

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Specializace: Pozemní stavby



Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu

Temporary steel structure of the airport terminal

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Robin Pospíšil
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.
Rok: 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pospíšil** Jméno: **Robin** Osobní číslo: **501695**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu

Název bakalářské práce anglicky:

Temporary steel structure of the airport terminal

Pokyny pro vypracování:

Návrh hlavních prvků nosné konstrukce, vybraných přípojí a detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohled, vybrané detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D. katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSV

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

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

Robin Pospíšil

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Břetislavu Židlickému, Ph.D. za jeho cenné rady, vedení a za to, že si vždy našel čas se mnou práci kvalitně konzultovat.

Velké díky také patří mým kolegům Ing. Petrovi Otáhalovi a Ing. Ondřejovi Cehovi za jejich čas a ochotu se mnou problematiku konzultovat. Mé poděkování patří také celé mé rodině a mé přítelkyni Bc. Sáře Haukeové za podporu při studiu. V neposlední řadě děkuji svým spolubydlícím Bc. Jakobovi Kuchejdovi a Bc. Marošovi Popovičovi, za odreagování při studiu na fakultě stavební ČVUT.

Robin Pospíšil

Název práce:

Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu

Autor: Robin Pospíšil

Studijní program: Stavební inženýrství

Specializace: Pozemní stavby

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze

Konzultant: –

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá návrhem nosné ocelové konstrukce mezinárodního letištního terminálu v norském Tromsø. Předmětem řešení je hlavní rámová příhradová vazba, štítová stěna, ztužující prvky a vybrané detaily. Celá konstrukce je tvořena z uzavřených ocelových profilů čtvercového, obdélníkového a kruhového průřezu. Jelikož se jedná o dočasnou konstrukci, je ve statickém výpočtu redukováno zatížení pro zkrácenou dobu návratu. Ve studii je řešena problematika vzdálenosti horního a dolního pasu příhradového rámu. Návrh konstrukce je proveden dle Evropských norem a norských národních dodatků.

Klíčová slova: ocelová konstrukce, dočasná stavba, letištní terminál, příhradový rám, čepová patka, uzavřené profily

Title:

Temporary steel structure of the airport terminal

Author: Robin Pospíšil

Abstract: The bachelor thesis deals with the design of the bearing steel structure of the international airport terminal in Tromsø, Norway. The subject of the design is the main frame truss, gable wall, stiffening elements and selected details. The entire structure is made up of closed steel sections with square, rectangular and circular cross-sections. As it is a temporary structure, the load is reduced in the structural calculation for a reduced return time. The study addresses the issue of the spacing of the top and bottom chords of the truss frame. The design of the structure is carried out according to European standards and Norwegian national supplements.

Key words: steel structure, temporary construction, airport terminal, truss frame, pin footing, closed profiles

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Specializace: Pozemní stavby



**Dočasná ocelová konstrukce
letištního terminálu**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Robin Pospíšil

Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

Rok: 2024

Identifikační údaje

Název stavby: Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu

Místo stavby: Flyplassvegen 3, 9216 Tromsø, Norsko

Zpracovatel statického výpočtu: Robin Pospíšil

Stupeň: DSP - dokumentace pro stavební povolení

Základní popis

Předmětem bakalářské práce je statický výpočet, jehož součástí je i studie vzdálenosti pasů příhradového rámu. Statický výpočet se zabývá návrhem a posouzením nosné ocelové konstrukce, která bude sloužit jako dočasný mezinárodní letištní terminál. Konstrukce bude samostatně stojící novostavbou na severu Norska ve městě Tromsø. Hala bude sloužit jako prozatímní odletový a příletový terminál pro všechny cesty uskutečněné do nebo z tohoto letiště. Jedná se o jednolodní halu s půdorysnými rozměry 40,0 x 57,0 metrů, v hřebeni dosahuje výšky 11,25 m a v okapu 6,0 m. Hlavním prvkem je příhradový rám s příhradovými sloupy s osovou vzdáleností 3,0 metru. Střecha je sedlová a má sklon 14,7 stupně. Opláštění haly tvoří přetlakový systém Thermohall od firmy Rubb UK, který je složen ze dvou krajních PVC fólií tl. 1,5 mm a izolační minerální vaty tl. 150 mm.

Zatížení

Proměnné

Pro informace o zatížení klimatickými jevy bylo využito mapy dle Norské národní přílohy evropské normy EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí sněhem a EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí větrem. Hodnoty odečtené z mapy byly porovnány s hodnotami z mapy zatížení větrem a mapy zatížení sněhem od firmy Dlubal. Charakteristické hodnoty byly následně redukovány součinitelem pravděpodobnosti.

Stálé

Zatížení od vlastní tíhy je uvažováno softwarem Scia engineer pro jednotlivé průřezy z objemové hmotnosti materiálu. Zatížení pláštěm je uvažováno jako liniové zatížení působící na rám. Vliv globálních imperfekcí je zde uvažován jako náhradní zatížení působící na konstrukci.

Materiál, povrchová úprava a požární odolnost

Příhradový rám je tvořen z uzavřených, za studena tvarovaných profilů jekl čtvercových a obdélníkových průřezů. Ztužidlový systém je tvořen uzavřenými kruhovými průřezy. Všechny profily jsou navrženy z oceli S235JR, spoje z oceli S355JR, šrouby 8.8 a betonové patky z betonu C30/37. Ocelové profily jsou povrchově upraveny barvou. Barevné provedení hlavní nosné konstrukce bude stanoveno dle specifikace investora ve fázi dílenské dokumentace. Nátěrový systém bude proveden dle specifikace investora dle klasifikace vnějšího prostředí v souladu s EN ISO 12944-2, předpokládaná korozní agresivita vnějšího prostředí: C2. Třída provedení hlavní nosné ocelové konstrukce dle EN 1090-2 je: EXC2. Vzhledem k charakteru práce nebyla hlavní nosná ocelová konstrukce navržena s požadavky na požární odolnost, avšak pro dodržení požadavků a norem by bylo nutné konstrukci na požární odolnost posoudit.

Konstrukce

Příhradový rám

Hlavní jednotkou konstrukce je příhradový rám o výšce příhrady 2 400 mm. Tato vzdálenost horního a dolního pasu je pro danou geometrii nejefektivnější. Pruty horního a dolního pasu jsou vyrobeny z profilů SHS150/8,0 a SHS150/4,0. Na diagonály jsou použity obdélníkové průřezy, z důvodu lepšího roznosu napětí po průřezu, RHS90/50/3,6, RHS100/60/5,0, RHS120/80/5,0 a čtvercového průřezu SHS150/4,0 v rámovém rohu.

Ztužidlový systém

Ve střešní rovině se nachází 3 řady příčných ztužidel (první pole, prostřední pole a poslední pole). Střešní ztužidla jsou tvořena uzavřenými průřezy TR76,1/3 a TR60,3/3. Přes celou konstrukci prochází dvě trubková podélná ztužidla z profilů TR60,3/3 bránící vybočení dolního pasu. Po celé délce konstrukce bude okapové ztužidlo z profilu TR88,9/4 a TR76,1/3.

Z důvodu tepelné izolace objektu bylo možné navrhnout jedno hlavní podélné ztužidlo ve středovém poli, jelikož v objektu nebude docházet ke změnám teplot a namáhání od změny teploty.

Štítová stěna

Konstrukce štítové stěny bude složena z typického rámu a pěti štítových sloupků. Sloupy ve štítové stěně jsou navrženy z uzavřených obdélníkových profilů RHS200/150/8. Na horní straně štítových sloupků bude oválný otvor umožňující prokluz příhradového rámu a nedojde tak k dodatečnému namáhání štítových sloupků.

Kotvení

Příhradové konstrukce budou v patě kloubově spojeny s patkou za pomoci navrženého čepového přípoje. Čep průměru 40 mm bude vyroben z oceli S355JR. Konstrukce bude založena na základových patkách o velikosti 1,5 x 1,5 x 1,0 metru, ke kterým bude kotvena na každé patce 2 x HIT-V M27 na chemickou kotvu. Přenos vertikálních sil bude zajištěn navařenou smykovou zarážkou z válcovaného profilu HEB200 délky 110mm.

Popis styčnicků

Veškeré montážní spoje prvků ocelové konstrukce jsou navrženy jako šroubované. Veškerý použitý spojovací materiál bude v jakosti 8.8 a v pozinkovaném provedení. Dílenské svarové spoje budou provedeny v ochranné atmosféře metodou obloukového svařování. Případné ruční montážní svarové spoje budou provedeny metodou obloukového svařování s použitím obalovaných elektrod. Pevnost provedených svarů bude odpovídat použitým konstrukčním ocelím S235 a S355.

Doprava a montáž

Jelikož se jedná o stavbu na ostrově, doprava dílců bude zajištěna kombinací lodní a kamionové dopravy. Velikost montážních dílců je navržena s ohledem na možnost jejich přepravy. Jednotlivé příhradové rámy budou smontovány v horizontální poloze a poté budou pomocí autojeřábu usazeny do jejich vertikální polohy. Rámy budou po dobu výstavby dočasně podepřeny pro zajištění stability než dojde k připojení ztužidlového systému. První vztyčené rámy budou na osách 10 a 11, aby došlo k aktivaci stěnového ztužidla a mohlo být odstraněno dočasné podepření. V závěru výstavby bude na konstrukci položen a vypnut obvodový přetlakový izolační plášť.

Výkaz materiálu

Hmotnost jednoho příhradového rámu je 4 103 kg. Vlastní váha prutů nosné ocelové konstrukce je 95,3 tuny. Odhadovaná hmotnost svarů a šroubů je (3 %) 2,9 t. Odhadovaná hmotnost styčnicků a kotvení je (20 %) 19,0 t. Celková odhadovaná váha ocelové konstrukce je 117,2 t.

Zdroje

Normy

- [1] EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí.*
- [2] EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*
- [3] EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.*
- [4] EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.*
- [5] EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
- [6] EN 1993-1-3. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily.*
- [7] EN 1993-1-4. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla – Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro korozivzdorné oceli.*
- [8] EN 1993-1-8. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků.*
- [9] EN 1993-1-11. *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků.*
- [10] EN 1090-4. *Provádění ocelových a hliníkových konstrukcí – Část 4: Technické požadavky na ocelové za studena tvarované prvky a konstrukce pro použití ve střeších, stropech, podlahách a stěnách.*

Publikace

- [11] STUDNIČKA, Jiří. *Navrhování nosných konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1.
- [12] STUDNIČKA, Jiří; HOLICKÝ, Milan a MARKOVÁ, Jana. *Ocelové konstrukce 2*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05815-2.
- [13] SOKOL, Zdeněk a WALD, František. *Ocelové konstrukce: tabulky*. 3. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2.
- [14] HOLICKÝ, Milan a MARKOVÁ, Jana. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [15] HOLICKÝ, Milan; MARKOVÁ, Jana a SÝKORA, Miroslav. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Technická knihovna (ČKAIT). Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-89-4.
- [16] MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8 ; Navrhování hliníkových konstrukcí : příručka k ČSN EN 1999-1*. Technická knihovna (ČKAIT). Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-86-3.
- [17] LORENZ, Karel. *Navrhování nosných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-65-7.
- [18] ELIÁŠOVÁ, Martina a SOKOL, Zdeněk. *Ocelové konstrukce 1: příklady*. 3. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05214-3.
- [19] ELIÁŠOVÁ, Martina. *Ocelové konstrukce 3: příklady*. Praha: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04516-9.

Výpočetní programy

1. Scia engineer 22.1.1025
2. Autodesk - AutoCAD 2024
3. Microsoft Excel 360
4. LaTeX online editor Overleaf
5. Hilit PROFIS Engineering 3.0.94
6. Idea StatiCa 23.1

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Specializace: Pozemní stavby



Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Robin Pospíšil

Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

Rok: 2024

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Geometrie	3
2	Zatížení	3
2.1	Stálé	3
2.1.1	Vlastní tíha - ZS10	3
2.1.2	Obvodový plášť - ZS11	3
2.1.3	Ostatní stálé - ZS11	3
2.2	Proměnné	4
2.2.1	Zatížení sněhem - ZS20, ZS21, ZS22	4
2.2.2	Zatížení větrem - ZS30, ZS31, ZS32, ZS33, ZS34	6
3	Kombinace	10
3.1	Mezní stav únosnosti - MSÚ	10
3.2	Mezní stav použitelnosti - MSP	10
3.3	Součinitele	10
4	Globální analýza	10
4.1	Imperfekce rámu	10
4.2	Náhradní vodorovné síly na rám - ZS50	11
4.3	Imperfekce soustavy	12
4.4	Náhradní vodorovné síly na soustavu - ZS50	12
4.5	Výpočet součinitele kritického zatížení α_{cr}	13
5	Ověření spojů příhradového rámu	14
6	Návrh hlavního rámu	16
6.1	Studie - Optimalizace výšky příhradové konstrukce	16
6.2	Předpoklady	17
6.3	Ruční kontrolní výpočet - MSÚ	18
6.3.1	Vnitřní síly v pasech	18
6.3.2	Horní pas - HP1	20
6.3.3	Horní pas - HP2	24
6.3.4	Dolní pas - DP1	27
6.3.5	Dolní pas - DP2	29
6.3.6	Sloup - S1	31
6.3.7	Sloup - S2	34
6.3.8	Sloup - S3	37
6.3.9	Normálové síly v diagonálách	40
6.3.10	Diagonála - D1	42
6.3.11	Diagonála - D2	44
6.3.12	Diagonála - D3	46
6.3.13	Diagonála - D4	48
6.3.14	Diagonála - D5	50
6.4	Kontrolní výpočet - MSP	52
6.5	Shrnutí kontrolního výpočtu - 2D model	52

7	Prostorový model	54
7.1	Návrh a posouzení ztužidlového systému	54
7.1.1	Střešní ztužidlo	54
7.1.2	Hlavní podélné ztužidlo	58
7.2	Štítové sloupy	61
7.3	Shrnutí kontrolního výpočtu	65
7.3.1	Použité průřezy	67
8	Přípoje	71
8.1	Patka - čepový spoj	71
8.1.1	Návrh průřezových charakteristik čepu	71
8.1.2	Návrh a posouzení plechu čepového spoje	72
8.1.3	Návrh a posouzení betonové patky v tlaku	73
8.1.4	Návrh kotevních šroubů na tah	74
8.1.5	Návrh a posouzení svaru patního plechu a plechů čepového spoje	74
8.1.6	Návrh a posouzení smykové zarážky	75
8.1.7	Návrh a posouzení svaru smykové zarážky a patního plechu	76
8.2	Šroubový montážní přípoj pasu	77
8.3	Šroubový montážní přípoj ztužidla	79
9	Závěr	80

1 Úvod

1.1 Geometrie

- Šířka konstrukce b : 40,0 m
- Délka konstrukce a : 57,0 m
- Vzdálenost rámu r : 3,0 m
- Výška okapu h_{okap} : 6,0 m
- Výška hřebene $h_{hřeben}$: 11,25 m
- Sklon střechy: 14,7°

2 Zatížení

2.1 Stálé

2.1.1 Vlastní tíha - ZS10

Vlastní tíha prutů konstrukce je generována softwarem Scia engineer. Tíhové zrychlení na Zemi je uvažováno $g = 9,81m/s^2$

2.1.2 Obvodový plášť - ZS11

Obvodový plášť konstrukce bude tvořit tepelně izolační systém Thermohall od firmy Rubb. Systém je tvořen vzduchotěsnými přetlakovými PVC kapsami vyplněnými tepelným izolantem.

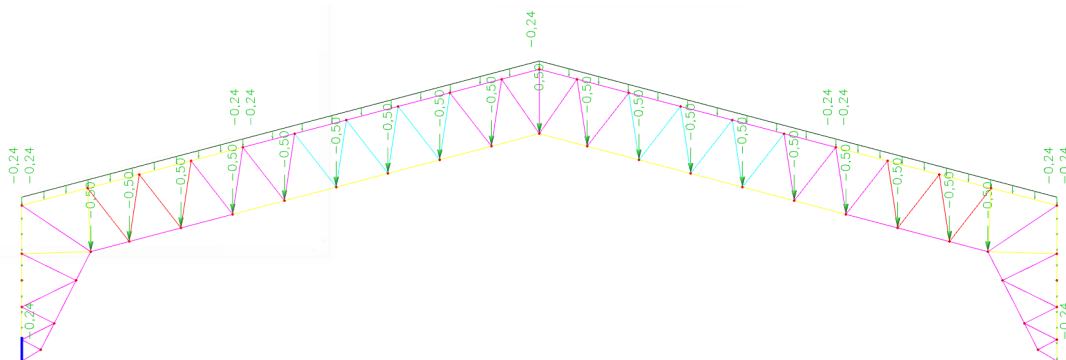
2× PVC fólie	2 mm	2 × 2,5	5kg/m ²
Tepelný izolant	150 mm		2kg/m ²
Spojovací materiál			1kg/m ²
Celkem			8kg/m ²

Pro typický vnitřní rám je zatěžovací šířka 3m. Zatížení je $3 * 0,08 = 0,24kN/m$.

2.1.3 Ostatní stálé - ZS11

Zatížení od systému vzduchotechniky, elektroinstalace, osvětlení, atd. je uvažováno jako bodové zatížení 0,5kN v každém styčnicku diagonály a dolního pasu rámu ocelové konstrukce. Velikost zatížení je pro další návrhy závazná a nesmí být bez předchozího posouzení překročena.

Zatížení od obvodového pláště a od ostatního stálého zatížení je sloučeno do jednoho zatěžovacího stavu ZS11.



Obrázek 1: Stálá zatížení na rám

2.2 Proměnné

2.2.1 Zatížení sněhem - ZS20, ZS21, ZS22

EN 1991-1-3 D.1.

Jelikož se jedná o dočasnou konstrukci je v práci redukováno zatížení sněhem na zemi dle doby návratu. Předpokládaná doba funkčnosti konstrukce je 5 let. V práci je užit vztah pro výpočet doby zatížení sněhem na zemi pro střední dobu návratu n let.

$$s_n = s_k \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57722]}{(1 + 2,5923 \times V)} \quad (1)$$

EN 1991-1-3
tab 5.1

Základní hodnota zatížení sněhem je určena dle sněhové mapy $s_k = 6,0 \text{ kN/m}^2$. Variační součinitel ročních maxim zatížení sněhem (dle národní přílohy v ČR je možno uvažovat 0,6) konzervativně určena jako 0,2, jelikož není dostatečné množství informací o místních klimatických podmínkách.

Roční pravděpodobnost překročení uvažována jako $1/n$, kdy n je doba návratu v letech, tedy $1/5$

Po dosazení do (1) rovnice:

$$s_n = 6,0 \times \frac{1 - 0,2 \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - \frac{1}{5})) + 0.57722]}{(1 + 2,5923 \times 0,2)} = 4,52 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Pro výpočet charakteristického zatížení sněhem na zemi je užit vzorec:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_n \quad (3)$$

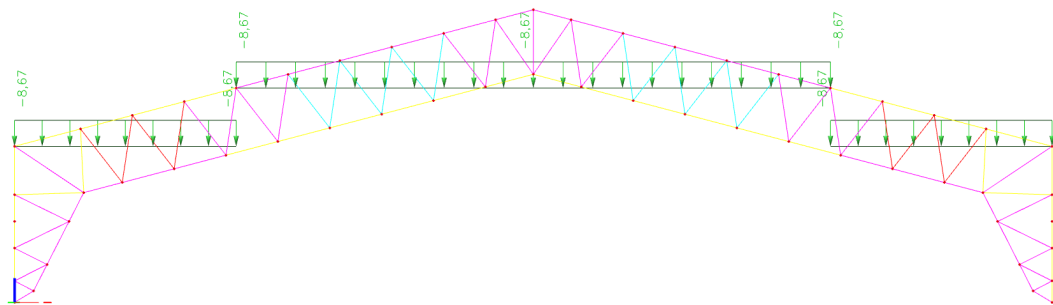
Jelikož se jedná otevřený typ krajiny, uvažovaná hodnota součinitele expozice $C_e = 0,8$. Konstrukce má nízkou tepelnou prostupnost, proto uvažovaná hodnota tepelného součinitele $C_t = 1,0$.

Tvarový součinitel zatížení sněhem μ_2 je pro sklon $14,7^\circ$ u sedlové střechy 0,8.

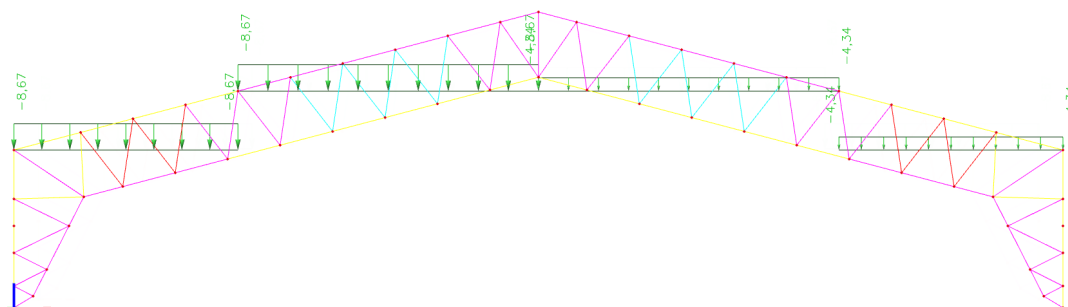
Po dosazení do (3) rovnice:

$$s = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 4,52 = 2,89 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

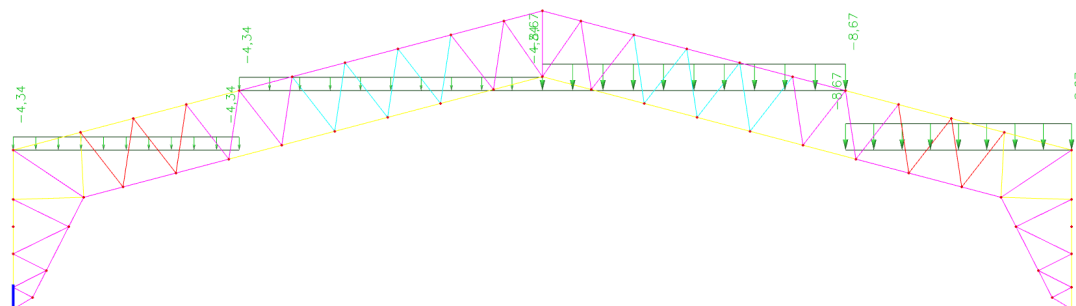
Zatížení od sněhu je následně přepočteno na liniové zatížení podle zatěžovací šířky (vzdálenosti rámu). Pro typický vnitřní rám je zatěžovací šířka 3m . Zatížení je $3 * 2,89 = 8,67 \text{ kN/m}$.



Obrázek 2: Plné zatížení sněhem na rám - ZS20



Obrázek 3: Redukované zatížení sněhem na rám - ZS21



Obrázek 4: Redukované zatížení sněhem na rám - ZS22

2.2.2 Zatížení větrem - ZS30, ZS31, ZS32, ZS33, ZS34

Hodnota výchozí základní rychlosti větru $V_{b,0} = 27,0 \text{ m/s}$. Stejně jako u zatížení sněhem proveden výpočet pro snížení součinitele pravděpodobnosti c_{prob} ovlivněného požadovanou délkou užívání konstrukce.

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (5)$$

Parametr tvaru závisící na variačním koeficientu rozdělení extrémních hodnot K uvažován dle národní přílohy jako 0,2 a exponent jako 0,5. Roční pravděpodobnost překročení p uvažována jako $1/n$, kdy n je doba návratu v letech, tedy $1/5$.

Po dosazení do (5) rovnice:

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(1 - \frac{1}{5}))}{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^{0,5} = 0,855 \quad (6)$$

Vztah pro výpočet charakteristické střední rychlosti větru:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \times c_{0(z)} \times v_b \quad (7)$$

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times c_{prob} \times v_{b,0} \quad (8)$$

Pro hodnotu součinitele směru větru a součinitele ročního období jsou užity doporučené hodnoty dle národní přílohy.

Po dosazení do (8) rovnice:

$$v_b = 1,0 \times 1,0 \times 0,855 \times 27,0 = 23,07 \text{ m/s} \quad (9)$$

Dále je určen součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 \times \left[\frac{z_0}{z_{0,II}} \right]^{0,07} = 0,19 \times \left[\frac{0,003}{0,05} \right]^{0,07} = 0,156 \quad (10)$$

Pro $z_{min} = 1 \text{ m} < z = 11,25 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$ je uvažován:

$$c_{r(z)} = k_r \times \ln \left[\frac{z}{z_0} \right] = 0,156 \times \ln \left[\frac{11,25}{0,003} \right] = 1,283 \quad (11)$$

EN 1991-1-4
tab 4.1

Parametry z_0 , výšky z_{min} a z_{max} jsou přejaty z tabulky v normě.

Po zpětném dosazení hodnot do vztahu (7) získána charakteristická střední rychlost větru:

$$v_{m(z)} = 1,283 \times 1,0 \times 23,07 = 29,60 \text{ m/s} \quad (12)$$

Intenzita turbulence větru pro $z_{min} = 1 \text{ m} < z = 11,25 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$ zohledněna součinitelem:

$$l_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{v_{m(z)}} \quad (13)$$

Směrodatnou odchylku turbulence σ_v lze stanovit dle výrazu $\sigma_v = k_r \times v_b \times k_I$. Hodnota součinitele turbulence k_I je převzata jako doporučená dle národní přílohy.

$$\sigma_v = k_r \times v_b \times k_I = 0,156 \times 23,07 \times 1,0 = 3,6 \quad (14)$$

Po dosazení do (13) rovnice:

$$l_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{v_{m(z)}} = \frac{3,6}{29,60} = 0,122 \quad (15)$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \times l_{v(z)}] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_{m(z)}^2 = \\ &= [1 + 7 \times 0,122] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 29,60^2 = \\ &= 1,015 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Vnější tlak větru působící na povrchy konstrukce vypočten:

$$w_e = q_p(z) \times c_{pe} \quad (17)$$

V návrhu není uvažováno s nedostatečnou korelací větru (oblasti D a E), hodnoty jsou přenásobeny hodnotou 1,0.

EN 1991-1-4
7.2.2(3)

Tabulka 1: Stěny: Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$

Oblast	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,200	-0,800	-0,500	0,704	-0,308
w_e	-1,218	-0,812	-0,508	0,714	-0,312

Tabulka 2: Stěny: Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$

Oblast	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,200	-0,800	-0,500	0,700	-0,300
w_e	-1,218	-0,812	-0,508	0,711	-0,305

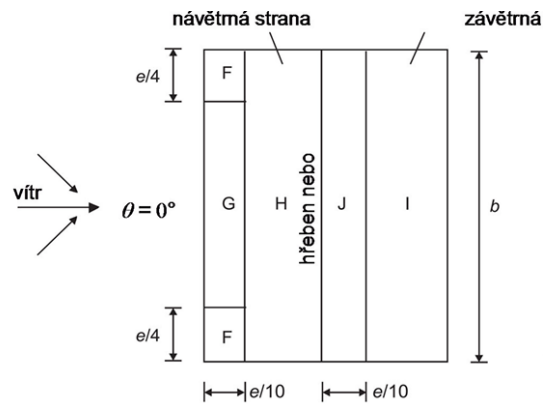
Tabulka 3: Střecha: Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$

Oblast	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-0,934	-0,817	-0,313	-0,409	-0,948
	0,191	0,191	0,191	-0,026	-0,026
w_e	-0,949	-0,830	-0,318	-0,415	-0,963
	0,194	0,194	0,194	-0,026	-0,026

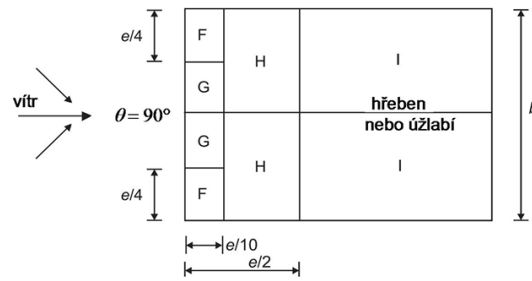
Tabulka 4: Střecha: Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$

Oblast	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,313	-1,300	-0,604	-0,504
w_e	-1,333	-1,320	-0,613	-0,512

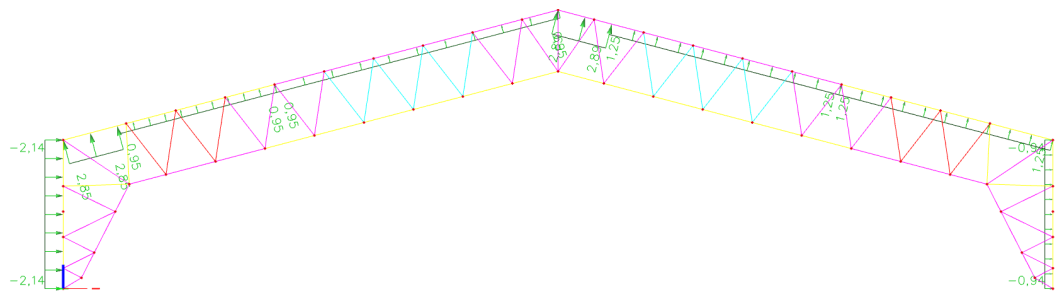
Stěny pro $h \leq b$



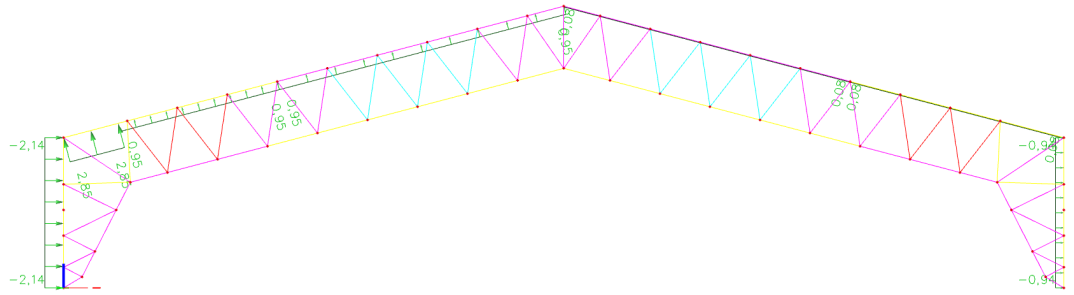
Obrázek 5: Směr větru $\theta = 90^\circ$



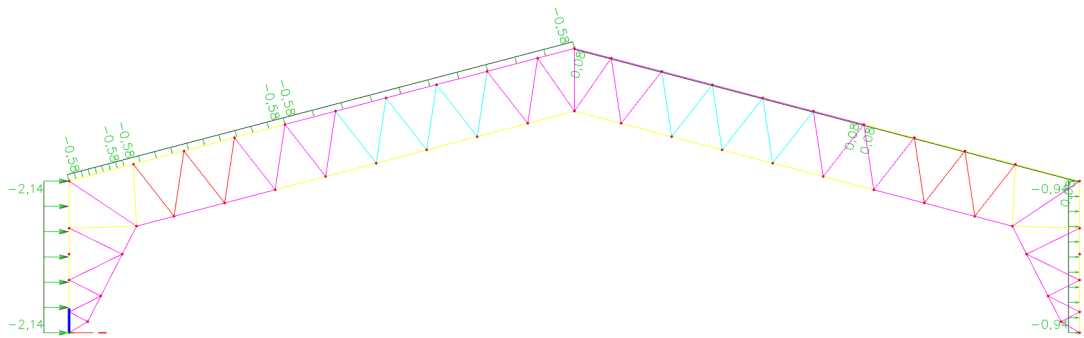
Obrázek 6: Směr větru $\theta = 90^\circ$



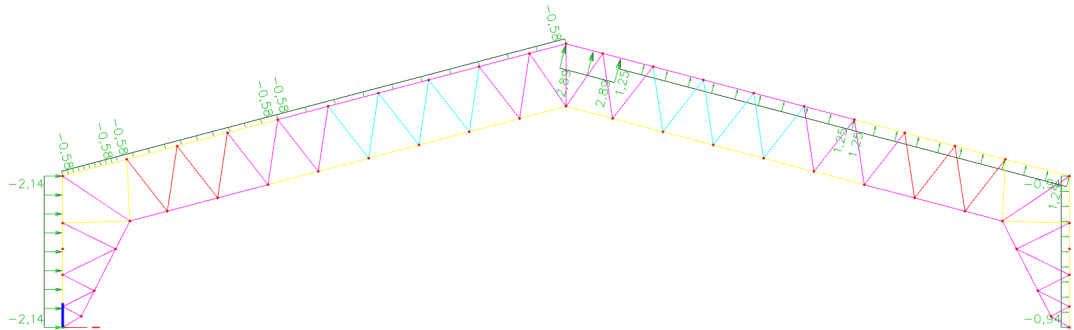
Obrázek 7: Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ - ZS30



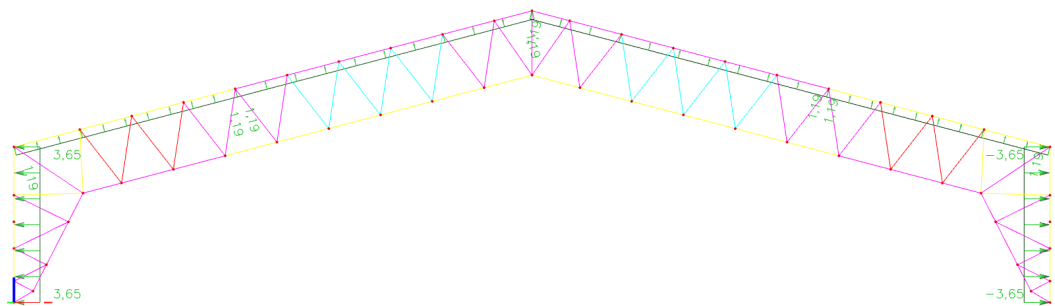
Obrázek 8: Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ - ZS31



Obrázek 9: Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ - ZS32



Obrázek 10: Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ - ZS33



Obrázek 11: Zatížení větrem $\theta = 90^\circ$ - ZS34

3 Kombinace

Ze zatěžovacích stavů byly dle kombinačního klíče EN 1990 - 6.10a a 6.10b vytvořeny kombinace zatížení pro návrh na Mezní stav únosnosti - MSÚ, jelikož norský národní dodatek nepovoluje užití kombinačního klíče 6.10, a charakteristické kombinace na Mezní stav použitelnosti - MSP.

Všechny dostupné kombinace byly automaticky vytvořeny programem Scia Engineer. Následně byly vybrány pouze 2 rizikové kombinace pro MSÚ, které vyvozují největší namáhání konstrukce. Dále byly vybrány 2 pro MSP, které mají na posouzení konstrukce rámu vliv.

3.1 Mezní stav únosnosti - MSÚ

- K-MSÚ-1 $\rightarrow \xi \times \gamma_{G,sup} \times (ZS10 + ZS11 + ZS12) + \gamma_{Q,sup} \times ZS20 + \gamma_{Q,sup} \times \psi_0 \times ZS32$
- K-MSÚ-2 $\rightarrow \xi \times \gamma_{G,sup} \times (ZS10 + ZS11 + ZS12) + \gamma_{Q,sup} \times ZS21 + \gamma_{Q,sup} \times \psi_0 \times ZS33$

3.2 Mezní stav použitelnosti - MSP

- K-MSP-1 $\rightarrow ZS10 + ZS11 + ZS12 + ZS20 + ZS32$
- K-MSP-2 $\rightarrow ZS10 + ZS11 + ZS12 + ZS21 + ZS33$

3.3 Součinitele

Stálá nepříznivá zatížení: $\gamma_{G,sup} = 1,35$

Stálá příznivá zatížení: $\gamma_{G,inf} = 1,0$

Proměnná nepříznivá zatížení: $\gamma_{Q,sup} = 1,5$

Proměnná příznivá zatížení: $\gamma_{Q,inf} = 0$

Redukční součinitel ξ pro nepříznivá stálá zatížení: $\xi = 0,89$

Zatížení větrem: $\psi_0 = 0,6$

Zatížení sněhem (pro Norsko): $\psi_0 = 0,7$

4 Globální analýza

4.1 Imperfekce rámu

EN 1993-1-1
5.3.2

Počáteční naklonění ve směru osy x je dáno jako:

$$\phi = \phi_0 \times \alpha_n \times \alpha_m = \frac{1}{200} \times 0,8165 \times 0,866 = 3,5 \times 10^{-3} m/m \quad (18)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6}} = 0,8165$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_n \leq 1,0 \Rightarrow 0,6 \leq 0,8165 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

Vodorovné imperfekce mohou být zanedbány v případě, že vyhoví podmínky $H_{Ed} > 0,15 \times |V_{Ed}|$

Pro zadanou kombinaci K-MSÚ-1 jsou reakce v podporách vypočteny softwarem:

- Rx
 - Levý sloup = 267,84 kN
 - Pravý sloup = -290,86 kN
 - celkem = - 23,02 kN
- Rz
 - Levý sloup = 311,87 kN
 - Pravý sloup = 310,75 kN
 - celkem = 622,62 kN

$$H_{Ed} = 23,02 \text{ kN} < 0,15 \times |V_{Ed}| = 93,39 \text{ kN}$$

⇒ Jelikož není podmínka splněna, síly od počátečních imperfekcí nemohou být zanedbány. Jsou proto vytvořeny náhradní vodorovné síly $H_{eq} = \phi \times V_{Ed}$, kterými je rám přitížen.

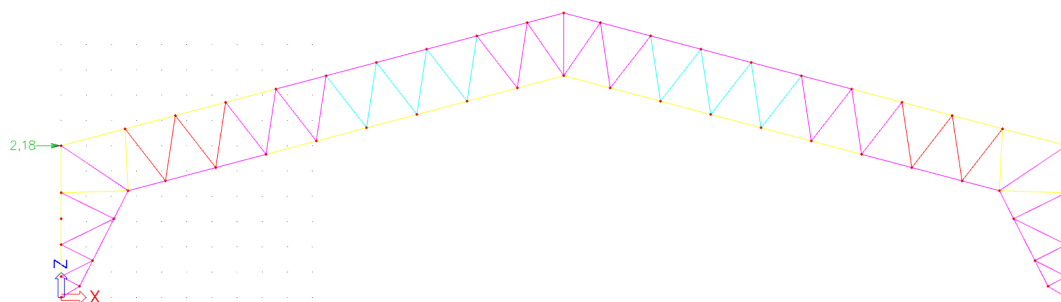
4.2 Náhradní vodorovné síly na rám - ZS50

Pro kombinaci K-MSÚ-1 je spočtena náhradní vodorovná síla. Tato síla je zanesena do výpočetního modelu pomocí přidavného zatěžovacího stavu ZS50 - imperfekce, který působí vždy ve směru zatížení větrem.

EN 1993-1-1 $H_{eq} = \phi \times V_{Ed} = 3,5 \times 10^{-3} \times 622,62 = 2,18 \text{ kN}$

5.3.2 (7)

Účinek imperfekce soustavy (ve tvaru naklonění) je nahrazena vodorovnou silou působící na sloup.



Obrázek 12: Imperfekce - příčná

4.3 Imperfekce soustavy

EN 1993-1-1
5.3.2 Počáteční naklonění ve směru osy y je dáno jako:

$$\phi = \phi_0 \times \alpha_n \times \alpha_m = \frac{1}{200} \times 0,8165 \times 0,725 = 3,0 \times 10^{-3} m/m \quad (19)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6}} = 0,8165$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_n \leq 1,0 \Rightarrow 0,6 \leq 0,8165 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{20}\right)} = 0,725$$

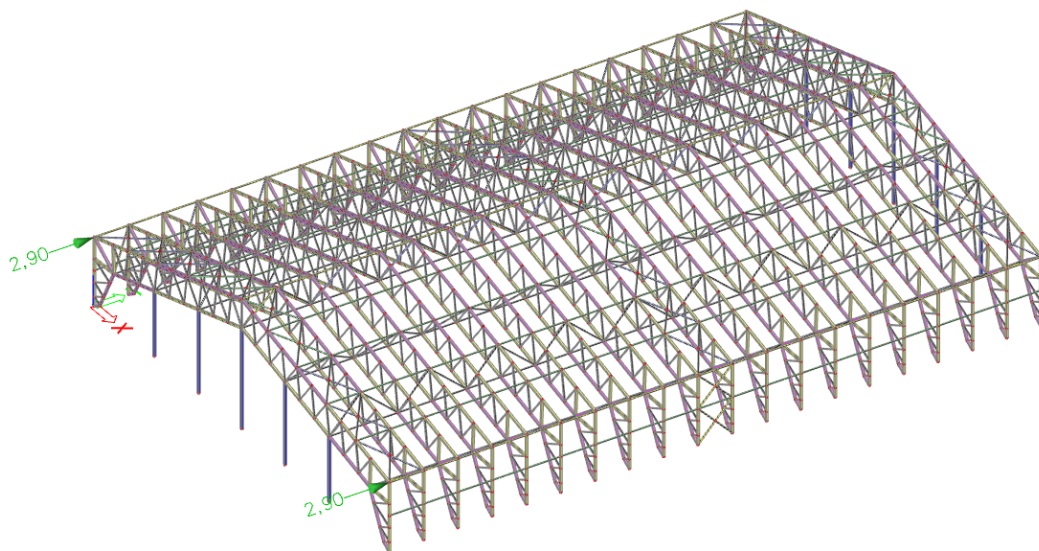
$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

4.4 Náhradní vodorovné síly na soustavu - ZS50

V práci je dále využíván i prostorový model, pro který bylo vypočteno náhradní vodorovné zatížení v podélném směru. Náhradní síla byla vypočtena pro automaticky generovanou kombinaci zatížení dle kombinačního klíče 6.10.a a 6.10.b, která vyvodila největší normálovou sílu v krajních sloupech rámu. Náhradní síla od imperfekce byla v kombinacích následně uvažována tak, aby vyvozovala větší vnitřní síly na konstrukci (tzn. ve směru zatížení větrem).

EN 1993-1-1
5.3.2 (7) $H_{eq} = \phi \times V_{Ed} = 3,0 \times 10^{-3} \times 978,98 = 2,9 kN$

Účinek imperfekce soustavy (ve tvaru naklonění) je nahrazen vodorovnou silou působící na řadu sloupů. Vykreslení daných zatěžovacích stavů viz příloha Engineering report - Scia Engineer.



Obrázek 13: Imperfekce - podélná

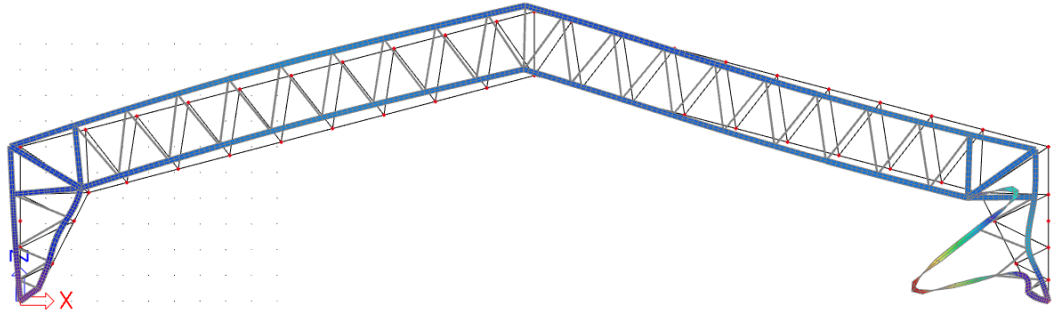
4.5 Výpočet součinitele kritického zatížení α_{cr}

Pro ověření citlivosti rámové konstrukce na účinky 2. řádu byl proveden výpočet součinitele kritického zatížení. Ten vyjadřuje navýšení návrhového zatížení pro dosažení ztráty stability v pružném stavu.

Výpočet byl proveden pro stabilitní kombinaci s největším svislým zatížením:

$$K\text{-Stab-1} \rightarrow \xi \times \gamma_{G,sup} \times (ZS10 + ZS11 + ZS12) + \gamma_{Q,sup} \times ZS20 + \gamma_{Q,sup} \times \psi_0 \times ZS32$$

Hodnota součinitele dle software pro vybranou kombinaci je $\alpha_{cr} = 61,55$



Obrázek 14: Vykreslení prvního vlastního tvaru vybočení

Přibližně lze α_{cr} pro vybočení s posunem styčnicků stanovit ručně pro rám jako:

EN 1993-1-1
5.2.1

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{\sum H_{Ed}}{\sum V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (20)$$

Hodnota (20) byla ověřena ručním výpočtem:

- Návrhová hodnota vodorovné reakce v patě sloupu od vodorovných zatížení a fiktivních vodorovných zatížení od imperfekce (náklonu) soustavy:
 $H_{Ed} = (21,94 + 2,18) \times 1,5 = 24,12 \times 1,5 = 36,18 kN$
- Celkové návrhové svislé zatížení konstrukce v patě sloupu: $V_{Ed} = 622,62 kN$
- Vodorovné posunutí okapové úrovně sloupu vůči patě sloupu, při zatížení rámu vodorovnými silami a fiktivními vodorovnými silami, které působí v úrovni okapu: $\delta_{H,Ed} = 5,0 mm$
- Výška sloupu: $h = 6000 mm$

Po dosazení do (20) vyšla hodnota:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{\sum H_{Ed}}{\sum V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) = \left(\frac{36,18}{622,62} \right) \left(\frac{6000}{5,0} \right) = 69,7 \quad (21)$$

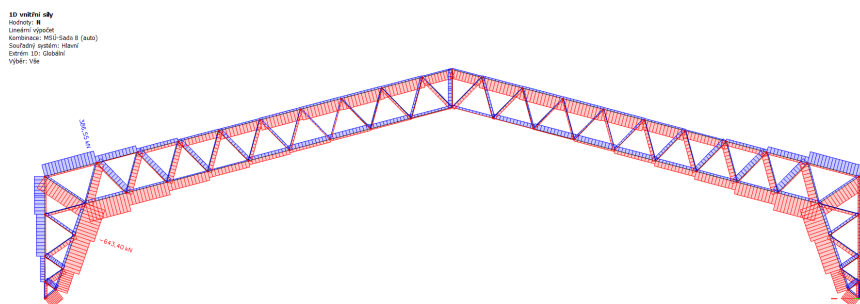
Hodnoty ručního výpočtu a softwarového výpočtu se liší o méně než 12 % a obě hodnoty jsou vyšší než limitní hodnota pro nutnost výpočtu druhým řádem $\alpha_{cr} = 10$. Vzhledem k malé odchylce výsledků je považován výpočet softwarem

za správný a ověřený.

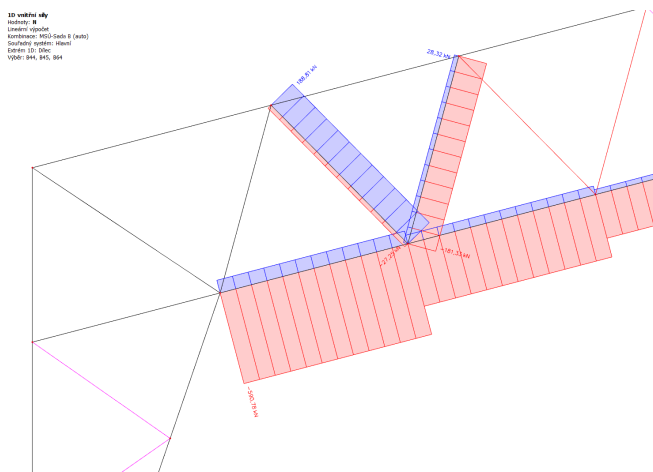
Protože $\alpha_{cr} \gg 10$ a jedná se o pružný výpočet, konstrukce není náchylná na prostorovou ztrátu stability. Vzhledem k možnostem je konstrukce řešena teorií prvního řádu se zavedením náhradních sil od globálních imperfekcí.

5 Ověření spojů příhradového rámu

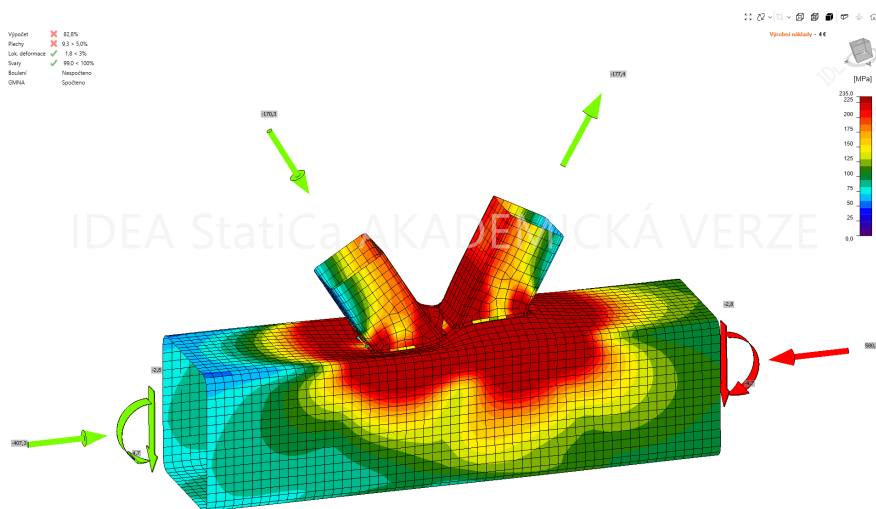
Po provedení prvního zkušební návrhu průřezů rámu ve studii, pro vzdálenost pasů 1800 mm, došlo k návrhu pasu průřezu jekl 180x180x8 mm a diagonály 80x80x4 mm. Byla zkontrolována podmínka, že poměr mezi šířkou diagonály a šířkou pasu je: $0,2 < d_i/d_0 = 80/180 = 0,4 < 1,0$. Podmínka byla splněna. Následně byl proveden kontrolní ověřovací výpočet v programu Idea Statica pro určení, zda by mohly být průřezy použity. Byl vybrán nejvíce namáhaný spoj s největšími normálovými silami.



Obrázek 15: Vykreslení normálových sil na konstrukci



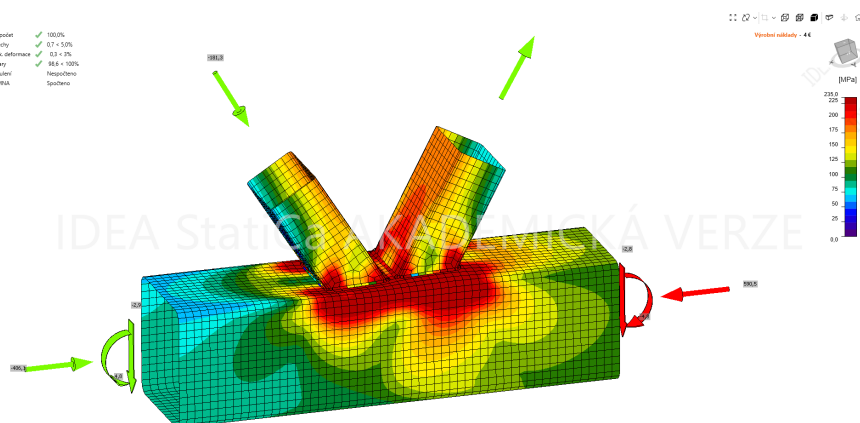
Obrázek 16: Vykreslení normálových sil na styčnicku



Obrázek 17: Vykreslení napětí na styčníku - diagonála SHS

⇒ Detail nevyhovuje a nedokáže přenést zadané zatížení

Po vykreslení napětí programem IdeaStatica bylo vyhodnoceno, že by došlo k prolomení stěny dolního pasu a výrazné plastifikaci v místě přípoje. Proto byl změněn průřez diagonály ze čtvercového průřezu SHS80x80x4 mm na obdélníkový průřez RHS120x80x4 mm.



Obrázek 18: Vykreslení napětí na styčníku - diagonála RHS

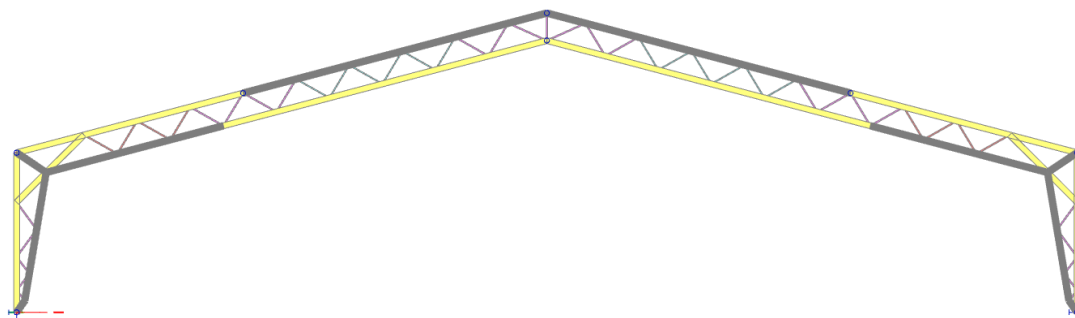
⇒ Detail vyhovuje a dokáže přenést zadané zatížení

Změněný detail na posouzení vyhovuje. Proto je následně ve studii a v návrhu konstrukce uvažováno s použitím obdélníkových průřezů diagonál RHS s možností další optimalizace jejich průřezu.

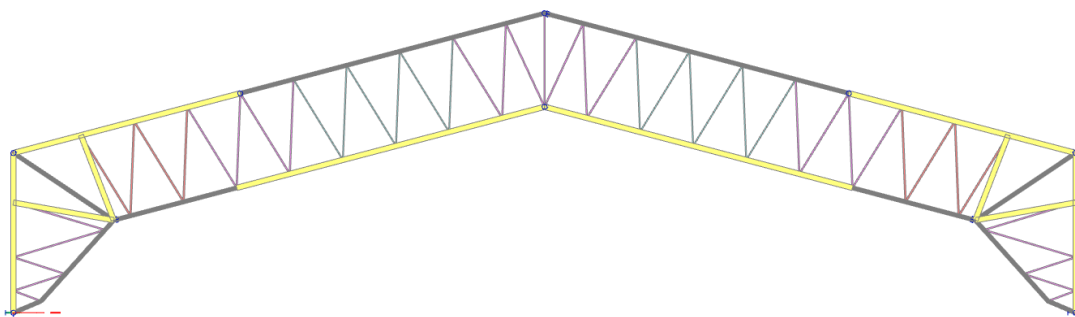
6 Návrh hlavního rámu

6.1 Studie - Optimalizace výšky příhradové konstrukce

Práce se zaměřuje na optimalizaci vzdálenosti mezi horním a dolním pasem příhradového rámu za účelem snížení její celkové hmotnosti. První krok zahrnoval převzetí vnějších rozměrů existující haly, na základě kterých byly v programu Scia Engineer vytvořeny zatěžovací stavy a kombinace zatížení dle příslušných norem a národních dodatků aplikované na konstrukci. Následně byly v programu Excel vytvořeny funkce umožňující modifikaci geometrie rámu v závislosti na zadání vzdálenosti mezi pasy s krokem 200 mm v rozmezí od 800 do 3400 mm viz obr. 19 a obr. 20. Geometrie rámu byla měněna pomocí změny souřadnic jednotlivých uzlů. Posuny byly provedeny ke středu a od středu konstrukce.



Obrázek 19: Rám s roztečí pasů 800 mm



Obrázek 20: Rám s roztečí pasů 3400 mm

Pro každou z těchto geometrií byl pomocí funkce Auto design v programu Scia Engineer proveden návrh optimalizace průřezů, přičemž pruty byly rozděleny do skupin s identickým průřezem na základě normálových sil. S využitím funkce Autodesign byly navrženy optimální průřezy pro tyto skupiny prutů.

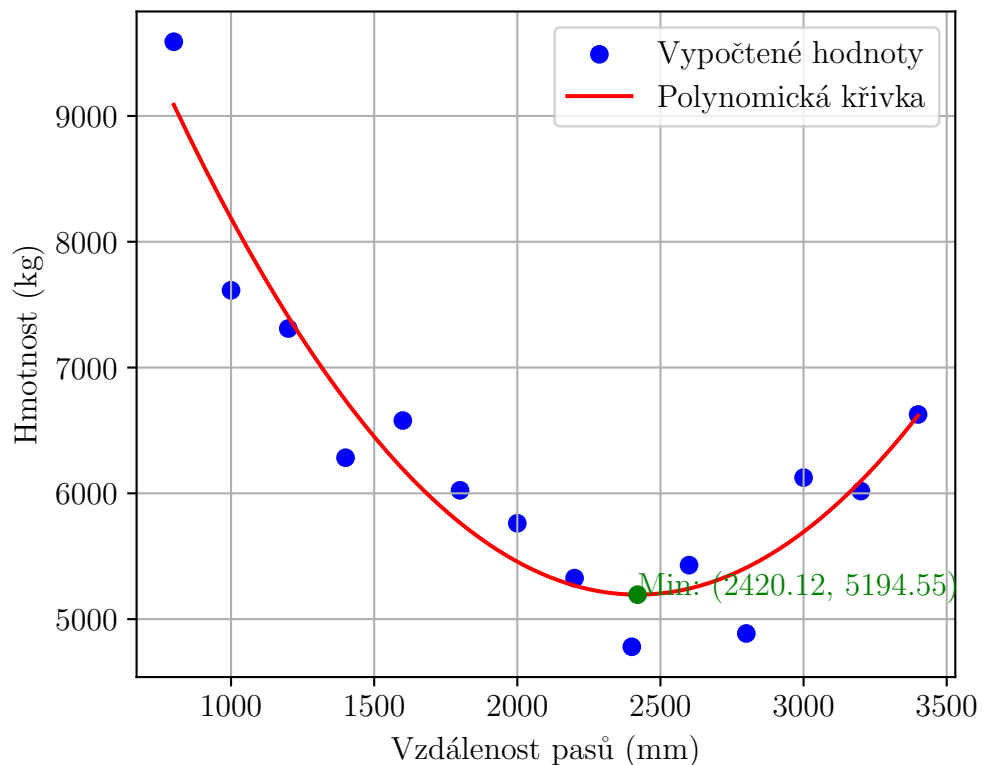
Na 2D modelu byly vymodelovány podpory (z roviny rámu) do místa podélného ztužidla, hřebenového ztužidla a vždy do poloviny sloupů na každé straně. Vzhledem k tomu, že je nutné aktivovat ztužidla, dojde k určitému posunu podpor, s čímž však model nepočítal. V modelu byly podpory modelovány s nekonečnou tuhostí, a proto u nich nedochází k posunu, což nereflktuje skutečný stav. Zároveň nejsou do výpočtu zaneseny přídatné síly od ztužidlového systému.

V další fázi studie byl vytvořen graf závislosti hmotnosti příhradového rámu na vzdálenosti pasů. Grafem byla proložena polynomická křivka druhého stupně a bylo určeno, jaké hodnoty bude nabývat vzdálenost pasů pro nejnižší hodnotu hmotnosti konstrukce viz graf závislosti hmotnosti na vzdálenosti pasů. Bylo zjištěno, že čím více se budou pasy od sebe vzdalovat, tím větší bude hmotnost diagonál oproti pasům a čím více se budou pasy k sobě přibližovat, tím bude narůstat hmotnost horního a dolního pasu vůči diagonálám. V návaznosti na studii bylo pokračováno s geometrií vycházející ze studie.

6.2 Předpoklady

Pro návrh celé konstrukce byl proces zjednodušen do výpočtu jednoho maximálně zatíženého rámu, na kterém byla provedena optimalizace a dále byl použit do prostorového modelu celého letištního terminálu.

V celé práci je uvažováno s uzavřenými dutými za studena tvarovanými průřezy, jelikož byly užívány i ve skutečnosti. Byl proveden zjednodušující předpoklad, že oproti skutečnosti není rám rozdělen do 6 segmentů připojených pod úhlem, které tvoří lomenou obloukovou střešní konstrukci. V práci je uvažováno s tvarem sedlové střechy se sklonem 14,7 %.

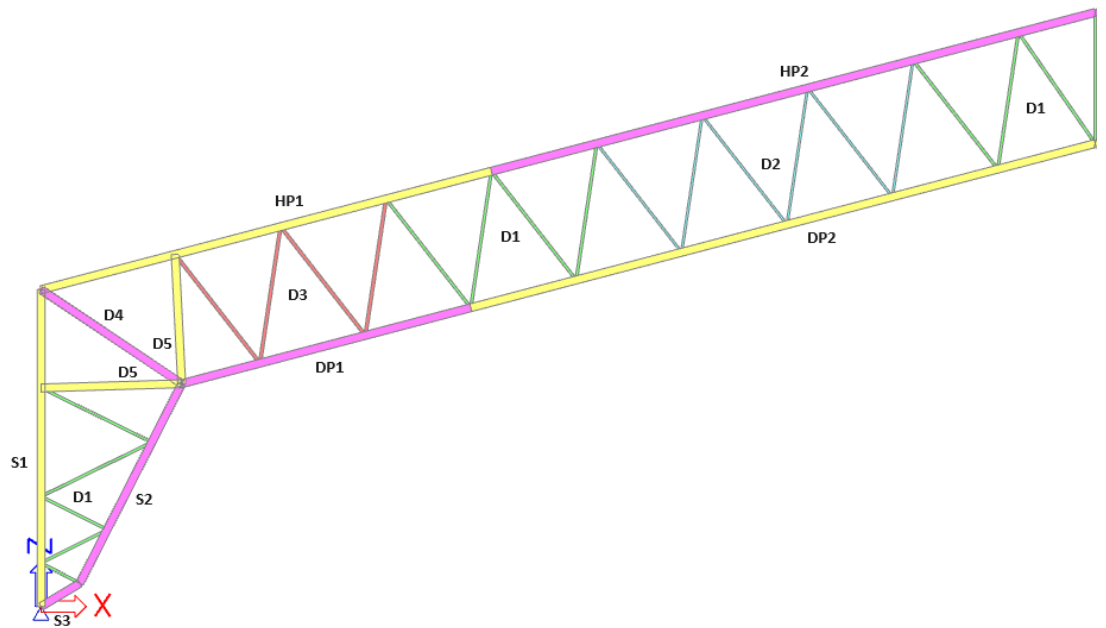


Obrázek 21: Graf závislosti hmotnosti na vzdálenosti pasů

Z grafu byla odečtena hodnota 2420,12 mm, která byla zaokrouhlena na 2400 mm. Konstrukce s touto vzdáleností pasů byla následně ověřena ručním výpočtem, zda-li přenese zadané zatížení.

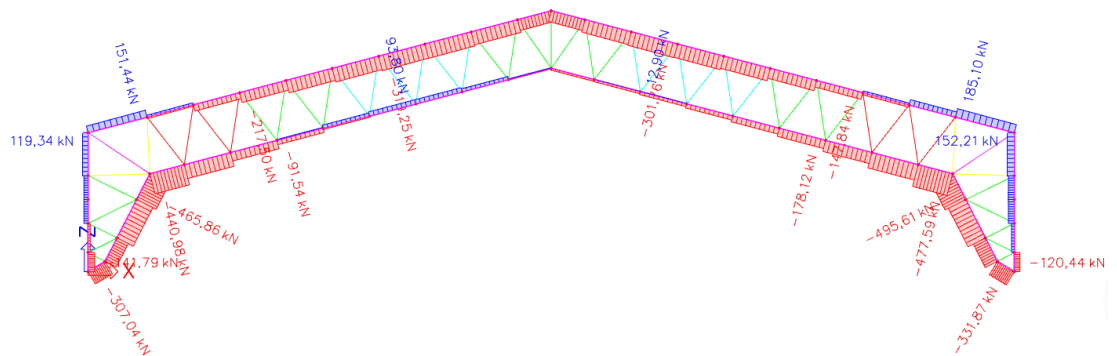
6.3 Ruční kontrolní výpočet - MSÚ

Ručně byl ověřen návrh neefektivnějšího rozpětí pasů 2400 mm.

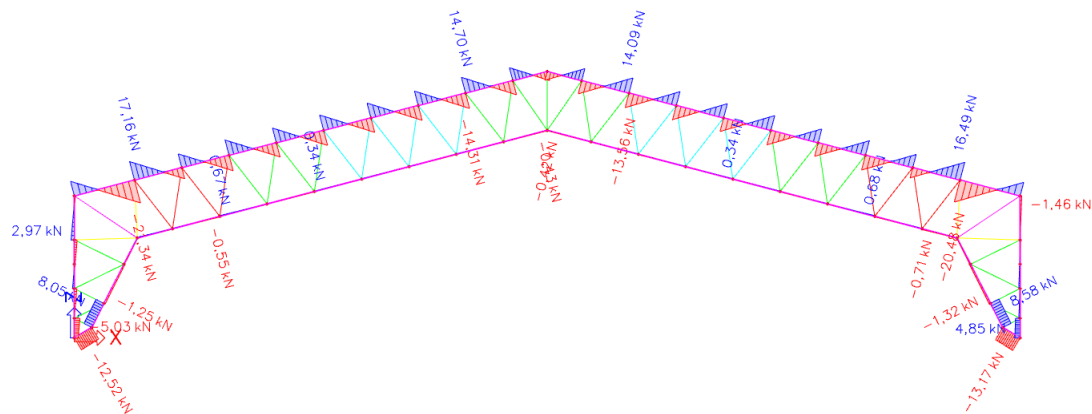


Obrázek 22: Popis prutů příhradové konstrukce

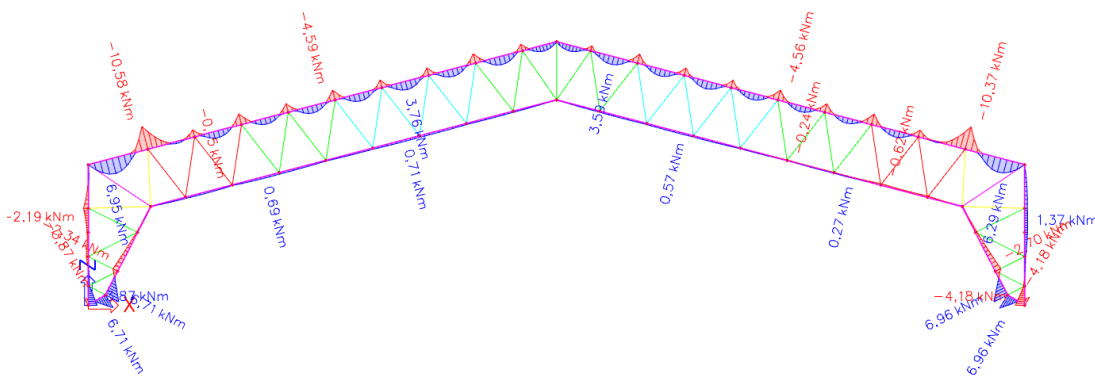
6.3.1 Vnitřní síly v pasech



Obrázek 23: Vykreslení normálových sil N v pasech



Obrázek 24: Vykreslení posouvajících sil V_z v pasech



Obrázek 25: Vykreslení ohybových momentů M_y v pasech

6.3.2 Horní pas - HP1

Vnitřní síly		
N	V _z	M _y
[kN]	[kN]	[kNm]
-217,48	21,34	10,63
151,42		

Materiál - ocel S235		
E	210 × 10 ⁹	[Pa]
G	81 × 10 ⁹	[Pa]
<i>f_{yk}</i>	235 × 10 ⁶	[Pa]
<i>f_{uk}</i>	360 × 10 ⁹	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x4,0 mm		
A	2300 × 10 ⁻⁶	m ²
I_y	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
I_z	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
<i>W_{pl,y}</i>	125 × 10 ⁻⁶	m ³
<i>W_{pl,z}</i>	125 × 10 ⁻⁶	m ³

$$L_{cr,y} = 2630mm$$

$$L_{cr,z} = 4700mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2630 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 44,37 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 4700 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 79,30 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^- = 217,48kN < N_{c,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 40 \%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^+ = 151,42kN < N_{t,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 28 \%)}$$

Posudek průřezu: Smyk

$$\text{Výpočet smykové plochy: } A_v = A \times h / (b+h) = 2300 \times 150 / (150+150) = 1150mm^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{1,150 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 156kN$$

$$V_{Ed} = 21,34kN < V_{z,pl,Rd} = 156kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 14 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{125 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 29,38kNm$$

$$M_{Ed} = 10,63kNm < M_{c,Rd} = 29,38kNm \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 36 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2630mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{2,630^2} = 2421kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{2421 \times 10^3}} = 0,48 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,48 - 0,2) + 0,48^2] = 0,68$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,48^2}} = 0,86 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,86 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 464,83kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 217,48kN < N_{b,Rd,y} = 464,83kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 47 \%)}$

$$L_{cr,z} = 4700mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{4,700^2} = 758kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{758 \times 10^3}} = 0,84 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 1,01$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,01 + \sqrt{1,01^2 - 0,84^2}} = 0,64 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,64 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 345,92kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 217,48kN < N_{b,Rd,z} = 345,92kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 63 \%)}$

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

viz Posudek stability: Vzpěr

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

 Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,86$

 Křivka vzpěrnosti k ose z-z = křivka "c": $\chi_z = 0,62$

 Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

 EN 1993-1-1
příloha B
metoda 2

Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A \times f_y = 2300 \times 235 = 540,5 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl} \times f_y = 125 \times 235 = 29,38 \text{ kNm}$$

 Součinitele c_m :


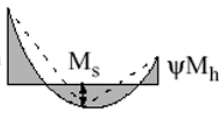

$$\alpha_s = M_s/M_h = -6,94/10,63 = -0,65; \psi = 0 \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \times \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times (-0,65) = 0,62 > 0,4$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

 EN 1993-1-1
tab. B.3

Průběh momentu	Rozsah		C _{my} a C _{mz} a C _{mLT}	
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)^{NP)}$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnicků se má uvažovat C _{my} = 0,9 nebo C _{mz} = 0,9.				
C _{my} , C _{mz} a C _{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:				
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:		
C _{my}	y-y	z-z		
C _{mz}	z-z	y-y		
C _{mLT}	y-y	y-y		

 Obrázek 26: Součinitele c_m ekvivalentního konstantního momentu

$$k_{yy} = \min\left(C_{my} \times \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right);$$

$$C_{my} \times \left(1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right)) =$$

$$\min\left(0,62 \times \left(1 + (0,48 - 0,2) \times \frac{217,48}{0,48 \times 540,5/1,0}\right);$$

$$0,62 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{217,48}{0,86 \times 540,5/1,0}\right)) =$$

$$\min(1,17; 1,24) = 1,17$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 1,17 = 0,7$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{217,48}{0,86 \times 540,5} + 1,17 \times \frac{4,74}{1,0 \times 29,38} = 0,66 < 1,0$$

\Rightarrow Vyhovuje (66 %)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{217,48}{0,637 \times 540,5} + 0,7 \times \frac{4,74}{1,0 \times 29,38} = 0,75 < 1,0$$

\Rightarrow Vyhovuje (75 %)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{217,48}{540,5/1,0} + \frac{4,74}{29,38/1,0} = 0,56 < 1,0$$

\Rightarrow Vyhovuje (Využití 56 %)

Horní pas - HP1 vyhovuje.

6.3.3 Horní pas - HP2

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-319,25	29,01	4,59

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x8,0 mm		
A	4320×10^{-6}	m^2
I _y	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	226×10^{-6}	m^3
$W_{pl,z}$	226×10^{-6}	m^3

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$L_{cr,z} = 4140mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2070 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 36,23 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 4140 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 72,47 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \times 235}{1,0} = 1015,2kN$$

$$N_{Ed}^- = 319,25kN < N_{c,Rd} = 1015,2kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 32 \%)}$$

Posudek průřezu: Smyk

$$\text{Výpočet smykové plochy: } A_v = A \times h / (b+h) = 4320 \times 150 / (150+150) = 2160mm^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 586,1kN$$

$$V_{Ed} = 29,01kN < V_{z,pl,Rd} = 586,1kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 5 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{226 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 53,1kNm$$

$$M_{Ed} = 4,59kNm < M_{c,Rd} = 53,1kNm \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 9 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{2,070^2} = 6820kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{6820 \times 10^3}} = 0,39 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,39^2}} = 0,91 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,91 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 923,8kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 319,25kN < N_{b,Rd,y} = 923,8kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 35 %)

$$L_{cr,z} = 4140mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{4,140^2} = 1705,1kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1705,1 \times 10^3}} = 0,77 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,77 - 0,2) + 0,77^2] = 0,94$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,94 + \sqrt{0,94^2 - 0,77^2}} = 0,68 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,68 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 690,34kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 319,25kN < N_{b,Rd,z} = 690,34kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 46 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,91$

Křivka vzpěrnosti k ose z-z = křivka "c": $\chi_z = 0,68$

Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

viz Posudek
stability: Vzpěr

EN 1993-1-1
příloha B
metoda 2

Interakční součinitele

EN 1993-1-1
tab. B.3

$$N_{Rk} = A \times f_y = 4320 \times 235 = 1015,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl} \times f_y = 226 \times 235 = 53,1 \text{ kNm}$$

Součinitele c_m :

$$\alpha_s = M_s/M_h = 3,39/(-4,59) = -0,74; \psi = 0,78 \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \times \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times (-0,74) = 0,69 > 0,4$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

$$k_{yy} = \min\left(C_{my} \times \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right);$$

$$C_{my} \times \left(1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right)) =$$

$$\min\left(0,69 \times \left(1 + (0,39 - 0,2) \times \frac{319,25}{0,91 \times 1015,2/1,0}\right);$$

$$0,69 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{319,25}{0,91 \times 1015,2/1,0}\right)) =$$

$$\min(0,74; 0,88) = 0,74$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,74 = 0,44$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{319,25}{0,91 \times 1015,2} + 0,74 \times \frac{4,59}{1,0 \times 53,1} = 0,41 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (41 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{319,25}{0,68 \times 1015,2} + 0,44 \times \frac{4,59}{1,0 \times 53,1} = 0,50 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (50 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{319,25}{1015,2/1,0} + \frac{4,59}{53,1/1,0} = 0,40 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 40 \%)}$$

Horní pas - HP2 vyhovuje.

6.3.4 Dolní pas - DP1

Vnitřní síly		
N	V _z	M _y
[kN]	[kN]	[kNm]
-440,98	1,22	

Materiál - ocel S235		
E	210 × 10 ⁹	[Pa]
G	81 × 10 ⁹	[Pa]
f _{yk}	235 × 10 ⁶	[Pa]
f _{uk}	360 × 10 ⁹	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x8,0 mm		
A	4320 × 10 ⁻⁶	m ²
I _y	14,1 × 10 ⁻⁶	m ⁴
I _z	14,1 × 10 ⁻⁶	m ⁴
W _{pl,y}	226 × 10 ⁻⁶	m ³
W _{pl,z}	226 × 10 ⁻⁶	m ³

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$L_{cr,z} = 5680mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2070 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 36,23 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 5680 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 99,42 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \times 235}{1,0} = 1015,2kN$$

$$N_{Ed}^- = 440,98kN < N_{c,Rd} = 1015,2kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 43 \%)}$$

Posudek průřezu: Smyk

$$\text{Výpočet smykové plochy: } A_v = A \times h / (b+h) = 4320 \times 150 / (150+150) = 2160mm^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 586,1kN$$

$$V_{Ed} = 1,22kN < V_{z,pl,Rd} = 586,1kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 1 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{2,070^2} = 6820kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{6820 \times 10^3}} = 0,39 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,39^2}} = 0,91 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,91 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 923,8kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 440,98kN < N_{b,Rd,y} = 923,8kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 48 %)

$$L_{cr,z} = 5680mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{5,680^2} = 905,82kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{905,82 \times 10^3}} = 1,06 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,06 - 0,2) + 1,06^2] = 1,27$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,27 + \sqrt{1,27^2 - 1,06^2}} = 0,51 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,51 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 517,8kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 440,98kN < N_{b,Rd,z} = 517,8kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 85 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Dolní pas - DP1 vyhovuje.

6.3.5 Dolní pas - DP2

Vnitřní síly		
N	V _z	M _y
[kN]	[kN]	[kNm]
-178,12	0,73	
93,80		

Materiál - ocel S235		
E	210 × 10 ⁹	[Pa]
G	81 × 10 ⁹	[Pa]
f _{yk}	235 × 10 ⁶	[Pa]
f _{uk}	360 × 10 ⁹	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x4,0 mm		
A	2300 × 10 ⁻⁶	m ²
I _y	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
I _z	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
W _{pl,y}	125 × 10 ⁻⁶	m ³
W _{pl,z}	125 × 10 ⁻⁶	m ³

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$L_{cr,z} = 6210mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2070 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 34,92 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 6210 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 104,77 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^- = 178,12 < N_{c,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 33 \%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^+ = 93,80kN < N_{t,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 17 \%)}$$

Posudek průřezu: Smyk

$$\text{Výpočet smykové plochy: } A_v = A \times h / (b+h) = 2300 \times 150 / (150+150) = 1150mm^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{1,150 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 156kN$$

$$V_{Ed} = 0,73kN < V_{z,pl,Rd} = 156kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Vyžití 0\%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2070mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{2,070^2} = 3908,32kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{3908,32 \times 10^3}} = 0,37 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times \frac{1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2}{1} = 0,5 \times \frac{1 + 0,49 \times (0,37 - 0,2) + 0,37^2}{1} = 0,61$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,37^2}} = 0,91 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,91 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 491,86kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 178,12kN < N_{b,Rd,y} = 491,86kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 36 %)

$$L_{cr,z} = 6210mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{6,210^2} = 434,26kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{434,26 \times 10^3}} = 1,12 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times \frac{1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2}{1} = 0,5 \times \frac{1 + 0,49 \times (1,12 - 0,2) + 1,12^2}{1} = 1,35$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,35 + \sqrt{1,35^2 - 1,12^2}} = 0,48 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,48 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 259,44kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 178,12kN < N_{b,Rd,z} = 259,44kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 69 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Dolní pas - DP2 vyhovuje.

6.3.6 Sloup - S1

Vnitřní síly		
N	V _z	M _y
[kN]	[kN]	[kNm]
-141,79	5,53	3,87
119,34		

Materiál - ocel S235		
E	210 × 10 ⁹	[Pa]
G	81 × 10 ⁹	[Pa]
<i>f_{yk}</i>	235 × 10 ⁶	[Pa]
<i>f_{uk}</i>	360 × 10 ⁹	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x4,0 mm		
A	2300 × 10 ⁻⁶	m ²
I_y	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
I_z	8,08 × 10 ⁻⁶	m ⁴
<i>W_{pl,y}</i>	125 × 10 ⁻⁶	m ³
<i>W_{pl,z}</i>	125 × 10 ⁻⁶	m ³

$$L_{cr,y} = 2060mm$$

$$L_{cr,z} = 3000mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2060 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 34,76 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 3000 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 50,62 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^- = 141,79kN < N_{c,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 26 \%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 235}{1,0} = 540,5kN$$

$$N_{Ed}^+ = 119,34kN < N_{t,Rd} = 540,5kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 22 \%)}$$

Posudek průřezu: SmykVýpočet smykové plochy: $A_v = A \times h / (b + h) = 2300 \times 150 / (150 + 150) = 1150mm^2$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{1,150 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 156kN$$

$$V_{Ed} = 5,53kN < V_{z,pl,Rd} = 156kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 4 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{125 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 29,38kNm$$

$$M_{Ed} = 10,63kNm < M_{c,Rd} = 29,38kNm \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 36 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2060mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{2,060^2} = 3946,35kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{3946,35 \times 10^3}} = 0,37 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = \frac{0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]}{1} = \frac{0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,37 - 0,2) + 0,37^2]}{1} = 0,61$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,37^2}} = 0,91 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,91 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 491,86kN$$

$$\text{Posudek: } N_{Ed} = 141,79kN < N_{b,Rd,y} = 491,86kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 29 \%)}$$

$$L_{cr,z} = 3000mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{3,000^2} = 1860,75kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1860,75 \times 10^3}} = 0,54 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = \frac{0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]}{1} = \frac{0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,54 - 0,2) + 0,54^2]}{1} = 1,01$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,01 + \sqrt{1,01^2 - 0,54^2}} = 0,73 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,73 \times 2,3 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 394,57kN$$

$$\text{Posudek: } N_{Ed} = 141,79kN < N_{b,Rd,z} = 394,57kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 36 \%)}$$

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

viz Posudek stability: Vzpěr

Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,91$
 Křivka vzpěrnosti k ose z-z = křivka "c": $\chi_z = 0,73$
 Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

EN 1993-1-1
 příloha B
 metoda 2
 EN 1993-1-1
 tab. B.3

Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A \times f_y = 2300 \times 235 = 540,5 kN$$

$$M_{Rk} = W_{pl} \times f_y = 125 \times 235 = 29,38 kNm$$

Součinitele c_m :

$$\alpha_s = M_s/M_h = -2,19/3,87 = -0,57; \psi = 0 \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \times \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times (-0,57) = 0,56 > 0,4$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

$$k_{yy} = \min\left(C_{my} \times \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right);$$

$$C_{my} \times \left(1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}\right)) =$$

$$\min\left(0,56 \times \left(1 + (0,37 - 0,2) \times \frac{141,79}{0,91 \times 540,5/1,0}\right);$$

$$0,56 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{141,79}{0,91 \times 540,5/1,0}\right)) =$$

$$\min(0,59; 0,69) = 0,59$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,59 = 0,35$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{\frac{141,79}{0,91 \times 540,5}}{1,0} + 0,59 \times \frac{\frac{3,87}{1,0 \times 29,38}}{1,0} = 0,37 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (37 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{\frac{141,79}{0,73 \times 540,5}}{1,0} + 0,35 \times \frac{\frac{3,87}{1,0 \times 29,38}}{1,0} = 0,40 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (40 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{141,79}{540,5/1,0} + \frac{3,87}{29,38/1,0} = 0,39 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 39 \%)}$$

Sloup - S1 vyhovuje.

6.3.7 Sloup - S2

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-465,86	8,05	6,71

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x8,0 mm		
A	4320×10^{-6}	m^2
I _y	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	226×10^{-6}	m^3
$W_{pl,z}$	226×10^{-6}	m^3

$$L_{cr,y} = 1870mm$$

$$L_{cr,z} = 5110mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 1870 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 32,73 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 5110 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 89,44 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \times 235}{1,0} = 1015,2kN$$

$$N_{Ed}^- = 465,86kN < N_{c,Rd} = 1015,2kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 46 \%)}$$

Posudek průřezu: SmykVýpočet smykové plochy: $A_v = A \times h / (b+h) = 4320 \times 150 / (150+150) = 2160mm^2$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 586,1kN$$

$$V_{Ed} = 8,05kN < V_{z,pl,Rd} = 586,1kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 1 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{226 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 53,1kNm$$

$$M_{Ed} = 6,71kNm < M_{c,Rd} = 53,1kNm \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 13 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 1870mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{1,870^2} = 8357,09kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{8357,09 \times 10^3}} = 0,35 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,35 - 0,2) + 0,35^2] = 0,60$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,60 + \sqrt{0,60^2 - 0,35^2}} = 0,92 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,92 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 933,98kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 465,86kN < N_{b,Rd,y} = 933,98kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 50 %)

$$L_{cr,z} = 5110mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{5,110^2} = 1182,67kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1182,67 \times 10^3}} = 0,93 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,93 - 0,2) + 0,93^2] = 1,11$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,11 + \sqrt{1,11^2 - 0,93^2}} = 0,58 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,58 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 588,82kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 465,86kN < N_{b,Rd,z} = 588,82kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 79 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,92$

Křivka vzpěrnosti k ose z-z = křivka "c": $\chi_z = 0,58$

Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

viz Posudek stability: Vzpěr

EN 1993-1-1
příloha B
metoda 2

Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A \times f_y = 4320 \times 235 = 1015,2kN$$

EN 1993-1-1
tab. B.3

$$M_{Rk} = W_{pl} \times f_y = 226 \times 235 = 53,1 \text{ kNm}$$

Součinitele c_m :

$$\alpha_s = M_s/M_h = -2,34/6,71 = -0,35; \psi = 0 \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \times \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times (-0,35) = 0,38$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

$$k_{yy} = \min(C_{my} \times (1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}}));$$

$$C_{my} \times (1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}})) =$$

$$\min(0,38 \times (1 + (0,35 - 0,2) \times \frac{465,86}{0,91 \times 1015,2/1,0});$$

$$0,38 \times (1 + 0,8 \times \frac{465,86}{0,91 \times 1015,2/1,0})) =$$

$$\min(0,41; 0,53) = 0,41$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,41 = 0,25$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{465,86}{0,92 \times 1015,2} + 0,41 \times \frac{6,71}{1,0 \times 53,1} = 0,55 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (55 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{465,86}{0,58 \times 1015,2} + 0,25 \times \frac{6,71}{1,0 \times 53,1} = 0,82 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (82 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{465,86}{1015,2/1,0} + \frac{6,71}{53,1/1,0} = 0,59 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 59 \%)}$$

Sloup - S2 vyhovuje.

6.3.8 Sloup - S3

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-307,04	12,52	6,71

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x8,0 mm		
A	4320×10^{-6}	m^2
I_y	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
I_z	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	226×10^{-6}	m^3
$W_{pl,z}$	226×10^{-6}	m^3

$$L_{cr,y} = 860mm$$

$$L_{cr,z} = 5110mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 860 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 15,05 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 5110 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 89,44 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \times 235}{1,0} = 1015,2kN$$

$$N_{Ed}^- = 307,04kN < N_{c,Rd} = 1015,2kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 30 \%)}$$

Posudek průřezu: Smyk

$$\text{Výpočet smykové plochy: } A_v = A \times h / (b+h) = 4320 \times 150 / (150+150) = 2160mm^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 1,0} = 586,1kN$$

$$V_{Ed} = 12,52kN < V_{z,pl,Rd} = 586,1kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 2 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{226 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 53,1kNm$$

$$M_{Ed} = 6,71kNm < M_{c,Rd} = 53,1kNm \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 13 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 860mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{0,860^2} = 39513kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{39513 \times 10^3}} = 0,16 < 0,2 \Rightarrow$$

\Rightarrow bez účinku vzpěru

$$L_{cr,z} = 5110mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{5,110^2} = 1182,67kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1182,67 \times 10^3}} = 0,93 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,93 - 0,2) + 0,93^2] = 1,11$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,11 + \sqrt{1,11^2 - 0,93^2}} = 0,58 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,58 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 588,82kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 307,04kN < N_{b,Rd,z} = 588,82kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 52 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,92$

Křivka vzpěrnosti k ose z-z = křivka "c": $\chi_z = 0,58$

Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A \times f_y = 4320 \times 235 = 1015,2kN$$

$$M_{Rk} = W_{pl} \times f_y = 226 \times 235 = 53,1kNm$$

Součinitele c_m :

$$\psi = -0,58 \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6 + 0,4 \times (-0,58) = 0,37 < 0,4 \Rightarrow 0,4$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

$$k_{yy} = \min\left(C_{my} \times (1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}})\right);$$

viz Posudek stability: Vzpěr

EN 1993-1-1
příloha B
metoda 2
EN 1993-1-1
tab. B.3

$$C_{my} \times (1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}})) =$$

$$\min(0,4 \times (1 + (0,35 - 0,2) \times \frac{307,04}{1,0 \times 1015,2/1,0});$$

$$0,4 \times (1 + 0,8 \times \frac{307,04}{0,91 \times 1015,2/1,0})) =$$

$$\min(0,42; 0,51) = 0,42$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,42 = 0,25$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{307,04}{1,0 \times 1015,2} + 0,41 \times \frac{6,71}{1,0 \times 53,1} = 0,35 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (35 \%)}$$

$$\frac{1,0}{1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{307,04}{0,58 \times 1015,2} + 0,25 \times \frac{6,71}{1,0 \times 53,1} = 0,55 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (55 \%)}$$

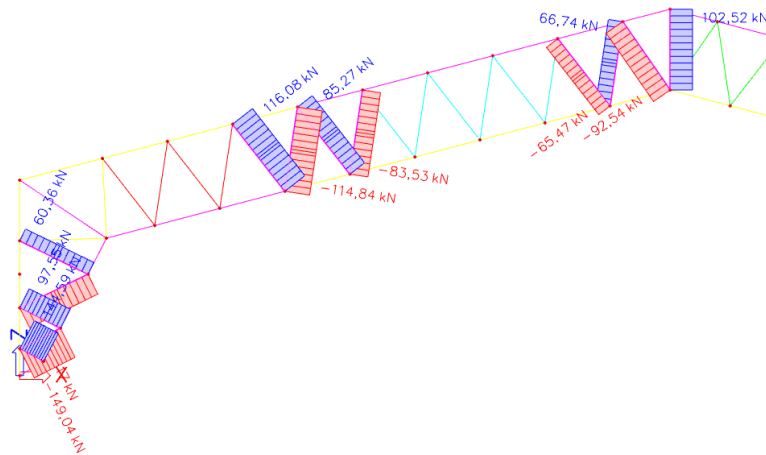
$$\frac{1,0}{1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{307,04}{1015,2/1,0} + \frac{6,71}{53,1/1,0} = 0,43 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

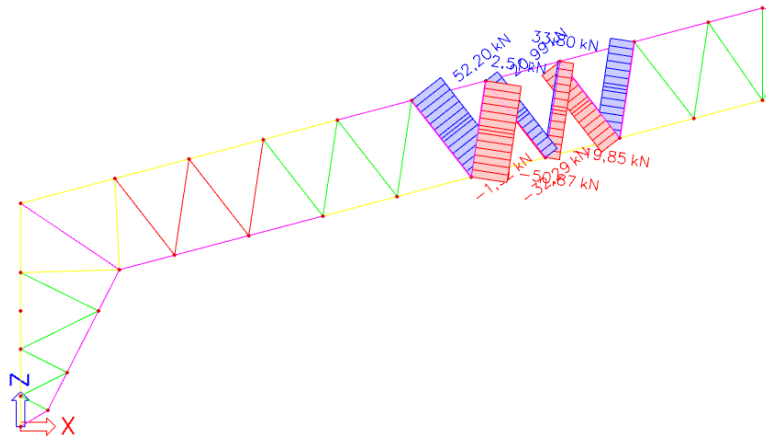
(Využití 43 %)

Sloup - S3 vyhovuje.

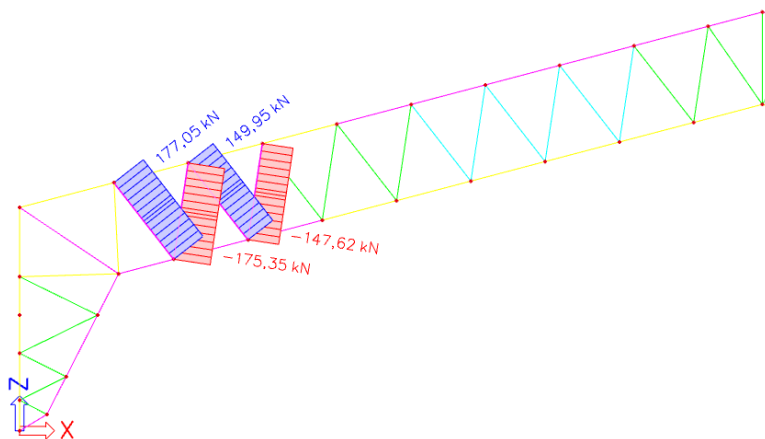
6.3.9 Normálové síly v diagonálách



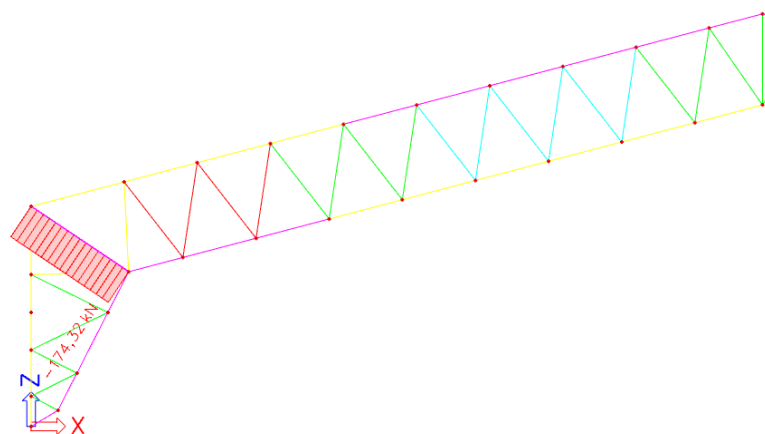
Obrázek 27: Vykreslení normálových sil N v diagonálách D1



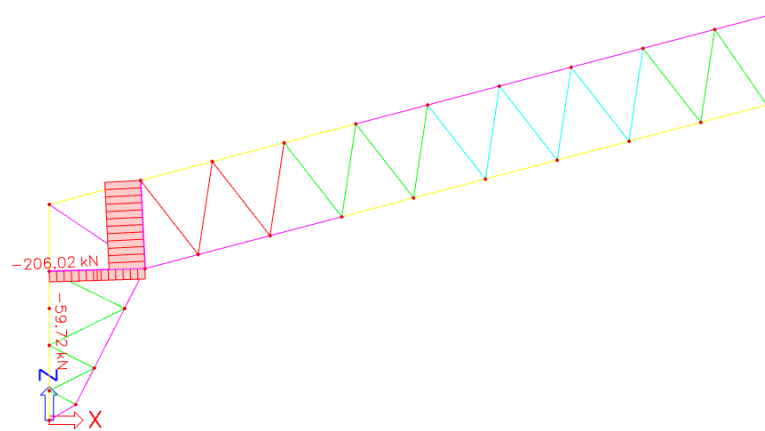
Obrázek 28: Vykreslení normálových sil N v diagonálách D2



Obrázek 29: Vykreslení normálových sil N v diagonálách D3



Obrázek 30: Vykreslení normálových sil N v diagonále D4



Obrázek 31: Vykreslení normálových sil N v diagonálách D5

6.3.10 Diagonála - D1

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-114,84		
116,08		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - RHS 90x50x6,3 mm		
A	1560×10^{-6}	m^2
I _y	$1,50 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$5,70 \times 10^{-7}$	m^4
$W_{pl,y}$	$43,2 \times 10^{-5}$	m^3
$W_{pl,z}$	$2,8 \times 10^{-5}$	m^3

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$L_{cr,z} = 2620mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1560 \times 10^{-6}}{1,5 \times 10^{-6}}} = 84,49 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{156 \times 10^{-6}}{5,7 \times 10^{-6}}} = 43,34 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1560 \times 235}{1,0} = 366,6kN$$

$$N_{Ed}^- = 114,84kN < N_{c,Rd} = 366,6kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 31\%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1560 \times 235}{1,0} = 366,6kN$$

$$N_{Ed}^+ = 116,08kN < N_{t,Rd} = 366,6kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 32\%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 1,5 \times 10^{-6}}{2,620^2} = 452,9kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,56 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{452,9 \times 10^3}} = 0,90 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,90 - 0,2) + 0,90^2] = 1,08$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 0,90^2}} = 0,60 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,60 \times 1,56 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 219,96kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 114,84kN < N_{b,Rd,y} = 219,96kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 52%)

$L_{cr,z} = 2620mm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 5,7 \times 10^{-7}}{2,62^2} = 172,1kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,56 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{172,1 \times 10^3}} = 1,46 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,87$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,87 + \sqrt{1,87^2 - 1,46^2}} = 0,33 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,33 \times 1,56 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 120,98kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 114,84kN < N_{b,Rd,z} = 120,98kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 95%)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Diagonála - D1 vyhovuje.

6.3.11 Diagonála - D2

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-50,87		
52,20		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - RHS 80x40x5,0 mm		
A	1070×10^{-6}	m^2
I _y	$8,03 \times 10^{-7}$	m^4
I _z	$2,57 \times 10^{-7}$	m^4
$W_{pl,y}$	$2,61 \times 10^{-5}$	m^3
$W_{pl,z}$	$1,57 \times 10^{-5}$	m^3

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$L_{cr,z} = 2620mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1070 \times 10^{-6}}{8,03 \times 10^{-7}}} = 95,64 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1070 \times 10^{-6}}{2,57 \times 10^{-7}}} = 180,68 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1070 \times 235}{1,0} = 251,45kN$$

$$N_{Ed}^- = 50,87kN < N_{c,Rd} = 251,45kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 20\%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1070 \times 235}{1,0} = 251,45kN$$

$$N_{Ed}^+ = 52,20kN < N_{t,Rd} = 251,45kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 21\%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,03 \times 10^{-7}}{2,620^2} = 242,46kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,07 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{242,46 \times 10^3}} = 1,02 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,02 - 0,2) + 1,02^2] = 1,22$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,02^2}} = 0,53 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,53 \times 1,07 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 133,27kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 50,87kN < N_{b,Rd,y} = 133,27kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 38%)

$$L_{cr,z} = 2620mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 2,57 \times 10^{-7}}{2,62^2} = 77,60kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,07 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{77,60 \times 10^3}} = 1,80 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,80 - 0,2) + 1,80^2] = 2,51$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,52 + \sqrt{2,52^2 - 1,80^2}} = 0,23 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,23 \times 1,07 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 57,83kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 50,87kN < N_{b,Rd,z} = 57,83kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 88%)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Diagonála - D2 vyhovuje.

6.3.12 Diagonála - D3

Vnitřní síly		
N	V _z	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-175,35		
177,05		

Materiál - ocel S235		
E	210 × 10 ⁹	[Pa]
G	81 × 10 ⁹	[Pa]
f _{yk}	235 × 10 ⁶	[Pa]
f _{uk}	360 × 10 ⁹	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - RHS 100x60x6,3 mm		
A	1810 × 10 ⁻⁶	m ²
I _y	2,25 × 10 ⁻⁶	m ⁴
I _z	9,81 × 10 ⁻⁷	m ⁴
W _{pl,y}	5,73 × 10 ⁻⁵	m ³
W _{pl,z}	3,95 × 10 ⁻⁵	m ³

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$L_{cr,z} = 2620mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1810 \times 10^{-6}}{2,25 \times 10^{-6}}} = 74,31 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 2620 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1810 \times 10^{-6}}{9,81 \times 10^{-7}}} = 112,54 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1810 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 425,35kN$$

$$N_{Ed}^- = 175,35kN < N_{c,Rd} = 425,35kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 41\%)}$$

Posudek průřezu: Prostý tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1810 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 425,35kN$$

$$N_{Ed}^+ = 177,05kN < N_{t,Rd} = 425,35kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 42\%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2620mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 2,25 \times 10^{-6}}{2,62^2} = 679,4kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,81 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{679,4 \times 10^3}} = 0,79 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y ⇒ křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,79 - 0,2) + 0,79^2] = 0,96$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,79^2}} = 0,66 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,66 \times 1,81 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 280,73 \text{ kN}$$

Posudek: $N_{Ed} = 175,35 \text{ kN} < N_{b,Rd,y} = 280,73 \text{ kN} \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 63%)

$$L_{cr,z} = 2620 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 9,81 \times 10^{-7}}{2,62^2} = 296,2 \text{ kN}$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,81 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{296,2 \times 10^3}} = 1,20 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z ⇒ křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,20 - 0,2) + 1,20^2] = 1,47$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,47 + \sqrt{1,47^2 - 1,20^2}} = 0,43 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,43 \times 1,81 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 182,9 \text{ kN}$$

Posudek: $N_{Ed} = 175,35 \text{ kN} < N_{b,Rd,z} = 182,9 \text{ kN} \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 96%)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Diagonála - D3 vyhovuje.

6.3.13 Diagonála - D4

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-174,32		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x8,0 mm		
A	4320×10^{-6}	m^2
I _y	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$14,1 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	226×10^{-6}	m^3
$W_{pl,z}$	226×10^{-6}	m^3

$$L_{cr,y} = 3210mm$$

$$L_{cr,z} = 3210mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 3210 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 56,19 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 3210 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{4320 \times 10^{-6}}{14,1 \times 10^{-6}}} = 56,19 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4320 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 1015,2kN$$

$$N_{Ed}^- = 174,32kN < N_{c,Rd} = 1015,2kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 17 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 3210mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{3,210^2} = 2836,1kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,320 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{2836,1 \times 10^3}} = 0,60 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,78 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,78 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 791,9kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 174,32kN < N_{b,Rd,y} = 791,9kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 22 %)

$$L_{cr,z} = 3210mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 14,1 \times 10^{-6}}{3,210^2} = 2836,1kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{2836,1 \times 10^3}} = 0,60 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,78 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,78 \times 4,32 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 791,9kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 174,32kN < N_{b,Rd,z} = 791,9kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 22 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Diagonála - D4 vyhovuje.

6.3.14 Diagonála - D5

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-205,50		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - SHS 150x4,0 mm		
A	2300×10^{-6}	m^2
I _y	$8,08 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$8,08 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	125×10^{-6}	m^3
$W_{pl,z}$	125×10^{-6}	m^3

$$L_{cr,y} = 2460mm$$

$$L_{cr,z} = 2460mm$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2460 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 41,50 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 2460 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{2300 \times 10^{-6}}{8,08 \times 10^{-6}}} = 41,50 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 540,50kN$$

$$N_{Ed}^- = 205,50kN < N_{c,Rd} = 540,50kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 38 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 2460mm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{2,460^2} = 2767,3kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,300 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{2767,3 \times 10^3}} = 0,44 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,44 - 0,2) + 0,44^2] = 0,66$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,44^2}} = 0,87 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,87 \times 2,300 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 470,24kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 205,5kN < N_{b,Rd,y} = 470,24kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 44 %)

$$L_{cr,z} = 2460mm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 8,08 \times 10^{-6}}{2,460^2} = 2767,3kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,300 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{2767,3 \times 10^3}} = 0,44 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose z-z \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,44 - 0,2) + 0,44^2] = 0,66$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,44^2}} = 0,87 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,87 \times 2,300 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 470,24kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 205,5kN < N_{b,Rd,z} = 470,24kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 44 %)

Posudek stability: Klopení

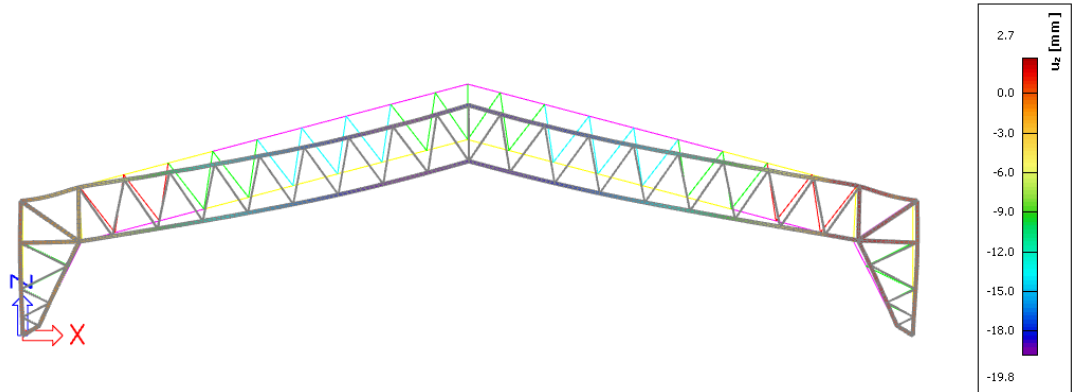
Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Diagonála - D5 vyhovuje.

6.4 Kontrolní výpočet - MSP

EN 1993-1-1
tab. NA.1

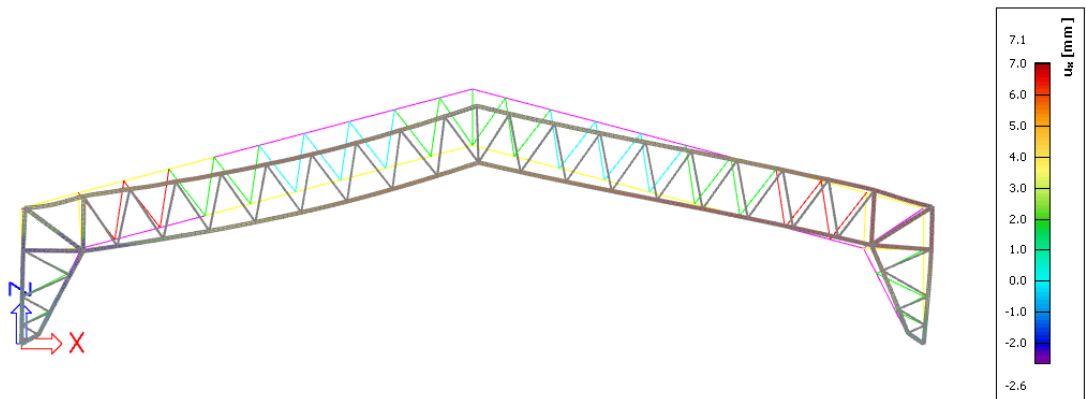
Kritériem pro průhyb konstrukce ve svislém směru je $\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{40000}{250} = 160mm$
Rozhodující je kombinace K-MSP-1, kdy $\delta_z = 19,8mm$
 $\delta_{lim} = 160mm > \delta_z = 19,8mm$



Obrázek 32: Vykreslení přemístění od K-MSP-1

⇒ Vyhovuje na průhyb

Kritériem pro průhyb sloupů ve vodorovném směru je $\delta_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{6000}{150} = 40mm$
Rozhodující je kombinace K-MSP-2, kdy $\delta_x = 7,1mm$
 $\delta_{lim} = 40mm > \delta_x = 7,1mm$



Obrázek 33: Vykreslení přemístění od K-MSP-2

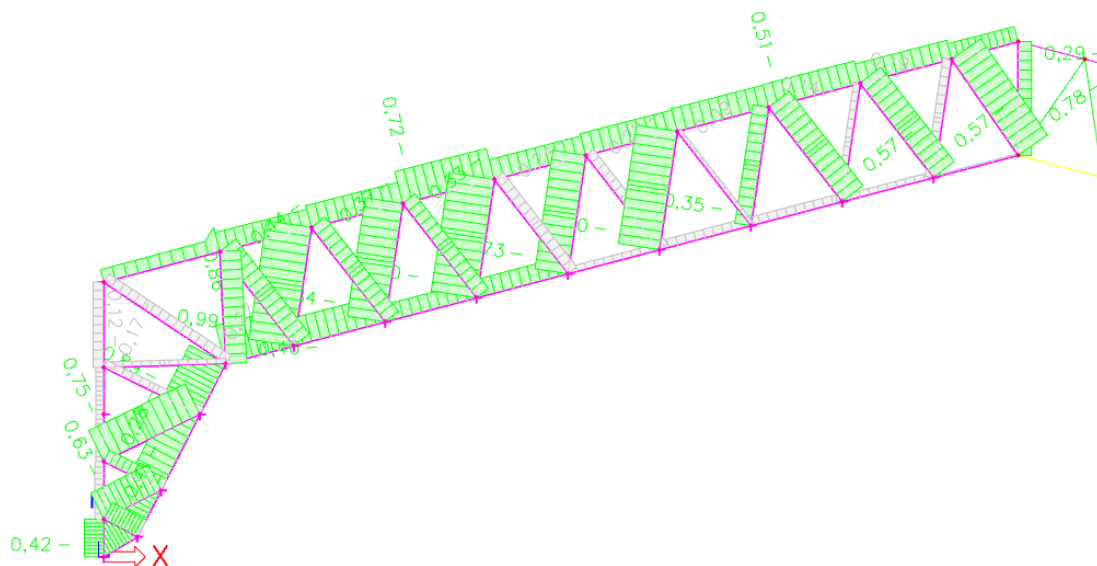
⇒ Vyhovuje na průhyb

Konstrukce splňuje limitní průhyb a na mezní stav použitelnosti - MSP vyhovuje.

6.5 Shrnutí kontrolního výpočtu - 2D model

Pro ověření, zda software Scia engineer provádí posouzení prutů dle uvažovaných předpokladů bylo vyjádřeno využití jednotlivých prutů. Konkrétně se jedná o horní a dolní pas, příhradový sloup a diagonály příhrady. Posuzována byla levá polovina rámu a to z důvodu osové symetrie.

Vynechaná pole značí posudky, které vyšly s využitím pod 1%. Tučně jsou vyznačeny rozhodující posudky. Využití jednotlivých prvků dle software Scia engineer a dle ručního kontrolního výpočtu jsou shrnuty v tabulce níže. Posudek prostého tlaku či tahu (podle jednotlivého využití prutu) je označen "N" [kN], posudek smyku je označen "Vz" [kN], posudek ohybového momentu je označen "My" [kNm], posudek vzpěru je označen "Nb" a posudek interakce tlaku a ohybu je označen "N+M".



Obrázek 34: Využití prutů na MSÚ dle programu Scia engineer

Tabulka 5: Porovnání využití prutů dle software a kontrolního výpočtu

Prut	Software					Kontrolní výpočet				
	N	V_z	M_y	V_b	N+M	N	V_z	M_y	V_b	N+M
HP1	42	10	17	61	72	40	14	36	63	75
HP2	32	5	7	46	51	32	5	9	46	50
DP1	44	-	-	86	86	43	-	-	85	-
DP2	35	-	1	74	74	33	-	-	69	-
S1	26	2	14	32	42	26	4	18	36	40
S2	46	-	1	81	81	46	1	4	79	82
S3	31	4	7	53	58	30	2	13	52	55
D1	33	-	-	99	-	32	-	-	95	-
D2	21	-	-	90	-	21	-	-	88	-
D3	43	-	-	99	-	42	-	-	96	-
D4	17	-	-	22	-	17	-	-	22	-
D5	40	-	-	46	-	38	-	-	44	-

⇒ Hodnoty posudků odpovídají ručním kontrolním výpočtům.

7 Prostorový model

7.1 Návrh a posouzení ztužidlového systému

7.1.1 Střešní ztužidlo

Deformace při jednotkovém zatížení: $\delta_{q(q=1,0)} = 12,9mm$

Imperfekce výztužného systému:

$$m = 20/3 = 6,66ks$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{6,66}\right)} = 0,758$$

$$e_0 = \alpha_m \times L/500 = 0,758 \times 40000/500 = 60,64mm$$

Stabilitní síla příčných pásů vazníku (vycházející z průměrného namáhání vazníku):

$$N_{Ed} = M_{Ed,\phi}/h + N_{Ed}/2 = 35,29/2,4 + 238,4/2 = 133,9kN$$

$$\delta_{q,0} = \frac{L}{500} = \frac{40000}{500} = 80mm$$

$$q_d = \sum N_{Ed} \times 8 \times \frac{e_0 + \delta_{q,0}}{L^2} = (6,66 \times 133,9 \times 10^3) \times 8 \times \frac{60,64 + 80}{40000^2} = 0,63kN/m$$

Kontrola pro $\delta_{q,0}$:

$$\delta_{q(1)} = (q_d + q_{d,w}) \times \delta_{q(q=1,0)} = (30,5 + 0,63) \times 11,5 = 37,75mm \leq \delta_{q,0} = 80mm$$

Orientační zatížení v uzlech:

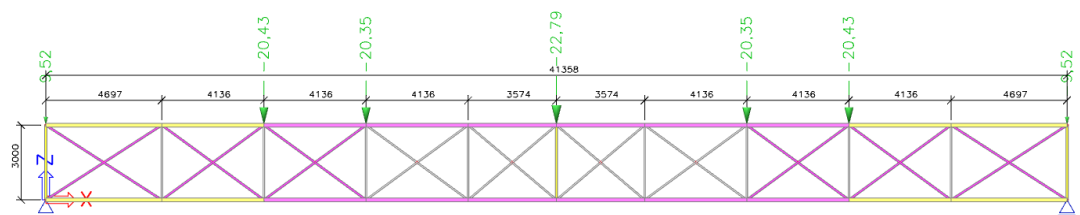
$$w_1 = 0,5 \times b \times h \times w_{e,D} = 0,5 \times 4,098 \times 6,538 \times 0,711 = 9,52kN$$

$$w_2 = 0,5 \times b \times h \times w_{e,D} = 0,5 \times 7,049 \times 8,151 \times 0,711 = 20,43kN$$

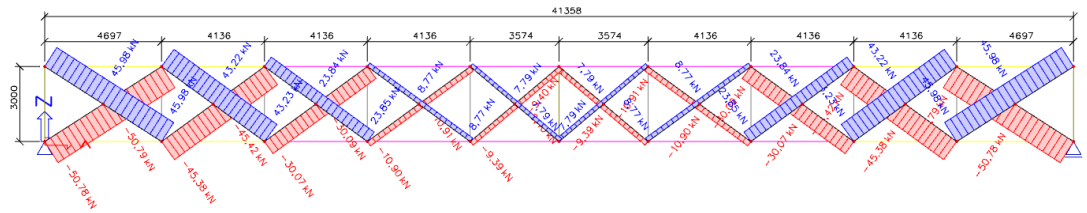
$$w_3 = 0,5 \times b \times h \times w_{e,D} = 0,5 \times 5,902 \times 9,701 \times 0,711 = 20,35kN$$

$$w_4 = 0,5 \times b \times h \times w_{e,D} = 0,5 \times 5,902 \times 10,863 \times 0,711 = 22,79kN$$

Vnitřní síly byly zjištěny ze zjednodušeného modelu střešního ztužidlového systému.



Obrázek 35: Výpočetní model střešního ztužidla



Obrázek 36: Průběh normálových sil na střešních ztužidlech

Posouzení krajních střešních ztužidel

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-50,79		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - TR 76,1x3,0 mm		
A	689×10^{-6}	m^2
I	$0,461 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	16×10^{-6}	m^3

$L_{cr} = 2787mm$

$\lambda = L_{cr} \times \sqrt{\frac{A}{I}} = 2787 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{689 \times 10^{-6}}{0,461 \times 10^{-6}}} = 107,74 < 200$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky

Posudek průřezu: Prostý tlak

$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{689 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 161,92kN$

$N_{Ed} = 50,79kN < N_{c,Rd} = 161,92kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 31 %)

Posudek stability: Vzpěr

$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 0,461 \times 10^{-6}}{2,787^2} = 123,01kN$

Relativní štíhlost: $\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon$ kde $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,689 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{123,01 \times 10^3}} = 1,15 > 0,2$$

⇒ účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti ⇒ křivka "c"

$$\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,15 - 0,2) + 1,15^2] = 1,39$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,39 + \sqrt{1,39^2 - 1,15^2}} = 0,46 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

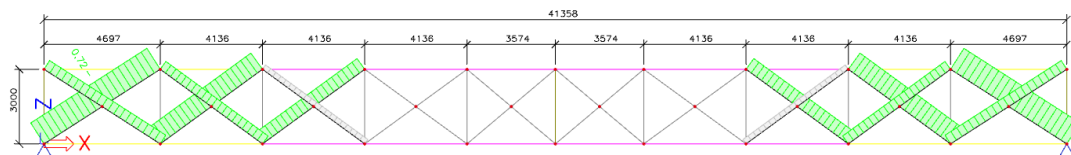
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,46 \times 0,689 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 74,48 \text{ kN}$$

Posudek: $N_{Ed} = 50,79 \text{ kN} < N_{b,Rd,y} = 74,48 \text{ kN} \Rightarrow$ Vyhovuje (Využití 68 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Krajní ztužidlo vyhovuje.



Obrázek 37: Generovaný posudek krajního střešního ztužidla

Zjednodušený ruční návrh krajních střešních ztužidel, jehož posudek ručně vyšel na **68 %**, přibližně odpovídá generovanému posudku programem Sica Engineer, který vyšel na **72 %**, a je tak považován za verifikovaný.

Posouzení středových střešních ztužidel

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-10,91		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - TR 60,3x3,0 mm		
A	540×10^{-6}	m^2
I	$0,222 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	$9,86 \times 10^{-6}$	m^3

$$L_{cr} = 2555 \text{ mm}$$

$$\lambda = L_{cr} \times \sqrt{\frac{A}{I}} = 2555 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{540 \times 10^{-6}}{0,222 \times 10^{-6}}} = 126,01 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky

Posudek průřezu: Prostý tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{540 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 126,9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^- = 10,91 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 126,9 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 9 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 0,222 \times 10^{-6}}{2,555^2} = 70,48 \text{ kN}$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,540 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{70,48 \times 10^3}} = 1,34 > 0,2$$

 \Rightarrow účinek vzpěruKřivka vzpěrnosti \Rightarrow křivka "c"

$$\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,34 - 0,2) + 1,34^2] = 1,68$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,68 + \sqrt{1,68^2 - 1,34^2}} = 0,37 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

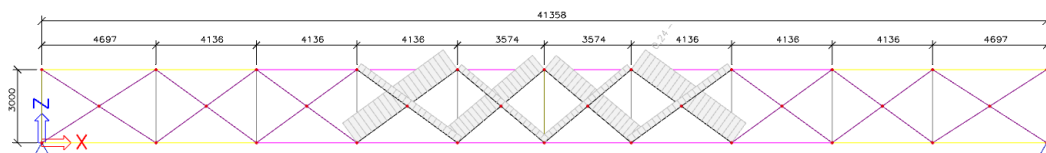
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,37 \times 0,557 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 46,95 \text{ kN}$$

Posudek: $N_{Ed} = 10,91kN < N_{b,Rd,y} = 46,95kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 23 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Středové ztužidlo vyhovuje.



Obrázek 38: Generovaný posudek středového střešního ztužidla

Zjednodušený ruční návrh středových střešních ztužidel, jehož posudek ručně vyšel na **23 %** přibližně odpovídá generovanému posudku programem Sica Engineer, který vyšel na **24 %**, a je tak považován za verifikovaný.

7.1.2 Hlavní podélné ztužidlo

Na každé podélné straně haly se nachází jeden ztužidlový systém přenášející zatížení od větru na štítovou stěnu a následně do základů. Reakce od střešního ztužidla působící na hlavní stěnové ztužidlo byla vypočtena ze zatížení větrem na štítovou stěnu. Hodnota w^- představuje tlakové zatížení (tlak) větrem na návětrnou stranu, hodnota w^+ představuje tahové zatížení (sání) na závětrnou stranu.

$$w^- = 0,5 \times (h_{hřeben} + h_{okap}) \times (b/2) \times w_{e,D} = 0,5 \times (11,25 + 6) \times (20/2) \times 0,711 = 61,3kN$$

$$w^+ = 0,5 \times (h_{hřeben} + h_{okap}) \times (b/2) \times w_{e,E} = 0,5 \times (11,25 + 6) \times (20/2) \times 0,305 = 26,3kN$$

Zatížení vlivem rámových imperfekcí:

EN 1993-1-1
5.3.2

$$\phi = \phi_0 \times \alpha_n \times \alpha_m = \frac{1}{200} \times 0,8165 \times 1,0 = 4,1 \times 10^{-3} m/m \quad (22)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6}} = 0,8165$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_n \leq 1,0 \Rightarrow 0,6 \leq 0,8165 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$m = 1ks$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times (1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0,5 \times (1 + \frac{1}{1})} = 1,0$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

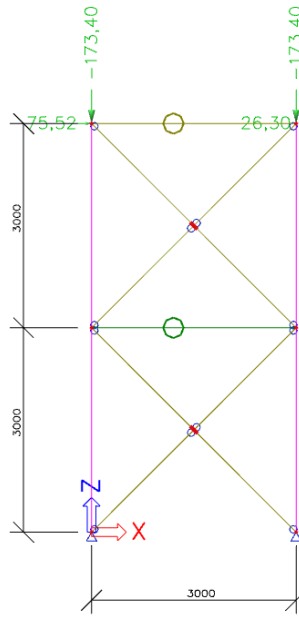
Výpočet normálové síly ve sloupu od zatížení sněhem:

$$N_{Ed} = r \times \frac{b}{2} \times s = 3 \times 20 \times 2,89 = 173,4kN$$

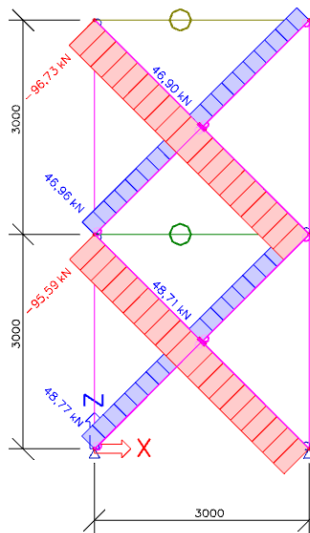
$$\text{Náhradní vodorovná síla: } H_{eq} = \phi \times \sum N = 4,1 \times 10^{-3} \times 20 \times 173,4 = 14,22kN$$

Zadaná vodorovná síla do výpočetního modelu je rovna součtu vodorovných sil:

$$w^- + H_{eq}.$$



Obrázek 39: Výpočetní model stěnového ztužidla



Obrázek 40: Průběh normálových sil na stěnovém ztužidle

Posouzení stěnových ztužidel

Vnitřní síly		
N	V _z	My
[kN]	[kN]	[kNm]
-95,59		

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - TR 88,9x4,0 mm		
A	1070×10^{-6}	m^2
I	$0,963 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	$28,9 \times 10^{-6}$	m^3

$L_{cr} = 2120mm$ - Neexistuje žádná kombinace, ve které by se nacházely obě diagonály v tlaku. Proto je uvažováno, že tažená diagonála stabilizuje tlačnou v její polovině a kritická délka je redukována na polovinu rozpětí diagonály.

$$\lambda = L_{cr} \times \sqrt{\frac{A}{I}} = 2120 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{1070 \times 10^{-6}}{0,963 \times 10^{-6}}} = 70,67 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky**Posudek průřezu: Prostý tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1070 \times 10^{-3} \times 235}{1,0} = 251,45N$$

$$N_{Ed} = 95,59kN < N_{c,Rd} = 251,45kN \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 38 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 0,963 \times 10^{-6}}{2,120^2} = 444,09kN$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,070 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{444,09 \times 10^3}} = 0,75 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti \Rightarrow křivka "c"

$$\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,75 - 0,2) + 0,75^2] = 0,92$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,75^2}} = 0,69 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

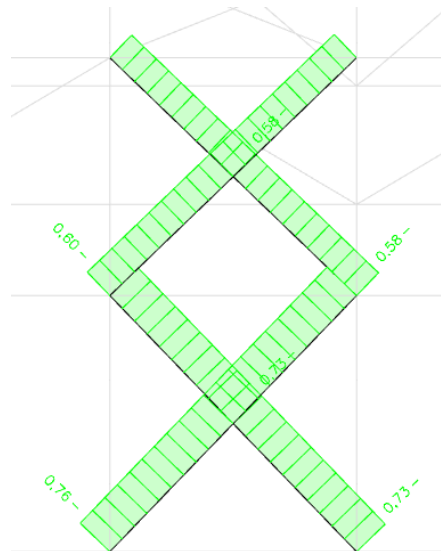
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,69 \times 1,070 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 173,5kN$$

Posudek: $N_{Ed} = 95,59kN < N_{b,Rd,y} = 173,5kN \Rightarrow$ Vyhovuje (Vyžití 55 %)

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Stěnové ztužidlo vyhovuje.



Obrázek 41: Generovaný posudek hlavního stěnového ztužidla

Hodnoty využití prutů na MSÚ ručního výpočtu a generovaného posudku programem Sica Engineer jsou obdobné a jsou tak považovány za ověřené. Ve vrchním poli jsou hodnoty posudků podobné, hodnoty ve spodním poli se liší z důvodu přídatné síly od průběžného prutu na středu sloupu.

7.2 Štítové sloupy

Nejvíce zatíženými štítovými sloupy jsou střední sloup na ose D (kvůli jeho výšce) a krajní na ose B a F (kvůli zvětšené zatěžovací šířce). Ve spoji štítového sloupu a rámu je umožněno prokluzu, díky oválnému otvoru za účelem vyloučení přídatného osového tlaku ve štítovém sloupu od zatížení. Zjednodušeně je štítový sloup navržen jako prostý nosník zatížený liniovým zatížením w od větru na štítovou stěnu, liniovou silou ve směru střednice prutu od vlastní tíhy a tíhy pláště.

Zatížení na štítové sloupy od větru:

$$w_D = z.š. \times w_{e,D} = (5,85 + 5,85)/2 \times 0,711 = 4,16kN/m$$

$$w_{B,F} = z.š. \times w_{e,D} = (6,00 + 8,16)/2 \times 0,711 = 5,03kN/m$$

Maximální momenty na štítových sloupech:

$$M_{y,D} = \frac{1}{8} \times w_6 \times l^2 = \frac{1}{8} \times 4,16 \times 11,25^2 = 65,81 \text{ kNm}$$

$$M_{y,B,F} = \frac{1}{8} \times w_4 \times l^2 = \frac{1}{8} \times 5,03 \times 8,23^2 = 42,59 \text{ kNm}$$

Konzervativně je uvažována délka sloupu od úrovně kotvení po průsečík s horním pasem rámu.

Normálové zatížení od obvodového pláště:

$$N_{Ed,D,ZS11} = l \times z.\dot{s}. \times 0,08 = 11,25 \times (5,85 + 5,85)/2 \times 0,08 = 5,27 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,B,F,ZS11} = l \times z.\dot{s}. \times 0,08 = 8,23 \times (6,00 + 8,16)/2 \times 0,08 = 4,66 \text{ kN/m}$$

Normálové zatížení v patě sloupu od vlastní tíhy:

$$N_{Ed,D,ZS10} = l \times G = 11,25 \times 0,390 = 4,39 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,B,F,ZS10} = l \times G = 8,23 \times 0,390 = 3,21 \text{ kN}$$

Maximální normálová síla působící na prut je rovna součtu: $N_{Ed,ZS11} + N_{Ed,ZS10}$

Konzervativně je proveden posudek na maximální normálovou a maximální ohybovou sílu. Největší vnitřní síly se nachází ve středovém štítovém sloupu na ose D, který je ručně posouzen. Sloup je konzervativně posouzen na maximální ohybovou a maximální normálovou sílu, která se na sloupu nachází.

Posouzení středního štítového sloupu - osa D

Vnitřní síly		
N	Vz	My
[kN]	[kN]	[kNm]
9,66		65,81

Materiál - ocel S235		
E	210×10^9	[Pa]
G	81×10^9	[Pa]
f_{yk}	235×10^6	[Pa]
f_{uk}	360×10^9	[Pa]

[13]

Průřezové charakteristiky - RHS 200x150x8,0 mm		
A	5124×10^{-6}	m^2
I _y	$28,3 \times 10^{-6}$	m^4
I _z	$18,2 \times 10^{-6}$	m^4
$W_{pl,y}$	344×10^{-6}	m^3
G	0,390	kN/m

Lokální imperfekce jsou zahrnuty v součiniteli vzpěrnosti.

Vzpěrná délka je na stranu bezpečnou uvažována, jako délka od paty sloupu po průsečík štítového sloupu s horním pasem.

$$L_{cr,y} = 11250 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 11250 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \times \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 11250 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{5124 \times 10^{-6}}{28,3 \times 10^{-6}}} = 151,4 < 200$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \times \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 11250 \times 10^{-3} \times \sqrt{\frac{5124 \times 10^{-6}}{18,2 \times 10^{-6}}} = 188,8 < 200$$

Třída průřezu: 1

EN 1993-1-1

Posudky

Posudek průřezu: Prostý tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5124 \times 235}{1,0} = 1204,1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 9,66 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 1204,1 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 1 \%)}$$

Posudek průřezu: Ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{344 \times 10^3 \times 235 \times 10^{-6}}{1,0} = 80,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 65,81 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 80,84 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 81 \%)}$$

Posudek stability: Vzpěr

$$L_{cr,y} = 11250 \text{ mm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 28,3 \times 10^{-6}}{11,250^2} = 463,45 \text{ kN}$$

$$\text{Relativní štíhlost: } \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \times \varepsilon \text{ kde } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,124 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{463,45 \times 10^3}} = 1,61 > 0,2$$

\Rightarrow účinek vzpěru

Křivka vzpěrnosti k ose y-y \Rightarrow křivka "c"

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (1,61 - 0,2) + 1,61^2] = 1,69$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,61 + \sqrt{1,61^2 - 1,30^2}} = 0,45 < 1,0$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \times A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,45 \times 5,124 \times 10^{-3} \times 235 \times 10^6}{1,0} = 541,86 \text{ kN}$$

$$\text{Posudek: } N_{Ed} = 9,66 \text{ kN} < N_{b,Rd,y} = 541,86 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 2 \%)}$$

Posudek stability: Klopení

Uzavřené průřezy nejsou citlivé na klopení.

Posudek stability: Interakce tlaku a ohybu

Křivka vzpěrnosti k ose y-y = křivka "c": $\chi_y = 0,45$

Jelikož se jedná o uzavřený profil, je uvažován: $\chi_{LT} = 1,0$

viz Posudek stability: Vzpěr

EN 1993-1-1

Interakční součinitele

příloha B
metoda 2

$$N_{Rk} = A \times f_y = 5124 \times 235 = 1204,1 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 344 \times 235 = 80,84 \text{ kNm}$$

EN 1993-1-1
tab. B.3

Součinitele c_m :

$$\alpha_s = M_h/M_s = 0/(-65,81) = 0; \Rightarrow$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \times \alpha_s = 0,95 + 0,05 \times (0) = 0,95 > 0,4$$

$$c_{mz} = 0$$

$$c_{mLT} = 0$$

$$k_{yy} = \min\left(C_{my} \times (1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}});$$

$$C_{my} \times (1 + 0,8 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}/\gamma_{M0}})) =$$

$$\min\left(0,95 \times (1 + (1,61 - 0,2) \times \frac{9,66}{0,45 \times 1204,1/1,0});$$

$$0,95 \times (1 + 0,8 \times \frac{9,66}{0,45 \times 1204,1/1,0})) =$$

$$\min(0,97; 0,96) = 0,96$$

$$k_{zy} = 0,6 \times k_{yy} = 0,6 \times 0,97 = 0,58$$

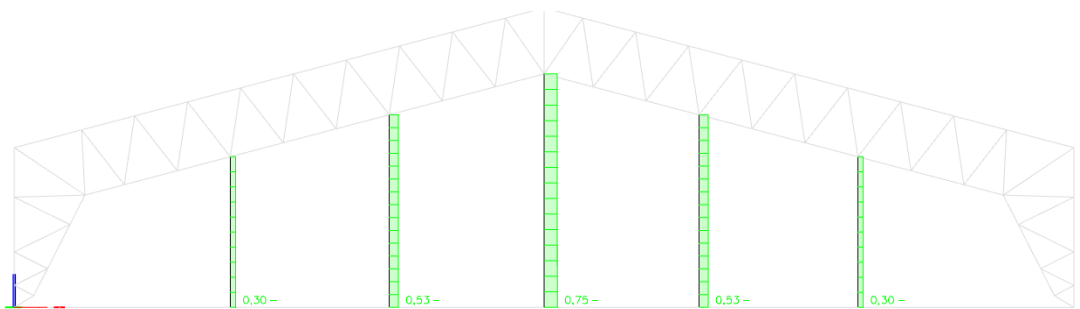
Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{Rk}} < 1,0$$

$$\frac{9,66}{0,45 \times 1204,1} + 0,96 \times \frac{65,81}{1,0 \times 80,84} = 0,80 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (80 \%)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} = \frac{9,66}{1204,1/1,0} + \frac{65,81}{80,84/1,0} = 0,82 < 1,0 \Rightarrow \text{Vyhovuje (Využití 82\%)}$$

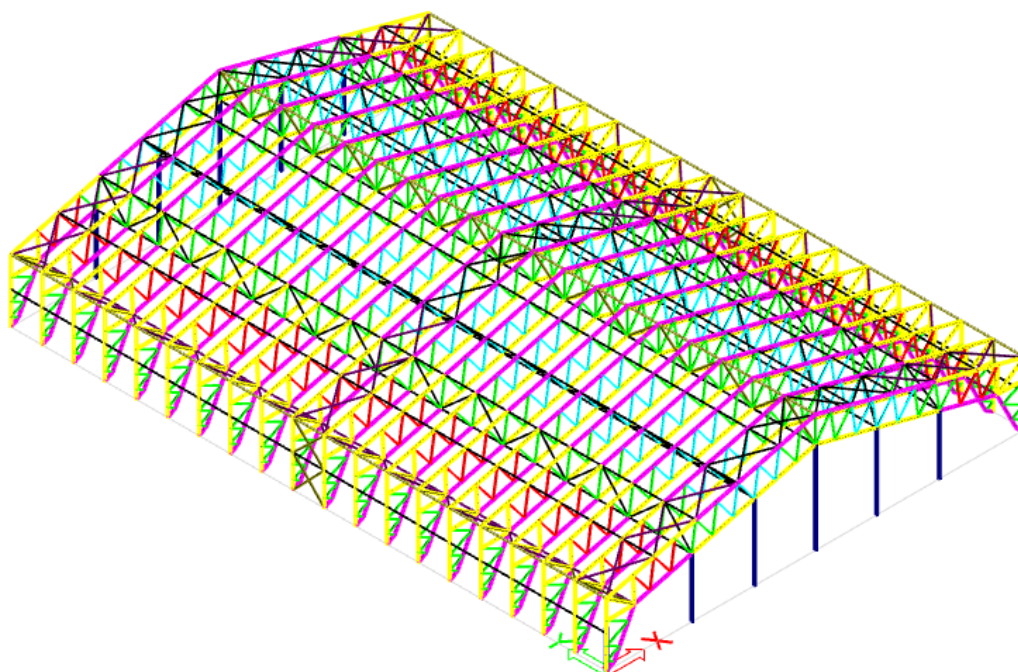
Středový štítový sloup - osa D vyhovuje.



Obrázek 42: Generovaný posudek štítových sloupů

Zjednodušený ruční návrh nejvíce zatíženého štítového sloupu, jehož posudek ručně vyšel na **82 %**, přibližně odpovídá generovanému posudku programem Sica Engineer, který vyšel na **75 %**, a je tak považován za verifikovaný.

7.3 Shrnutí kontrolního výpočtu



Obrázek 43: Axonometrie prostorového modelu

V prostorovém modelu, oproti 2D studii, došlo k úpravě a redistribuci vnitřních sil na rám vlivem zapojení a aktivování ztužidlového systému a uvážení namáhání rámu ve štítu dvouosým ohybem od zatížení větrem.

Tabulka 6: Porovnání využití prutů rámu ve 2D studii a prostorovém modelu

Prut	2D model					Prostorový model				
	N	V_z	M	V_b	N+M	N	V_z	M	V_b	N+M
HP1	42	10	17	61	72	44	10	17	63	74
HP2	32	5	7	46	51	33	5	6	48	53
DP1	44	-	-	86	86	49	-	-	95	-
DP2	35	-	1	74	74	22	-	26	46	78
S1	26	2	14	32	42	59	3	16	72	84
S2	46	-	1	81	81	49	-	4	86	87
S3	31	4	7	53	58	13	5	25	23	91
D1	33	-	-	99	-	34	-	-	102	-
D2	21	-	-	90	-	28	-	-	117	-
D3	43	-	-	99	-	44	-	-	102	-
D4	17	-	-	22	-	22	-	-	28	-
D5	40	-	-	46	-	41	-	-	47	-

Po provedení srovnání z tabulky 6 bylo zjištěno, že některé sady prutů jsou neefektivně nadimenzované a některé naopak přestaly vyhovovat. Z toho důvodu došlo k návrhu změny průřezů, tak aby vyhovovaly.

Diagonálám D1 - D4, které v prostorovém prostředí nevyhovují, byl změněn průřez.

Sadě diagonál D1 byl změněn průřez z RHS90x50x6,3 na RHS100x60x5,0

Sadě diagonál D2 byl změněn průřez z RHS80x40x5,0 na RHS90x50x3,6

Sadě diagonál D3 byl změněn průřez z RHS100x60x6,3 na RHS120x80x5,0

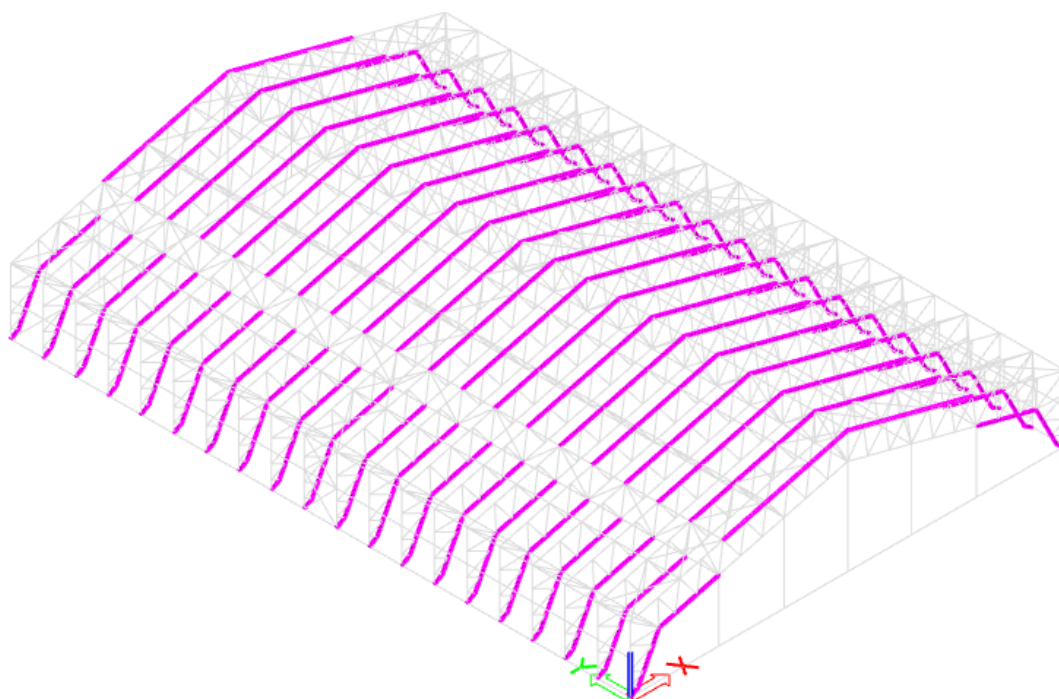
Sadě diagonál D4 byl změněn průřez z SHS150x8,0 na SHS150x4,0

V tabulce 7 jsou vypsány výsledky jednotlivých posudků prutů po optimalizaci.

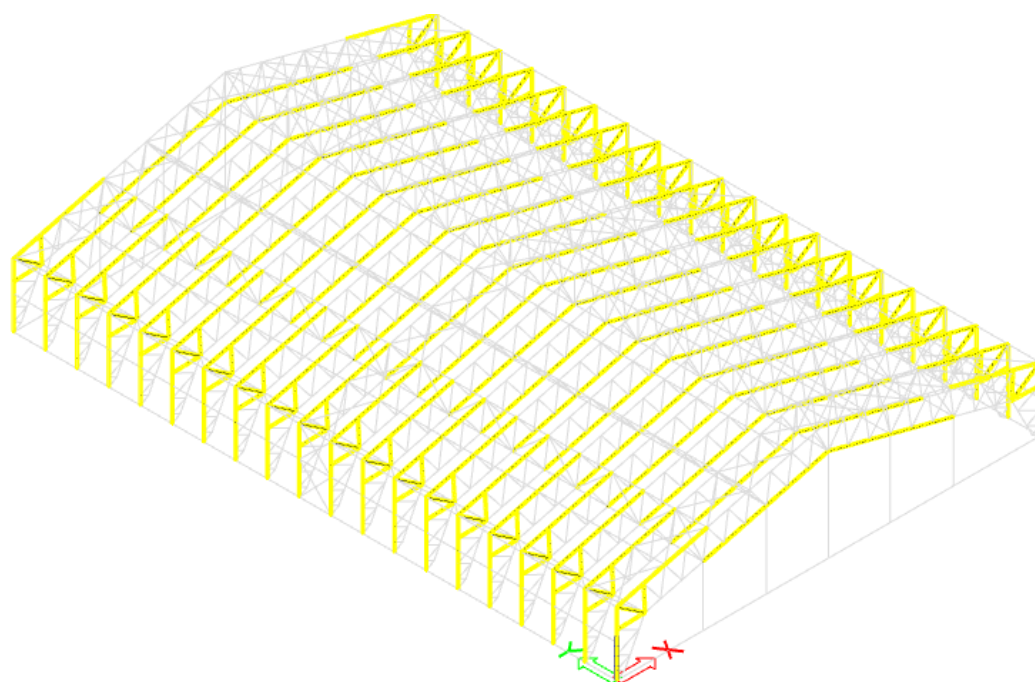
Tabulka 7: Navržené využití prutů rámu v prostorovém modelu

Prut	Prostorový model				
	N	V_z	M	V_b	$N + M$
HP1	44	10	17	63	74
HP2	33	5	6	48	53
DP1	49	-	-	95	-
DP2	22	-	26	46	78
S1	59	3	16	72	84
S2	49	-	4	86	87
S3	13	5	25	23	91
D1	35	-	-	79	-
D2	31	-	-	87	-
D3	43	-	-	69	-
D4	42	-	-	52	-
D5	41	-	-	45	-

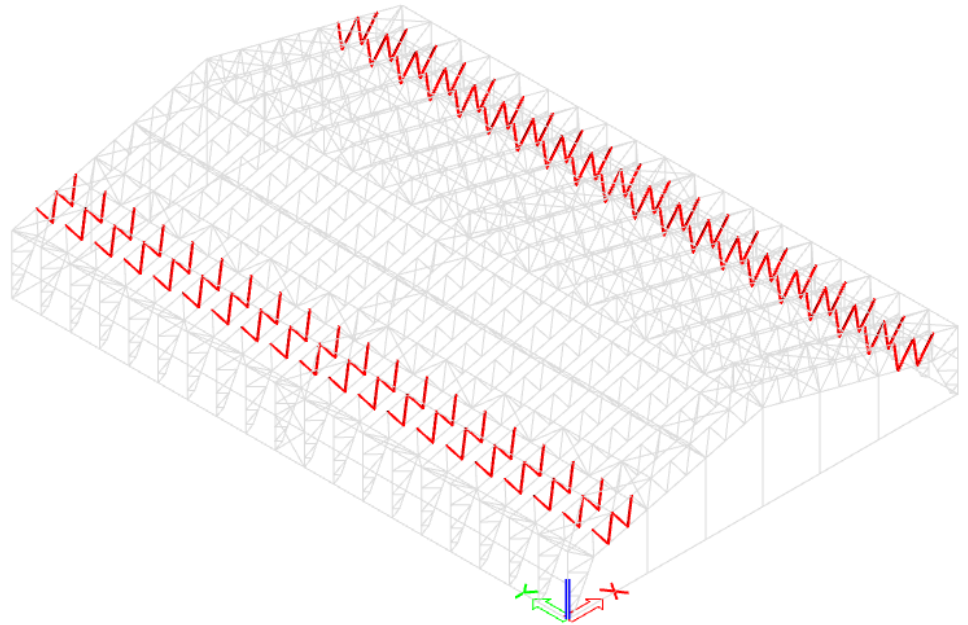
7.3.1 Použité průřezy



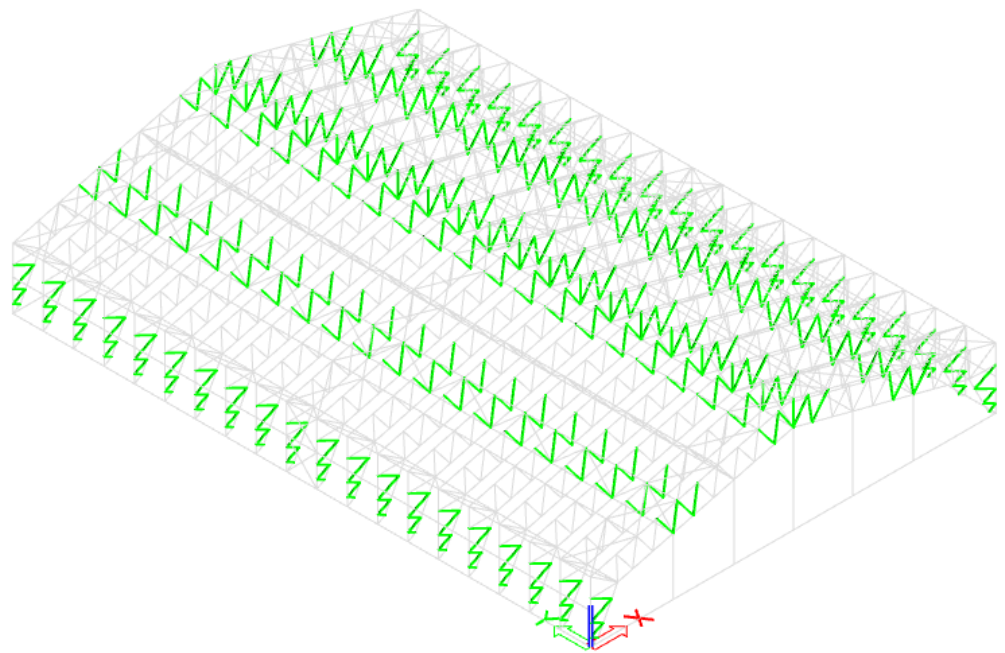
Obrázek 44: Průřez CS10 - SHS150/8,0



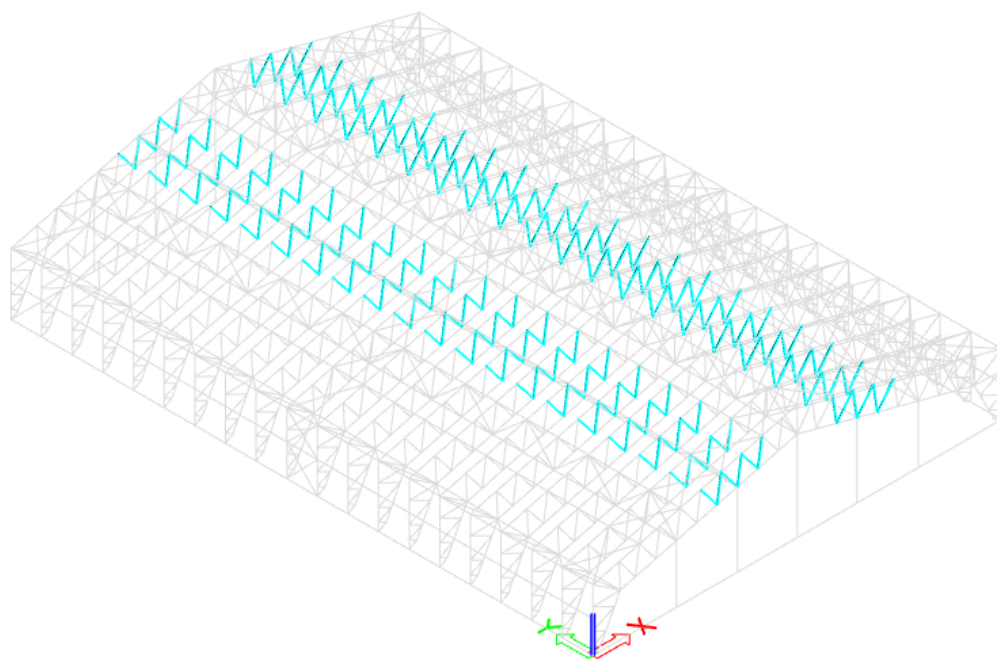
Obrázek 45: Průřez CS20 - SHS150/4,0



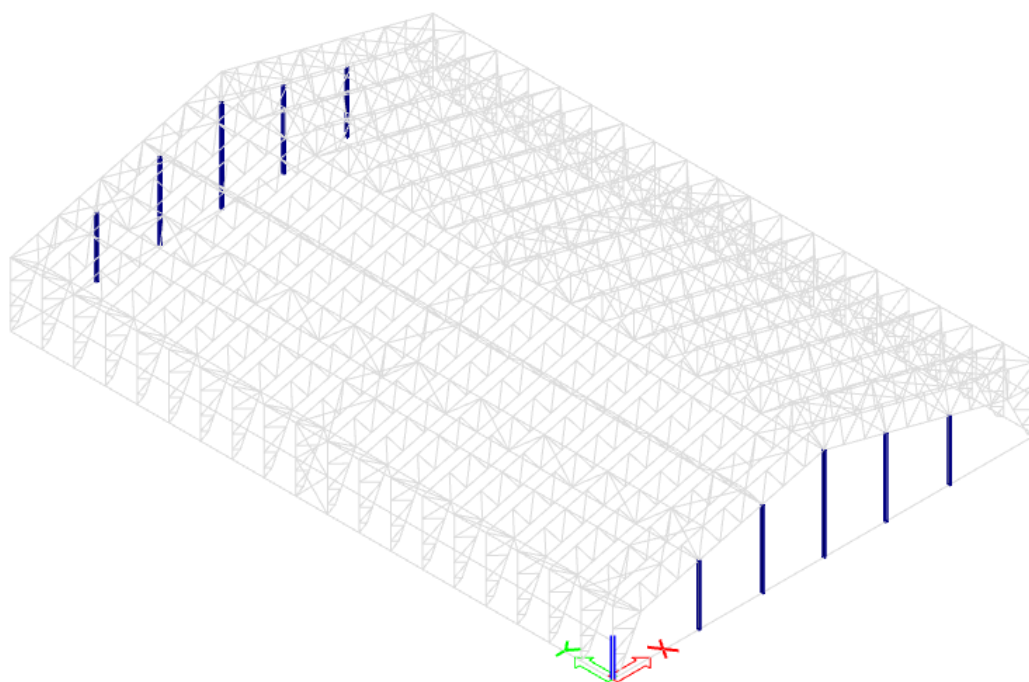
Obrázek 46: Průřez CS30 - RHS120/80/5,0



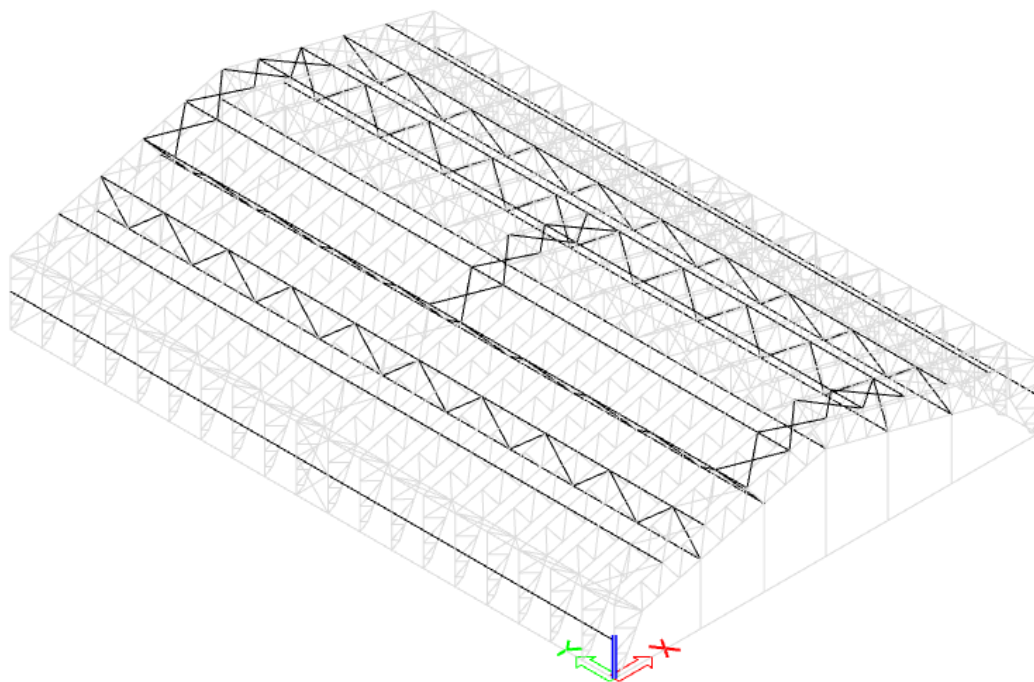
Obrázek 47: Průřez CS40 - RHS100/60/5,0



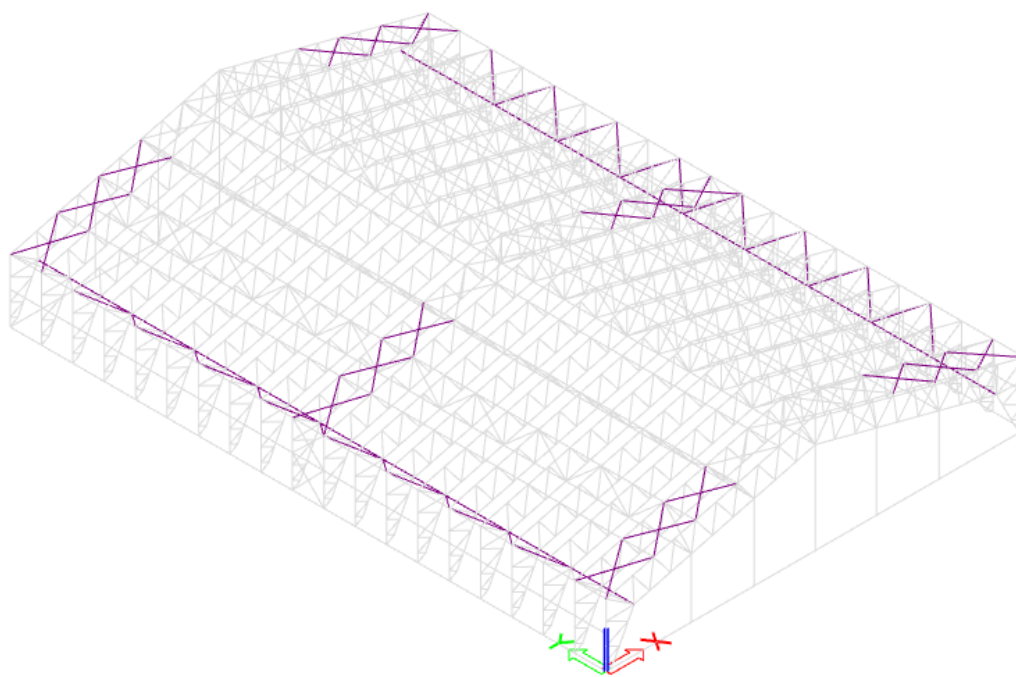
Obrázek 48: Průřez CS50 - RHS90/50/3,6



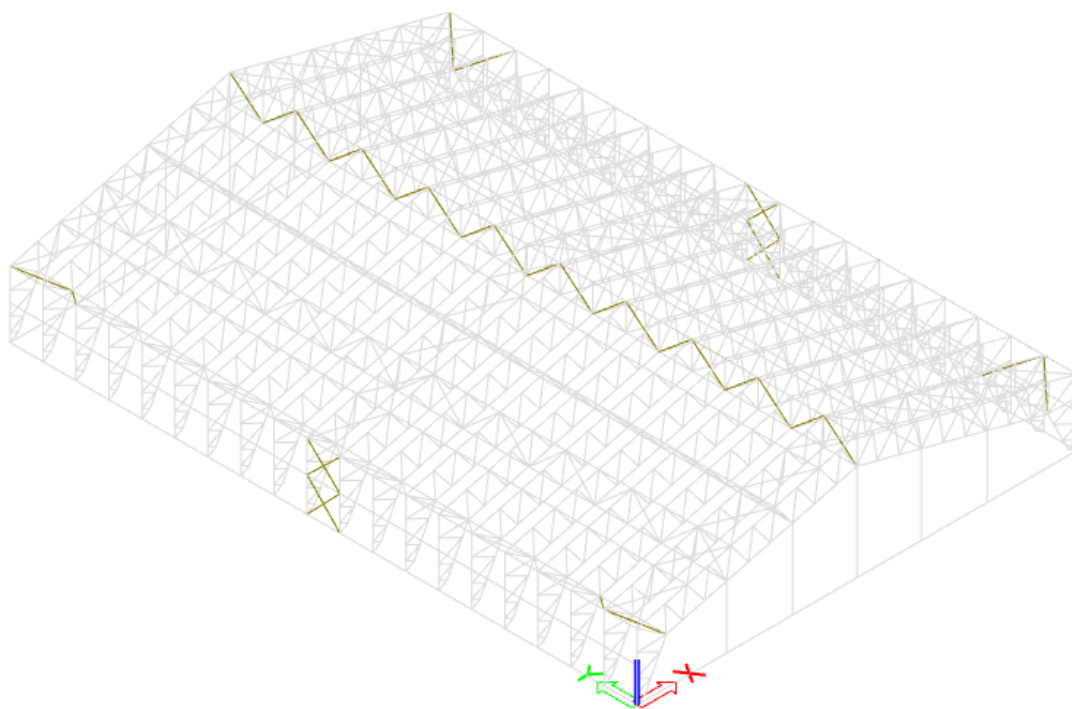
Obrázek 49: Průřez CS60 - RHS200/150/8,0



Obrázek 50: Průřez CS70 - CFCH60,3x3,0



Obrázek 51: Průřez CS71 - CFCH76,1x3,0



Obrázek 52: Průřez CS72 - CFCH88,9x4,0

8 Přípoje

8.1 Patka - čepový spoj

- [19] Pro dosažení co nejlepších kloubových vlastností patky je navržen čepový přípoj na obou stranách každého rámu. Navržený čepový přípoj bude použit ve všech rámech.

Čep je navržen z konstrukční oceli S355, plechy z konstrukční oceli S355. Čep bude zajištěný závlačkou proti vytažení. Maximální tlaková síla, která na styčník působí od softwarem generované kombinace zatížení je $524,92kN$, maximální posouvající síla ve stejné kombinaci je $199,85kN$.

Maximální tlaková síla na kotvení je vypočtena jako vektorový součet svislé a vodorovné síly:

$$F_{Ed}^- = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{524,92^2 + 199,85^2} = 561,86kN$$

Maximální **vodorovná síla** na kotvení je $F_{Ed}^v = 282,48kN$ Maximální **tahová síla** na kotvení je $F_{Ed}^+ = 351,86kN$.

Výkres přípoje viz Výkresová dokumentace práce.

8.1.1 Návrh průřezových charakteristik čepu

Průměr čepu: $d = 60mm$

Průměr otvoru pro čep: $d_0 = d + 3 = 60 + 3 = 63mm$

Plocha průřezu čepu: $A = \pi \times \left(\frac{60}{2}\right)^2 = 2827mm^2$

Elastický průřezový modul: $W_{el} = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi \times 60^3}{32} = 21205mm^3$

8.1.2 Návrh a posouzení plechu čepového spoje

Tloušťka krajních plechů: $t_k = 15mm$

Tloušťka středového plechu: $t_s = 20mm$

Koncové rozteče styčnickového plechu čepu (při namáhání tahem) pro danou tloušťku plechu navrženy ze vztahu:

$$a \geq \frac{F_{v,Ed}^+ \times \gamma_{M0}}{2 \times t_s \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{351,86 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 20 \times 355} + \frac{2 \times 63}{3} = 66,8mm \quad (23)$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed}^+ \times \gamma_{M0}}{2 \times t_s \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{351,86 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 20 \times 355} + \frac{63}{3} = 45,8mm \quad (24)$$

Minimální rozteče styčnickového plechu čepu (při namáhání tlakem) pro danou tloušťku plechu konzervativně navrženy na vektorový součet maximální svíslé tlakové síly a k ní příslušné vodorovné síly F_{Ed}^- :

$$b \geq \frac{F_{v,Ed}^- \times \gamma_{M0}}{2 \times t_s \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{561,86 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 20 \times 355} + \frac{2 \times 63}{3} = 81,57mm \quad (25)$$

$$d \geq \frac{F_{v,Ed}^- \times \gamma_{M0}}{2 \times t_s \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{561,86 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 20 \times 355} + \frac{63}{3} = 60,57mm \quad (26)$$

Zvolená vzdálenost čepu od kraje desky: $100mm > \max(a, b, c, d) = 81,57mm$

Návrhová únosnost čepu ve stříhu pro dvě střížné roviny vypočtena jako:

$$F_{v,Rd} = 2 \times 0,6 \times A \times \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \times 0,6 \times 2827 \times \frac{470}{1,25} = 1275,54kN \quad (27)$$

$$F_{v,Ed}^- = 561,86kN > F_{v,Rd} = 1275,54kN$$

⇒ Únosnost ve stříhu - Vyhovuje (44 %)

Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = 1,5 \times W_{el} \times \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \times 21205 \times \frac{335}{1,00} \times 10^{-6} = 10,65kNm \quad (28)$$

$$\begin{aligned} M_{Ed}^- &= \frac{F_{v,Ed}^-}{8} \times (t_s + 4 \times b + 2 \times t_k) = \\ &= \frac{561,86 \times 10^3}{8} \times (20 + 4 \times 1 + 2 \times 15) \times 10^{-6} = 3,79kNm \end{aligned} \quad (29)$$

$$M_{Ed} = 3,79kNm > M_{Rd} = 10,65kNm$$

⇒ Únosnost v ohybu - Vyhovuje (36 %)

Únosnost čepu na kombinaci ohybu a smyku:

$$\left(\frac{M_{Ed}^-}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}^-}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{3,79}{10,65}\right)^2 + \left(\frac{561,86}{1275,54}\right)^2 = 0,32 \leq 1,0 \quad (30)$$

⇒ Únosnost na kombinaci ohybu a smyku - Vyhovuje (32 %)

Otlačení desky a čepu se posoudí dle:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \times d \times t_s \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 60 \times 20 \times 355}{1,00} = 639kN \quad (31)$$

$$F_{b,Rd} = 639kN > F_{v,Ed} = 561,86kN$$

⇒ Únosnost čepu na otlačení - Vyhovuje (90 %)

pro nižší z meze kluzu čepu a spojované části $f_{yp} = 355MPa \geq f_y = 355MPa$ a pro menší tloušťku spojovaných částí $2 \times t_k = 2 \times 15 = 30mm \geq t_s = 20mm$.

⇒ Navržený čepový spoj vyhovuje.

8.1.3 Návrh a posouzení betonové patky v tlaku

Navržena betonová patka 1,5x1,5x1,0 m z betonu S30/37 a patní plech o rozměrech 575x390x40 mm.

Započitatelné rozměry patky:

$$a_1 = \min \{3 \times a_0; a_0 + h; a_c\} = \min \{3 \times 575; 575 + 1000; 1500\} = 1500mm \quad (32)$$

$$b_1 = \min \{3 \times b_0; b_0 + h; b_c\} = \min \{3 \times 390; 390 + 1000; 1500\} = 1170mm \quad (33)$$

EN 1992 6.7 Výpočet únosnost místně zatížené plochy betonu:

$$f_{Rdu} = f_{cd} \times \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3,0 \times f_{cd} \quad (34)$$

$$A_{c0} = a_0 \times b_0 = 575 \times 390 = 224250mm^2$$

$$A_{c1} = a_1 \times b_1 = 1500 \times 1170 = 1755000mm^2$$

Návrhová pevnost betonu v uložení:

$$f_{Rdu} = f_{cd} \times \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} = \frac{30}{1,5} \times \sqrt{1755000/224250} = 55,95MPa \quad (35)$$

$$3,0 \times f_{cd} = 3,0 \times \frac{30}{1,5} = 60,0MPa \quad (36)$$

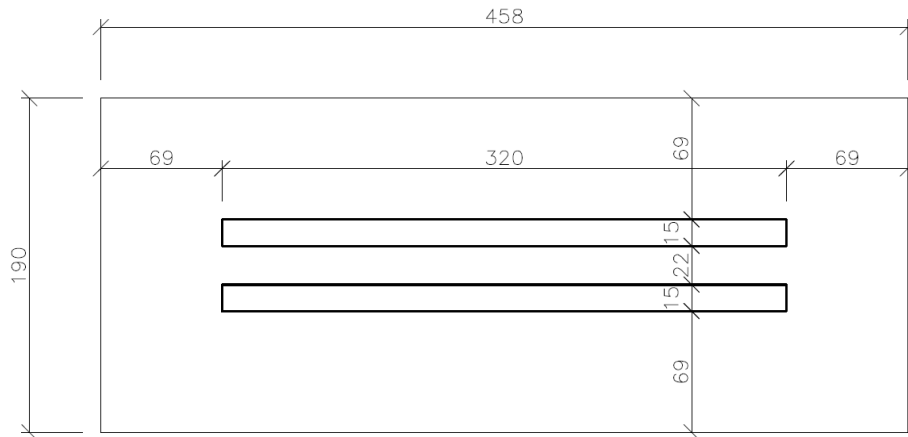
$$f_{Rdu} = 55,95MPa \leq 3,0 \times f_{cd} = 60,0MPa \quad (37)$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \beta_j \times f_{Rdu} = \frac{2}{3} \times 60,0 = 40,0MPa \quad (38)$$

Účinná šířka patního plechu:

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_y}{3 \times f_{jd} \times \gamma_{M0}}} = 40 \times \sqrt{\frac{355}{3 \times 40,0 \times 1,00}} = 68,80 \text{ mm} \quad (39)$$



Obrázek 53: Efektivní plocha pro přenos tlakových sil A_{eff}

$$A_{eff} = 87020 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \times f_{jd} = 87020 \times 40,0 = 3480,8 \text{ kN} \quad (40)$$

Posouzení patky v tlaku:

$$N_{Rd} = 3480,8 \text{ kN} \geq F_{Ed}^- = 561,86 \text{ kN} \quad (41)$$

⇒ Únosnost patky v tlaku - Vyhovuje

8.1.4 Návrh kotevních šroubů na tah

Navrženy 2 kotevní šrouby HIT-V (8.8) M27 a chemická kotva HIT-HY 200-A V3 s roztečí 300 mm o efektivní hloubce 500 mm.

Výpočet proveden v programu Hilti PROFIS Engineering. Generovaný report viz příloha.

8.1.5 Návrh a posouzení svaru patního plechu a plechů čepového spoje

svar $a_w = 6 \text{ mm}$ oboustranný na jednom z plechů čepového spoje, na druhém plechu půl V svar.

Posouzení na kombinaci maximálního smyku a maximálního tahu:

$$L_w = 4 \times 320 = 1280 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}^v}{a_w \times L_w} = \frac{282480}{6 \times 1280} = 110,34 \text{ MPa} \quad (42)$$

$$\sigma_w = \frac{F_{Ed}^+}{a_w \times L_w} = \frac{351860}{6 \times 1280} = 45,82 MPa \quad (43)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{45,82}{\sqrt{2}} = 32,40 MPa \quad (44)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{32,40^2 + 3 \times (32,40^2 + 110,34^2)} = 201,80 MPa \quad (45)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 201,80 MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \times 1,25} = 435,56 MPa \quad (46)$$

⇒ Posouzení svaru na maximální tah a maximální vodorovnou sílu - Vyhovuje

8.1.6 Návrh a posouzení smykové zarážky

Patní plech je pomocí 2 kotevních šroubů připevněn k betonové patce o rozměrech $1,5 \times 1,5 \times 1,0$ m. Výška podlití je 40 mm a pevnost zálivky je navržena větší než pevnost betonové patky. Horizontální síla je přenesena pomocí přivařené smykové zarážky z úpalku válcovaného profilu HEB, přivařenou k patnímu plechu. Při tahovém působení musí přenést celkovou smykovou sílu. Při tlakovém zatížení se část posouvající síly přenesne třením mezi patním plechem a betonem. Zbylý účinek musí být přenesen smykovou zarážkou.

Horizontální síla při tlakovém namáhání: $V_{Ed,1} = -524,92 \times 0,2 + 199,85 = 95,05 kN$

Horizontální síla při tahovém namáhání: $V_{Ed,2} = 282,48 kN$

Smyková zarážka navržena na vodorovnou sílu: $V_{Ed,2} = V_{Ed} = F_{v,Ed} = 282,48 kN$ pro patku v tahu, která je větší než síla při tlakovém namáhání.

Průřez: **HEB 200**, $A_{vz} = 2483 mm^2$, $W_{pl,y} = 642,5 \times 10^3 mm^3$

Beton: C30/37

$$h = 80 mm > \frac{V_{Ed}}{b \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{282,48}{200 \times \frac{20}{1,5}} = 70,62 mm$$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \times \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = 2483 \times \frac{355}{\sqrt{3} \times 1,0} = 508,91 kN \quad (47)$$

$$V_{pl,Rd} = 508,91 kN > V_{Ed} = 282,48 kN \quad (48)$$

⇒ Posouzení na smyk - Vyhovuje (68 %)

$$0,5 \times V_{pl,Rd} = 0,5 \times 508,91 = 254,46 kN < V_{Ed} = 282,48 kN \quad (49)$$

⇒ Velký smyk (nutno posoudit na interakci smyku a ohybu)

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 642,5 \times 10^3 \times \frac{355}{1,0} = 228,09 kNm \quad (50)$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \times e = 282,48 \times \left(40 + \frac{80}{2}\right) = 22,60kNm \quad (51)$$

$$M_{pl,Rd} = 228,09kNm > M_{Ed} = 22,60kNm \quad (52)$$

⇒ Posouzení na ohyb - Vyhovuje (10 %)

Posouzení na interakci smyku a ohybu:

$$\rho = \left(\frac{2 \times V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{2 \times 282,48}{508,91} - 1\right)^2 = 0,012 \quad (53)$$

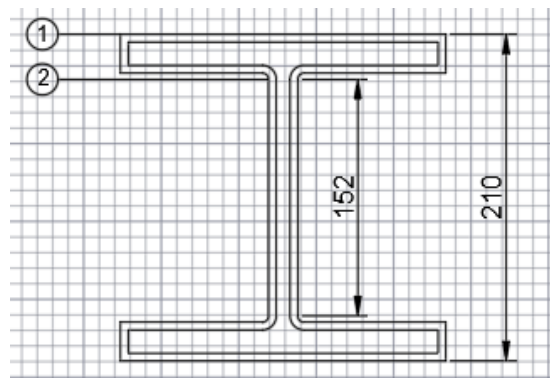
$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \times A_{vz}^2}{4 \times t_w}\right) \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left(642,5 \times 10^3 - \frac{0,012 \times 2483^2}{4 \times 9,0}\right) \times \frac{355}{1,0} = 120,86kNm \quad (54)$$

$$M_{v,Rd} = 120,86kNm > M_{Ed} = 22,60kNm \quad (55)$$

⇒ Posouzení interakci smyku a ohybu - Vyhovuje (19 %)

8.1.7 Návrh a posouzení svaru smykové zarážky a patního plechu

Navržen obvodový svar $a_w = 6mm$, $I_w = 10561 \times 10^4mm^4$



Obrázek 54: Svarový obrazec

Posouzení v bodě 1:

$$\tau_{\parallel} = 0,00MPa$$

$$\sigma_w = \frac{F_{v,Ed} \times e}{I_w} \times z_1 = \frac{282480 \times 70}{10561 \times 10^4} \times \frac{210}{2} = 19,66MPa \quad (56)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{19,66}{\sqrt{2}} = 13,90MPa \quad (57)$$

$$\sigma_{\perp} = 13,90MPa \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8MPa \quad (58)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{13,90^2 + 3 \times (13,90^2 + 19,66^2)} = 43,96MPa \quad (59)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 43,96MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \times 1,25} = 435,56MPa \quad (60)$$

⇒ Posouzení v bodě 1 - Vyhovuje

Posouzení v bodě 2:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{v,Ed}}{a_w \times 2 \times L_w} = \frac{282480}{6 \times 2 \times 152} = 154,87MPa \quad (61)$$

$$\sigma_w = \frac{F_{v,Ed} \times e}{I_w} \times z_1 = \frac{282480 \times 70}{10561 \times 10^4} \times \frac{152}{2} = 14,23MPa \quad (62)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{14,23}{\sqrt{2}} = 10,06MPa \quad (63)$$

$$\sigma_{\perp} = 10,06MPa \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 490}{1,25} = 352,8MPa \quad (64)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{10,06^2 + 3 \times (10,06^2 + 154,87^2)} = 269,00MPa \quad (65)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 269,00MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \times 1,25} = 435,56MPa \quad (66)$$

⇒ Posouzení v bodě 2 - Vyhovuje

⇒ Navržený svar patního plechu a smykové zarážky vyhovuje

8.2 Šroubový montážní přípoj pasu

Přípoj je navržený pro maximální normálovou sílu v tahu pro nejexponovanější místo. Síla se bude přenášet pomocí sady šroubů z jedné čelní desky do druhé.

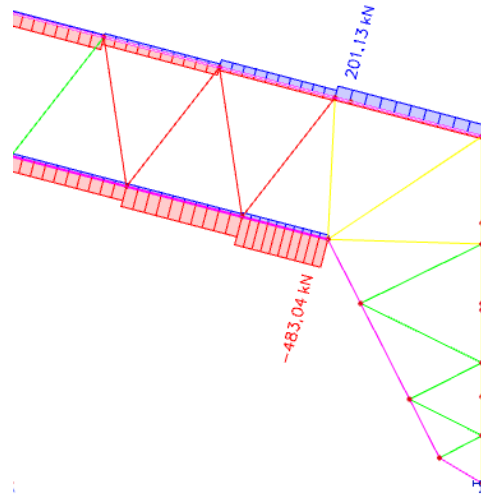
Maximální tlaková síla se přenesou kontaktem desek.

Horní a dolní pasy příhradové konstrukce jsou obvodovým koutovým svarem $a_w = 4mm$ přivařeny k čelní desce P20 a s druhou čelní deskou spojeny sadou 2 šroubů M20 oceli 8.8. Rozteče: $p_1 = 40mm$, $e_1 = 40mm$, $t = 20mm$

$N_{Ed}^+ = 201,13kN$ - tah

$N_{Ed}^- = 483,04kN$ - tlak

ČSN 731401/1998



Obrázek 55: Maximální tah a tlak na rámu

Posouzení šroubů na tah:

$$F_{t,Rd} = \frac{n \times 0,9 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \times 0,9 \times 245 \times 800}{1,25} = 282,24kN \quad (67)$$

$$F_{t,Rd} = 282,24kN > F_{Ed}^+ = 201,13kN \quad (68)$$

⇒ Posouzení šroubů na tah - Vyhovuje (71 %)

Nejmenší tloušťka desky při které nedojde k páčení:

$$t_e = 4,3 \times (b \times d^2/a)^{\frac{1}{3}} = 4,3 \times (40 \times 20^2/40)^{\frac{1}{3}} = 31,68mm \quad (69)$$

Součinitel zvětšující působící sílu vlivem páčení:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \times \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \times \frac{31,68^3 - 20^3}{20^2} = 1,39 \quad (70)$$

Posouzení šroubů na tah s vlivem páčení:

$$F_{t,Rd} = 282,24kN > \gamma_p \times N_{Ed}^+ = 1,39 \times 160,85 = 279,57kN \quad (71)$$

⇒ Posouzení šroubů na tah s vlivem páčení - Vyhovuje (99 %)

Z důvodu nenulového momentu na horním pasu, přidána druhá sada šroubů M20.

Posouzení svaru:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{N_{Ed}^+}{a_w \times o} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{201,13}{4 \times 4 \times 150} = 59,26MPa \quad (72)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{59,26^2 + 3 \times (59,26^2 + 0^2)} = 118,52MPa \quad (73)$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 118,52 \text{MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \times 1,25} = 360 \text{MPa} \quad (74)$$

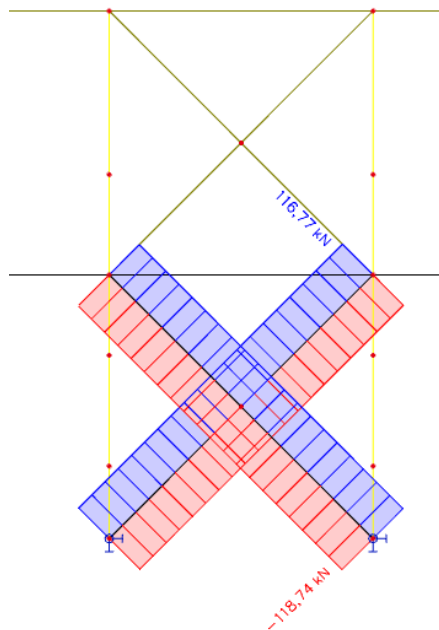
⇒ Posouzení svaru - Vyhovuje (33 %)

8.3 Šroubový montážní přípoj ztužidla

Přípoj je navržen pro prut s největší normálovou silou formou styčnickového plechu.

Trubková ztužidla jsou připojena plechy P8, 2x šroub M16, 8.8, kdy rovina stříhu prochází závitem. Návrh otvorů v plechu je navržen dle doporučených roztečí šroubů. Styčnickový plech je zaříznut a je přivařen k trubce svarem $a_w = 3 \text{mm}$ po délce 50mm viz Výkresová část.

$$F_{Ed,max} = 118,74 \text{kN}.$$



Obrázek 56: Maximální tah a tlak ve ztužidle

Posouzení šroubů na stříh:

$$F_{v,Rd} = \frac{2 \times 0,6 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 120,6 \text{kN} \quad (75)$$

$$F_{v,Rd} = 120,60 \text{kN} > F_{Ed,max} = 118,74 \text{kN} \quad (76)$$

⇒ Posouzení šroubů na stříh - Vyhovuje (98 %)

Posouzení šroubů na otláčení:

$$F_{b,Rd} = 85,3 \text{kN}, \text{ pro tloušťku stěny } t = 10 \text{mm}$$

$$F_{Ed,max} = 120,28kN$$

$$n \times F_{b,Rd} = 2 \times 85,3 \times \frac{8}{10} = 136,48kN > F_{Ed,max} = 118,74kN \quad (77)$$

⇒ Posouzení šroubů na otláčení - Vyhovuje (87 %)

Posouzení svaru trubky ke styčnickovému plechu:

$$F_{w,Rd} = \frac{a_w \times l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M0}} = \frac{3 \times 4 \times 50 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 124,71kN \quad (78)$$

$$F_{w,Rd} = 124,71kN > F_{Ed,max} = 118,74kNm \quad (79)$$

⇒ Posouzení svaru na tah - Vyhovuje (95 %)

⇒ Navržený montážní přípoj vyhovuje

9 Závěr

Tímto statickým výpočtem dle soustavy norem eurokódu EN 1990 a 1993 bylo prokázáno, že hlavní nosná ocelová konstrukce dle zadaných parametrů bezpečně vyhoví na mezní stav únosnosti (MSÚ) i mezní stav použitelnosti (MSP). Objekt je stabilní.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Specializace: Pozemní stavby



**Dočasná ocelová konstrukce
letištního terminálu**

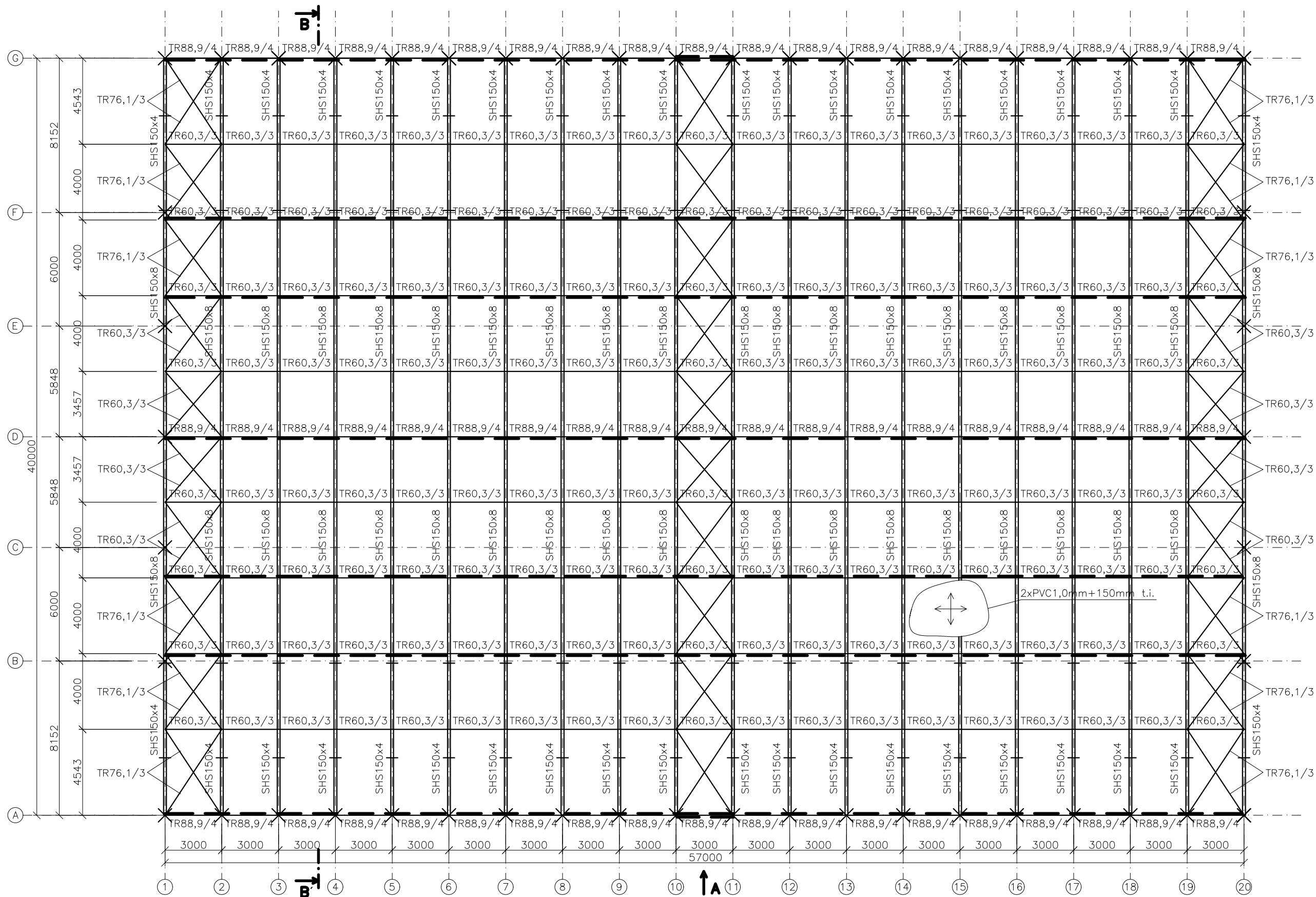
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Robin Pospíšil

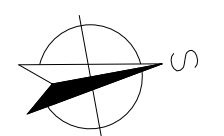
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.


Rok: 2024



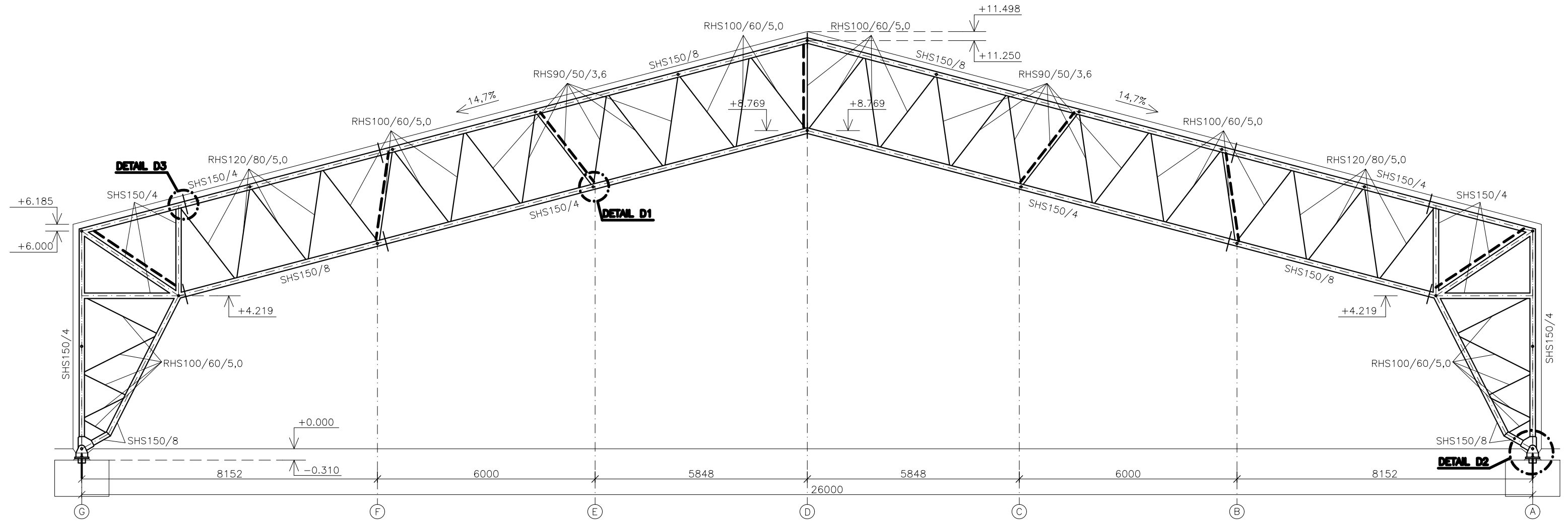
POZNÁMKY:

Ocel: S235JR
Třída provedení: EXC2

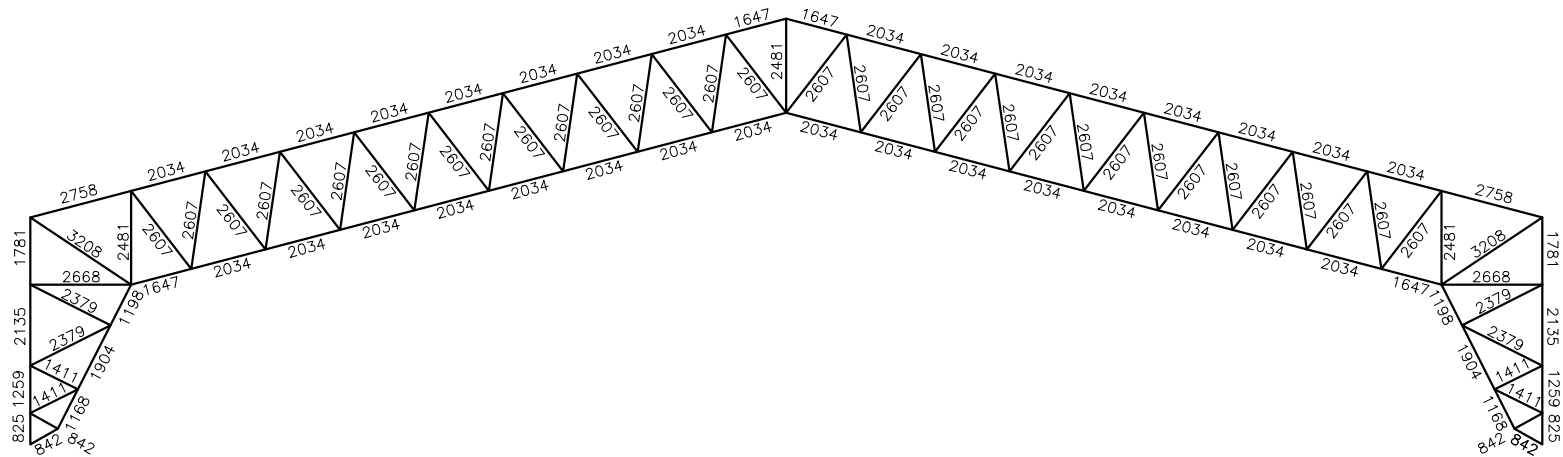


Zpracoval: Robin Pospíšil	Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.	Školní rok: 23/24	Fakulta stavební ČVUT 
Předmět: Bakalářská práce			Datum: 18.05.2024
Název úlohy: Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu			Meřítko: 1:100/200
Název výkresu: Dispozice – Půdorys			Č.výkresu: 1

ŘEZ B-B' (1:100)



GEOMETRICKÉ SCHÉMA VAZNIKU (1:200)



POZNÁMKY:

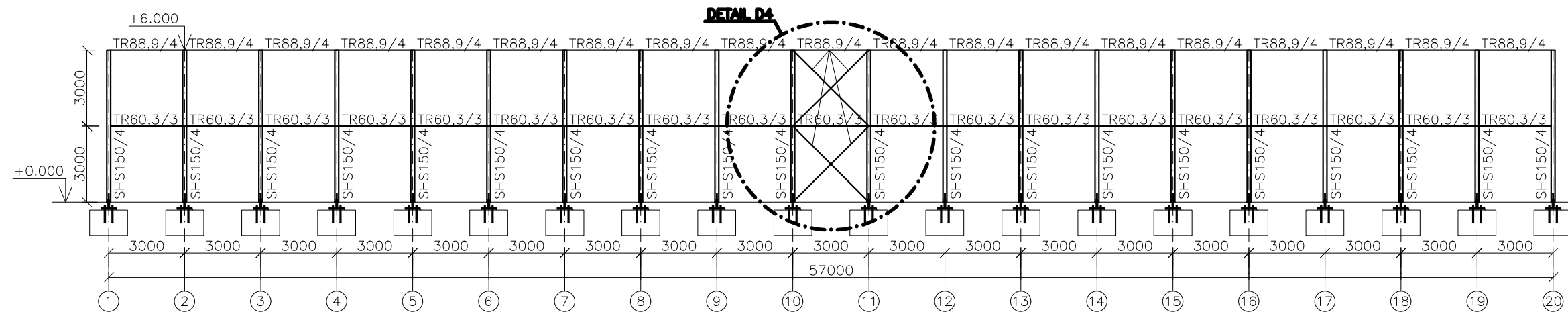
Ocel: S235JR

Beton: C30/37

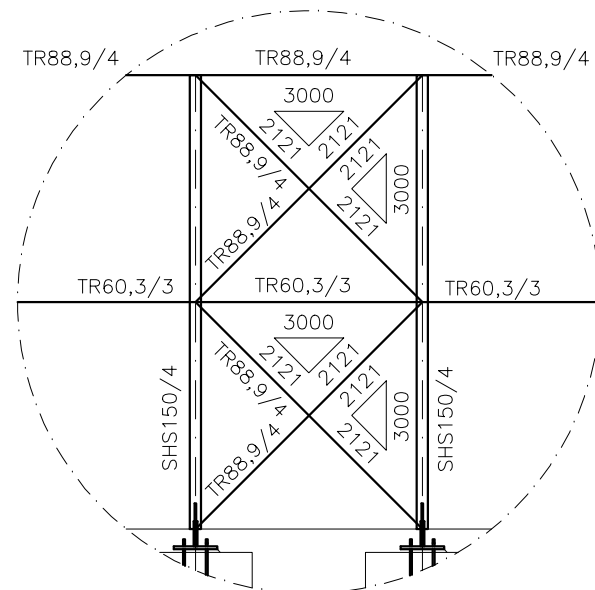
Třída provedení: EXC2

Zpracoval: Robin Pospíšil	Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.	Školní rok: 23/24	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: Bakalářská práce			Datum: 18.05.2024
Název úlohy: Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu			Meřítko: 1:100/200
Název výkresu: Dispozice – ŘEZ B-B'			Č.výkresu: 2

POHLED A (1:200)




D4 – HLAVNÍ STĚNOVÉ ZTUŽIDLO (1:100)

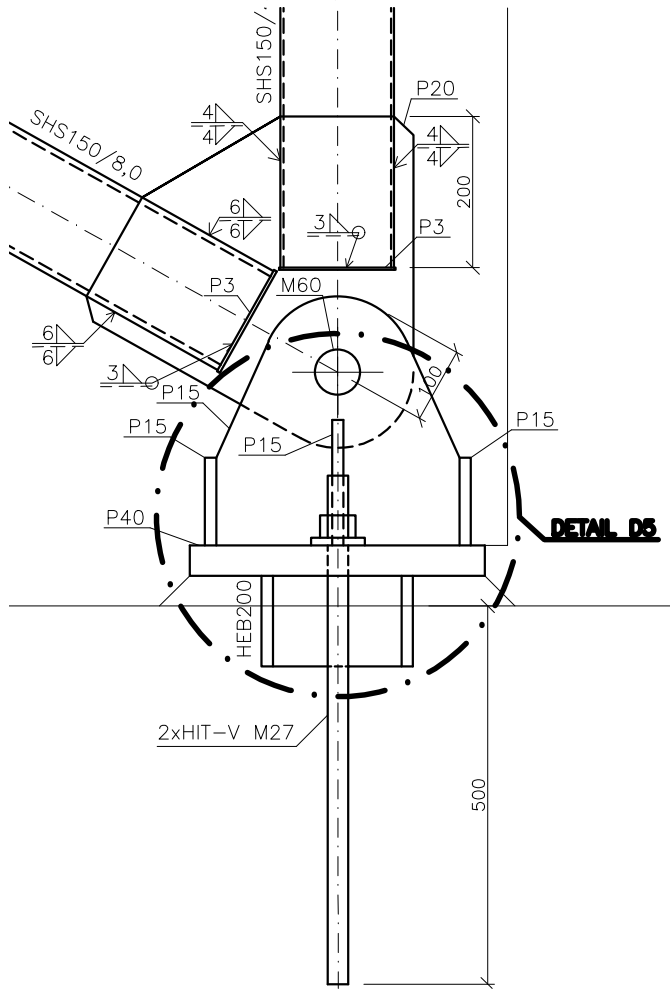


POZNÁMKY:

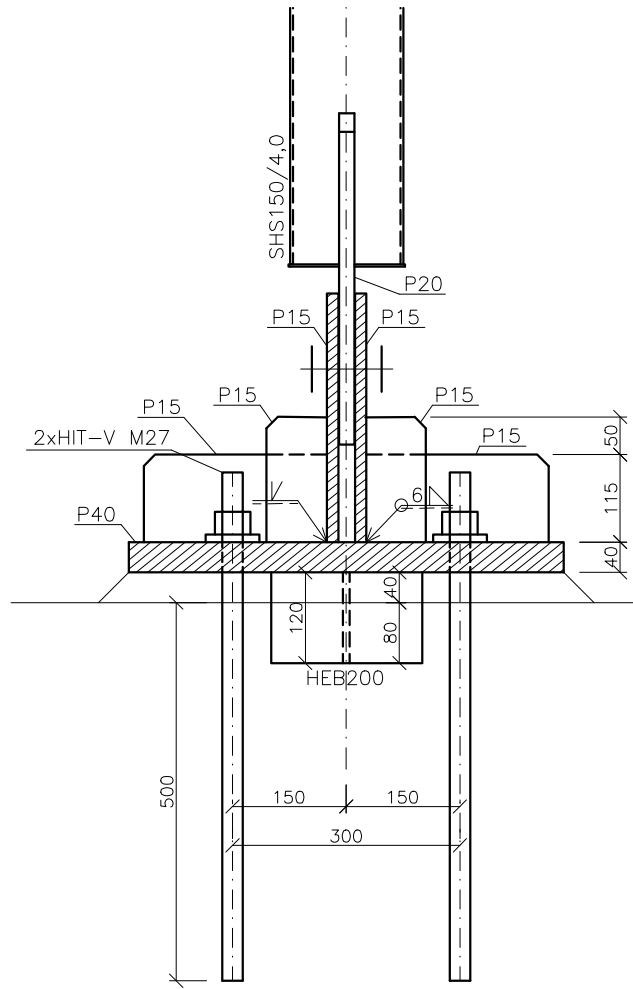
Ocel: S235JR
 Beton: C30/37
 Třída provedení: EXC2

Zpracoval: Robin Pospíšil	Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.	Školní rok: 23/24	Fakulta stavební ČVUT 
Předmět: Bakalářská práce			Datum: 18.05.2024
Název úlohy: Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu			Meřítko: 1:100,1:200
Název výkresu: Dispozice – POHLED A			Č.výkresu: 3

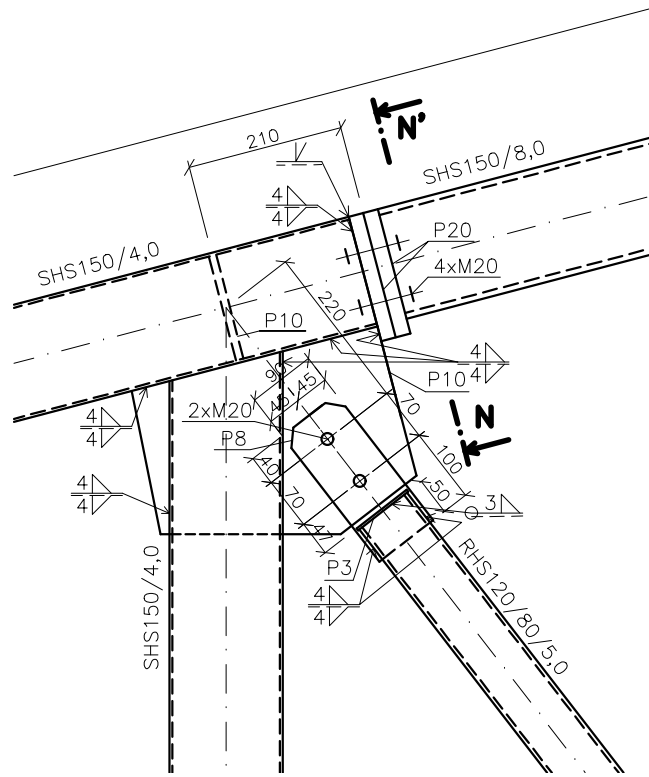
POHLED L (1:10)



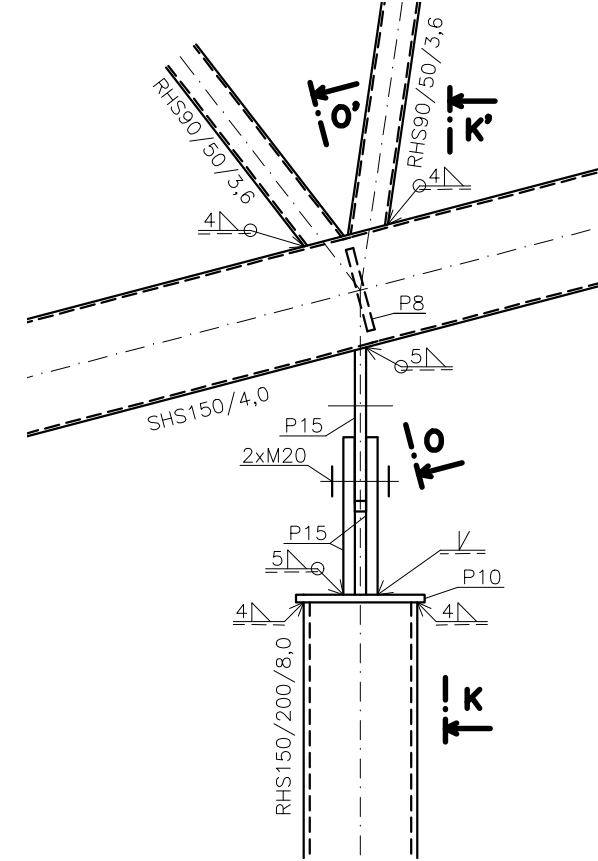
ŘEZ M-M' (1:10)



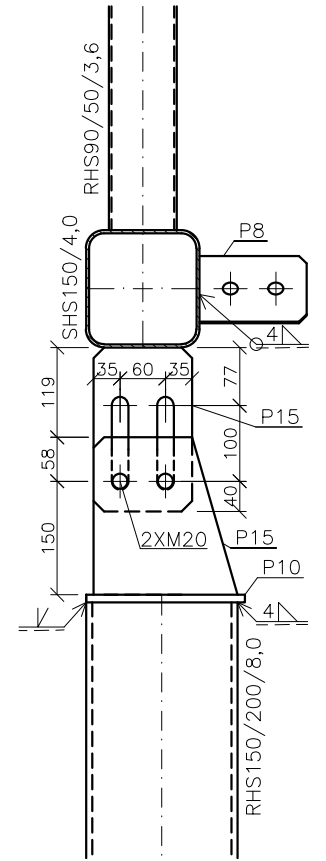
D3 - MONTÁŽNÍ STYK HORNÍHO PASU (1:10)



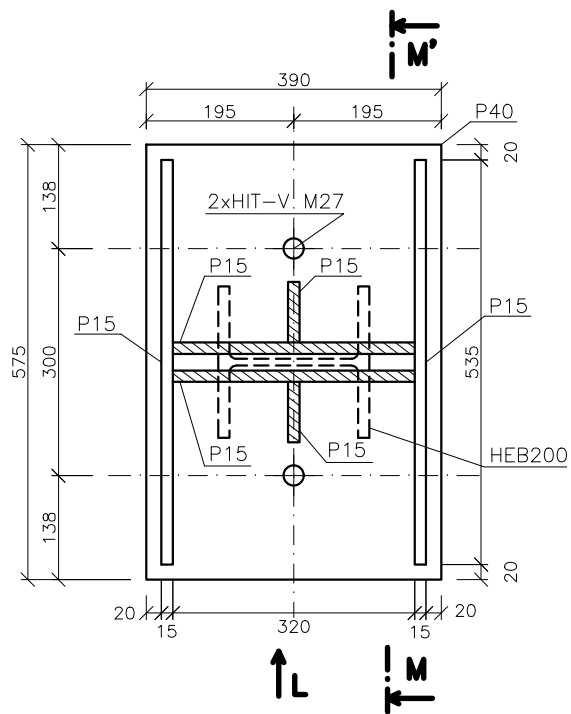
D1 - STYK ŠTÍTOVÉHO SLOUPU A DOLNÍHO PASU (1:10)



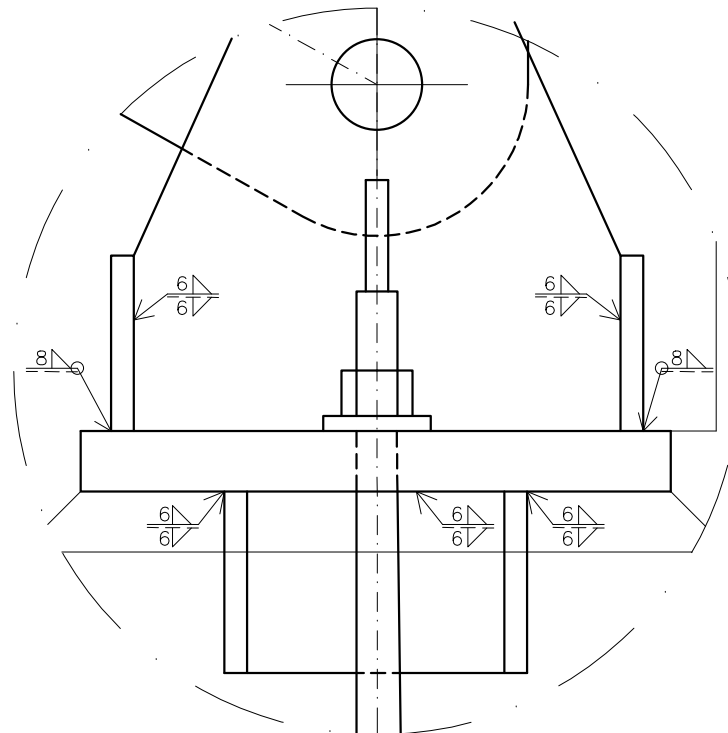
ŘEZ K-K' (1:10)



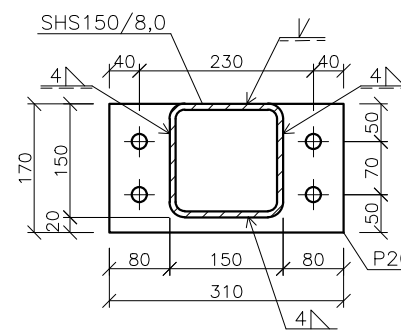
D2 - ČEPOVÁ PATKA (1:10)



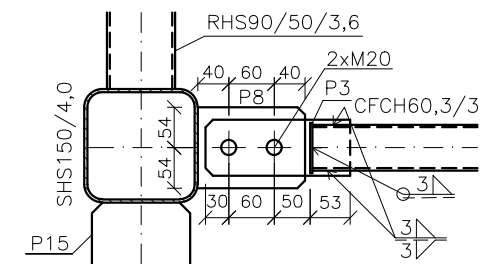
DETAIL D5 (1:5)



ŘEZ N-N' (1:10)



ŘEZ O-O' (1:10)



POZNÁMKY:

Ocel: S235JR, S355JR
 Šrouby: 8.8
 Čep: S355JR
 Beton: C30/37
 Třída provedení: EXC2

Zpracoval: Robin Pospíšil	Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.	Školní rok: 23/24	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: Bakalářská práce			Datum: 18.05.2024
Název úlohy: Dočasná ocelová konstrukce letištního terminálu			Meřítko: 1:5, 1:10
Název výkresu: Detaily			Č.výkresu: 4