	-4,34
P17	5,495	-7,95
P18	2,745	-1,68
P19	3,915	-2,38
P20	4,765	-2,90
P21, P22	4,765	-4,70
P23	3,915	-3,86
P24	2,745	-2,72

ZS10 Vítr podélný

Prvek	ZŠ [m]	w_e [kN/m]
P1N - P8N	2,325	2,00
P9N - P12N, P14N - P17N	4,393	3,74
P13N	2,197	1,87
P18N, P24N	2,753	2,34
P19N - P23N	3,341	2,84
O1N, O9N	1,605	1,36
O2N, O8N	0,706	0,60
O3N, O7N	0,847	0,72
O4N - O6N	1,271	1,08
P1Z - P8Z	2,325	-0,85
P9Z - P12Z, P14Z - P17Z	4,393	-1,58
P13Z	2,197	-0,79
P18Z, P24Z	2,753	-0,99
P19Z - P23Z	3,341	-1,20
O1Z, O9Z	1,605	-0,58
O2Z, O8Z	0,706	-0,25
O3Z, O7Z	0,847	-0,30
O4Z - O6Z	1,271	-0,46

5. Kombinace zatěžovacích stavů

- kombinace jsou sestaveny dle dokumentů uvedených v bodě 2

5.1 Výpis zatěžovacích stavů

ZS1 - Vlastní tíha nosné konstrukce

ZS2 – Ostatní stálé zatížení

ZS3 – Sníh rovnoměrný

ZS4 – Sníh pravý

ZS5 – Sníh levý

ZS6 – Sníh navátý

ZS7 – Sníh navátý poloviční

ZS8 – Vítr příčný – A

ZS9 – Vítr příčný – B

ZS10 – Vítr podélný

5.2 Kombinace – Mezní stav únosnosti

- součinitele zatížení

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_{G, \min} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

- kombinační součinitele

$$\psi_0 = 0,5 - \text{sníh}; \psi_0 = 0,6 - \text{vítr}$$

- návrhové kombinace

$$CO1 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2$$

$$CO2 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS3$$

$$CO3 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS4$$

$$CO4 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5$$

$$CO5 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS6$$

$$CO6 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS7$$

$$CO7 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS8$$

$$CO8 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS9$$

$$CO9 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS3 + 0,90 \cdot ZS8$$

$$CO10 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS4 + 0,90 \cdot ZS8$$

$$CO11 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS5 + 0,90 \cdot ZS8$$

$$CO12 - 1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS3 + 0,90 \cdot ZS9$$

$$CO13 - 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS8$$

$$CO14 - 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS9$$

$$CO15 - 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,50 \cdot ZS10$$

5.3 Kombinace – Mezní stav použitelnosti

- kombinační součinitele

$$\Psi_0 = 0,5 - \text{sníh}; \Psi_0 = 0,6 - \text{vítr}$$

- charakteristické kombinace

$$CO1 - ZS1 + ZS2$$

$$CO2 - ZS1 + ZS2 + ZS3$$

$$CO3 - ZS1 + ZS2 + ZS4$$

$$CO4 - ZS1 + ZS2 + ZS5$$

$$CO5 - ZS1 + ZS2 + ZS6$$

$$CO6 - ZS1 + ZS2 + ZS7$$

$$CO7 - ZS1 + ZS2 + ZS8$$

$$CO8 - ZS1 + ZS2 + ZS9$$

$$CO9 - ZS1 + ZS2 + ZS10$$

$$CO10 - ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0,6 \cdot ZS8$$

$$CO11 - ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0,6 \cdot ZS8$$

$$CO12 - ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0,6 \cdot ZS8$$

$$CO13 - ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0,6 \cdot ZS8$$

$$CO14 - ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0,6 \cdot ZS8$$

6. Vnitřní síly

Výpočet vnitřních sil byl proveden výpočetním programem Scia Engineer 2012.0. Konstrukce byla řešena jako prostorový model. Na tento model bylo aplikováno zatížení specifikované v bodě 4, a to v kombinacích uvedených v bodě 5.

Výsledky řešení systémem Scia Engineer jsou uvedeny v příloze statického výpočtu.

7. Posouzení konstrukce

Posouzení konstrukce bylo provedeno výpočetním programem Scia Engineer 2012.0.

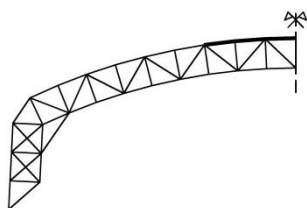
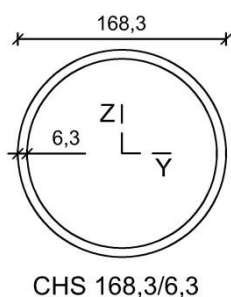
Posouzení jednotlivých prvků i konstrukce jako celku bylo provedeno v souladu s dokumenty uvedenými v bodě 2.

Při ověření mezního stavu únosnosti byl zohledněn vliv ztráty lokální i globální stability. Vzpěrné délky byly do výpočetního programu zadány ručně na základě předchozí analýzy konstrukce.

Výsledky řešení systémem Scia Engineer jsou uvedeny v příloze statického výpočtu.

7.1 Ruční posouzení vybraných prvků – mezní stav únosnosti

Ruční posouzení bylo provedeno v souladu s dokumenty uvedenými v bodě 2. Posouzeny byly maximálně namáhané prvky podle výpočtu programem Scia Engineer 2012.0.

7.1.1 Příhradový rám**7.1.1.1 Horní pás rámu I CHS 168,3/6,3****Charakteristiky průřezu**

$$D = 168,3 \text{ mm} = 0,1683 \text{ m}$$

$$t = 6,3 \text{ mm} = 0,0063 \text{ m}$$

$$A = 3,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,053 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 57,27 \text{ mm} = 0,05727 \text{ m}$$

$$I_t = 2,104 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,628 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 2,468 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 2,468 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

$$N_{Ed} = -602,24 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,39 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -1,66 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -2,12 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,07 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$d/t = 168,3/6,3 = 26,71 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots$ **vyhoví**
průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 602,24 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,21 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 882,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{602,24}{882,75} = 0,68 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 602,24 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = L_{cr}/i = 2468/57,27 = 43,09$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \epsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \lambda/\lambda_1 = 43,09/86,76 = 0,497$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,497 - 0,2) + 0,497^2] = 0,655$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,655 + \sqrt{0,655^2 - 0,497^2}} = 0,925$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,925 \cdot 3,21 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 816,54 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{602,24}{816,54} = 0,74 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 602,24 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 9,08 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,53 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,925 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 3,21 \cdot 10^{-3} = 882,75 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 1,628 \cdot 10^{-4} = 44,77 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2,468} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 0}{8 \cdot 10^7 \cdot 2,104 \cdot 10^{-5}}} = 0$$

$$\mu_{cr} = \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \sqrt{1 + 0} = 1$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,053 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^7 \cdot 2,104 \cdot 10^{-5}}}{2,468}$$

$$M_{cr} = 2455,64 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}} = \frac{1,628 \cdot 10^{-4} \cdot 275 \cdot 10^3}{2455,64} = 0,018$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,018 - 0,2) + 0,018^2] = 0,481$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,481 + \sqrt{0,481^2 - 0,018^2}} = 1,04 \leq 1,0$$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 1,053 * 10^{-5}}{2,468^2} = 3583,08 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{602,24}{3583,08}}{1 - 0,925 * \frac{602,24}{3583,08}} = 0,985$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{602,24}{3583,08}}{1 - 0,925 * \frac{602,24}{3583,08}} = 0,985$$

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

$$\psi_y = 0,527$$

$$\begin{aligned} C_{my,0} = C_{my} &= 0,79 + 0,21 * \psi_y + 0,36 * (\psi_y - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * 0,527 + 0,36 * (0,527 - 0,33) * (-602,24 / 3583,08) = \\ &= 0,912 \end{aligned}$$

$$\psi_z = -0,8$$

$$\begin{aligned} C_{mz,0} = C_{mz} &= 0,79 + 0,21 * \psi_z + 0,36 * (\psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,8) + 0,36 * (-0,8 - 0,33) * (-602,24 / 3583,08) = \\ &= 0,692 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,912 * 1 * \frac{0,985}{1 - \frac{602,24}{3583,08}} = 1,084$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,692 * \frac{0,985}{1 - \frac{602,24}{3583,08}} = 0,822$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,912 * 1 * \frac{0,985}{1 - \frac{602,24}{3583,08}} = 1,084$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,692 * \frac{0,985}{1 - \frac{602,24}{3583,08}} = 0,822$$

Posouzení

$$\begin{aligned} \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} &\leq 1,0 \\ \frac{\frac{602,24}{0,925 * 882,75}}{1,00} + 1,084 \frac{\frac{9,08}{1,0 * 44,77}}{1,00} + 0,822 \frac{\frac{0,53}{44,77}}{1,00} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

$$0,97 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{602,24}{\frac{0,925 * 882,75}{1,00}} + 1,084 \frac{9,08}{\frac{1,0 * 44,77}{1,00}} + 0,822 \frac{0,53}{\frac{44,77}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,97 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 168,3/6,3 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 97 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.

7.1.1.2 Dolní pás rámu I CHS 168,3/8,0**Charakteristiky průřezu**

$$D = 168,3 \text{ mm} = 0,1683 \text{ m}$$

$$t = 8,0 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$A = 4,03 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,297 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 56,73 \text{ mm} = 0,05673 \text{ m}$$

$$I_t = 2,588 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,54 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,025 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}, G = 8 * 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 2,350 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 2,350 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

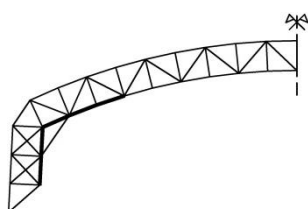
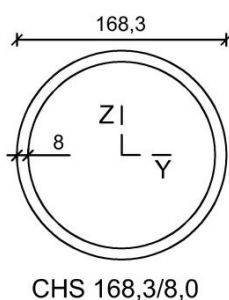
$$N_{Ed} = -582,22 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = -0,74 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -11,94 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,54 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,72 \text{ kNm}$$



Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$d/t = 168,3/8,0 = 21,04 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots$ **vyhoví**
průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 582,22 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 1108,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{582,22}{1108,25} = 0,53 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 582,22 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = L_{cr}/i = 2350/56,73 = 41,42$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \lambda/\lambda_1 = 41,42/86,76 = 0,477$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21 \dots$ křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,477 - 0,2) + 0,477^2] = 0,643$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,643 + \sqrt{0,643^2 - 0,477^2}} = 0,931$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,931 \cdot 4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 1031,78 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{582,22}{1031,78} = 0,56 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 582,22 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6,41 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,01 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,931 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 4,03 \cdot 10^{-3} = 1108,25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 2,025 \cdot 10^{-4} = 55,69 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1 je možno pro pruty necitlivé na distorzní deformace brát $\chi_{LT} = 1,0$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 1,297 * 10^{-5}}{2,350^2} = 4867,69 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{582,22}{4867,69}}{1 - 0,931 * \frac{582,22}{4867,69}} = 0,991$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{582,22}{4867,69}}{1 - 0,931 * \frac{582,22}{4867,69}} = 0,991$$

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

$$\Psi_y = 0,276$$

$$\begin{aligned} C_{my,0} = C_{my} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_y + 0,36 * (\Psi_y - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * 0,276 + 0,36 * (0,276 - 0,33) * (-582,22 / 4867,69) = \\ &= 0,851 \end{aligned}$$

$$\Psi_z = -0,820$$

$$\begin{aligned} C_{mz,0} = C_{mz} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_z + 0,36 * (\Psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,82) + 0,36 * (-0,82 - 0,33) * (-582,22 / 4867,69) = \\ &= 0,677 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,851 * 1 * \frac{0,991}{1 - \frac{582,22}{4867,69}} = 0,959$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,677 * \frac{0,991}{1 - \frac{582,22}{4867,69}} = 0,763$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,851 * 1 * \frac{0,991}{1 - \frac{582,22}{4867,69}} = 0,959$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,677 * \frac{0,991}{1 - \frac{582,22}{4867,69}} = 0,763$$

Posouzení

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} &\leq 1,0 \\ \frac{582,22}{0,931 * 1108,25} + 0,959 \frac{6,41}{1,0 * 55,69} + 0,763 \frac{1,01}{55,69} &\leq 1,0 \\ \frac{582,22}{1,00} + 0,959 \frac{6,41}{1,00} + 0,763 \frac{1,01}{1,00} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

$$0,69 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{582,22}{0,931 * 1108,25} + 0,959 \frac{6,41}{1,0 * 55,69} + 0,763 \frac{1,01}{55,69} \leq 1,0$$

$$0,69 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 168,3/6,3 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 69 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.

7.1.1.3 Dolní pás rámu II CHS 168,3/5,0**Charakteristiky průřezu**

$$D = 168,3 \text{ mm} = 0,1683 \text{ m}$$

$$t = 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$A = 2,57 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 8,56 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 57,71 \text{ mm} = 0,05771 \text{ m}$$

$$I_t = 1,71 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,02 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,313 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}, G = 8 * 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 2,330 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 2,330 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

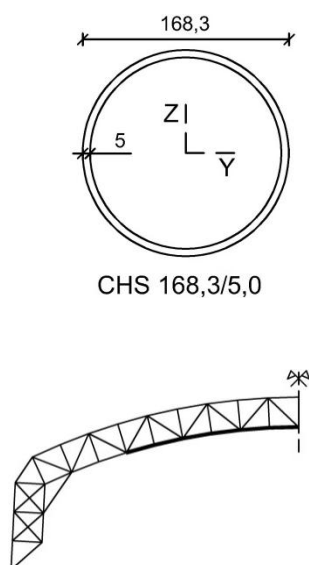
$$N_{Ed} = -391,20 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = -0,15 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -7,51 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 5,17 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,05 \text{ kNm}$$



Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$$d/t = 168,3/5,0 = 33,66 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 391,20 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,57 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 706,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{391,20}{706,75} = 0,55 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{y,Ed} = 5,17 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,313 \cdot 10^{-4} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 36,11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{5,17}{36,11} = 0,14 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 391,20 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = L_{cr}/i = 2330/57,71 = 40,37$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \lambda/\lambda_1 = 40,37/86,76 = 0,465$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,465 - 0,2) + 0,465^2] = 0,636$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,636 + \sqrt{0,636^2 - 0,465^2}} = 0,935$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,935 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 660,81 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{391,20}{660,81} = 0,59 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 391,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,38 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,31 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,935 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3} = 706,75 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 1,313 \cdot 10^{-4} = 36,11 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1 je možno pro pruty necitlivé na distorzní deformace brát $\chi_{LT} = 1,0$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 8,56 * 10^{-6}}{2,330^2} = 3267,99 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{391,20}{3267,99}}{1 - 0,935 * \frac{391,2}{3267,99}} = 0,990$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{391,2}{3267,99}}{1 - 0,935 * \frac{391,2}{3267,99}} = 0,990$$

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

$$\psi_y = -0,810$$

$$\begin{aligned} C_{m,y,0} = C_{m,y} &= 0,79 + 0,21 * \psi_y + 0,36 * (\psi_y - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,81) + 0,36 * (-0,81 - 0,33) * \left(\frac{-391,20}{3267,99} \right) = \\ &= 0,676 \end{aligned}$$

$$\psi_z = -0,733$$

$$\begin{aligned} C_{m,z,0} = C_{m,z} &= 0,79 + 0,21 * \psi_z + 0,36 * (\psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,733) + 0,36 * (-0,733 - 0,33) * \left(\frac{-391,20}{3267,99} \right) = \\ &= 0,689 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = C_{m,y} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,676 * 1 * \frac{0,990}{1 - \frac{391,2}{3267,99}} = 0,777$$

$$k_{yz} = C_{m,z} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,689 * \frac{0,990}{1 - \frac{391,2}{3267,99}} = 0,791$$

$$k_{zy} = C_{m,y} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,676 * 1 * \frac{0,990}{1 - \frac{391,2}{3267,99}} = 0,777$$

$$k_{zz} = C_{m,z} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,689 * \frac{0,990}{1 - \frac{391,2}{3267,99}} = 0,791$$

Posouzení

$$\begin{aligned} \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} &\leq 1,0 \\ \frac{\frac{391,20}{0,935 * 706,75}}{1,00} + 0,777 \frac{\frac{4,38}{1,0 * 36,11}}{1,00} + 0,791 \frac{\frac{0,31}{36,11}}{1,00} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

$$0,69 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{391,20}{\frac{0,935 * 706,75}{1,00}} + 0,777 \frac{4,38}{\frac{1,0 * 36,11}{1,00}} + 0,791 \frac{0,31}{\frac{36,11}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,69 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 168,3/5,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 69 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.

7.1.1.4 Zesílení rohu rámu CHS 168,3/8,0

Charakteristiky průřezu

$$D = 168,3 \text{ mm} = 0,1683 \text{ m}$$

$$t = 8,0 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$A = 4,03 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,297 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 56,73 \text{ mm} = 0,05673 \text{ m}$$

$$I_t = 2,588 * 10^{-5} \text{ m}^4; I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,54 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,025 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}, G = 8 * 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 3,992 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 3,992 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

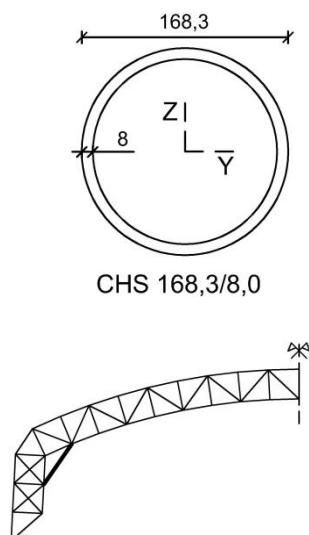
$$N_{Ed} = -626,11 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,58 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,66 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -2,82 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,97 \text{ kNm}$$



Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$$d/t = 168,3/8,0 = 21,04 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 626,11 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 1108,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{626,11}{1108,25} = 0,56 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 626,11 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = L_{cr}/i = 3992/56,73 = 70,37$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \lambda/\lambda_1 = 70,37/86,76 = 0,811$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,811 - 0,2) + 0,811^2] = 0,893$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,893 + \sqrt{0,893^2 - 0,811^2}} = 0,789$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,789 \cdot 4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 874,41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{626,11}{874,41} = 0,72 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 626,11 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -2,82 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,789 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 4,03 \cdot 10^{-3} = 1108,25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 2,025 \cdot 10^{-4} = 55,69 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1 je možno pro pruty necitlivé na distorzní deformace brát $\chi_{LT} = 1,0$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 1,297 * 10^{-5}}{3,992^2} = 1686,86 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{626,11}{1686,86}}{1 - 0,789 * \frac{626,11}{1686,86}} = 0,886$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{626,11}{1686,86}}{1 - 0,789 * \frac{626,11}{1686,86}} = 0,886$$

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

$$\Psi_y = 0,849$$

$$\begin{aligned} C_{m_y,0} = C_{m_y} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_y + 0,36 * (\Psi_y - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * 0,849 + 0,36 * (0,849 - 0,33) * (-626,11 / 1686,86) = \\ &= 0,897 \end{aligned}$$

$$\Psi_z = -0,856$$

$$\begin{aligned} C_{m_z,0} = C_{m_z} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_z + 0,36 * (\Psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,856) + 0,36 * (-0,856 - 0,33) * \left(\frac{-626,11}{1686,86} \right) = \\ &= 0,746 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = C_{m_y} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,897 * 1 * \frac{0,886}{1 - \frac{626,11}{1686,86}} = 1,279$$

$$k_{yz} = C_{m_z} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,746 * \frac{0,886}{1 - \frac{626,11}{1686,86}} = 1,063$$

$$k_{zy} = C_{m_y} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,897 * 1 * \frac{0,886}{1 - \frac{626,11}{1686,86}} = 1,279$$

$$k_{zz} = C_{m_z} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,746 * \frac{0,886}{1 - \frac{626,11}{1686,86}} = 1,063$$

Posouzení

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} &\leq 1,0 \\ \frac{626,11}{0,789 * 1108,25} + 1,279 \frac{2,82}{1,0 * 55,69} + 1,063 \frac{1,35}{55,69} &\leq 1,0 \\ \frac{1,00}{1,00} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

$$0,81 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{626,11}{\frac{0,789 * 1108,25}{1,00}} + 1,279 \frac{2,82}{\frac{1,0 * 55,69}{1,00}} + 1,063 \frac{1,35}{\frac{55,69}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,81 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 168,3/8,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 81 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.

7.1.1.5 Diagonála rámu CHS 139,7/8,0**Charakteristiky průřezu**

$$D = 139,7 \text{ mm} = 0,1397 \text{ m}$$

$$t = 8,0 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$A = 3,31 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 7,20 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 46,64 \text{ mm} = 0,04664 \text{ m}$$

$$I_t = 1,435 * 10^{-5} \text{ m}^4; I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,03 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,367 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}, G = 8 * 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 3,345 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 0,5 * L = 1,673 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = L = 3,345 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

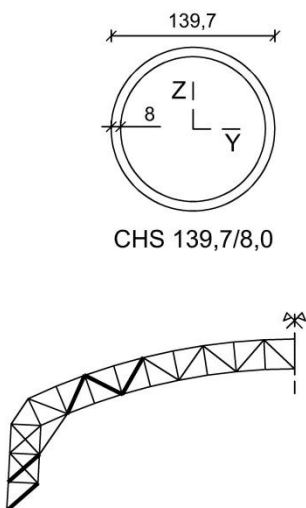
$$N_{Ed} = -497,01 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = -0,02 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -1,43 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -2,38 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$$d/t = 139,7/6,3 = 22,17 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na tlak

$$N_{Ed} = 497,01 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,31 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 910,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{497,01}{910,25} = 0,55 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

Řešeno pouze pro nevýhodnější směr z.

$$N_{Ed} = 497,01 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 3345/46,64 = 70,82$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 70,82/86,76 = 0,816$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,21(0,816 - 0,2) + 0,816^2] = 0,898$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,898 + \sqrt{0,898^2 - 0,816^2}} = 0,786$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,786 \cdot 3,31 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 715,46 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{497,01}{715,46} = 0,70 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 497,01 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -2,380 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,05 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,786 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 3,31 \cdot 10^{-3} = 910,25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 1,367 \cdot 10^{-4} = 37,60 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1 je možno pro pruty necitlivé na distorzní deformace brát $\chi_{LT} = 1,0$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 7,2 * 10^{-6}}{3,345^2} = 1333,70 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{497,01}{1333,70}}{1 - 0,786 * \frac{497,01}{1333,70}} = 0,889$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{497,01}{1333,70}}{1 - 0,786 * \frac{497,01}{1333,70}} = 0,889$$

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

$$\Psi_y = -0,365$$

$$\begin{aligned} C_{my,0} = C_{my} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_y + 0,36 * (\Psi_y - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * (-0,365) + 0,36 * (-0,365 - 0,33) * \left(\frac{-497,01}{1091,04} \right) = \\ &= 0,826 \end{aligned}$$

$$\Psi_z = 0,043$$

$$\begin{aligned} C_{mz,0} = C_{mz} &= 0,79 + 0,21 * \Psi_z + 0,36 * (\Psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) = \\ &= 0,79 + 0,21 * 0,043 + 0,36 * (0,043 - 0,33) * \left(\frac{-497,01}{1091,04} \right) = \\ &= 0,846 \end{aligned}$$

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,826 * 1 * \frac{0,889}{1 - \frac{497,01}{1333,70}} = 1,163$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,846 * \frac{0,889}{1 - \frac{497,01}{1333,70}} = 1,191$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,826 * 1 * \frac{0,889}{1 - \frac{497,01}{1333,70}} = 1,163$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,846 * \frac{0,889}{1 - \frac{497,01}{1333,70}} = 1,191$$

Posouzení

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} &\leq 1,0 \\ \frac{497,01}{0,786 * 910,25} + 1,163 \frac{2,38}{1,0 * 37,60} + 1,191 \frac{0,05}{37,60} &\leq 1,0 \\ \frac{0,54}{1,00} + 1,163 \frac{2,38}{1,00} + 1,191 \frac{0,05}{1,00} &\leq 1,0 \end{aligned}$$

$$0,77 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{497,01}{\frac{0,786 * 910,25}{1,00}} + 1,163 \frac{2,38}{\frac{1,0 * 37,60}{1,00}} + 1,191 \frac{0,05}{\frac{37,60}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,77 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 139,7/8,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 77 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.

7.1.1.6 Svislice rámu CHS 114,3/3,6

Charakteristiky průřezu

$$D = 114,3 \text{ mm} = 0,1143 \text{ m}$$

$$t = 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$A = 1,72 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 2,57 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 38,65 \text{ mm} = 0,03865 \text{ m}$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 * 10^5 \text{ MPa}, G = 8 * 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 2,400 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 2,400 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější prvek

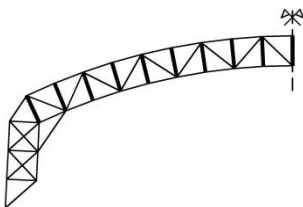
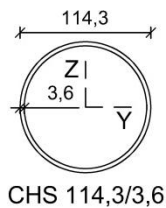
$$N_{Ed} = 241,98 \text{ kN}$$

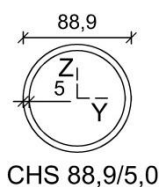
Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$$d/t = 114,3/5,0 = 22,86 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \text{ ... vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity



**Posouzení na tah**

$$N_{Ed} = 241,98 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,72 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 473,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{241,98}{473,0} = 0,51 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 114,3/5,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 51 %, a to pro tahové namáhání.

Příhradový rám vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

7.1.2 Závěs vaznice CHS 88,9/5,0**Charakteristiky průřezu**

$$D = 88,9 \text{ mm} = 0,0889 \text{ m}$$

$$t = 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$A = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = i_z = 29,64 \text{ mm} = 0,02964 \text{ m}$$

$$I_t = 2,319 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 0,0 \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 2,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 3,468 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S275

$$f_y = 275 \text{ MPa}, f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$L = 3,124 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 3,124 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější závěs

$$N_{Ed} = -21,44 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,16 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,924$$

$$d/t = 88,9/5,0 = 17,78 \leq 50\varepsilon^2 = 42,69 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 21,44 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = L_{cr}/i = 3124/29,64 = 105,40$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,76$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \lambda/\lambda_1 = 105,40/86,76 = 1,215$$

součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,215 - 0,2) + 1,215^2] = 1,345$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,345 + \sqrt{1,345^2 - 1,215^2}} = 0,520$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,520 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^3}{1,00} = 188,76 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{21,44}{188,76} = 0,11 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 21,44 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,03 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,520 \dots \text{výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 275 \cdot 10^3 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} = 363,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 275 \cdot 10^3 \cdot 3,468 \cdot 10^{-5} = 9,54 \text{ kNm}$$

součinitel klopení

Dle ČSN EN 1993-1-1 je možno pro pruty necitlivé na distorzní deformace brát $\chi_{LT} = 1,0$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6}}{3,124^2} = 246,35 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{21,44}{246,35}}{1 - 0,520 \cdot \frac{21,44}{246,35}} = 0,957$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{21,44}{246,35}}{1 - 0,520 \cdot \frac{21,44}{246,35}} = 0,957$$

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

$$C_{my,0} = C_{my} = 1 + 0,03 * (N_{Ed}/N_{cr,y}) = 1 + 0,03 * (21,44/246,35) = 1,003$$

$$C_{mz,0} = C_{mz} = 1 + 0,03 * (N_{Ed}/N_{cr,z}) = 1 + 0,03 * (21,44/246,35) = 1,003$$

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1,003 * 1 * \frac{0,957}{1 - \frac{21,44}{246,35}} = 1,049$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 1,003 * \frac{0,957}{1 - \frac{21,44}{246,35}} = 1,049$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1,003 * 1 * \frac{0,957}{1 - \frac{21,44}{246,35}} = 1,049$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 1,003 * \frac{0,957}{1 - \frac{21,44}{246,35}} = 1,049$$

Posouzení

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{21,44}{\frac{0,520 * 363,00}{1,00}} + 1,049 \frac{4,03}{\frac{1,0 * 9,54}{1,00}} + 1,049 \frac{0,00}{\frac{9,54}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,56 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

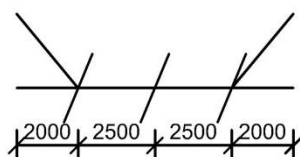
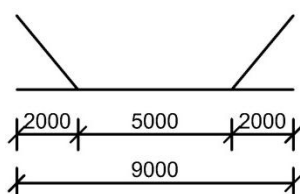
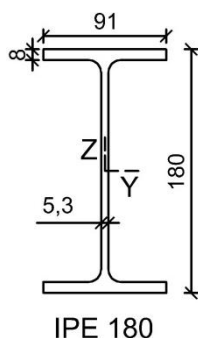
$$\frac{21,44}{\frac{0,520 * 363,00}{1,00}} + 1,049 \frac{4,03}{\frac{1,0 * 9,54}{1,00}} + 1,049 \frac{0,00}{\frac{9,54}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,56 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Trubka CHS 88,9/5,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Účinky vázaného kroucení byly dle ČSN EN 1993-1-1 zanedbány.

Využití profilu je 56 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem v pružné oblasti.



7.1.3 Vaznice

7.1.3.1 Vaznice IPE 180

Charakteristiky průřezu

$$h = 180,0 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

$$b = 91,0 \text{ mm} = 0,091 \text{ m}$$

$$t_f = 8,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,3 \text{ mm}$$

$$r = 9,0 \text{ mm}$$

$$A = 2,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_y = 1,250 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_z = 8,808 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,32 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4, I_z = 1,009 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = 68,82 \text{ mm} = 0,06882 \text{ m}, i_z = 20,55 \text{ mm} = 0,02055 \text{ m}$$

$$I_t = 4,79 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 7,43 \cdot 10^{-9} \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = 1,463 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{el,z} = 2,216 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 1,664 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{pl,z} = 3,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

Teoretická délka prutu $L = 2,500 \text{ m}$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině y-y $L_{cr,y} = 2,500 \text{ m}$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině z-z $L_{cr,z} = 2,500 \text{ m}$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější vaznici

$$N_{Ed} = -48,58 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,02 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,42 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -13,91 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,07 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

- stojina namáhaná ohybem
 $c/t = 146/5,3 = 18,25 \leq 72\varepsilon = 72 \dots$ **vyhoví**
- přečnívající tlačené části pásnic
 $c/t = 33,85/8 = 4,23 \leq 9\varepsilon = 9 \dots$ **vyhoví**

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na ohyb

Pouze pro více namáhaný směr y-y.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 1,664 * 10^{-4} * 235 * 10^3 / 1,00 = 39,10 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{13,91}{39,10} = 0,36 \leq 1,0 \text{ ... vyhoví}$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 48,58 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_y^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 1,32 * 10^{-5}}{2,5^2} = 4377,37 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_z^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 1,009 * 10^{-6}}{2,5^2} = 334,60 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,39 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{4377,37}} = 0,358$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,39 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{334,60}} = 1,296$$

součinitel imperfekce k ose y-y $\alpha = 0,21$... křivka vzpěrné pevnosti a

součinitel imperfekce k ose z-z $\alpha = 0,34$... křivka vzpěrné pevnosti b

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,21(0,358 - 0,2) + 0,358^2] = 0,581$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,581 + \sqrt{0,581^2 - 0,358^2}} = 0,963$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,34(1,296 - 0,2) + 1,296^2] = 1,526$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,526 + \sqrt{1,526^2 - 0,963^2}} = 0,369$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,369 * 2,39 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,00} = 207,24 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{48,58}{207,24} = 0,23 \leq 1,0 \text{ ... vyhoví}$$

Posouzení klopení

součinitel klopení

$$C_1 = 1,01; C_2 = 0,15$$

$$\xi_j = 0$$

$$\xi_g = \frac{\pi * Z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0,09}{1 * 2,5} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 1,009 * 10^{-6}}{8 * 10^7 * 4,79 * 10^{-8}}} = 0,84$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1 * 2,5} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 7,43 * 10^{-9}}{8 * 10^7 * 4,79 * 10^{-8}}} = 0,80$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} * \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j)^2} - (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j) \right] = \\ &= \frac{1,01}{1,0} * \left[\sqrt{1 + 0,80^2 + (0,15 * 0,84 - 0)^2} - (0,15 * 0,84 - 0) \right] = \\ &= 1,17 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} =$$

$$= 1,17 * \frac{\pi * \sqrt{2,1 * 10^8 * 1,009 * 10^{-6} * 8 * 10^7 * 4,79 * 10^{-8}}}{2,5} = 41,96 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,664 * 10^{-4} * 235 * 10^3}{41,96}} = 0,965$$

součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,21$... křivka klopení a

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,965 - 0,2) + 0,965^2] = 1,046$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,046 + \sqrt{1,046^2 - 0,965^2}} = 0,690$$

návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * (f_y / \gamma_{M1}) = 0,690 * 1,664 * 10^{-4} * (235 * 10^3 / 1,0) = 26,98 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{13,91}{26,98} = 0,52 \leq 1,0 \text{ ... vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem

Dle ČSN EN 1993-1-1 ověření je provedeno v pružné oblasti.

$$N_{Ed} = 48,58 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 13,91 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,18 \text{ kNm}$$

$$\chi_y = 0,963, \chi_z = 0,369 \text{ ... výpočet viz Posouzení na vzpěr}$$

$$\chi_{LT} = 0,690 \text{ ... výpočet viz Posouzení klopení}$$

$$N_{Rk} = f_y * A = 235 * 10^3 * 2,39 * 10^{-3} = 561,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y * W_{pl,y} = 235 * 10^3 * 1,664 * 10^{-4} = 39,10 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y * W_{pl,z} = 235 * 10^3 * 3,46 * 10^{-5} = 8,13 \text{ kNm}$$

součinitele interakce

$$N_{cr,y} = 4377,37 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = 334,60 \text{ kN}$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{48,58}{4377,37}}{1 - 0,963 * \frac{48,58}{4377,37}} = 0,989$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z * \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{48,58}{334,60}}{1 - 0,369 * \frac{48,58}{334,60}} = 0,905$$

$$C_{my,0} = C_{my} = 1 + 0,03 * (N_{Ed} / N_{cr,y}) = 1 + 0,03 * (48,58 / 4377,37) = 1,000$$

$$\alpha_{LT} = 1 - (I_t / I_y) = 1 - (4,79 * 10^{-8} / 1,32 * 10^{-5}) = 0,996$$

$$I_0 = I_y + I_z + A * z_s^2 = 1,32 * 10^{-5} + 1,009 * 10^{-6} = 1,42 * 10^{-5} \text{ m}^4$$





$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} * (G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_w}{L_{cr,T}^2}) =$$

$$= \frac{2,39 * 10^{-3}}{1,42 * 10^{-5}} * \left(8 * 10^7 * 4,79 * 10^{-8} + \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^8 * 7,43 * 10^{-9}}{2,5^2} \right) =$$

$$= 1059,67 \text{ kN}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 * \frac{\alpha_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) * \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 1,0^2 * \frac{0,996}{\sqrt{\left(1 - \frac{48,58}{334,6}\right) * \left(1 - \frac{48,58}{1059,67}\right)}} =$$

$$= 1,101$$

$$\psi_z = 0,697$$

$$C_{mz,0} = C_{mz} = 0,79 + 0,21 * \psi_z + 0,36 * (\psi_z - 0,33) * (N_{Ed} / N_{cr,z}) =$$

$$= 0,79 + 0,21 * 0,697 + 0,36 * (0,697 - 0,33) * \left(\frac{48,58}{334,6}\right) =$$

$$= 0,917$$

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1,0 * 1,101 * \frac{0,989}{1 - \frac{48,58}{4377,37}} = 1,101$$

$$k_{yz} = C_{mz} * \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,917 * \frac{0,989}{1 - \frac{48,58}{334,60}} = 1,058$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1,0 * 1,101 * \frac{0,905}{1 - \frac{48,58}{4377,37}} = 1,007$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0,917 * \frac{0,905}{1 - \frac{48,58}{334,60}} = 0,968$$

Posouzení

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

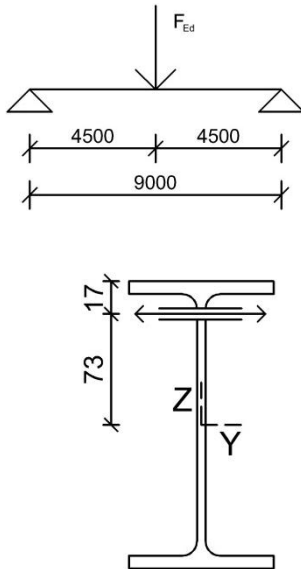
$$\frac{\frac{48,58}{0,963 * 561,65}}{1,00} + 1,101 \frac{\frac{13,91}{0,69 * 39,10}}{1,00} + 1,058 \frac{0,18}{\frac{8,13}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,68 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed} * \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} * \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{48,58}{0,369 * 561,65}}{1,00} + 1,007 \frac{\frac{13,91}{0,69 * 39,10}}{1,00} + 0,968 \frac{0,18}{\frac{8,13}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,78 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

**Posouzení vlivu kroucení a posouvající síly**

$$\max M_{x,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\max V_{y,Ed} = 0,04 \text{ kN}$$

$$\max V_{z,Ed} = 6,09 \text{ kN}$$

$$\text{rozpětí vaznice } L = 9000 \text{ mm}$$

kroucení vaznice

Táhla jsou umístěna excentricky pod horní pásnici a v navazujících táhlech jsou odlišné normálové síly, tak vzniká na vaznici kroučící moment.

$$F_{Ed} = 1,39 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot x = 1,39 \cdot 4,5 = 6,26 \text{ kNm}$$

$$x = 4500 \text{ mm}$$

$$e_H = 17,0 \text{ mm}$$

$$e = 73,0 \text{ mm}$$

$$\alpha = 3,7; \beta = 1,08 \dots \text{zatížení obecné, volná deplanace}$$

$$\Psi L = 0,62 \cdot \sqrt{I_t/I_w} \cdot L = 0,62 \cdot \sqrt{4,79 \cdot 10^{-8} / 7,43 \cdot 10^{-9}} \cdot 9,0 = 14,17$$

$$\chi = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{\Psi L}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{14,17}\right)^2} = 0,871$$

složky vnitřních sil

$$B_{Ed} = M_{Ed} \cdot e \cdot (1 - \chi) = 6,26 \cdot 0,073 \cdot (1 - 0,871) = 0,059 \text{ kNm}^2$$

$$T_{t,Ed} = F_{Ed} \cdot e \cdot \chi = 1,39 \cdot 0,073 \cdot 0,871 = 0,088 \text{ kNm}$$

$$T_{w,Ed} = F_{Ed} \cdot e \cdot (1 - \chi) = 1,39 \cdot 0,073 \cdot (1 - 0,871) = 0,013 \text{ kNm}$$

normálové a smykové napětí

$$\sigma_x = (B_{Ed}/I_w) \cdot w = (0,059 \cdot 10^9 / 7,43 \cdot 10^9) \cdot 3913 = 31,07 \text{ MPa}$$

$$w = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h' = \frac{1}{4} \cdot 91 \cdot (180 - 8) = 3913 \text{ mm}^2$$

• pásnice

$$\tau_{t,f} = (T_{t,Ed}/I_t) \cdot t_f = (0,088 \cdot 10^6 / 4,79 \cdot 10^4) \cdot 8 = 14,70 \text{ MPa}$$

$$\tau_{w,f} = (T_{w,Ed} \cdot S_w) / (I_w \cdot t_f) = (0,013 \cdot 10^6 \cdot 1,42 \cdot 10^6) / (7,43 \cdot 10^9 \cdot 8) = 0,31 \text{ MPa}$$

$$S_w = w \cdot 0,5 \cdot b \cdot t_f = 3913 \cdot 0,5 \cdot 91 \cdot 8 = 1,42 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_f = \tau_{t,f} + \tau_{w,f} = 14,70 + 0,31 = 15,01 \text{ MPa}$$

• stojina

$$\tau_{t,w} = (T_{t,Ed}/I_t) \cdot t_w = (0,088 \cdot 10^6 / 4,79 \cdot 10^4) \cdot 5,3 = 9,74 \text{ MPa}$$

$$\tau_{w,w} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$S_w = 0 \text{ mm}^4$$

$$\tau_w = \tau_{t,w} + \tau_{w,w} = 9,74 + 0,0 = 9,74 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí v pásnici

- využití od bimomentu
 $\sigma_x / (f_y / \gamma_{M1}) = 31,07 / (235 / 1,0) = 0,13$
- využití průřezu viz Posouzení na kombinaci tlaku s ohybem ...0,78
- celkové využití průřezu
 $0,78 + 0,13 = 0,91 \leq 1,0$...**vyhoví**

ekvivalentní smykové síly od kroucení

$$V_{Ed, y, M} = \tau_f / A_y = 15,01 \cdot 10^{-3} / 1,25 \cdot 10^{-3} = 12,01 \text{ kN}$$

$$V_{Ed, z, M} = \tau_w / A_z = 9,74 \cdot 10^{-3} / 8,808 \cdot 10^{-4} = 11,06 \text{ kN}$$

smyková únosnost

$$V_{pl, Rd, y} = \frac{A_y \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot (235 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 169,60 \text{ kN}$$

$$V_{pl, Rd, z} = \frac{A_z \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,808 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 119,50 \text{ kN}$$

$$V_{pl, T, Rd, y} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T, Ed}}{1,25 \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl, Rd, y} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{14,70}{1,25 \cdot (235 / \sqrt{3}) / 1,0}} \cdot 169,60 = 162,08 \text{ kN}$$

$$V_{pl, T, Rd, z} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T, Ed}}{1,25 \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl, Rd, z} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{14,70}{1,25 \cdot (235 / \sqrt{3}) / 1,0}} \cdot 119,50 = 114,20 \text{ kN}$$

Posouzení na kombinaci smykové síly a kroutícího momentu

$$V_{Ed, y, \Sigma} = V_{Ed, y} + V_{Ed, y, M} = 0,04 + 12,01 = 12,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed, z, \Sigma} = V_{Ed, z} + V_{Ed, z, M} = 6,09 + 11,06 = 17,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed, y, \Sigma}}{V_{pl, T, Rd, y}} = \frac{12,05}{162,08} = 0,07 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$\frac{V_{Ed, z, \Sigma}}{V_{pl, T, Rd, z}} = \frac{17,15}{114,20} = 0,15 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Vliv smykového napětí od kroucení a posouvací síly lze zanedbat.

Posouzení vlivu kroucení a posouvající síly – pro maximální kroutící moment

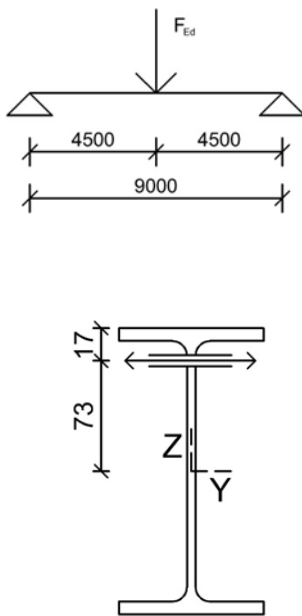
Posouzena byla vaznice, kde vzniká největší kroutící moment vlivem rozdílných sil v táhlech.

$$\max M_{x, Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$\max V_{y, Ed} = 2,81 \text{ kN}$$

$$\max V_{z, Ed} = 15,88 \text{ kN}$$

$$\text{rozpětí vaznice } L = 9000 \text{ mm}$$

kroucení vaznice

Táhla jsou umístěna excentricky pod horní pásnici a v navazujících táhlech jsou odlišné normálové síly, tak vzniká na vaznici krouťící moment.

$$F_{Ed} = 3,83 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot x = 3,83 \cdot 4,5 = 17,24 \text{ kNm}$$

$$x = 4500 \text{ mm}$$

$$e_H = 17,0 \text{ mm}$$

$$e = 73,0 \text{ mm}$$

$$\chi = 0,871 \text{ ...výpočet viz výše}$$

složky vnitřních sil

$$B_{Ed} = M_{Ed} \cdot e \cdot (1 - \chi) = 17,24 \cdot 0,073 \cdot (1 - 0,871) = 0,162 \text{ kNm}^2$$

$$T_{t, Ed} = F_{Ed} \cdot e \cdot \chi = 3,83 \cdot 0,073 \cdot 0,871 = 0,244 \text{ kNm}$$

$$T_{w, Ed} = F_{Ed} \cdot e \cdot (1 - \chi) = 3,83 \cdot 0,073 \cdot (1 - 0,871) = 0,036 \text{ kNm}$$

normálové a smykové napětí

$$\sigma_x = (B_{Ed}/I_w) \cdot w = (0,162 \cdot 10^9 / 7,43 \cdot 10^9) \cdot 3913 = 85,32 \text{ MPa}$$

$$w = 3913 \text{ mm}^2 \text{ ...výpočet viz výše}$$

• pásnice

$$\tau_{t, f} = (T_{t, Ed}/I_t) \cdot t_f = (0,244 \cdot 10^6 / 4,79 \cdot 10^4) \cdot 8 = 40,75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{w, f} = (T_{w, Ed} \cdot S_w) / (I_w \cdot t_f) = (0,036 \cdot 10^6 \cdot 1,42 \cdot 10^6) / (7,43 \cdot 10^9 \cdot 8) = 0,86 \text{ MPa}$$

$$S_w = 1,42 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \text{ ...výpočet viz výše}$$

$$\tau_f = \tau_{t, f} + \tau_{w, f} = 40,75 + 0,86 = 41,61 \text{ MPa}$$

• stojina

$$\tau_{t, w} = (T_{t, Ed}/I_t) \cdot t_w = (0,244 \cdot 10^6 / 4,79 \cdot 10^4) \cdot 5,3 = 27,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{w, w} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$S_w = 0 \text{ mm}^4$$

$$\tau_w = \tau_{t, w} + \tau_{w, w} = 27,0 + 0,0 = 27,0 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí v pásnici

• využití od bimomentu

$$\sigma_x / (f_y / \gamma_{M1}) = 85,32 / (235 / 1,0) = 0,36$$

• využití průřezu

Dle posudku v programu Scia Engineer je maximální využití průřezu pro kombinaci tlaku s ohybem ...0,45

• celkové využití průřezu

$$0,45 + 0,36 = 0,81 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

ekvivalentní smykové síly od kroucení

$$V_{Ed, y, M} = \tau_f / A_y = 41,61 \cdot 10^{-3} / 1,25 \cdot 10^{-3} = 33,29 \text{ kN}$$

$$V_{Ed, z, M} = \tau_w / A_z = 27,0 \cdot 10^{-3} / 8,808 \cdot 10^{-4} = 30,65 \text{ kN}$$

smyková únosnost $V_{pl,Rd,y} = 169,60 \text{ kN}$...výpočet viz výše $V_{pl,Rd,z} = 119,50 \text{ kN}$...výpočet viz výše

$$V_{pl,T,Rd,y} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1,25 * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} * V_{pl,Rd,y} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{40,75}{1,25 * (235 / \sqrt{3}) / 1,0}} * 169,60 = 147,83 \text{ kN}$$

$$V_{pl,T,Rd,z} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1,25 * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} * V_{pl,Rd,z} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{40,75}{1,25 * (235 / \sqrt{3}) / 1,0}} * 119,50 = 104,16 \text{ kN}$$

Posouzení na kombinaci smykové síly a kroutícího momentu $V_{Ed,y,\Sigma} = V_{Ed,y} + V_{Ed,y,M} = 2,81 + 33,29 = 36,10 \text{ kN}$ $V_{Ed,z,\Sigma} = V_{Ed,z} + V_{Ed,z,M} = 15,88 + 30,65 = 46,53 \text{ kN}$

$$\frac{V_{Ed,y,\Sigma}}{V_{pl,T,Rd,y}} = \frac{36,10}{137,81} = 0,26 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

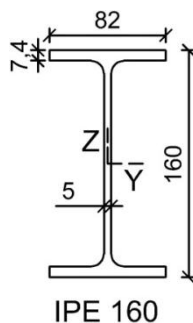
$$\frac{V_{Ed,z,\Sigma}}{V_{pl,T,Rd,z}} = \frac{46,53}{97,10} = 0,48 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Profil IPE180 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů. Vliv smykového napětí od kroucení a posouvací síly lze zanedbat.

Využití profilu je 91 %, a to pro kombinaci tlaku s ohybem s uvážením vázaného kroucení.

Pro vaznici, kde vzniká maximální kroutící moment je využití profilu 81 %.

7.1.3.2 Krátká vaznice IPE 160**Charakteristiky průřezu** $h = 160,0 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$ $b = 82,0 \text{ mm} = 0,082 \text{ m}$ $t_f = 7,4 \text{ mm}$ $t_w = 5,0 \text{ mm}$ $r = 9,0 \text{ mm}$ $A = 2,010 * 10^{-3} \text{ m}^2, A_y = 1,050 * 10^{-3} \text{ m}^2, A_z = 7,416 * 10^{-4} \text{ m}^2$ $I_y = 8,693 * 10^{-6} \text{ m}^4, I_z = 6,831 * 10^{-7} \text{ m}^4$ $i_y = 65,76 \text{ mm} = 0,06576 \text{ m}, i_z = 18,44 \text{ mm} = 0,01844 \text{ m}$ $I_t = 3,600 * 10^{-8} \text{ m}^4$ $I_w = 3,960 * 10^{-9} \text{ m}^6$ $W_{el,y} = 1,087 * 10^{-4} \text{ m}^3, W_{el,z} = 1,666 * 10^{-5} \text{ m}^3$ $W_{pl,y} = 1,239 * 10^{-4} \text{ m}^3, W_{pl,z} = 2,610 * 10^{-5} \text{ m}^3$ 

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

Teoretická délka prutu $L = 2,000 \text{ m}$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině y-y $L_{cr, y} = 2,000 \text{ m}$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině z-z $L_{cr, z} = 2,000 \text{ m}$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější vaznici

$$N_{Ed} = 23,64 \text{ kN}$$

$$V_{y, Ed} = 0,28 \text{ kN}$$

$$V_{z, Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{y, Ed} = 16,52 \text{ kNm}$$

$$M_{z, Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

- stojina namáhaná ohybem

$$c/t = 127,2/5 = 25,44 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{vyhoví}$$

- přečnívající tlačené části pásnic

$$c/t = 29,5/7 = 4,2 \leq 9\varepsilon = 9 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na ohyb

Pouze pro směr y-y.

$$M_{c, Rd} = M_{pl, y, Rd} = W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,239 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 29,12 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y, Ed}}{M_{c, Rd}} = \frac{16,52}{29,19} = 0,57 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osových sil

$$N_{pl, Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,01 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 472,35 \text{ kN}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl, Rd} = 23,64 / 472,35 = 0,05$$

$$a = (A - b \cdot t_f) / A = (2,01 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,082 \cdot 0,0074) / 2,01 \cdot 10^{-3} = 0,396$$

$$M_{N, y, Rd} = M_{pl, y, Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5a) = 29,19 \cdot (1 - 0,06) / (1 - 0,5 \cdot 0,396) = 34,21 \text{ kNm}$$

$$M_{N, y, Rd} = 34,21 \text{ kNm} \leq M_{pl, y, Rd} = 29,19 \text{ kNm}$$

$$n = 0,05 \leq a = 0,396:$$

$$M_{N, z, Rd} = M_{pl, z, Rd} = W_{pl, z} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,61 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 6,13 \text{ kNm}$$

$$\alpha = 2,0; \beta = 5 \cdot n = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \rightarrow \beta = 1,0$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right) \alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right) \beta \leq 1,0$$

$$\left(\frac{16,52}{29,19}\right)^2 + \left(\frac{0}{6,13}\right)^1 = 0,32 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posouzení klopenísoučinitel klopení

$$C_1 = 1,01; C_2 = 0,00$$

$$\xi_j = 0$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0,08}{1 * 2,0} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 6,831 * 10^{-7}}{8 * 10^7 * 3,6 * 10^{-8}}} = 0,887$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1 * 2,0} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 3,96 * 10^{-9}}{8 * 10^7 * 3,6 * 10^{-8}}} = 0,844$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j)^2} - (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j) \right] =$$

$$= \frac{1,01}{1,0} * \left[\sqrt{1 + 0,844^2 + (0,0 * 0,887 - 0)^2} - (0,0 * 0,887 - 0) \right] =$$

$$= 1,32$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} =$$

$$= 1,32 * \frac{\pi * \sqrt{2,1 * 10^8 * 6,831 * 10^{-7} * 8 * 10^7 * 3,6 * 10^{-8}}}{2,0} = 42,14 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,239 * 10^{-4} * 235 * 10^3}{42,14}} = 0,831$$

součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,21$... křivka klopení a

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,21 (0,831 - 0,2) + 0,831^2] = 0,912$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,912 + \sqrt{0,912^2 - 0,831^2}} = 0,777$$

návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * (f_y / \gamma_{M1}) = 0,777 * 1,239 * 10^{-4} * (235 * 10^3 / 1,0) = 22,62 \text{ kNm}$$

Posouzení

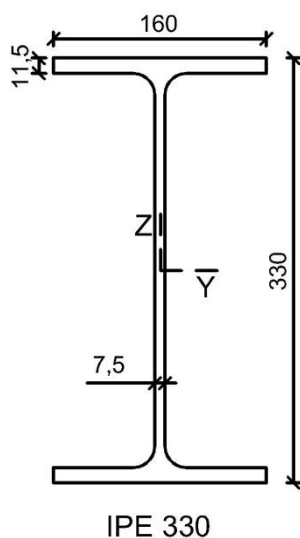
$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{16,52}{22,62} = 0,73 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Vliv posouvající síly na vaznici lze zanedbat.

Závěr

Profil IPE160 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů.

Využití profilu je 73 %, a to pro účinky klopení.



7.1.4 Sloupek čelní stěny IPE 330

Charakteristiky průřezu

$$h = 330,0 \text{ mm} = 0,33 \text{ m}$$

$$b = 160,0 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$$

$$t_f = 11,5 \text{ mm}$$

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

$$r = 18,0 \text{ mm}$$

$$A = 6,260 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_y = 3,228 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_z = 2,365 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4, I_z = 7,881 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = 137,1 \text{ mm} = 0,1371 \text{ m}, i_z = 35,5 \text{ mm} = 0,0355 \text{ m}$$

$$I_t = 2,815 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,991 \cdot 10^{-7} \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = 7,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{el,z} = 9,852 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 8,043 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{pl,z} = 1,537 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$\text{Teoretická délka prutu } L = 11,059 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka pro vybočení v rovině y-y } L_{cr,y} = 11,059 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka pro vybočení v rovině z-z } L_{cr,z} = 11,059 \text{ m}$$

$$\text{Vzdálenost bodů zajištěných proti klopení } L_{cr,LT} = 4,131 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější sloupek

$$N_{Ed} = 10,67 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,25 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,73 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 104,62 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,91 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

- stojina namáhaná ohybem

$$c/t = 271/7,5 = 36,1 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \text{vyhoví}$$

- přečnívající tlačené části pásnic

$$c/t = 58,25/11,5 = 5,1 \leq 9\varepsilon = 9 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na ohyb

Pouze pro směr y-y.

$$M_{c, Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 8,043 * 10^{-4} * 235 * 10^3 / 1,0 = 189,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{104,62}{189,01} = 0,55 \leq 1,0 \text{ ... vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osově síly lze zanedbat, protože moment pro směr z-z je takřka nulový.

Vliv posouvající síly na sloupek lze také zanedbat.

Posouzení klopení

součinitel klopení

$$C_1 = 1,18; C_2 = 0,00$$

$$\xi_j = 0$$

$$\xi_g = \frac{\pi * Z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0,165}{1 * 4,131} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 7,881 * 10^{-6}}{8 * 10^7 * 2,815 * 10^{-7}}} = 1,076$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1 * 4,131} * \sqrt{\frac{2,1 * 10^8 * 1,991 * 10^{-7}}{8 * 10^7 * 2,815 * 10^{-7}}} = 1,036$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} * \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j)^2} - (C_2 * \xi_g - C_3 * \xi_j) \right] = \\ &= \frac{1,18}{1,0} * \left[\sqrt{1 + 1,036^2 + (0,0 * 1,076 - 0)^2} - (0,0 * 1,076 - 0) \right] = \\ &= 1,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = \\ &= 1,70 * \frac{\pi * \sqrt{2,1 * 10^8 * 7,881 * 10^{-6} * 8 * 10^7 * 2,815 * 10^{-7}}}{4,131} = 249,59 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,043 * 10^{-4} * 235 * 10^3}{249,59}} = 0,870$$

součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,21$... křivka klopení a

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,21 (0,870 - 0,2) + 0,870^2] = 0,949$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,949 + \sqrt{0,949^2 - 0,870^2}} = 0,753$$

návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b, Rd} = \chi_{LT} * W_y * (f_y / \gamma_{M1}) = 0,753 * 8,043 * 10^{-4} * (235 * 10^3 / 1,0) = 142,32 \text{ kNm}$$

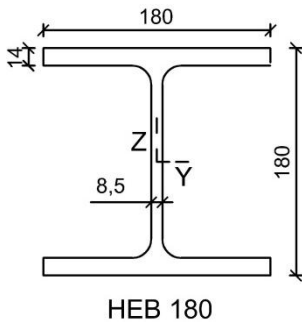
Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{104,62}{142,32} = 0,73 \leq 1,0 \text{ ... vyhoví}$$

Závěr

Profil IPE330 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů.

Využití profilu je 73 %, a to na účinky klopení.



7.1.5 Paždík čelní stěny HEB 180

Charakteristiky průřezu

$$h = 180,0 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

$$b = 180,0 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

$$t_f = 14,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,5 \text{ mm}$$

$$r = 15,0 \text{ mm}$$

$$A = 6,525 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_y = 4,273 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, A_z = 1,306 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 3,831 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4, I_z = 1,363 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 76,6 \text{ mm} = 0,0766 \text{ m}, i_z = 45,6 \text{ mm} = 0,0456 \text{ m}$$

$$I_t = 4,216 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_w = 9,402 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = 4,257 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{el,z} = 1,514 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 4,820 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3, W_{pl,z} = 2,320 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$\text{Teoretická délka prutu } L = 4,459 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka pro vybočení v rovině y-y } L_{cr,y} = 4,459 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěrná délka pro vybočení v rovině z-z } L_{cr,z} = 4,459 \text{ m}$$

$$\text{Vzdálenost bodů zajištěných proti klopení } L_{cr,LT} = 4,459 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější paždík

$$N_{Ed} = 11,96 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -29,64 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,57 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

- stojina namáhaná ohybem

$$c/t = 122/8,5 = 14,4 \leq 72\varepsilon = 72 \dots \textbf{vyhoví}$$

- přečnívající tlačené části pásnic

$$c/t = 70,75/14 = 5,1 \leq 9\varepsilon = 9 \dots \textbf{vyhoví}$$

průřez třídy 1 ... lze využít plasticity

Posouzení na ohyb

Pouze pro směr y-y.

$$M_{c, Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 4,82 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 113,27 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{29,64}{113,27} = 0,26 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a osových sil

$$N_{pl, Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 1533,38 \text{ kN}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl, Rd} = 11,96 / 1533,38 = 0,01$$

$$a = (A \cdot b \cdot t_f) / A = (6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0,18 \cdot 0,014) / 6,525 \cdot 10^{-3} = 0,228$$

$$M_{N,y, Rd} = M_{pl,y, Rd} \cdot (1-n) / (1-0,5a) = 113,27 \cdot (1-0,01) / (1-0,5 \cdot 0,228) = 126,57 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y, Rd} = 126,57 \text{ kNm} \leq M_{pl,y, Rd} = 113,27 \text{ kNm} \rightarrow M_{N,y, Rd} = 113,27 \text{ kNm}$$

$$n = 0,01 \leq a = 0,353:$$

$$M_{N,z, Rd} = M_{pl,z, Rd} = W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,32 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 54,52 \text{ kNm}$$

$$\alpha = 2,0; \beta = 5 \cdot n = 5 \cdot 0,01 = 0,05 \rightarrow \beta = 1,0$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right) \alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right) \beta \leq 1,0$$

$$\left(\frac{29,64}{113,27} \right)^2 + \left(\frac{2,57}{54,52} \right)^1 = 0,12 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Posouzení klopenísoučinitel klopení

$$C_1 = 1,13; C_2 = 0,45$$

$$\xi_j = 0$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,09}{1 \cdot 4,459} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,363 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot 10^7 \cdot 4,216 \cdot 10^{-7}}} = 0,584$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 4,459} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 9,402 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot 10^7 \cdot 4,216 \cdot 10^{-7}}} = 0,539$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1,0} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,539^2 + (0,45 \cdot 0,584)^2} - (0,45 \cdot 0,584) \right] = \\ &= 1,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = \\ &= 1,02 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,363 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^7 \cdot 4,216 \cdot 10^{-7}}}{4,459} = 223,29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,82 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{223,29}} = 0,712$$

součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,21$... křivka klopení a

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,21 (0,712 - 0,2) + 0,712^2] = 0,807$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,807 + \sqrt{0,807^2 - 0,712^2}} = 0,849$$

návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot (f_y / \gamma_{M1}) = 0,849 \cdot 4,82 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^3 / 1,0) = 96,17 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{29,64}{96,17} = 0,31 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Profil HEB 180 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů.

Využití profilu je 31 %, a to na účinky klopení.

7.1.6 Táhlo vaznic R 14**Charakteristiky průřezu**

$$d = 14 \text{ mm} = 0,0014 \text{ m}$$

$$A = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$\text{Teoretická délka prutu } L = 2,350 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější táhlo – táhla jsou pouze tažená

$$N_{Ed} = 15,63 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

klasifikace není pro tento průřez podporována → průřez třídy 3

Posudek na osovou sílu

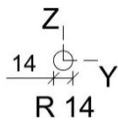
$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 36,19 \text{ kN}$$

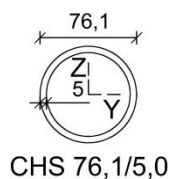
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{15,63}{36,19} = 0,43 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Profil R 14 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů.

Využití profilu je 43 %.





7.1.7 Ztužidlo CHS 76,1/5,0

Charakteristiky průřezu

$$D = 76,1 \text{ mm} = 0,0761 \text{ m}$$

$$t = 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,492 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Charakteristiky materiálu – ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}, f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00, \gamma_{M2} = 1,25$$

Vzpěrné délky

$$\text{Teoretická délka prutu } L = 5,701 \text{ m}$$

Vnitřní síly

- pro nejnamáhanější táhlo – táhla jsou pouze tažená

$$N_{Ed} = 219,58 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

$$d/t = 76,1/5,0 = 15,22 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \dots \text{vyhoví}$$

průřez třídy 1

Posudek na osovou sílu

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 263,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{219,58}{263,20} = 0,83 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Posudek na kombinaci osově síly a ohybového momentu od vl. tíhy

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot g_k \cdot L^2 \cdot \gamma_G = 1/8 \cdot 0,085 \cdot 5,701^2 \cdot 1,35 = 0,47 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,492 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,0 = 5,86 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{219,58}{263,20} + \frac{0,47}{5,86} = 0,91 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Profil CHS 76,1/5,0 vyhovuje ve všech posuzovaných kombinacích zatěžovacích stavů.

Využití profilu je 91 %.

7.2 Posouzení deformací – mezní stav použitelnosti

7.2.1 Příhradový rám

- rozpětí $L = 46\,450\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 68,5\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 66,8\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/200 = 46450/200 = 232,3\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 46450/250 = 185,5\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 68,5\text{ mm} \leq L/200 = 232,3\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 66,8\text{ mm} \leq L/250 = 185,5\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Příhradový rám vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.2 Vaznice IPE 180

- rozpětí $L = 9\,000\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 10,1\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 10,6\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/200 = 9000/200 = 45,0\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 9000/250 = 36,0\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 10,1\text{ mm} \leq L/200 = 45,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 10,6\text{ mm} \leq L/250 = 36,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Vaznice IPE 180 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.3 Okapová vaznice HEA 160

- rozpětí $L = 9\,000\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 2,4\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 1,6\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/200 = 9000/200 = 45,0\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 9000/250 = 36,0\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 2,4\text{ mm} \leq L/200 = 45,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 1,6\text{ mm} \leq L/250 = 36,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Okapová vaznice HEA 160 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.4 Krátká vaznice IPE 160

- rozpětí $L = 2\,000\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 3,1\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 3,0\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/200 = 2000/200 = 10,0\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 2000/250 = 8,0\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 3,1\text{ mm} \leq L/200 = 10,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 3,0\text{ mm} \leq L/250 = 8,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Vaznice IPE 160 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.5 Paždík IPE 140

- rozpětí $L = 9\,000\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 9,0\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 8,8\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 9000/250 = 36,0\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 9,0\text{ mm} \leq L/250 = 36,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 8,8\text{ mm} \leq L/250 = 36,0\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Paždík IPE 140 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.6 Závěs vaznice CHS 88,9/5,0

- rozpětí $L = 3\,124\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 11,0\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 11,4\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/200 = 3124/200 = 15,6\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 3124/250 = 12,5\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 11,0\text{ mm} \leq L/200 = 15,6\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 11,4\text{ mm} \leq L/250 = 12,5\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Závěs vaznice CHS 88,9/5,0 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.7 Sloupek čelní stěny IPE 330

- rozpětí $L = 11\,519\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 33,9\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 34,0\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 11519/250 = 46,1\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 33,9\text{ mm} \leq L/250 = 46,1\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$\delta_2 = 34,0\text{ mm} \leq L/250 = 46,1\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Sloupek čelní stěny IPE 330 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

7.2.8 Paždík čelní stěny HEB 180

- rozpětí $L = 4\,698\text{ mm}$
- maximální průhyb $\delta_{\max} = 15,2\text{ mm}$
- průhyb od proměnných zatížení $\delta_2 = 15,3\text{ mm}$
- limitní průhyb $L/250 = 4698/250 = 18,8\text{ mm}$

Posouzení

$$\delta_{\max} = 15,2\text{ mm} \leq L/250 = 18,8\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

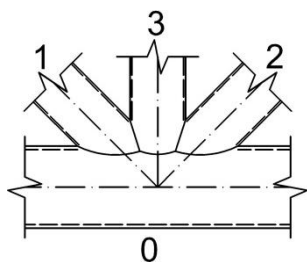
$$\delta_2 = 15,3\text{ mm} \leq L/250 = 18,8\text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

Paždík HEB 180 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

8. Posouzení spojů

8.1 Příhradový rám

8.1.1 Posouzení na porušení povrchu



Styčník 1

$$A_0 = 2,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_0 = 168,3 \text{ mm}$$

$$d_1 = 114,3 \text{ mm}$$

$$d_2 = 114,3 \text{ mm}$$

$$d_3 = 114,3 \text{ mm}$$

$$W_{el,0} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$t_0 = 5,0 \text{ mm}$$

$$t_1 = 3,6 \text{ mm}$$

$$t_2 = 3,6 \text{ mm}$$

$$t_3 = 3,6 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 45^\circ$$

$$\theta_2 = 45^\circ$$

$$\theta_3 = 90^\circ$$

$$N_{0,Ed} = 208,10 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = -95,76 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 140,60 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = -33,07 \text{ kN}$$

$$M_{0,Ed} = 2,44 \text{ kNm}$$

$$M_{ip,1,Ed} = 0,42 \text{ kNm}$$

$$M_{ip,2,Ed} = -0,15 \text{ kNm}$$

$$M_{ip,3,Ed} = 1,05 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Ed} = -0,13 \text{ kNm}$$

$$M_{op,2,Ed} = -0,09 \text{ kNm}$$

$$M_{op,3,Ed} = -0,04 \text{ kNm}$$

rozsah platnosti

Třída 1

$$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq 114,3/168,3 = 0,68 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Lze uvažovat pouze porušení povrchu pásu a prolomení smykem.

napětí v pásu

$$\sigma_{0,Ed} = \left(\frac{N_{0,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{208,1}{2,57 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{2,44}{1,02 \cdot 10^{-4}} \right) = 104,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \left(\frac{N_{p,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{176,39}{2,57 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{2,44}{1,02 \cdot 10^{-4}} \right) = 92,56 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{p,Ed} &= N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_i = \\ &= 208,1 - (-95,76 \cdot \cos 45^\circ + 140,6 \cdot \cos 45^\circ - 33,07 \cdot \cos 90^\circ) = \\ &= 176,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

porušení prolomením smykem

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$114,3 \leq 168,3 - 2 \cdot 5,0 = 158,3 \text{ ...vyhoví}$$

$$f_{y0} = 275 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,00$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{275}{\sqrt{3}} \cdot 5,0 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 45^\circ}{2 \cdot \sin^2 45^\circ} / 1,0 = 486,63 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{275}{\sqrt{3}} \cdot 5,0 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 45^\circ}{2 \cdot \sin^2 45^\circ} / 1,0 = 486,63 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{275}{\sqrt{3}} \cdot 5,0 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 90^\circ}{2 \cdot \sin^2 90^\circ} / 1,0 = 285,06 \text{ kN}$$

$$M_{ip, i, Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_i^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1+3 \cdot \sin \theta_i}{4 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip, 1, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1+3 \cdot \sin 45}{4 \cdot \sin^2 45} / 1,0 = 80,93 \text{ kNm}$$

$$M_{ip, 2, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1+3 \cdot \sin 45}{4 \cdot \sin^2 45} / 1,0 = 80,93 \text{ kNm}$$

$$M_{ip, 3, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1+3 \cdot \sin 90}{4 \cdot \sin^2 90} / 1,0 = 51,86 \text{ kNm}$$

$$M_{op, i, Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_i^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3+\sin \theta_i}{4 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op, 1, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3+\sin 45}{4 \cdot \sin^2 45} / 1,0 = 96,12 \text{ kNm}$$

$$M_{op, 2, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3+\sin 45}{4 \cdot \sin^2 45} / 1,0 = 96,12 \text{ kNm}$$

$$M_{op, 3, Rd} = \frac{275 \cdot 3,6^2 \cdot 114,3^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3+\sin 90}{4 \cdot \sin^2 90} / 1,0 = 51,86 \text{ kNm}$$

porušení povrchu pásu

$$\gamma = d_0/2 \cdot t_0 = 168,3/2 \cdot 5,0 = 16,83$$

$$n_p = \sigma_{p, Ed}/f_{y0} = 92,56/275 = 0,34$$

$$\beta = (d_1+d_2+d_3)/3 \cdot d_0 = (114,3+114,3+114,3)/3 \cdot 168,3 = 0,68$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 \gamma/t_0 - 1,33)}\right) =$$

$$= 16,83 \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 16,83^{1,2}}{1 + \exp(0,5 \cdot 0/5 - 1,33)}\right) = 2,75$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,34 \cdot (1 + 0,34) = 0,87$$

$$N_{1, Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 \cdot 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0}\right) / \gamma_{M5} =$$

$$= \frac{2,75 \cdot 0,87 \cdot 275 \cdot 5^2}{\sin 45} \left(1,8 \cdot 10,2 \cdot \frac{3,6}{5,0}\right) / 1,0 = 201,63 \text{ kN}$$

$$N_{2, Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1, Rd} = \frac{\sin 45}{\sin 45} \cdot 201,63 = 201,63 \text{ kN}$$

$$M_{op, 1, Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} \cdot \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} \cdot k_p / \gamma_{M5} =$$

$$= \frac{275 \cdot 5^2 \cdot 114,3}{\sin 45} \cdot \frac{2,7}{1 - 0,81 \cdot 0,68} \cdot 0,87 / 1,0 = 5,77 \text{ kNm}$$

Posudek na kombinaci ohybu a osově síly

$$\frac{N_{i, Ed}}{N_{i, Rd}} + \left[\frac{M_{ip, i, Ed}}{M_{ip, i, Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op, i, Ed}}{M_{op, i, Rd}} \leq 1,0$$

$$i = 1$$

$$\frac{95,76}{201,63} + \left[\frac{0,42}{80,93} \right]^2 + \frac{0,13}{5,77} \leq 1,0$$

$$0,50 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

i = 2

$$\frac{140,6}{201,63} + \left[\frac{[-0,15]}{80,93} \right]^2 + \frac{0,09}{96,12} \leq 1,0$$

$$0,70 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

i = 3

$$\frac{33,07}{285,06} + \left[\frac{[1,05]}{51,86} \right]^2 + \frac{0,04}{51,86} \leq 1,0$$

$$0,12 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Posudek K styčníku

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$95,76 \cdot \sin 45^\circ + 33,07 \cdot \sin 90^\circ \leq 201,63 \cdot \sin 45^\circ$$

$$100,75 \text{ kN} \leq 142,57 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$140,60 \cdot \sin 45^\circ \leq 201,63 \cdot \sin 45^\circ$$

$$99,42 \text{ kN} \leq 142,57 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Styčník 2

$$A_0 = 3,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{el,0} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$d_0 = 168,3 \text{ mm}$$

$$t_0 = 6,3 \text{ mm}$$

$$d_1 = 114,3 \text{ mm}$$

$$t_1 = 3,6 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

$$N_{0,Ed} = -617,51 \text{ kN}$$

$$M_{0,Ed} = -2,16 \text{ kNm}$$

$$N_{1,Ed} = -28,87 \text{ kN}$$

$$M_{ip,1,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

rozsah platnosti

Třída 1

$$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq 114,3/168,3 = 0,68 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Lze uvažovat pouze porušení povrchu pásu a prolomení smykem.

napětí v pásu

$$\sigma_{0,Ed} = \left(\frac{N_{0,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{617,51}{3,21 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{-2,16}{1,25 \cdot 10^{-4}} \right) = 209,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \left(\frac{N_{p,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{617,51}{3,21 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{-2,16}{1,25 \cdot 10^{-4}} \right) = 209,65 \text{ MPa}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_i = -617,51 - (-28,87 \cdot \cos 90^\circ) = -617,51 \text{ kN}$$

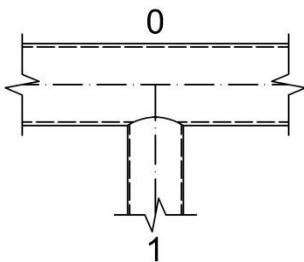
porušení prolomením smykem

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$114,3 \leq 168,3 - 2 \cdot 6,3 = 155,7 \text{ ...vyhoví}$$

$$f_{y0} = 275 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,00$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$



$$N_{1, Rd} = \frac{275}{\sqrt{3}} * 6,3 * \pi * 114,3 * \frac{1+\sin 90}{2*\sin^2 90} / 1,0 = 359,18 \text{ kN}$$

$$M_{ip, i, Rd} = \frac{f_{y0} * t_0^2 * d_i^2}{\sqrt{3}} * \frac{1+3*\sin \theta_i}{4*\sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip, 1, Rd} = \frac{275*3,6^2*114,3^2}{\sqrt{3}} * \frac{1+3*\sin 90}{4*\sin^2 90} / 1,0 = 82,33 \text{ kNm}$$

$$M_{op, i, Rd} = \frac{f_{y0} * t_0^2 * d_i^2}{\sqrt{3}} * \frac{3+\sin \theta_i}{4*\sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op, 1, Rd} = \frac{275*3,6^2*114,3^2}{\sqrt{3}} * \frac{3+\sin 90}{4*\sin^2 90} / 1,0 = 82,33 \text{ kNm}$$

porušení povrchu pásu

$$\gamma = d_0/2*t_0 = 168,3/2*6,3 = 13,36$$

$$n_p = \sigma_{p, Ed}/f_{y0} = 209,65/275 = 0,76$$

$$\beta = d_1/d_0 = 114,3/168,3 = 0,68$$

$$k_p = 1-0,3*n_p*(1+n_p) = 1-0,3*0,76*(1+0,76) = 0,60$$

$$\begin{aligned} N_{1, Rd} &= \frac{\gamma^{0,2} * k_p * f_{y0} * t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 * 14,2 * \beta^2) / \gamma_{M5} = \\ &= \frac{13,36^{0,2} * 0,60 * 275 * 6,3^2}{\sin 90} (2,8 * 14,2 * 0,68^2) / 1,0 = 102,30 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ip, 1, Rd} &= 4,85 * \frac{f_{y0} * t_0^2 * d_1}{\sin \theta_1} * \sqrt{\gamma} * \beta * k_p / \gamma_{M5} = \\ &= 4,85 * \frac{275 * 6,3^2 * 114,3}{\sin 90} * \sqrt{13,36} * 0,68 * 0,60 / 1,0 = \\ &= 8,96 \text{ kNm} \end{aligned}$$

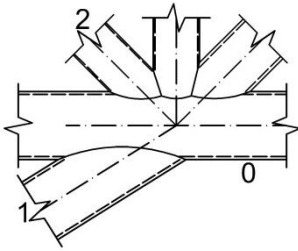
$$\begin{aligned} M_{op, 1, Rd} &= \frac{f_{y0} * t_0^2 * d_1}{\sin \theta_1} * \frac{2,7}{1-0,81\beta} * k_p / \gamma_{M5} = \\ &= \frac{275 * 6,3^2 * 114,3}{\sin 90} * \frac{2,7}{1-0,81*0,68} * 0,60 / 1,0 = 4,47 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posudek na kombinaci ohybu a osově síly

$$\frac{N_{i, Ed}}{N_{i, Rd}} + \left[\frac{M_{ip, i, Ed}}{M_{ip, i, Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op, i, Ed}}{M_{op, i, Rd}} \leq 1,0$$

$$i = 1$$

$$\begin{aligned} \frac{28,87}{102,30} + \left[\frac{0}{8,96} \right]^2 + \frac{0}{4,47} &\leq 1,0 \\ 0,28 &\leq 1,0 \text{ ...vyhoví} \end{aligned}$$

**Styčnick 3**

$$A_0 = 4,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{el,0} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$d_0 = 168,3 \text{ mm}$$

$$t_0 = 8,0 \text{ mm}$$

$$d_1 = 168,3 \text{ mm}$$

$$t_1 = 8,0 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 32^\circ$$

$$d_2 = 114,3 \text{ mm}$$

$$t_2 = 3,6 \text{ mm}$$

$$\theta_2 = 45^\circ$$

$$N_{0,Ed} = -582,62 \text{ kN}$$

$$M_{0,Ed} = -0,77 \text{ kNm}$$

$$N_{1,Ed} = -623,55 \text{ kN}$$

$$M_{ip,1,Ed} = -2,00 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Ed} = 2,44 \text{ kNm}$$

$$N_{2,Ed} = -112,51 \text{ kN}$$

$$M_{ip,2,Ed} = -0,61 \text{ kNm}$$

$$M_{op,2,Ed} = -0,12 \text{ kNm}$$

rozsah platnosti

Třída 1

$$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq 168,3/168,3 = 1,0 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Lze uvažovat pouze porušení povrchu pásu a prolomení smykem.

napětí v pásu

$$\sigma_{0,Ed} = \left(\frac{N_{0,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{582,62}{4,03 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{0,77}{1,54 \cdot 10^{-4}} \right) = 149,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \left(\frac{N_{p,Ed}}{A_0} \right) + \left(\frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \right) = \left(\frac{25,74}{4,03 \cdot 10^{-3}} \right) + \left(\frac{0,77}{1,54 \cdot 10^{-4}} \right) = 1,39 \text{ MPa}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_i =$$

$$= -582,62 - (-623,55 \cdot \cos 32^\circ - 112,51 \cdot \cos 45^\circ) = 25,74 \text{ kN}$$

porušení prolomením smykem

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$168,3 \leq 168,3 - 2 \cdot 8,0 = 152,3 \text{ ...nevyhoví}$$

Porušení prolomením smykem není třeba uvažovat.

porušení povrchu pásu

$$\gamma = d_0/2 \cdot t_0 = 168,3/2 \cdot 8,0 = 10,52$$

$$n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0} = 1,39/275 = 0,005$$

$$\beta = d_1/d_0 = 168,3/168,3 = 1,0$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,005 \cdot (1 + 0,005) = 0,998$$

$$N_{i,Rd} = \frac{k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_i} \cdot \frac{5,2}{1 - 0,81 \cdot \beta} / \gamma_{M5} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{0,998 \cdot 275 \cdot 8^2}{\sin 32} \cdot \frac{5,2}{1 - 0,81 \cdot 1} / 1,0 = 907,60 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{0,998 \cdot 275 \cdot 8^2}{\sin 45} \cdot \frac{5,2}{1 - 0,81 \cdot 1} / 1,0 = 680,17 \text{ kN}$$

$$M_{ip,i,Rd} = 4,85 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_i}{\sin \theta_i} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5} =$$

$$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \cdot \frac{275 \cdot 8^2 \cdot 168,3}{\sin 32} \cdot \sqrt{10,52} \cdot 1,0 \cdot 0,998 / 1,0 = 87,79 \text{ kNm}$$

$$M_{ip, 2, Rd} = 4,85 * \frac{275 * 8^2 * 114,3}{\sin 45} * \sqrt{10,52} * 1,0 * 0,998 / 1,0 = 44,68 \text{ kNm}$$

$$M_{op, i, Rd} = \frac{f_{y0} * t_0^2 * d_i}{\sin \theta_i} * \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} * k_p / \gamma_{M5} =$$

$$M_{op, 1, Rd} = \frac{275 * 8^2 * 168,3}{\sin 32} * \frac{2,7}{1 - 0,81 * 1} * 0,998 / 1,0 = 79,31 \text{ kNm}$$

$$M_{op, 2, Rd} = \frac{275 * 8^2 * 114,3}{\sin 45} * \frac{2,7}{1 - 0,81 * 1} * 0,998 / 1,0 = 40,37 \text{ kNm}$$

Posudek na kombinaci ohybu a osových sil

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

$$i = 1$$

$$\frac{623,55}{907,60} + \left[\frac{[-2,0]}{87,79} \right]^2 + \frac{2,44}{79,31} \leq 1,0$$

$$0,72 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

$$i = 2$$

$$\frac{112,51}{680,17} + \left[\frac{[-0,61]}{44,68} \right]^2 + \frac{-0,12}{40,37} \leq 1,0$$

$$0,17 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Posudek DK styčnicku

$$N_{1,Ed} * \sin \theta_1 + N_{2,Ed} * \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} * \sin \theta_x$$

$$623,55 * \sin 32^\circ + 112,51 * \sin 45^\circ \leq 907,60 * \sin 45^\circ$$

$$409,99 \text{ kN} \leq 641,77 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Do výpočtu nebyla zahrnuta svislice, vzhledem ke značné rezervě není potřeba ji zahrnout do výpočtu.

Závěr

Styčnický příhradového rámu vyhovují na porušení povrchu ve všech posuzovaných místech.

8.1.2 Posouzení styčnicků příhradového rámu – svary

Svary jsou uvažovány jako tupé. Křivky průniku byly pro zjednodušení uvažovány jako rovinné kružnice nebo elipsy, které mají menší délky než skutečné křivky.

Jsou vybrány nejnamáhanější prvky.

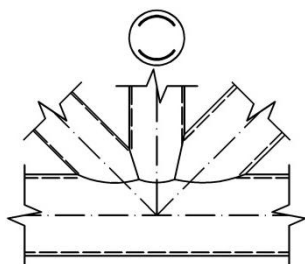
Svislice 1

- $N_{t, Ed} = 228,98 \text{ kN}$
- $N_{c, Ed} = 64,58 \text{ kN}$
- délka křivky $l_w = 215,5 \text{ mm}$
- plocha svaru $A_w = l_w * t = 215,5 * 5,0 = 1077,5 \text{ mm}^2$

únosnost svaru

$$N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 1077,5 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 296,31 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 228,98 \text{ kN}$$

$$N_{c, Rd} = 0,85 * N_{t, Rd} = 0,85 * 296,32 = 251,87 \text{ kN} \leq N_{c, Ed} = 64,58 \text{ kN}$$

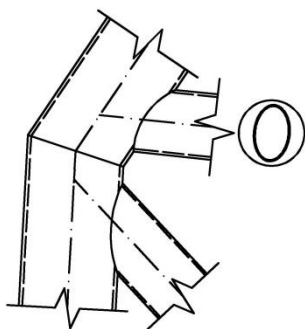
**Svislice 2**

- $N_{t, Rd} = 124,20 \text{ kN}$
- $N_{c, Rd} = 139,49 \text{ kN}$
- délka křivky $l_w = 287,3 \text{ mm}$
- plocha svaru $A_w = l_w * t = 287,3 * 5,0 = 1436,5 \text{ mm}^2$

únosnost svaru

$$N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 1436,5 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 395,04 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 124,20 \text{ kN}$$

$$N_{c, Rd} = 0,85 * N_{t, Rd} = 0,85 * 395,04 = 336,03 \text{ kN} \leq N_{c, Ed} = 139,49 \text{ kN}$$

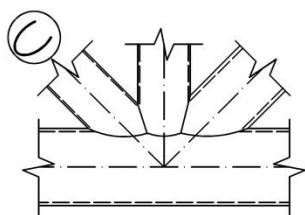
**Diagonála 1**

- $N_{t, Rd} = 124,67 \text{ kN}$
- $N_{c, Rd} = 167,65 \text{ kN}$
- délka křivky $l_w = 309,6 \text{ mm}$
- plocha svaru $A_w = l_w * t = 309,6 * 3,6 = 1114,56 \text{ mm}^2$

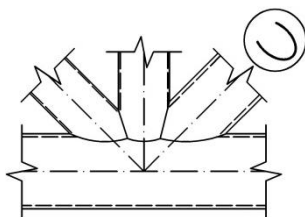
únosnost svaru

$$N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 1114,56 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 306,5 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 124,67 \text{ kN}$$

$$N_{c, Rd} = 0,85 * N_{t, Rd} = 0,85 * 306,5 = 260,53 \text{ kN} \leq N_{c, Ed} = 167,65 \text{ kN}$$

**Diagonála 2**

- $N_{t, Rd} = 112,56 \text{ kN}$
- $N_{c, Rd} = 307,32 \text{ kN}$
- délka křivky $l_w = 381,6 \text{ mm}$
- plocha svaru $A_w = l_w * t = 381,6 * 5,0 = 1908,0 \text{ mm}^2$



únosnost svaru

$$N_{t,Rd} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1908,0 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 524,7 \text{ kN} \leq N_{t,Ed} = 112,56 \text{ kN}$$

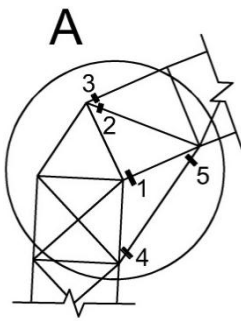
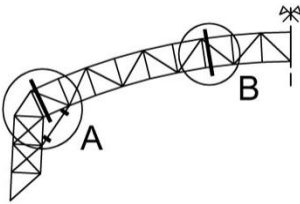
$$N_{c,Rd} = 0,85 \cdot N_{t,Rd} = 0,85 \cdot 524,7 = 446,0 \text{ kN} \leq N_{c,Ed} = 307,32 \text{ kN}$$

Závěr

Všechny svary příhradového rámu vyhovují na všechny uvažované účinky zatížení.

8.1.3 Montážní spoje

Montážní spoje jsou tvořeny tupými svary. Do trubek jsou vloženy další trubky sloužící jako podložky, aby zabránily prokapávání.

**Spoj A**

- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$

svar 1

- $N_{t,Ed} = 142,36 \text{ kN}$
- $A_w = 4229,8 \text{ mm}^2$
- $N_{t,Rd} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 4229,8 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 1162,37 \text{ kN}$
- $N_{t,Rd} = 1162,37 \text{ kN} \leq N_{t,Ed} = 142,36 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

svar 2

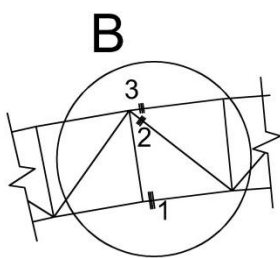
- $N_{t,Ed} = 125,20 \text{ kN}$
- $A_w = 1292,7 \text{ mm}^2$
- $N_{t,Rd} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1292,7 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 355,49 \text{ kN}$
- $N_{t,Rd} = 355,49 \text{ kN} \leq N_{t,Ed} = 125,20 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

svar 3

- $N_{t,Ed} = 362,71 \text{ kN}$
- $A_w = 2643,7 \text{ mm}^2$
- $N_{t,Rd} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2643,7 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 727,00 \text{ kN}$
- $N_{t,Rd} = 727,00 \text{ kN} \leq N_{t,Ed} = 362,71 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

svar 4, 5

- $N_{t,Ed} = 181,54 \text{ kN}$
- $A_w = 4229,8 \text{ mm}^2$
- $N_{t,Rd} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 4229,8 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 1162,37 \text{ kN}$
- $N_{t,Rd} = 1162,37 \text{ kN} \leq N_{t,Ed} = 181,54 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

**Spoj B**

- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$

svar 1

- $N_{t, Ed} = 232,44 \text{ kN}$
- $A_w = 2643,7 \text{ mm}^2$
- $N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 2643,7 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 727,00 \text{ kN}$
- $N_{t, Rd} = 727,00 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 232,44 \text{ kN} \dots \textbf{vyhoví}$

svar 2

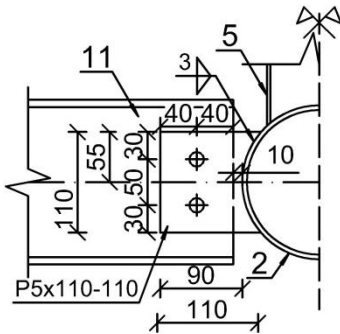
- $N_{t, Ed} = 144,93 \text{ kN}$
- $A_w = 1292,7 \text{ mm}^2$
- $N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 1292,7 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 355,49 \text{ kN}$
- $N_{t, Rd} = 355,49 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 144,93 \text{ kN} \dots \textbf{vyhoví}$

svar 3

- $N_{t, Ed} = 249,48 \text{ kN}$
- $A_w = 3331,0 \text{ mm}^2$
- $N_{t, Rd} = A_w * f_y / \gamma_{M0} = 3331,0 * 275 * 10^{-3} / 1,0 = 916,03 \text{ kN}$
- $N_{t, Rd} = 916,03 \text{ kN} \leq N_{t, Ed} = 249,48 \text{ kN} \dots \textbf{vyhoví}$

Závěr

Všechny montážní svary příhradového rámu vyhovují na všechny uvažované účinky.



8.2 Spoj příhradový rám – vaznice IPE 180

Vaznice je k příhradovému rámu připojena styčnickým plechem o tloušťce 5 mm. Plech je k příhradovému rámu přivařen dvojicí koutových svarů. K vaznici je plech připojen dvojicí šroubů M16.

Působící síly

- $N_{Ed} = -48,26 \text{ kN}$
- $V_{y, Ed} = 0,0 \text{ kN}$
- $V_{z, Ed} = 5,23 \text{ kN}$
- $\max N_{Ed} = 46,90 \text{ kN}$
- $F_{Ed} = (N_{Ed}^2 + V_{z, Ed}^2)^{0,5} = (48,26^2 + 5,23^2)^{0,5} = 48,54 \text{ kN}$

Návrh spoje

- šroub – 2x M16 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 16 \text{ mm}$, $d_0 = 18 \text{ mm}$, $A_s = 157 \text{ mm}^2$
- styčnický plech – $t = 5 \text{ mm}$; $l = 90 \text{ mm}$; $b = 110 \text{ mm}$;
 $A = 550 \text{ mm}^2$; $W_{el, y} = 10083,33 \text{ mm}^3$;
 $W_{el, z} = 458,33 \text{ mm}^3$
- vaznice IPE 180 - $t_w = 5,3 \text{ mm}$; ocel S235
- excentricita připojení $e = 50 \text{ mm}$
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

Šrouby ve smyku

únosnost ve stříhu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v, Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

$$F_{v, Rd} = 37,68 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 24,13 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

únosnost v otláčení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 40/3 \cdot 18 = 0,74; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,74$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (30/18) - 1,7 = 2,97; 2,5) = 2,5$

$$F_{b, Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 5}{1,25} = 50,19 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd} = 50,19 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 24,13 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Posouzení styčnickového plechu

$$V_{pl, Rd} = V_{pl, Rd, y} = V_{pl, Rd, z} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{550 \cdot 10^{-3} \cdot (275 / \sqrt{3})}{1,0} = 87,32 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl, Rd}} = \frac{5,23}{87,32} = 0,06 \leq 0,3 \text{ ...musí být splněna podmínka}$$

$$\sigma_{x, Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{V_{z, Ed} * e}{W_{el, y}} + \frac{V_{y, Ed} * e}{W_{el, z}} =$$

$$= \frac{48,26 * 10^3}{550} + \frac{5,23 * 10^3 * 50}{10083,33} + \frac{0 * 50}{458,33} = 113,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z, Ed} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) * \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{113,68}{275/1,0}\right)^2 + \left(\frac{0}{275/1,0}\right)^2 - \left(\frac{113,68}{275/1,0}\right) * \left(\frac{0}{275/1,0}\right) \leq 1,0$$

$$0,17 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

tah oslabeného plechu

$$A_{net} = (b - 2 * d_0) * t = (110 - 2 * 18) * 5 = 370 \text{ mm}^2$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 370 * 430 * 10^{-3}}{1,0} = 143,19 \text{ kN}$$

$$N_{u, Rd} = 143,19 \text{ kN} > \max N_{Ed} = 46,90 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – rám

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 110 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,5 * \left(\frac{N_{Ed}}{2 * a * l_{eff} * \sqrt{2}} + \frac{V_{z, Ed} * e}{2 * \frac{1}{6} * a * l_{eff}^2 * \sqrt{2}} \right) =$$

$$= 0,5 * \left(\frac{48,26 * 10^3}{2 * 3 * 110 * \sqrt{2}} + \frac{5,23 * 50 * 10^3}{2 * \frac{1}{6} * 3 * 110^2 * \sqrt{2}} \right) = 33,49 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,5 * \frac{V_{z, Ed}}{2 * a * l_{eff}} = 0,5 * \frac{5,23 * 10^3}{2 * 3 * 110} = 3,96 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$[33,49^2 + 3 * (33,49^2 + 3,96^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 * 1,25}$$

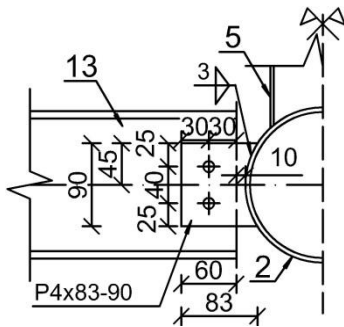
$$67,33 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 430}{1,25}$$

$$33,49 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj příhradový rám – vaznice IPE 180 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



8.3 Spoj příhradový rám – krátká vaznice IPE 160

Vaznice je k příhradovému rámu připojena styčnickým plechem o tloušťce 4 mm. Plech je k příhradovému rámu přivařen dvojicí koutových svarů.

Působící síly

- $N_{Ed} = -47,59 \text{ kN}$
- $V_{y, Ed} = 0,0 \text{ kN}$
- $V_{z, Ed} = 0,41 \text{ kN}$
- $\max N_{Ed} = 32,54 \text{ kN}$
- $F_{Ed} = (N_{Ed}^2 + V_{z, Ed}^2)^{0,5} = (47,59^2 + 0,41^2)^{0,5} = 47,59 \text{ kN}$

Návrh spoje

- šroub – 2x M12 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 12 \text{ mm}$, $d_0 = 13 \text{ mm}$, $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
- styčnický plech – $t = 4 \text{ mm}$; $l = 70 \text{ mm}$; $b = 90 \text{ mm}$;
 $A = 360 \text{ mm}^2$; $W_{el, y} = 5400,0 \text{ mm}^3$;
 $W_{el, z} = 240,0 \text{ mm}^3$
- vaznice IPE 160 - $t_w = 5,0 \text{ mm}$; ocel S235
- excentricita připojení $e = 40 \text{ mm}$
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

Šrouby ve smyku

únosnost ve střihu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v, Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 84,3}{1,25} = 40,46 \text{ kN}$$

$$F_{v, Rd} = 40,46 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 23,80 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

únosnost v otláčení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 30/3 \cdot 13 = 0,77; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,77$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (25/13) - 1,7 = 3,68; 2,5) = 2,5$

$$F_{b, Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 4}{1,25} = 31,79 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd} = 31,79 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 24,13 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Posouzení styčnickového plechu

$$V_{pl, Rd} = V_{pl, Rd, y} = V_{pl, Rd, z} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^{-3} \cdot (275 / \sqrt{3})}{1,0} = 57,16 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl, Rd}} = \frac{5,23}{57,16} = 0,09 \leq 0,3 \text{ ...musí být splněna podmínka}$$

$$\sigma_{x, Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{V_{z, Ed} * e}{W_{el, y}} + \frac{V_{y, Ed} * e}{W_{el, z}} =$$

$$= \frac{48,26 * 10^3}{360} + \frac{5,23 * 10^3 * 40}{5400} + \frac{0 * 40}{240} = 172,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z, Ed} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) * \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{172,80}{275/1,0}\right)^2 + \left(\frac{0}{275/1,0}\right)^2 - \left(\frac{172,80}{275/1,0}\right) * \left(\frac{0}{275/1,0}\right) \leq 1,0$$

$$0,39 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

tah oslabeného plechu

$$A_{net} = (b - 2 * d_0) * t = (90 - 2 * 13) * 4 = 256 \text{ mm}^2$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 256 * 430 * 10^{-3}}{1,0} = 99,07 \text{ kN}$$

$$N_{u, Rd} = 99,07 \text{ kN} > \max N_{Ed} = 32,54 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – rám

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 90 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,5 * \left(\frac{N_{Ed}}{2 * a * l_{eff} * \sqrt{2}} + \frac{V_{z, Ed} * e}{2 * \frac{1}{6} * a * l_{eff}^2 * \sqrt{2}} \right) =$$

$$= 0,5 * \left(\frac{47,59 * 10^3}{2 * 3 * 90 * \sqrt{2}} + \frac{0,41 * 40 * 10^3}{2 * \frac{1}{6} * 3 * 90^2 * \sqrt{2}} \right) = 31,87 \text{ MPa}$$

$$\tau_{||} = 0,5 * \frac{V_{z, Ed}}{2 * a * l_{eff}} = 0,5 * \frac{0,41 * 10^3}{2 * 3 * 90} = 0,38 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$[31,87^2 + 3 * (31,87^2 + 0,38^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 * 1,25}$$

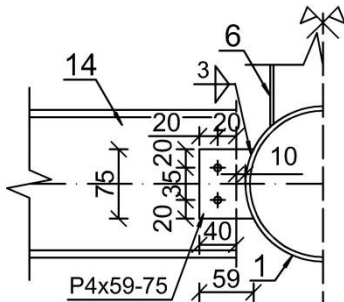
$$63,74 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 430}{1,25}$$

$$31,87 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj příhradový rám – krátká vaznice IPE 160 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



8.4 Spoj příhradový rám – paždík IPE 140

Paždík je k příhradovému rámu připojen styčnickovým plechem o tloušťce 4 mm. Plech je k příhradovému rámu přivařen dvojicí koutových svarů.

Působící síly

- $N_{Ed} = -11,68 \text{ kN}$
- $V_{y, Ed} = 0,0 \text{ kN}$
- $V_{z, Ed} = 9,73 \text{ kN}$
- $\max N_{Ed} = 8,01 \text{ kN}$
- $F_{Ed} = (N_{Ed}^2 + V_{z, Ed}^2)^{0,5} = (11,68^2 + 9,73^2)^{0,5} = 15,20 \text{ kN}$

Návrh spoje

- šroub – 2x M8 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 8 \text{ mm}$, $d_0 = 9 \text{ mm}$, $A_s = 36,6 \text{ mm}^2$
- styčnickový plech – $t = 4 \text{ mm}$; $l = 50 \text{ mm}$; $b = 75 \text{ mm}$;
 $A = 300 \text{ mm}^2$; $W_{el, y} = 3750,0 \text{ mm}^3$;
 $W_{el, z} = 200,0 \text{ mm}^3$
- vaznice IPE 160 - $t_w = 4,7 \text{ mm}$; ocel S235
- excentricita připojení $e = 30 \text{ mm}$; $e_t = t + t_w = 4 + 4,7 = 8,7 \text{ mm}$
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

Šrouby ve smyku

únosnost ve střihu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v, Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 36,6}{1,25} = 8,78 \text{ kN}$$

$$F_{v, Rd} = 8,78 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 7,60 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

únosnost v otláčení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 20/3 \cdot 9 = 0,74; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,74$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (20/11) - 1,7 = 4,52; 2,5) = 2,5$

$$F_{b, Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 4}{1,25} = 20,36 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd} = 20,36 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 7,60 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Posouzení styčnickového plechu

$$V_{pl, Rd} = V_{pl, Rd, y} = V_{pl, Rd, z} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{300 \cdot 10^{-3} \cdot (275 / \sqrt{3})}{1,0} = 47,63 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl, Rd}} = \frac{9,73}{47,63} = 0,20 \leq 0,3 \text{ ...musí být splněna podmínka}$$

$$\sigma_{x, Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{V_{z, Ed} * e}{W_{el, y}} + \frac{V_{y, Ed} * e}{W_{el, z}} =$$

$$= \frac{11,68 * 10^3}{300} + \frac{9,73 * 10^3 * 30}{3750} + \frac{0 * 30}{240} = 116,77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z, Ed} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) * \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{116,77}{275/1,0}\right)^2 + \left(\frac{0}{275/1,0}\right)^2 - \left(\frac{116,77}{275/1,0}\right) * \left(\frac{0}{275/1,0}\right) \leq 1,0$$

$$0,18 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

tah oslabeného plechu

$$A_{net} = (b - 2 * d_0) * t = (75 - 2 * 9) * 4 = 228 \text{ mm}^2$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 228 * 430 * 10^{-3}}{1,0} = 88,24 \text{ kN}$$

$$N_{u, Rd} = 88,24 \text{ kN} > \max N_{Ed} = 8,01 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – rám

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 75 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,5 * \left(\frac{N_{Ed}}{2 * a * l_{eff} * \sqrt{2}} + \frac{V_{z, Ed} * e}{2 * \frac{1}{6} * a * l_{eff}^2 * \sqrt{2}} \right) =$$

$$= 0,5 * \left(\frac{11,68 * 10^3}{2 * 3 * 75 * \sqrt{2}} + \frac{9,73 * 30 * 10^3}{2 * \frac{1}{6} * 3 * 75^2 * \sqrt{2}} \right) = 27,52 \text{ MPa}$$

$$\tau_{||} = 0,5 * \frac{V_{z, Ed}}{2 * a * l_{eff}} = 0,5 * \frac{9,73 * 10^3}{2 * 3 * 75} = 10,81 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$[27,52^2 + 3 * (27,52^2 + 10,81^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 * 1,25}$$

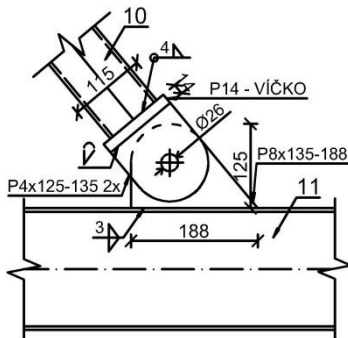
$$58,14 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 430}{1,25}$$

$$27,52 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj příhradový rám – pažník IPE 140 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



8.5 Spoj vaznice IPE 180 – závěs vaznice CHS 88,9/5,0

Závěs je k vaznici připojen styčnickovými plechy. K vaznici je plech přivařen dvojicí koutových svarů. K závěsu je přivařena čelní deska (víčko) koutovým svarem okolo trubky. K víčku jsou tupými svary přivařeny styčnickové plechy. Styčnickové plechy jsou spojeny jedním šroubem.

Působící síly

- $\max N_{Ed} = 58,14 \text{ kN}$
- $\max V_{y, Ed} = 9,12 \text{ kN}$
- $\max V_{z, Ed} = 5,17 \text{ kN}$
- $F_{Ed} = (N_{Ed}^2 + V_{y, Ed}^2 + V_{z, Ed}^2)^{0,5} = (58,14^2 + 9,12^2 + 5,17^2)^{0,5} = 59,07 \text{ kN}$

Návrh spoje

- šroub – M24 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 24 \text{ mm}$, $d_0 = 26 \text{ mm}$, $A_s = 353,0 \text{ mm}^2$
- styčnickový plech vaznice – $t = 8 \text{ mm}$; $l = 190 \text{ mm}$; $e_1 = 57,5 \text{ mm}$
 $A = 1520,0 \text{ mm}^2$; ocel S275
- čelní deska – $t = 14 \text{ mm}$; ocel S275
- 2 x styčnickový plech trubky – $t = 4 \text{ mm}$; $l = 115 \text{ mm}$; ocel S275
- vaznice IPE 180 – ocel S235
- závěs CHS 88,9/5,0 – ocel S235
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

Šroub ve smyku

únosnost ve stříhu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v, Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 353,0}{1,25} = 84,72 \text{ kN}$$

$$F_{v, Rd} = 84,72 \text{ kN} > F_{Ed} = 59,08 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

únosnost v otlačení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 57,5/3 \cdot 26 = 0,74; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,74$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (57,5/26) - 1,7 = 4,49; 2,5) = 2,5$

$$F_{b, Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 8}{1,25} = 122,19 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd} = 122,19 \text{ kN} > F_{Ed} = 59,08 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Tah oslabeného plechu

$$A_{net} = (l - d_0) \cdot t = (190 - 26) \cdot 8 = 1312,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 1312,0 \cdot 430 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 507,74 \text{ kN}$$

$$N_{u, Rd} = 507,74 \text{ kN} > \max N_{Ed} = 59,08 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj vaznice – styčnickový plech vaznice
koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 190 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{\text{Ed}}}{4 \cdot a \cdot l_{\text{eff}}} = \frac{59,08 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 190} = 25,91 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\text{Ed}}}{2 \cdot a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{59,08 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 190 \cdot \sqrt{2}} = 36,65 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[25,91^2 + 3 \cdot (25,91^2 + 36,65^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

$$81,94 \text{ MPa} \leq 360,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$25,91 \text{ MPa} \leq 259,20 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj závěs – čelní deskakoutový svar

- $a = 4 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 279 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{\text{Ed}}}{a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{59,08 \cdot 10^3}{4 \cdot 279 \cdot \sqrt{2}} = 37,43 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[37,43^2 + 3 \cdot (37,43^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

$$74,86 \text{ MPa} \leq 360,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

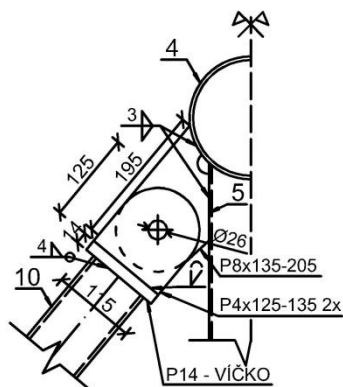
$$37,43 \text{ MPa} \leq 259,20 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj čelní deska – styčnickové plechy trubkytupý $\frac{1}{2}$ V svar s plným průvarem

- $l_{\text{eff}} = 115 \text{ mm}$
 - $t = 5 \text{ mm}$
 - $A_w = t \cdot l_{\text{eff}} = 5 \cdot 115 = 575,0 \text{ mm}^2$
- $$N_{t, \text{Rd}} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 575,0 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 158,13 \text{ kN}$$
- $$N_{t, \text{Rd}} = 158,13 \text{ kN} > F_{\text{Ed}} / 2 = 29,54 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj vaznice IPE 180 – závěs vaznice CHS 88,9/5,0 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



8.6 Spoj příhradový rám – závěs vaznice CHS 88,9/5,0

Spoj je proveden podobně jako spoj vaznice – závěs. Styčnickový plech je připojen k příhradovému rámu taktéž tupým $\frac{1}{2}$ V swarem s plným průvarem. Působící síla je takřka stejná. Z tohoto důvodu bude proveden posudek jen na připojení styčnickového plechu na příhradový rám.

Působící síly

- $\max N_{Ed} = 62,09 \text{ kN}$

Spoj rám – styčnickový plech

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 95 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{62,09 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 95} = 54,46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot \sqrt{2}} = \frac{62,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 95 \cdot \sqrt{2}} = 77,03 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[54,46^2 + 3 \cdot (54,46^2 + 77,03^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

$$172,23 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$54,46 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj příhradový rám – závěs vaznice CHS 88,9/5,0 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

$$\sigma_{x, Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{V_{z, Ed} * e}{W_{el, y}} + \frac{V_{y, Ed} * e + N_{Ed} * e_t}{W_{el, z}} =$$

$$= \frac{18,32 * 10^3}{840,0} + \frac{26,27 * 10^3 * 55}{16800,0} + \frac{(0,16 * 55 + 18,32 * 7,3) * 10^3}{980,0} = 245,09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z, Ed} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) * \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{245,09}{275/1,0} \right)^2 + \left(\frac{0}{275/1,0} \right)^2 - \left(\frac{245,09}{275/1,0} \right) * \left(\frac{0}{275/1,0} \right) \leq 1,0$$

$$0,79 \leq 1,0 \text{ ...vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – vaznice

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 120 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$
- $r = t + 2 * a * 2^{0,5} / 3 = 7 + 2 * 3 * 2^{0,5} / 3 = 5,2 \text{ mm}$
- $F_{M, Ed} = N_{Ed} * e_t / r + V_{y, Ed} * e / r = 18,32 * 7,3 / 5,2 + 0,16 * 55 / 5,2 = 27,41 \text{ kN}$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed} + V_{y, Ed} + F_{M, Ed}}{2 * a * l_{eff} * \sqrt{2}} + \frac{V_{z, Ed} * e}{2 * \frac{1}{6} * a * l_{eff}^2 * \sqrt{2}} =$$

$$= \frac{18,32 * 10^3 + 0,16 * 10^3 + 27,41 * 10^3}{2 * 3 * 120 * \sqrt{2}} + \frac{26,27 * 55 * 10^3}{2 * \frac{1}{6} * 3 * 120^2 * \sqrt{2}} = 116,02 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z, Ed}}{2 * a * l_{eff}} = \frac{26,27 * 10^3}{2 * 3 * 120} = 36,49 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$[116,02^2 + 3 * (116,02^2 + 36,49^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 * 1,25}$$

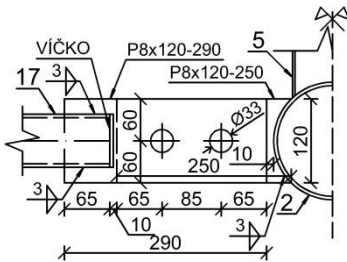
$$240,49 \text{ MPa} \leq 360,0 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 360}{1,25}$$

$$116,02 \text{ MPa} \leq 259,20 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj krátká vaznice IPE 160 – sloupek štítové stěny IPE 330 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



8.8 Spoj příhradový rám (vaznice) – ztužidlo CHS 76,1/5,0

Z důvodu stejných normálových sil na obou koncích ztužidel jsou spoje vaznice – ztužidlo stejné jako spoje příhradový rám – ztužidlo.

Na koncích trubek ztužidel jsou výřezy, do kterých jsou vsunuty styčnickové plechy, a ty jsou přivařeny k trubkám koutovými svary. Druhý styčnickový plech bude přivařen koutovými svary k dolnímu pásu příhradového rámu. Plechy jsou spojeny dvojicí šroubů. Styčnickový plech je k spodnímu pásu vaznice přivařen tupým X svarem.

Působící síly

- $\max N_{Ed} = 217,86 \text{ kN}$

Návrh spoje

- šroub – 2x M30 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 30 \text{ mm}$, $d_0 = 33 \text{ mm}$, $A_s = 561,0 \text{ mm}^2$
- styčnickový plech – $t = 8 \text{ mm}$; $b = 120 \text{ mm}$
 $A = 960,0 \text{ mm}^2$; ocel S275
- ztužidlo 76,1/5,0 – ocel S235 – $f_y = 235 \text{ MPa}$; $f_u = 360 \text{ MPa}$
- příhradový rám – ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$
- vaznice IPE 180 – $t_f = 8,0 \text{ mm}$; ocel S235

Šroub ve smyku

únosnost ve stříhu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 561,0}{1,25} = 134,64 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 134,64 \text{ kN} > N_{Ed}/2 = 108,93 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

únosnost v otláčení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 65/3 \cdot 33 = 0,66; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,66$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (60/33) - 1,7 = 3,82; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,66 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10}{1,25} = 170,28 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 170,28 \text{ kN} > F_{Ed}/2 = 108,93 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Tah oslabeného plechu

$$A_{net} = (b - d_0) \cdot t = (130 - 33) \cdot 8 = 776,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 776,0 \cdot 430 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 300,31 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 300,31 \text{ kN} > N_{Ed} = 217,86 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Tah oslabené trubky

$$A_{\text{net}} = A - [(t+1) \cdot t_{\text{chs}} \cdot 2] = 960,0 - [(8+1) \cdot 5 \cdot 2] = 870,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{u, \text{Rd}} = \frac{0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 870,0 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 281,80 \text{ kN}$$

$$N_{u, \text{Rd}} = 281,80 \text{ kN} > N_{\text{Ed}} = 217,86 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – rámkoutový svar

- $n = 2$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 134 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{\text{Ed}}}{2 \cdot a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{217,86 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 134 \cdot \sqrt{2}} = 194,52 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[194,52^2 + 3 \cdot (194,52^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

$$389,04 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$194,52 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – ztužidlokoutový svar

- $n = 4$
- $a = 3 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 65 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\text{Ed}}}{4 \cdot a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{217,86 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 60 \cdot \sqrt{2}} = 197,50 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[0^2 + 3 \cdot (0^2 + 197,50^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

$$342,08 \text{ MPa} \leq 360,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj styčnickový plech – vaznicetupý X svar

- $l_{\text{eff}} = 165 \text{ mm}$
- $A_w = t \cdot l_{\text{eff}} = 8,0 \cdot 165 = 1320,0 \text{ mm}^2$

$$N_{t, \text{Rd}} = A_w \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1320,0 \cdot 235 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 310,20 \text{ kN}$$

$$N_{t, \text{Rd}} = 310,20 \text{ kN} > N_{\text{Ed}} = 217,86 \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

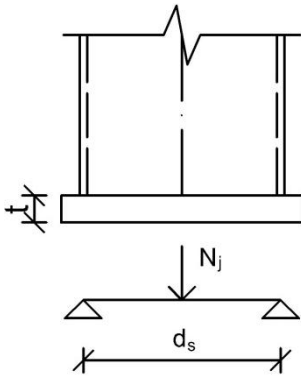
Navržený přípoj příhradový rám (vaznice) – ztužidlo CHS 76,1/5,0 vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

8.9 Spoj horní pás příhradového rámu – deska čepu**Působící síly**

- $N_{Ed} = -240,08 \text{ kN}$ – tlak
- $N_{Ed} = 229,39 \text{ kN}$ – tah

Návrh spoje

- horní pás příhradového rámu CHS 168,3/5,0 – ocel S275
- čelní deska – $t = 22 \text{ mm}$; ocel S275
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$
- $d_s = d - t_t = 168,3 - 5,0 = 163,3 \text{ mm}$

**Přepočet zatížení na 1 mm**

$$N_j = N_{Ed} / (\pi \cdot d_s) = 240,08 / (\pi \cdot 163,3) = 0,47 \text{ kN}$$

$$M_j = 1/4 \cdot N_j \cdot d_s = 1/4 \cdot 0,47 \cdot 163,3 = 19,19 \text{ kN}$$

$$W_j = 1/6 \cdot 1 \cdot t^2 = 1/6 \cdot 1 \cdot 22^2 = 80,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_j = M_j / W_j = 19,19 \cdot 10^3 / 80,67 = 237,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = 237,88 \text{ MPa} \leq f_y = 275,0 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj horní pás rámu – čelní deskakoutový svar

- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 528 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot l_{eff} \cdot \sqrt{2}} = \frac{229,39 \cdot 10^3}{5 \cdot 528 \cdot \sqrt{2}} = 61,44 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[61,44^2 + 3 \cdot (61,44^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

$$122,88 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$61,44 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj deska čepu – čelní deskakoutový svar

- $n = 2$
- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 168 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{229,39 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} = 96,55 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[96,55^2 + 3 \cdot (96,55^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

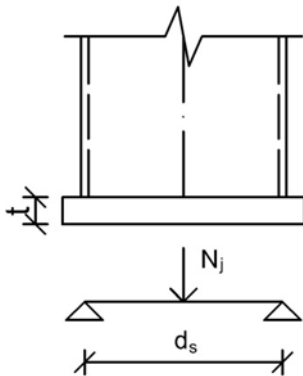
$$193,10 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$96,55 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj horní pás příhradového rámu – deska čepu vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

8.10 Spoj diagonála příhradového rámu – deska čepu**Působící síly**

- $N_{Ed} = -514,57 \text{ kN}$ – tlak
- $N_{Ed} = 280,82 \text{ kN}$ – tah

Návrh spoje

- diagonála příhradového rámu CHS 139,7/8,0 – ocel S275
- čelní deska – $t = 30 \text{ mm}$; ocel S275
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$
- $d_s = d - t_t = 139,7 - 8,0 = 131,7 \text{ mm}$

Přepočet zatížení na 1 mm

$$N_i = N_{Ed} / (\pi \cdot d_s) = 514,57 / (\pi \cdot 131,7) = 1,24 \text{ kN}$$

$$M_j = 1/4 \cdot N_i \cdot d_s = 1/4 \cdot 1,24 \cdot 131,7 = 40,83 \text{ kN}$$

$$W_j = 1/6 \cdot 1 \cdot t^2 = 1/6 \cdot 1 \cdot 30^2 = 150,0 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_j = M_i / W_i = 40,83 \cdot 10^3 / 150,0 = 272,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j = 272,2 \text{ MPa} \leq f_y = 275,0 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj diagonála rámu – čelní deskakoutový svar

- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 438 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{280,82 \cdot 10^3}{5 \cdot 438 \cdot \sqrt{2}} = 90,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[90,67^2 + 3 \cdot (90,67^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

$$181,34 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$90,67 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Spoj deska čepu – čelní deskakoutový svar

- $n = 2$
- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{\text{eff}} = 139 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot l_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{280,82 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 139 \cdot \sqrt{2}} = 142,86 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[142,86^2 + 3 \cdot (142,86^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

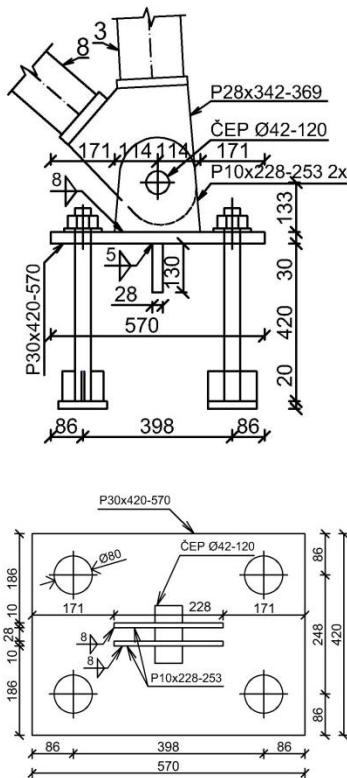
$$285,72 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$142,86 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj diagonála příhradového rámu – deska čepu vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



9. Kotvení

9.1 Příhradový rám

Působící síly

- nejnamáhanější patka
- $R_x = 397,82 \text{ kN}$
- $R_z = 509,18 \text{ kN}$
- $F_{Ed} = (R_x^2 + R_z^2)^{0,5} = (397,82^2 + 509,18^2)^{0,5} = 646,16 \text{ kN}$
- maximální hodnoty $R_x = 458,90 \text{ kN}$; $R_z = -369,30 \text{ kN}$

9.1.1 Čepový spoj

Návrh čepu

- čep – $d = 56 \text{ mm}$; $d_0 = 59 \text{ mm}$; $A = 2551,76 \text{ mm}^2$;
 $W_{el} = 18181,28 \text{ mm}^3$; ocel S275 – $f_{yp} = 255 \text{ MPa}$; $f_{up} = 410 \text{ MPa}$
- desky čepového spoje – $t = 28 \text{ mm}$; $2 \times t_1 = 10 \text{ mm}$
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

$$a = 83 \text{ mm} \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{646,16 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 28 \cdot 275} + \frac{2 \cdot 60}{3} = 82,0 \text{ mm}$$

$$c = 83 \text{ mm} \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{646,16 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 28 \cdot 275} + \frac{60}{3} = 62,0 \text{ mm}$$

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot f_{up} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 2551,76 \cdot 410 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 502,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 502,18 \text{ kN} > F_{v,Ed} / 2 = 323,08 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 28 \cdot 56 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1,0 = 658,35 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 658,35 \text{ kN} > F_{b,Ed} = 646,16 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 18181,28 \cdot 255 \cdot 10^{-6} / 1,0 = 7,50 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = (F_{Ed} / 8) \cdot (b + 4c + 2a) = (646,16 / 8) \cdot (28 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 10) \cdot 10^{-3} = 4,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 7,50 \text{ kNm} > M_{Ed} = 4,25 \text{ kNm} \dots \text{vyhoví}$$

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{4,25}{7,50} \right]^2 + \left[\frac{323,08}{502,18} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,74 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Spoj deska čepu – patní deska

- $F_{Ed} = R_x/2 = 458,90/2 = 229,45 \text{ kN}$
- $e = 123 \text{ mm}$
- $M_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 229,45 \cdot 0,133 = 30,52 \text{ kNm}$

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 8 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 227 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,85$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l_{eff}^2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{30,52 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 227^2 \cdot \sqrt{2}} = 157,05 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{229,45 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 227} = 63,17 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[157,05^2 + 3 \cdot (157,05^2 + 63,17^2)]^{0,5} \leq \frac{430}{0,85 \cdot 1,25}$$

$$332,61 \text{ MPa} \leq 404,71 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 430}{1,25}$$

$$157,05 \text{ MPa} \leq 309,60 \text{ MPa} \text{ ...vyhoví}$$

Závěr

Navržený čepový spoj vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

9.1.2 Patka**Návrh patky**

- patní deska – $a = 570 \text{ mm}$; $b = 420 \text{ mm}$; $t = 30 \text{ mm}$; ocel S275
- kotevní šrouby – 4x M42 – $d = 42 \text{ mm}$; $D = 45 \text{ mm}$; $A_s = 1108 \text{ mm}^2$
- základová patka – $a_1 = b_1 = h = 1000 \text{ mm}$; beton C20/25
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$
- pevnostní třída 5.6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
- beton C20/25 - $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$; $\gamma_c = 1,5$

$$a_1 = \min(a + 2a_r; 5a; a + h; 5b_1) =$$

$$= \min(570 + 2 \cdot 215; 5 \cdot 570; 570 + 1000; 5 \cdot 1000)$$

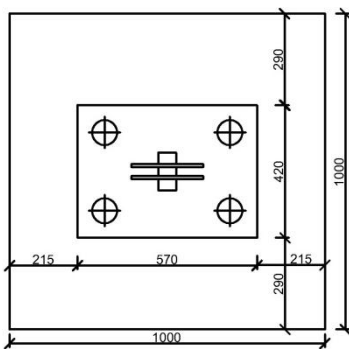
$$= \min(1000; 2850; 1570; 5000) = 1000 \text{ mm} \geq a = 570 \text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$b_1 = \min(b + 2b_r; 5b; b + h; 5a_1) =$$

$$= \min(420 + 2 \cdot 290; 5 \cdot 420; 420 + 1000; 5 \cdot 1000)$$

$$= \min(1000; 2100; 1420; 5000) = 1000 \text{ mm} \geq b = 420 \text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$k_j = (a_1 \cdot b_1 / a \cdot b)^{0,5} = (1000 \cdot 1000 / 570 \cdot 420)^{0,5} = 2,04$$



$$f_{jd} = 0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,67 \cdot 2,04 \cdot 20 / 1,5 = 18,2 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot (f_y / 3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})^{0,5} = 30 \cdot (235 / 3 \cdot 18,2 \cdot 1,0)^{0,5} = 69 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = l_{eff} \cdot b_{eff} = 352 \cdot 172 = 60544 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost tlačené patkybeton

$$F_{C, Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 60544 \cdot 18,2 \cdot 10^{-3} = 1101,91 \text{ kN} \geq R_z = 359,30 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

ocel

$$A = l_1 \cdot 2 \cdot t_1 = 0,228 \cdot 2 \cdot 0,01 = 4,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd, y} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 4,56 \cdot 275 / 1,0 = 1254,0 \text{ kN} \geq R_z = 359,30 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Podlití

$$t_p = 30 \text{ mm} < \min(a; b) = \min(570; 420) = 420 \text{ mm} \dots \text{vyhoví}$$

- minimální pevnostní třída malty C25/30

Kotevní šroubyúčinná délka T - profilu

$$m = 85 \text{ mm}; e = 86 \text{ mm}; w = 248 \text{ mm}; b_p = 420 \text{ mm}; \alpha = 5,75$$

$$l_{eff,1} = \min(2\pi m; \pi m + w; \pi m + 2e; 2\pi m; 4m + 1,25e; e + 2m + 0,625e;$$

$$0,5b_p; 0,5w + 2m + 0,625e; \alpha m) =$$

$$= \min(534; 515; 439; 534; 448; 310; 210; 398; 489; 448) = 210 \text{ mm}$$

účinná délka šroubu

$$L_b = 8 \cdot D + t_p + t + h_m / 2 + h_p = 8 \cdot 45 + 30 + 30 + 34 / 2 + 10 = 447 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_s}{\sum l_{eff,1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 85^3 \cdot 1108}{210 \cdot 30^3} = 1056 \text{ mm}$$

$$L_b = 447 \text{ mm} \leq L_b^* = 1056 \text{ mm} \dots \text{mohou vzniknout páčící síly}$$

návrhová únosnost náhradního T profilu

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 0,21 \cdot 0,03^2 \cdot 275 \cdot 10^3 / 1,0 =$$

$$= 12,99 \text{ kNm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,1} = 210 \text{ mm}; M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 12,99 \text{ kNm}$$

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 500 \cdot 1108 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 398,88 \text{ kN}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 12,99 / 0,085 = 611,29 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 12,99 + 0,086 \cdot 2 \cdot 398,88}{0,085 + 0,086} = 553,14 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 398,88 = 797,76 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(611,29; 553,14; 797,76) =$$

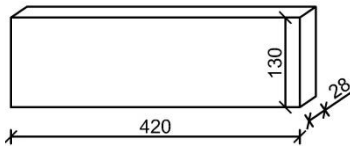
$$= 553,14 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 553,14 \text{ kN} \geq R_z = 509,18 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 65 \cdot 10 \cdot 430 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 421,48 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 421,48 \text{ kN} \geq R_z / 2 = 254,59 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

**Smyková zarážka**

Je uvažováno přenesení vodorovné reakce do základu pouze smykovou zarážkou. Přenos třením není uvažován.

- plech – $t_z = 28$ mm; $h = 130$ mm; $l = 420$ mm $W_{pl,y} = 8,23 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$
- ocel S235 – $f_y = 235$ MPa; $f_u = 360$ MPa

působící síla

- $R_x = 458,90$ kN

únosnost smykové zarážky

$$M_{Ed} = (t_p + h'/2) \cdot R_x \cdot l = (0,03 + 0,1/2) \cdot 458,90 \cdot 0,42 = 15,42 \text{ kNm}$$

$$\sigma = M_{Ed} / W_{pl,y} = 15,42 \cdot 10^{-3} / 8,23 \cdot 10^{-5} = 186,91 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 186,91 \text{ MPa} \leq f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1,0 = 235,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

únosnost betonu v tlaku

$$A_{cc} = l \cdot (h - t_p) = 0,42 \cdot (0,13 - 0,03) = 0,042 \text{ m}^2$$

$$F_{cc,Rd} = A_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,042 \cdot 20 \cdot 10^3 / 1,5 = 560,0 \text{ kN}$$

$$F_{cc,Rd} = 560,0 \text{ kN} \geq R_x = 458,90 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj patní deska – smyková zarážka

- $F_{H,Ed} = R_x / 2 = 458,90 / 2 = 229,45$ kN
- $e = 65$ mm
- $M_{Ed} = F_{H,Ed} \cdot e = 229,45 \cdot 0,065 = 14,91$ kNm
- $F_{V,Ed} = M_{Ed} / t_z = 14,91 \cdot 10^3 / 28 = 532,5$ kN

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 5$ mm
- $l_{eff} = 420$ mm
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{H,Ed} + F_{V,Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot \sqrt{2}} = \frac{229,45 \cdot 10^3 + 532,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 420 \cdot \sqrt{2}} = 128,28 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[128,28^2 + 3 \cdot (128,28^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

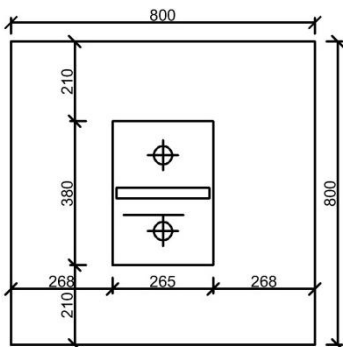
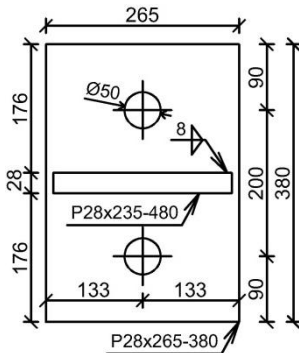
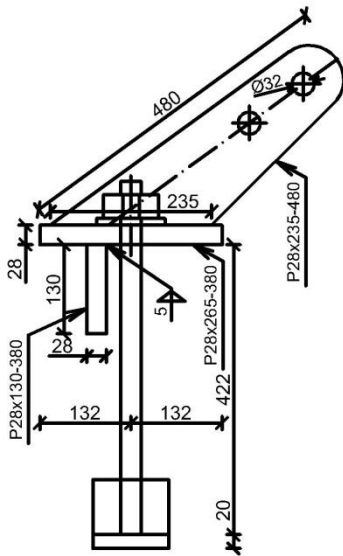
$$256,56 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$38,63 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Navržená patka i celé kotvení příhradového rámu vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



9.2 Ztužidlo

Působící síly

- nejnamáhanější ztužidlo
- $N_{Ed} = 228,00 \text{ kN}$
- $\alpha = 36^\circ$
- $F_{H, Ed} = \cos \alpha * N_{Ed} = \cos 36 * 228,00 = 184,46 \text{ kN}$
- $F_{V, Ed} = \sin \alpha * N_{Ed} = \sin 36 * 228,00 = 134,02$

Návrh patky

- patní deska – $a = 380 \text{ mm}$; $b = 265 \text{ mm}$; $t = 30 \text{ mm}$; ocel S275
- kotevní šrouby – 2x M30 – $d = 30 \text{ mm}$; $D = 32 \text{ mm}$; $A_s = 561 \text{ mm}^2$
- základová patka – $a_1 = b_1 = h = 800 \text{ mm}$; beton C16/20
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$
- pevnostní třída 5.6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
- beton C16/20 – $f_{ck} = 16 \text{ MPa}$; $\gamma_c = 1,5$

$$a_1 = \min(a + 2a_r; 5a; a + h; 5b_1) = \min(380 + 2 * 210; 5 * 380; 380 + 800; 5 * 800) = \min(800; 1900; 1180; 4000) = 800 \text{ mm} \geq a = 380 \text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$b_1 = \min(b + 2b_r; 5b; b + h; 5a_1) = \min(265 + 2 * 267,5; 5 * 265; 265 + 800; 5 * 800) = \min(800; 1325; 1065; 4000) = 800 \text{ mm} \geq b = 265 \text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

$$k_j = (a_1 * b_1 / a * b)^{0,5} = (800 * 800 / 380 * 265)^{0,5} = 2,52$$

$$f_{jd} = 0,67 * k_j * f_{ck} / \gamma_c = 0,67 * 2,52 * 16 / 1,5 = 18,0 \text{ MPa}$$

$$c = t * (f_y / 3 * f_{jd} * \gamma_{M0})^{0,5} = 30 * (275 / 3 * 18,0 * 1,0)^{0,5} = 62,6 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = l_{eff} * b_{eff} = 239 * 138 = 32982 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost tlačené patky

beton

$$F_{C, Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 32982 * 18,0 * 10^{-3} = 593,68 \text{ kN} \geq F_{V, Ed} = 134,0 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

ocel

$$A = l_1 * t_1 = 0,239 * 0,028 = 3,01 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd, y} = A * f_y / \gamma_{M0} = 3,01 * 275 / 1,0 = 827,75 \text{ kN} \geq F_{V, Ed} = 134,0 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Podlití

$$t_p = 30 \text{ mm} < \min(a; b) = \min(380; 265) = 265 \text{ mm} \text{ ...vyhoví}$$

- minimální pevnostní třída malty C20/25

Kotevní šroubyúčinná délka T - profilu

$$m = 86 \text{ mm}; e = 90 \text{ mm}; w = 200 \text{ mm}; b_p = 265 \text{ mm}; \alpha = 5,75$$

$$l_{\text{eff},1} = \min (2\pi m; \pi m + w; \pi m + 2e; 2\pi m; 4m + 1,25e; e + 2m + 0,625e; 0,5b_p; 0,5w + 2m + 0,625e; \alpha m) =$$

$$= \min (540; 470; 450; 540; 457; 318; 133; 328; 495) = 133 \text{ mm}$$

účinná délka šroubu

$$L_b = 8 \cdot D + t_p + t + h_m / 2 + h_p = 8 \cdot 32 + 30 + 30 + 24 / 2 + 10 = 338 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_s}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 85^3 \cdot 561}{133 \cdot 30^3} = 874 \text{ mm}$$

$$L_b = 338 \text{ mm} \leq L_b^* = 874 \text{ mm} \dots \text{mohou vzniknout páčící síly}$$

návrhová únosnost náhradního T profilu

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 0,133 \cdot 0,03^2 \cdot 275 \cdot 10^3 / 1,0 =$$

$$= 8,04 \text{ kNm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},1} = 133 \text{ mm}; M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 8,04 \text{ kNm}$$

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 500 \cdot 561 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 201,96 \text{ kN}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 8,04 / 0,086 = 373,75 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 8,04 + 0,09 \cdot 2 \cdot 201,96}{0,085 + 0,09} = 299,62 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 201,96 = 403,92 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min (373,75; 299,62; 403,92) =$$

$$= 299,62 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 299,62 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 228,00 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 46 \cdot 10 \cdot 430 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 298,28 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 298,28 \text{ kN} \geq N_{Ed} / 2 = 114,0 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

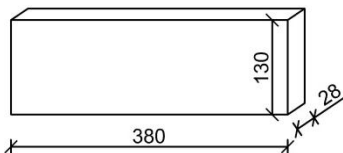
Smyková zarážka

Je uvažováno přenesení vodorovné reakce do základu pouze smykovou zarážkou. Přenos třením není uvažován.

- plech – $t_z = 28 \text{ mm}$; $h = 130 \text{ mm}$; $l = 380 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 7,45 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$
- ocel S235 – $f_y = 235 \text{ MPa}$; $f_u = 360 \text{ MPa}$

působící síla

- $F_{H,Ed} = 184,46 \text{ kN}$



únosnost smykové zarážky

$$M_{Ed} = (t_p + h'/2) \cdot F_{H, Ed} \cdot l = (0,03 + 0,1/2) \cdot 184,46 \cdot 0,38 = 5,61 \text{ kNm}$$

$$\sigma = M_{Ed} / W_{pl, y} = 5,61 \cdot 10^{-3} / 7,45 \cdot 10^{-5} = 75,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 75,3 \text{ MPa} \leq f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1,0 = 235,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

únosnost betonu v tlaku

$$A_{cc} = l \cdot (h - t_p) = 0,38 \cdot (0,13 - 0,03) = 0,038 \text{ m}^2$$

$$F_{cc, Rd} = A_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,038 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 405,33 \text{ kN}$$

$$F_{cc, Rd} = 405,33 \text{ kN} \geq F_{H, Ed} = 184,46 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

Spoj patní deska – smyková zarážka

- $F_{H, Ed} / 2 = 184,46 / 2 = 92,23 \text{ kN}$
- $e = 65 \text{ mm}$
- $M_{Ed} = F_{H, Ed} \cdot e = 92,23 \cdot 0,065 = 5,99 \text{ kNm}$
- $F_{V, Ed} = M_{Ed} / t_z = 5,99 \cdot 10^3 / 28 = 213,93 \text{ kN}$

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 380 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{H, Ed} + F_{V, Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot \sqrt{2}} = \frac{92,23 \cdot 10^3 + 213,93 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 380 \cdot \sqrt{2}} = 56,97 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[56,97^2 + 3 \cdot (56,97^2 + 0^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

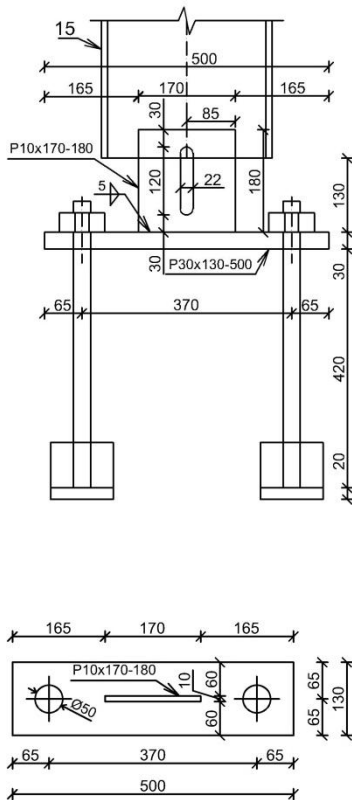
$$113,94 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$56,97 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Navržené kotvení ztužidla vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.



9.3 Sloupek čelní stěny

Působící síly

- $\max R_y = 38,32 \text{ kN}$
- $\max R_x = 0,28 \text{ kN}$
- $\max R_z = 0,0 \text{ kN}$

9.3.1 Spoj sloupek čelní stěny – patní deska

Návrh spoje

- šroub – M20 – pevnostní třída 5,6; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$;
 $d = 20 \text{ mm}$, $d_0 = 22 \text{ mm}$, $A_s = 245,0 \text{ mm}^2$
- styčnickový plech – $t = 10 \text{ mm}$; $l = 180 \text{ mm}$; $b = 170 \text{ mm}$;
 $l_0 = 120 \text{ mm}$; $A = 1700 \text{ mm}^2$
- patní deska – $t_d = 30 \text{ mm}$
- ocel S275 – $f_y = 275 \text{ MPa}$; $f_u = 430 \text{ MPa}$

Únosnost čepu ve střihu

- $\alpha_v = 0,6$...pro třídu 5,6

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 245,0}{1,25} = 58,80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 58,80 \text{ kN} > R_x = 38,32 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Únosnost plechu a šroubu v otláčení

- $\alpha_b = \min(e_1/3d_0 = 30/3 \cdot 22 = 0,45; f_{ub}/f_u = 500/430 = 1,16; 1,0) = 0,45$
- $k_1 = \min(2,8(e_2/d_0) - 1,7 = 2,8 \cdot (30/22) - 1,7 = 2,12; 2,5) = 2,12$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 430 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10}{1,25} = 65,64 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 65,64 \text{ kN} > R_x = 38,32 \text{ kN} \text{ ...vyhoví}$$

Svar sloupek – patní deska

- $F_{Ed} = R_y = 38,32 \text{ kN}$
- $e = 139 \text{ mm}$
- $M_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 38,32 \cdot 0,139 = 5,33 \text{ kNm}$

koutový svar

- $n = 2$
- $a = 5 \text{ mm}$
- $l_{eff} = 170 \text{ mm}$
- $\beta_w = 0,80$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot I_{eff}^2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{5,33 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 170^2 \cdot \sqrt{2}} = 78,25 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_y}{2 \cdot a \cdot I_{eff}} = \frac{38,32 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 170} = 22,54 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_W \cdot \gamma_{M2}}$$

$$[78,25^2 + 3 \cdot (78,25^2 + 22,54^2)]^{0,5} \leq \frac{360}{0,80 \cdot 1,25}$$

$$161,30 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$78,25 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

Závěr

Navržený přípoj sloupek čelní stěny – patní deska vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

9.3.2 Patka

Návrh patky

- patní deska – a = 500 mm; b = 130 mm; t = 30 mm; ocel S275
- kotevní šrouby – 2x M30 – d = 30 mm; D = 32 mm; A_s = 561 mm²
- základová patka – a₁ = b₁ = h = 800 mm; beton C16/20
- ocel S275 – f_y = 275 MPa; f_u = 430 MPa
- pevnostní třída 5.6; f_{yb} = 300 MPa, f_{ub} = 500 MPa;
- beton C16/20 – f_{ck} = 16 MPa; γ_c = 1,5

$$\begin{aligned} a_1 &= \min(a + 2a_r; 5a; a + h; 5b_1) = \\ &= \min(500 + 2 \cdot 150; 5 \cdot 500; 500 + 800; 5 \cdot 800) \\ &= \min(800; 2500; 1300; 4000) = 800 \text{ mm} \geq a = 500 \text{ mm} \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 &= \min(b + 2b_r; 5b; b + h; 5a_1) = \\ &= \min(130 + 2 \cdot 335; 5 \cdot 130; 130 + 800; 5 \cdot 800) \\ &= \min(800; 650; 930; 4000) = 650 \text{ mm} \geq b = 130 \text{ mm} \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$$k_j = (a_1 \cdot b_1 / a \cdot b)^{0,5} = (800 \cdot 650 / 450 \cdot 130)^{0,5} = 2,98$$

$$f_{jd} = 0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,67 \cdot 2,98 \cdot 16 / 1,5 = 21,3 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot (f_y / 3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})^{0,5} = 30 \cdot (235 / 3 \cdot 21,3 \cdot 1,0)^{0,5} = 57,5 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = I_{eff} \cdot b_{eff} = 285 \cdot 125 = 35625 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost tlačené patky

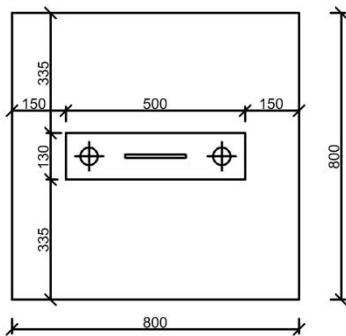
beton

$$F_{C, Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 35625 \cdot 21,3 \cdot 10^{-3} = 758,81 \text{ kN} \geq R_y = 38,32 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

ocel

$$A = b \cdot t_1 = 0,17 \cdot 0,01 = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd, y} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,17 \cdot 275 / 1,0 = 46,75 \text{ kN} \geq R_y = 38,32 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$



Podlití

$t_p = 30 \text{ mm} < \min(a; b) = \min(470; 130) = 130 \text{ mm} \dots \text{vyhoví}$

- minimální pevnostní třída malty C20/25

Kotevní šroubyúčinná délka T - profilu

$m = 85 \text{ mm}; e = 65 \text{ mm}; w = 340 \text{ mm}; b_p = 470 \text{ mm}; \alpha = 5,75$

$l_{eff,1} = \min(2\pi m; \pi m + w; \pi m + 2e; 2\pi m; 4m + 1,25e; e + 2m + 0,625e; 0,5b_p; 0,5w + 2m + 0,625e; \alpha m) =$

$= \min(534; 607; 397; 534; 421; 235; 235; 381; 489) = 235 \text{ mm}$

účinná délka šroubu

$L_b = 8 \cdot D + t_p + t + h_m/2 + h_p = 8 \cdot 32 + 30 + 30 + 24/2 + 10 = 338 \text{ mm}$

$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_s}{\sum l_{eff,1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 85^3 \cdot 561}{235 \cdot 30^3} = 478 \text{ mm}$

$L_b = 338 \text{ mm} \leq L_b^* = 478 \text{ mm} \dots \text{mohou vzniknout páčící síly}$

návrhová únosnost náhradního T profilu

$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 0,235 \cdot 0,03^2 \cdot 275 \cdot 10^3 / 1,0 =$
 $= 14,54 \text{ kNm}$

$l_{eff,2} = l_{eff,1} = 235 \text{ mm}; M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 14,54 \text{ kNm}$

$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 500 \cdot 561 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 201,96 \text{ kN}$

$F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 14,54 / 0,085 = 684,24 \text{ kN}$

$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 14,54 + 0,065 \cdot 2 \cdot 201,96}{0,085 + 0,065} = 368,90 \text{ kN}$

$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 201,96 = 403,92 \text{ kN}$

$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(684,24; 368,90; 403,92) =$
 $= 368,90 \text{ kN}$

$F_{T,Rd} = 368,90 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 38,32 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

únosnost v protlačení

$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 46 \cdot 10 \cdot 430 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 298,28 \text{ kN}$

$B_{p,Rd} = 298,28 \text{ kN} \geq N_{Ed} / 2 = 19,16 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

Přenos vodorovné síly

Smykovou sílu přenesou 1 šroub nezatížený tahem.

$F_{Rd} = 0,375 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,375 \cdot 500 \cdot 10 \cdot 561 \cdot 10^{-3} / 1,25 = 84,15 \text{ kN}$

$F_{Rd} = 84,15 \text{ kN} \geq R_y = 38,32 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$

Závěr

Navržené kotvení sloupku čelní stěny vyhovuje na všechny uvažované účinky zatížení.

10. Výkaz materiálu

číslo	profil	délka [m]	jednotková hmotnost [kg/m]	celková hmotnost [kg]	třída	umístění
1	CHS 168,3/8,0	252,9	31,6	7991,64	S275	Dolní pás rámu
2	CHS 168,3/5,0	253,8	20,2	5126,76	S275	Dolní pás rámu
3	CHS 168,3/5,0	436,92	20,2	8825,78	S275	Horní pás rámu
4	CHS 168,3/6,3	133,25	25,2	3357,90	S275	Horní pás rámu
5	CHS 114,3/3,6	410,4	9,8	4021,92	S275	Svislice rámu
6	CHS 114,3/5,0	129,6	13,5	1749,60	S275	Svislice rámu
7	CHS 114,3/3,6	608,25	9,8	5960,85	S275	Diagonála rámu
8	CHS 139,7/8,0	304,0	26,0	7904,00	S275	Diagonála rámu
9	CHS 168,3/8,0	71,86	31,6	2270,78	S275	Zesílení rohu rámu
10	CHS 88,9/5,0	1518,32	10,4	15790,53	S275	Závěs vaznice
11	IPE 180	1368,0	18,8	25718,40	S235	Vaznice
12	HEA 160	144,0	30,5	4392,00	S235	Okapová vaznice
13	IPE 160	100,0	15,8	1580,00	S235	Krátká vaznice
14	IPE 140	288,0	12,9	3715,20	S235	Paždík
15	IPE 330	166,03	49,1	8152,07	S235	Sloupek čelní stěny
16	HEB 180	220,77	51,2	11303,42	S235	Paždík čelní stěny
17	CHS 76,1/5,0	456,7	8,8	4018,96	S235	Ztužidlo
18	R 14	1463,7	1,2	1756,44	S235	Táhlo
19	R 20	112,6	2,5	281,50	S235	Táhlo - krajní

ZÁVĚR

Ze dvou variant byla zvolena varianta B, která je tvořena pomocí dvoukloubových příhradových rámců. Následně byl u této varianty proveden statický výpočet, ve kterém nosná konstrukce ve všech uvažovaných bodech vyhověla.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód 0. *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1. *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1. *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2005
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1. *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2007
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: ČNI, 2008
- [7] ČSN 01 3483. *Výkresy stavebních konstrukcí – Výkresy kovových konstrukcí*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987
- [8] WALD, František. *Prvky ocelových konstrukcí: příklady podle Eurokódu*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 159 s. ISBN 80-010-2722-8.
- [9] MACHÁČEK, Josef. *Ocelové konstrukce 2*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 152 s. ISBN 80-010-3174-8.
- [10] STUDNIČKA, Jiří; MACHÁČEK, Josef. *Ocelové konstrukce 20*. Praha : ČVUT, 2002.
- [11] VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 20 : Projekt, haly*. Praha : ČVUT, 2003.
- [12] LAŠTOVIČKA, Ondřej. *Nosná konstrukce jízďárny*. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.
- [13] VRANÝ, Tomáš a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 53 s. ISBN 80-010-3140-3.
- [14] NEUFERT, Ernst. *Neufert: Navrhování staveb*. 2. české vyd., (35. něm. vyd.). Praha: Consultinvest, 2000, 618 s. ISBN 80-901-4866-2.
- [15] STACHEMA KOLÍN, spol. s r. o. [online]. Kolín, © 2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.stachema.cz/0/index.php>
- [16] EQUICHANNEL.cz - koně - největší český web o koních a jezdeckví [online]. (c) 1997 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.equichannel.cz/>
- [17] Jezdecké stavby, stavební firma, koně, stáje, jízdárenské povrchy, hala, stáj, equo-flex [online]. 2004 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.jezdeckestavby.cz/index.php?id=homepage>
- [18] Stavba jízďáren [online]. 2005 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://stavbajizdaren.cz/>
- [19] LANITPLAST - Váš dodavatel polykarbonátu a plexiskla [online]. © 2009- [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.lanitplast.cz/>
- [20] Kingspan [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.kingspan.cz/>

SEZNAM PŘÍLOH:

- IV. Příloha statického výpočtu
- V. Výkaz materiálu
- VI. Specializace z oboru pozemních staveb
- VII. Výkresová dokumentace