



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Modulová stavba z tenkostěnných ocelových profilů

Thin-walled steel modular structure

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Petr Janíček

Leden 2018

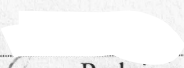
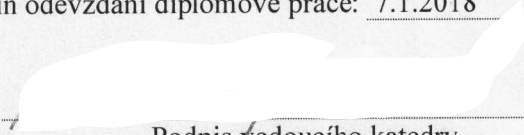


ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

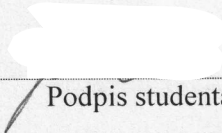
Příjmení: Janíček	Jméno: Petr	Osobní číslo: 409702
Zadávací katedra: Katedra ocelových konstrukcí, K134		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Modulová stavba z tenkostěnných ocelových profilů	
Název diplomové práce anglicky: Thin-walled steel modular structure	
Pokyny pro vypracování: Posouzení a případná optimalizace tenkostěnného ocelového modulu s využitím zkoušek styčnicků. Posouzení hlavních prvků a detailů u sestavy modulů. Výkresová dokumentace jednoho modulu, TZ.	
Seznam doporučené literatury: Eurokód 1 a 3 Zkouška svařovaného a šroubovaného nosníku, Zpráva pro Touax s.r.o., FSv ČVUT v Praze, 2017.	
Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera	
Datum zadání diplomové práce: 3.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

<u>3.10.2017</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	--

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a odborného vedení vedoucího práce doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D. Uvedl jsem veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 04.01.2018

Petr Janíček

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D., za poskytnuté rady a informace nezbytné pro tvorbu této práce. Dále děkuji své rodině a blízkým za duševní a hmotnou podporu.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na posouzení ocelové konstrukce z tenkostěnných profilů. Jedná se o stavbu z modulových rámců navzájem svařených do jednotného celku. Postupně je zde řešeno silové zatížení na konstrukci, poté statické posouzení stávající konstrukce a následná optimalizace jednotlivých prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

modulová stavba, tenkostěnný profil, ocelový rám, vnitřní síly

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on design of a steel construction from thin-walled profiles. The structure is made of modular frames welded into one unit. The load on the structure is solved, then the resistance of existing structural members is verified with subsequent optimization of the individual elements.

KEYWORDS

modular building, thin-walled profile, steel frame, internal forces



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Technická zpráva

Bc. Petr Janíček

Leden 2018

Obsah

1 Základní charakteristika konstrukčního řešení	2
2 Statické schéma.....	2
3 Zatížení	3
4 Vnitřní síly	4
5 Základové konstrukce	4
6 Prvky nosné konstrukce	4
7 Výroba konstrukce	5
8 Montáž konstrukce.....	5
9 Ochrana proti korozi	5
9 Ochrana proti požáru	5
10 Seznam použitých podkladů, ČSN, software.....	5

1 Základní charakteristika konstrukčního řešení

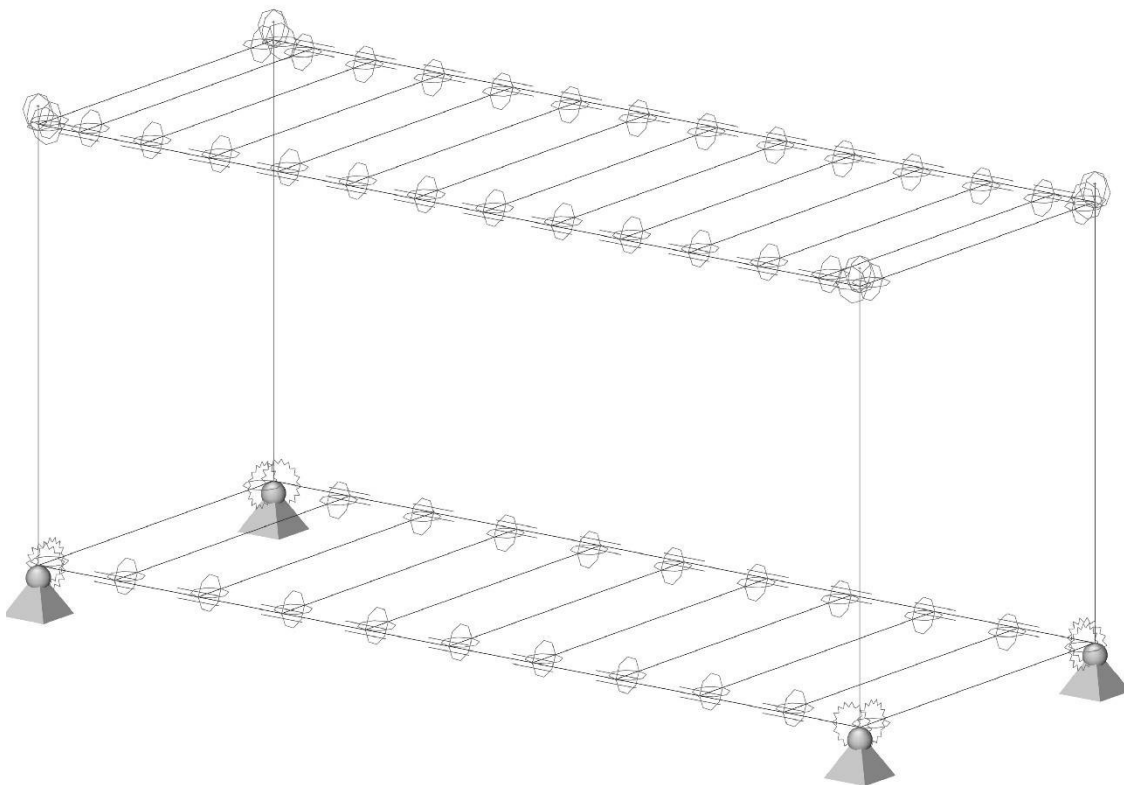
Předmětem projektu je soustava prostorových ocelových rámu tvořících dohromady jeden celek. Celkové půdorysné rozměry nosné konstrukce jsou 12,1 x 12,1 m, nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 8,4 m nad úrovní okolního terénu. Sestava je tvořena z celkem třiceti modulových boxů po pěti ve dvou řadách, které jsou ve třech vrstvách na sobě. Jednotlivé moduly jsou mezi sebou navzájem propojeny. Konstrukční výška podlaží je 2,79 m.

Konstrukce jednoho modulu je tvořena ocelovým rámem o rozměrech 6055 mm na délku, 2435 mm na šířku a 2790 mm na výšku. Sestává se ze čtyř rohových sloupků, dvou podlahových bočních profilů a dvou podlahových čelních profilů. V úrovni střechy jsou dva střešní boční profily a dva střešní čelní profily. Podlahové vaznice jsou přivařeny k podlahovému bočnímu profilu a střešní vaznice jsou přivařeny k výztuze střešního bočního profilu.

2 Statické schéma

Pro zjednodušení výpočtu vnitřních sil byl z celé sestavy použit pouze jeden sloupec skládající se ze tří modulů. Tento sloupec se nachází na rohu celého objektu a reakce od sousedících modulů je nahrazena vodorovnými bodovými silami působících na rámový roh.

Ztužující rámové rohy se nacházejí v úrovni podlaží ve dvou směrech. Ze zprávy Touax jsou známy tuhosti těchto styčniců, které byly zjištěny pomocí laboratorní zkoušky. Tyto tuhosti jsou zahrnuty do výpočtu vnitřních sil. Nosníky v úrovni střechy a vaznice jsou uvažovány jako kloubově připojené.



3 Zatížení

Výpočet zatížení je proveden v souladu s normami:

ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem

Objektu není přiřazena žádná lokace. Výpočet klimatického zatížení je proveden pro sněhovou oblast II. a větrnou oblast II. s kategorií terénu IV. Užité zatížení je uvažováno jako kategorie B (kancelářské plochy).

Uvedené zatížení jsou charakteristické hodnoty. Pro získání návrhových hodnot je nutno provést přenásobení dílčími součiniteli bezpečnosti, které jsou uvažovány 1,35 pro stálá a 1,5 pro nahodilá zatížení.

Návrhové hodnoty dílčích součinitelů zatížení γ v kombinacích pro trvalé a dočasné návrhové situace byly uvažovány z mezních stavů únosnosti typu STR/GEO – soubor B.

- **Stálá zatížení**

Vlastní tíha ocelové konstrukce je uvažována hodnotou 7850 kg/m^3 .

Podlaha

- PVC 1,5 mm	
-Dřevotřísková deska 22 mm	
- Tepelná izolace 100 mm	
- Plech FeZn 0,55 mm	
Celkem	0,232 kN/m ²

Střecha

- Plech FeZn 0,55 mm	
- Tepelná izolace 120 mm	
- Dřevěné latě 50x22 mm	
- Dřevotřísková deska 10 mm	
Celkem	0,151 kN/m ²

Vnější stěna

- Plech FeZn 0,55 mm	
- Tepelná izolace 60 mm	
- Dřevěné latě 60x22 mm	
- Dřevotřísková deska 10 mm	
Celkem	0,155 kN/m ²

- **Nahodilé zatížení**

Užitné zatížení

- kategorie B 2,5 kN/m²

Zatížení sněhem

- II. sněhová oblast 1,0 kN/m²

Zatížení větrem

- II. větrná oblast 25 m/s

4 Vnitřní síly

Výpočet vnitřních sil proběhl pomocí programu Scia Engineer 17.

5 Základové konstrukce

Konstrukce je založena na základových patkách či pasech a přikotvena pomocí chemických kotev.

Přikotvení k základovému bloku není předmětem této diplomové práce.

6 Prvky nosné konstrukce

Modul je vyráběn jako ocelová dílensky svařovaná konstrukce. V této práci byly jednotlivé prvky posouzeny a optimalizovány.

Střešní vaznice

- původní: tenkostěnný profil Z 100/55/2 z oceli třídy S235JR
- optimalizovaný: Z 100/50/1,5 z oceli třídy S235JR

Podlahová vaznice

- původní: tenkostěnný profil svařovaný;
 - stojina výšky 105 mm, horní výztuha šířky 60 mm, tloušťka 3 mm, ocel třídy S355MC
 - dolní pásnice šířky 50 mm, tloušťky 5 mm, ocel třídy S235JR
- optimalizovaný:
 - šířka horní výztuhy snížena na 50 mm
 - tloušťka dolní pásnice ztenčena na 4 mm

Podlahový profil boční

- původní: TR 120x120x4, třída oceli S235JR
- optimalizovaný: profil ponechán původní

Podlahový profil čelní

- původní: TR 120x60x4, třída oceli S235JR
- optimalizovaný: profil ponechán původní

Rohový sloupek

- původní: tenkostěnný za studena tvarovaný profil tloušťky 4 mm, třída oceli S355MC

- optimalizovaný: profilu změněna tloušťka na 6 mm; vnější rozměry zachovány

Střešní profil boční

- původní: tenkostěnný za studena tvarovaný profil tloušťky 2,8 mm a výšky 220 mm, třída oceli S355MC

- optimalizovaný: profilu změněna tloušťka na 4 mm, vnější rozměry zachovány

Střešní profil čelní

- původní: tenkostěnný za studena tvarovaný profil tloušťky 2,8 mm a výšky 220 mm, třída oceli S355MC

- optimalizovaný: profil nezměněn

7 Výroba konstrukce

Konstrukce je dílensky svařovaná ve výrobě. Výroba konstrukce proběhne v souladu s ČSN EN 1090-1 (732601) (Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 1: Požadavky na posouzení shody konstrukčních dílců) a ČSN EN 1090-2 (732601) (Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce). Pro stanovení třídy provedení bylo uvažováno s třídou následků CC2, určenou pomocí přílohy B v ČSN EN 1990, rizikem spojeným s používáním konstrukce kategorie SC1 a rizikem s prováděním konstrukce kategorie PC2. Třída provedení je tedy EXC2.

8 Montáž konstrukce

Montážní stavy nejsou předmětem řešení této diplomové práce. Pro toto téma by bylo nutné provést zvlášť návrhové situace zahrnující přepravu a různé montážní stavy.

9 Ochrana proti korozi

Konstrukce bude pozinkována, nebo se zvlášť navrhne protikorozní ochrana pro účely využívání dané konstrukce.

9 Ochrana proti požáru

Protipožární ochrana není předmětem řešení této diplomové práce.

10 Seznam použitých podkladů, ČSN, software

[1] ČSN EN 1990 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI, 2004

[2] ČSN EN 1991-1-1 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2003

[3] ČSN EN 1991-1-3 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná

zatížení – Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 2005

[4] ČSN EN 1991-1-4 (730035): Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: ČNI, 2007

[5] ČSN EN 1993-1-1 (73 1401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006

[6] ČSN EN 1993-1-3 (73 1401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily. Praha: ČNI, 2008

[7] ČSN EN 1993-1-5 (73 1401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Boulení stěn. Praha: ČNI, 2008

[8] ČSN EN 1993-1-8 (73 1401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2006

[9] Procházková, M. (2015). Diplomová práce. Tenkostěnná modulová stavba

[10] Zkouška svařovaného a šroubovaného nosníku, Zpráva pro Touax s.r.o., FSv ČVUT v Praze, 2017

[11] Jandera, M. Průřezy 4. třídy

Software:

[12] AutoCad 2016

[13] Scia Engineer 17

[14] CUFSM 4.05

Webové stránky:

[15] Češi modulovou výstavbu podporují, přesto se většina modulů vyváží (14.10.2013)

[cit. 2018-01-01] Dostupné z WWW: <http://tvstav.cz/clanek/2788-cesi-modulovou-vystavbu-podporuji-presto-se-vetsina-modulu-vyvazi>



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Statický výpočet

Bc. Petr Janíček

Leden 2018

Obsah

0 Úvod.....	4
1 Popis zkoumaného objektu	5
2 Zatížení	7
2.1 Stálé zatížení	7
2.2 Proměnné zatížení	9
2.2.1 Užité zatížení	9
2.2.2 Zatížení sněhem (pro pultové střechy)	10
2.2.3 Zatížení větrem	11
2.3. Rámové imperfekce (globální analýza)	23
2.4. Zatěžovací stavy	24
2.5 Kombinace zatížení	25
3 Varianty statických schémat	27
3.1 Tuhé rámy	27
3.2 Polotuhé rámy	28
4 Posouzení prvků konstrukce	31
4.1 Vaznice – střešní ‘‘Z’’ profil.....	31
4.2 Vaznice – podlahový ‘‘Z’’ profil	38
4.3 Podlahový profil boční	45
4.4 Podlahový profil čelní	48
4.5 Rohový sloupek.....	51
4.5.1 Účinný průřez při tlaku	52
4.5.2 Účinný průřez při kladném momentu kolem osy y	59
4.5.3 Účinný průřez při záporném momentu kolem osy y	60
4.5.4 Účinný průřez při kladném momentu kolem osy z	62
4.5.5 Účinný průřez při záporném momentu kolem osy z	63
4.5.6 Vzpěr	64
4.5.7 Výpočet kritických napětí pomocí programu CUFSM	66
4.5.8 Vnitřní síly	73
4.5.9 Posouzení MSÚ	73
4.5.10 Posouzení MSP	75
4.6 Střešní profil boční	77
4.6.1 Desko-stěnový model	79
4.6.2 Zatížení desko-stěnového modelu	80
4.6.3 Napětí na průřezu	82

4.6.4 Průhyb.....	82
4.7 Střešní profil čelní	85
4.7.1 Zatížení desko-stěnového modelu	86
4.7.2 Napětí na průřezu	88
4.7.3 Průhyb.....	97
4.8 Shrnutí výsledků.....	98
5 Optimalizace průřezů	101
5.1 Vaznice – střešní “Z“ profil (optimalizace)	101
5.1.1 Optimalizace 1	101
5.1.2 Optimalizace 2.....	105
5.1.3 Vyhodnocení optimalizace	109
5.2 Vaznice – podlahový “Z“ profil (optimalizace)	110
5.2.1 Optimalizace 1	110
5.2.2 Optimalizace 2.....	110
5.2.3 Optimalizace 3.....	114
5.2.4 Vyhodnocení optimalizace	116
5.3 Podlahový profil boční	117
5.3.1 Optimalizace 1	117
5.3.2 Optimalizace 2.....	118
5.3.3 Vyhodnocení optimalizace	118
5.4 Podlahový profil čelní	119
5.4.1 Optimalizace 1	119
5.4.2 Vyhodnocení optimalizace	121
5.5 Rohový sloupek.....	122
5.5.1 Optimalizace 1	122
5.5.2 Optimalizace 2.....	139
5.5.3 Vyhodnocení optimalizací.....	156
5.6 Střešní profil boční.....	157
5.6.1 Optimalizace 1	157
5.6.1 Optimalizace 2.....	158
5.7 Střešní profil čelní	166
5.8 Shrnutí výsledků.....	166
6 Posouzení přípojí	169
6.1 Přípoj vaznice na střešní boční profil.....	169
6.2 Přípoj podlahové vaznice na podlahový boční profil.....	170

6.3 Posouzení svaru připojení dolní pásnice na podlahové vaznici	171
6.3 Posouzení svaru střešního bočního profilu	173
7 Závěr	174
Seznam obrázků.....	175
Seznam tabulek.....	178

0 Úvod

Pod pojmem modulová stavba si většina lidí představí klasické stavební buňky, nebo dokonce lodní kontejnerové boxy pro přepravu zboží. Ve skutečnosti se však jedná o plnohodnotné stavební odvětví, jehož základem jsou dílensky vyráběné ocelové moduly, které umožňují rychlé zhotovení prostor pro jakékoliv využití. Právě princip této „stavebnice“ se dá využít k výstavbě administrativních budov, skladových a prodejních ploch, či třeba obytných budov nebo škol.

Celkově se v České republice podle kvalifikovaného odhadu společnosti Touax ročně prodá přibližně 2500 modulů (údaj k r. 2013). U většiny z nich však nemusí být jejich modulová konstrukce na první pohled patrná, protože obvodové pláště a interiér se dají vyrobit v jakémkoliv designu. [15]

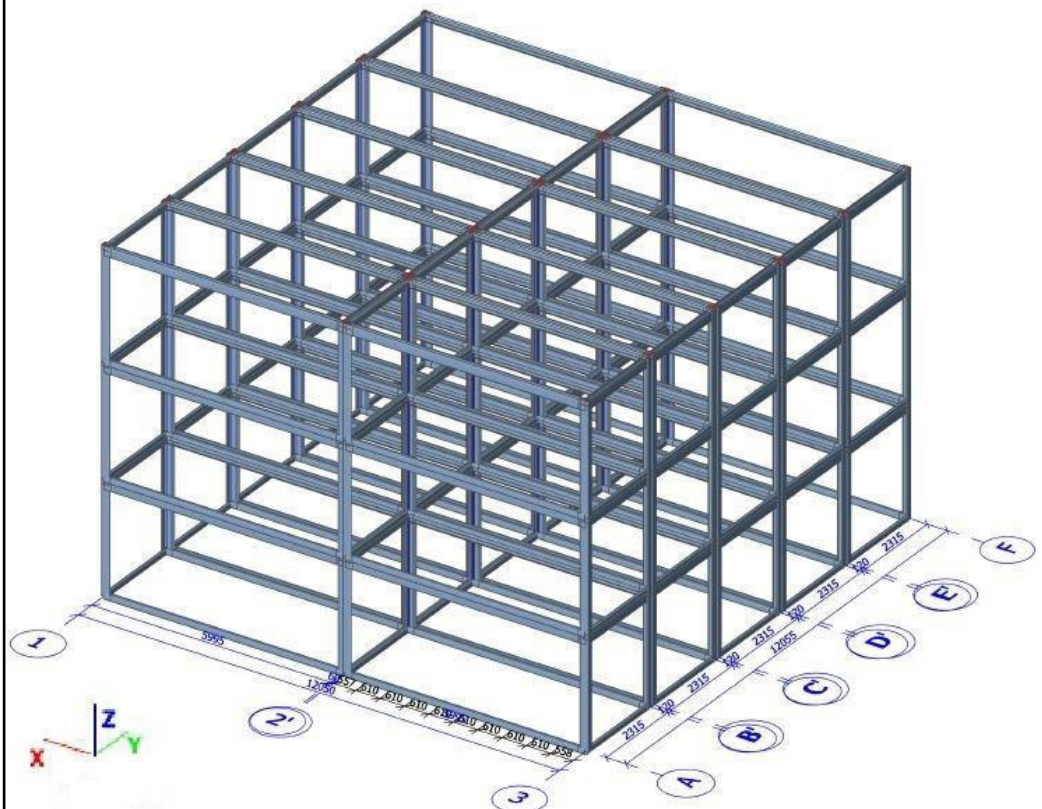
Cílem této práce je posoudit právě jeden takovýto celek modulové stavby. Zadán byl celkový tvar a počet modulů. Dále určité požadavky na zatížení, protože tento objekt nemá určené konkrétní umístění.

Provede se tedy 3D model dané konstrukce ve výpočetním programu Scia Engineer, kvůli jeho prostorové složitosti a možnosti zohlednění tuhosti styčnic z výsledků laboratorní zkoušky. V další části bude určeno zatížení stálé a proměnné pomocí normy ČSN EN 1991-1, které se přiřadí do zatěžovacích stavů a výpočtem jejich kombinací vzniknou průběhy vnitřních sil. Ty nám poslouží k posouzení jednotlivých profilů a spojů podle normy ČSN EN 1993-1.

Další fází práce je optimalizovat tyto jednotlivé ocelové profily, aby poměr jejich únosnosti a namáhání od návrhového zatížení byl co nejefektivnější.

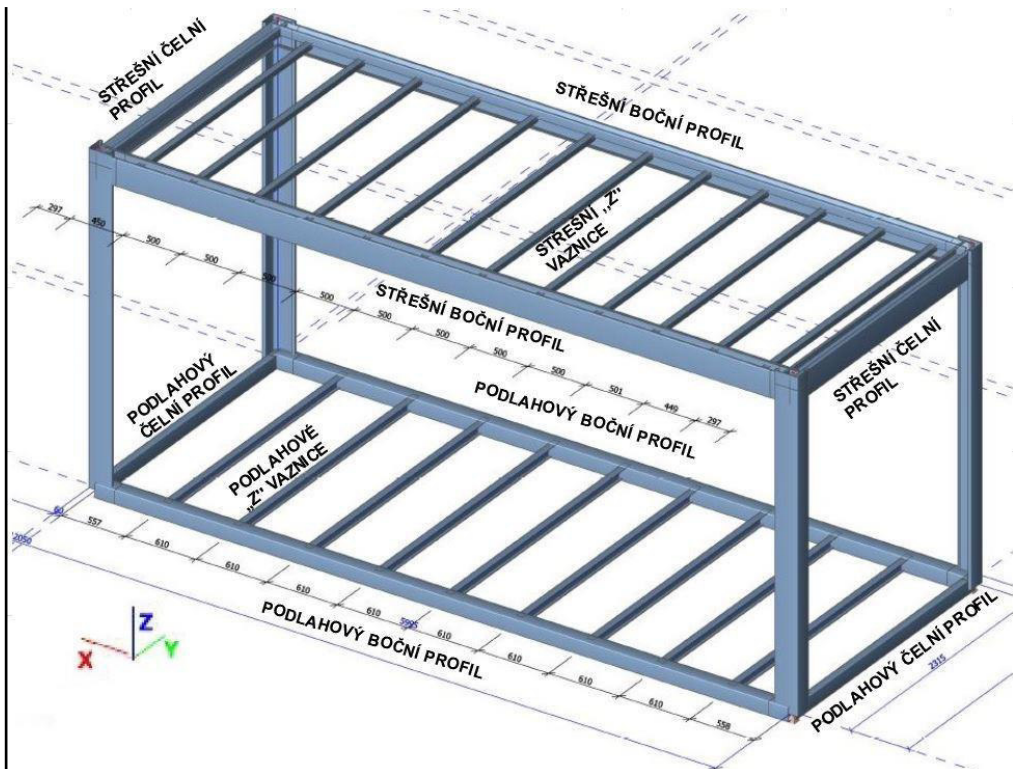
1 Popis zkoumaného objektu

Celý objekt je složen z prostorových ocelových rámu tvořících dohromady jeden bytový celek. Půdorysné rozměry nosné konstrukce jsou 12,1 x 12,1 m, nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 8,4 m nad úrovní okolního terénu. Sestava je tvořena z celkem třiceti modulových boxů po pěti ve dvou řadách, které jsou ve třech patrech na sobě. Jednotlivé moduly jsou mezi sebou navzájem propojeny. Konstruktivní výška podlaží je 2,79 m.



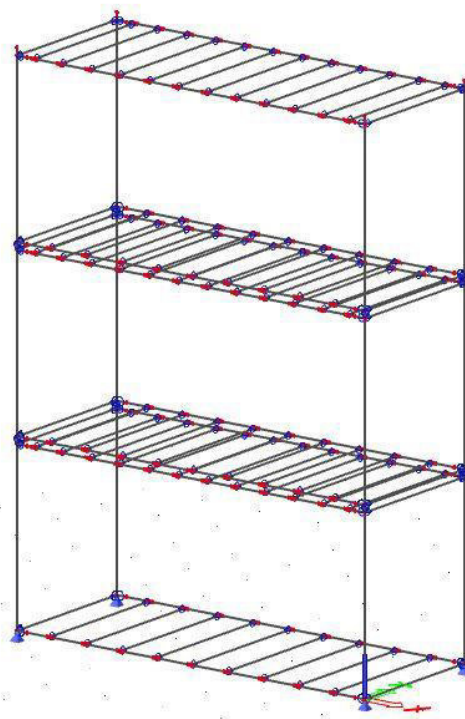
Obrázek 1- Nosná konstrukce objektu

Jeden modul má vnější půdorysné rozměry 6055x2435 mm a výšku 2790 mm. Ztužující rám je tvořen z rohového sloupku a podlahového profilu bočního a čelního. Na boční podlahový profil jsou připevněny podlahové vaznice po 610 mm. V úrovni střešního patra jsou přes svařovaný styčníky připevněny ke sloupkům střešní čelní a boční profily. Na výztuhu střešního bočního profilu jsou přivařeny střešní „Z“ vaznice po 500 mm.



Obrázek 2- Konstrukce modulu

Jako statický model se bude z celé soustavy modulů uvažovat krajní sloupec tří modulů nad sebou. Vodorovné reakce od sousedních modulů se nahradí ekvivalentními bodovými silami.



Obrázek 3- Statický model pro výpočet vnitřních sil

2 Zatížení

Pro výpočet budeme uvažovat pouze zatížení silové (bodové a líniové), které můžeme rozdělit na dva druhy podle časového průběhu, a to stálé a proměnné.

Hodnoty těchto zatížení budou vypočítány v souladu s normou ČSN EN 1991-1.

2.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení vlastní tíhou se automaticky vygeneruje programem Scia Engineer 17.01. Objemová hmotnost ocele se uvažuje 7850 kg/m^3 .

Ostatní stálá zatížení jsou od skladby podlahy, stropu a obvodových plášťů.

Podlaha

- PVC 1,5 mm	0,021 kN/m ²
- Dřevotřísková deska 22 mm	0,144 kN/m ²
- Tepelná izolace 100 mm	0,015 kN/m ²
- Plech FeZn 0,55 mm	0,052 kN/m ²
Celkem	0,232 kN/m²

Střecha

- Plech FeZn 0,55 mm	0,052 kN/m ²
- Tepelná izolace 120 mm	0,018 kN/m ²
- Dřevěné latě 50x22 mm	0,009 kN/m ²
- Dřevotřísková deska 10 mm	0,072 kN/m ²
Celkem	0,151 kN/m²

Vnější stěna

- Plech FeZn 0,55 mm	0,052 kN/m ²
- Tepelná izolace 60 mm	0,009 kN/m ²
- Dřevěné latě 60x22 mm	0,022 kN/m ²
- Dřevotřísková deska 10 mm	0,072 kN/m ²
Celkem	0,155 kN/m²

Působení zatížení na podlahové nosníky

Vnější obvodová stěna vytváří zatížení působící na podlahové profily boční.

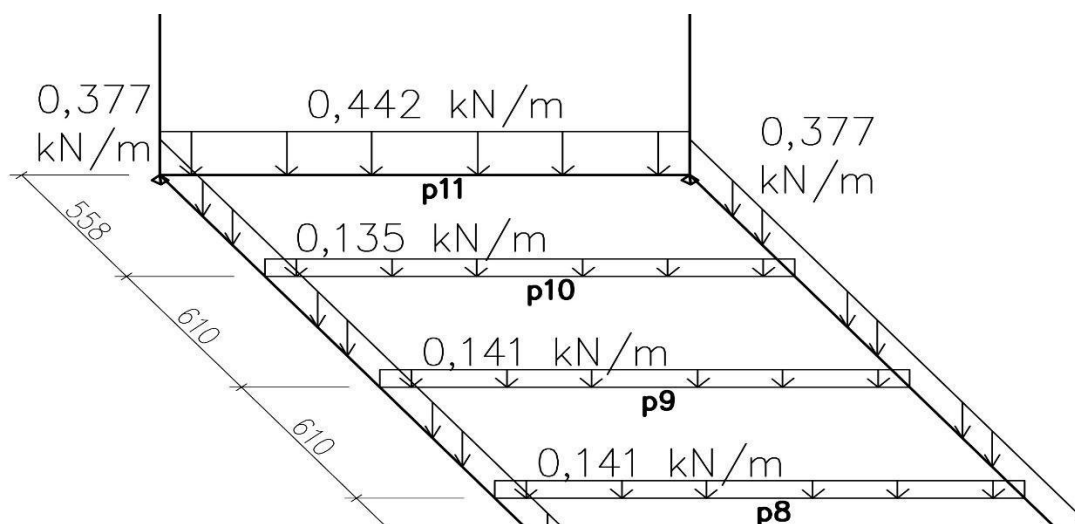
$$0,155 \cdot 2,43 = 0,377 \text{ kN/m}$$

Přepočet na liniové zatížení:

$$f_{p1} = f_{p11} = 0,232 \cdot \frac{0,558}{2} + 0,377 = 0,442 \text{ kN/m}$$

$$f_{p2} = f_{p10} = 0,232 \cdot \left(\frac{0,558 + 0,610}{2} \right) = 0,135 \text{ kN/m}$$

$$f_{p3...p9} = 0,232 \cdot 0,610 = 0,141 \text{ kN/m}$$



Obrázek 4 - Stálé zatížení na podlahové nosníky

Působení na střešní nosníky

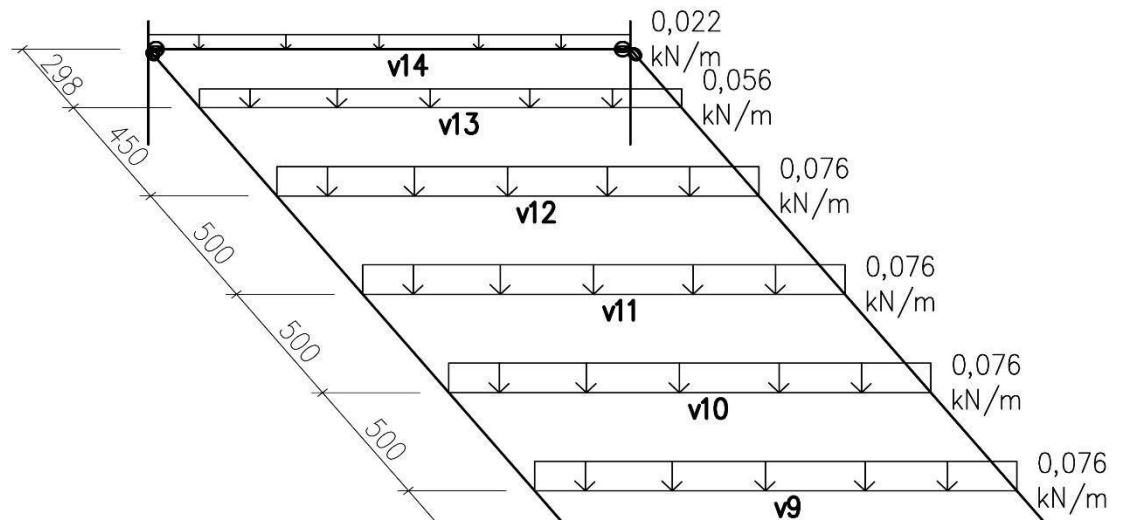
Přepočet na liniové zatížení:

$$f_{v1} = f_{v14} = 0,151 \cdot \frac{0,298}{2} = 0,022 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2} = f_{v13} = 0,151 \cdot \frac{(0,298 + 0,450)}{2} = 0,056 \text{ kN/m}$$

$$f_{v3} = f_{v12} = 0,151 \cdot \frac{(0,450 + 0,500)}{2} = 0,072 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4...v11} = 0,151 \cdot 0,5 = 0,076 \text{ kN/m}$$



Obrázek 5 - Stálé zatížení na střešní nosníky

2.2 Proměnné zatížení

2.2.1 Užiténé zatížení

Podlahové nosníky zatíženy rovnoměrně 2,5 kN/m².

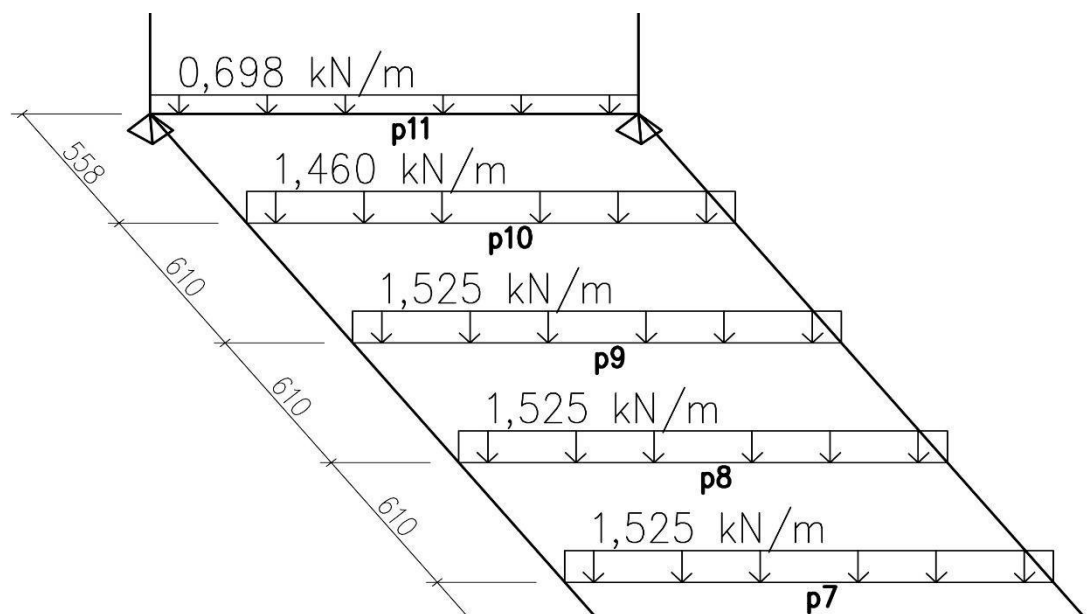
Působení na podlahové nosníky

Přepočít na liniové zatížení:

$$f_{p1} = f_{p11} = 2,5 \cdot \frac{0,558}{2} = 0,698 \text{ kN/m}$$

$$f_{p2} = f_{p10} = 2,5 \cdot \frac{(0,558 + 0,610)}{2} = 1,460 \text{ kN/m}$$

$$f_{p3...p9} = 2,5 \cdot 0,610 = 1,525 \text{ kN/m}$$



Obrázek 6 - Užiténé zatížení

2.2.2 Zatížení sněhem (pro pultové střechy)

Podle normy ČSN EN 1991 – 1-3.

Pro trvalou nebo dočasnou návrhovou situaci se zatížení sněhem na střechách určí podle vztahu:

$$s = C_e \cdot C_t \cdot s_k \cdot \mu_i \quad [\text{kN/m}^2]$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:

Sněhová oblast II $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Součinitelé

Součinitel expozice $C_e = 1$

Teplotní součinitel $C_t = 1$

Tvarový součinitel (závisí na sklonu střechy $\alpha = 0^\circ$)

$$\mu_i = 0,8$$

$$s = 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Působení na střešní nosníky horního modulu

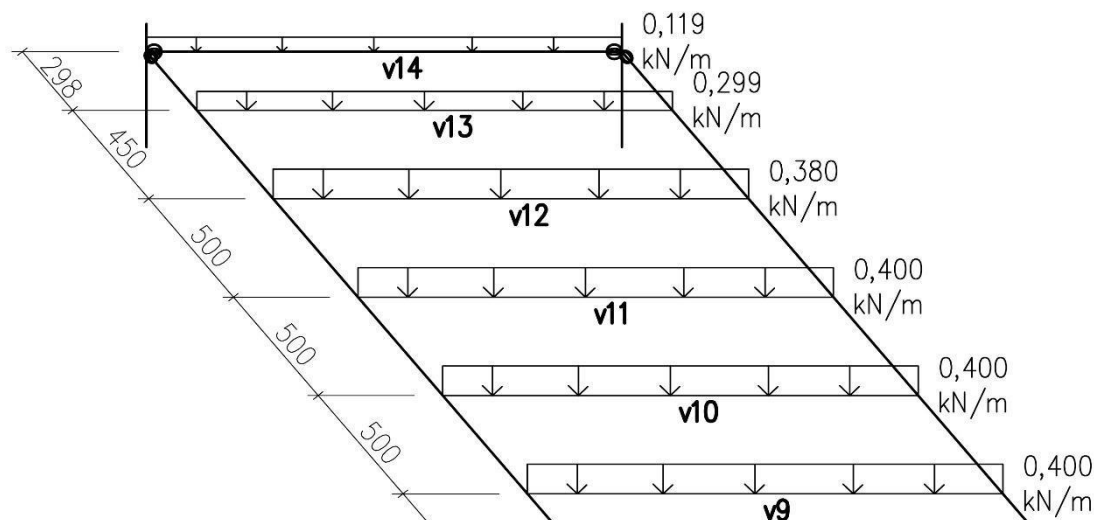
Liniové zatížení:

$$f_{v1} = f_{v14} = 0,8 \cdot \frac{0,298}{2} = 0,119 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2} = f_{v13} = 0,8 \cdot \frac{(0,298 + 0,450)}{2} = 0,299 \text{ kN/m}$$

$$f_{v3} = f_{v12} = 0,8 \cdot \frac{(0,450 + 0,500)}{2} = 0,380 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4 \dots v11} = 0,8 \cdot 0,5 = 0,400 \text{ kN/m}$$



Obrázek 7 - Zatížení sněhem

Zatížení sněhem se považuje za proměnné krátkodobé, působící na průmět do vodorovné roviny.

2.2.3 Zatížení větrem

Podle normy ČSN EN 1991 – 1-4. [x]

Norma zahrnuje výpočet zatížení větrem budov do výšky 200 m. Tlak větru na návětrné straně se uvažuje jako kladný tlak (působí kolmo do plochy) a na závětrné straně záporný tlak sání (působí kolmo z plochy). Třecí síly při obtékání budovy zanedbáme.

Tlak větru (N/m^2) ve výšce z se vypočte dle následujícího vztahu [x]:

$$w_e = q_b \cdot C_e(z_e) \cdot c_{pe} \quad (\text{N/m}^2)$$

q_b – je základní střední tlak větru (N/m^2)

$C_e(z_e)$ – je součinitel expozice, vliv terénu a výšky nad terénem

c_{pe} – je součinitel aerodynamického tlaku

Rozměry konstrukce:

Výška střechy nad terénem	$h = 8,4 \text{ m}$
Šířka střechy kolmo na směr větru	$b = 12,1 \text{ m}$
Šířka střechy rovnoběžně na směr větru	$d = 12,1 \text{ m}$
Úhel sklonu	$\alpha = 0^\circ$

Parametry zatížení větrem:

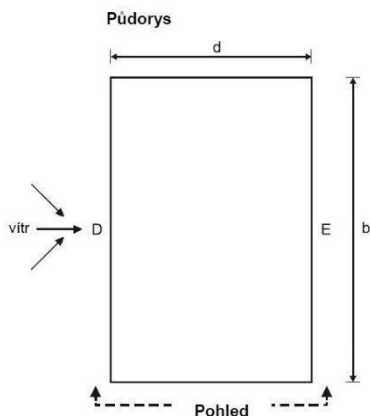
Větrná oblast	II
Základní rychlost větru	$v_b = 25,0 \text{ m/s}$
Kategorie terénu	IV
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 1,0 \text{ m}; z_{min} = 10 \text{ m}$
Součinitel terénu	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$
Součinitel drsnosti terénu	$c_r(z_{min}) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{10,0}{1,0}\right) = 0,540$
Součinitel orografie	$c_0 = 1$
Průměrná rychlost větru	$v_m = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,540 \cdot 1 \cdot 25 = 13,49 \text{ m/s}$
Součinitel turbulence	$k_I = 1$
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
Základní tlak větru	$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,63 \text{ Pa}$
Intenzita turbulence	$I_v = \frac{k_I}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{10}{1,0}\right)} = 0,434$
Součinitel expozice	$C_e(z_e) = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot \left(\frac{v_m}{v_b}\right)^2$ $C_e(z_e) = (1 + 7 \cdot 0,434) \cdot \left(\frac{13,49}{25}\right)^2 = 1,176$
Maximální dynamický tlak	$q_p = C_e(z_e) \cdot q_b = 1,176 \cdot 390,63 = 459,44 \text{ Pa}$

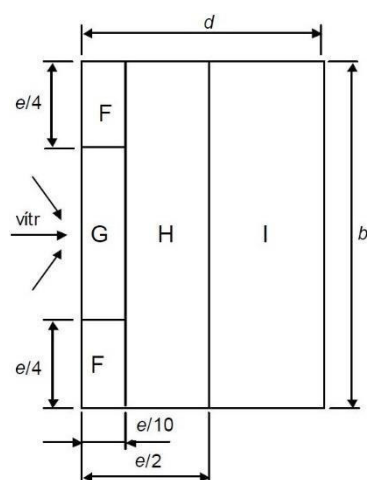
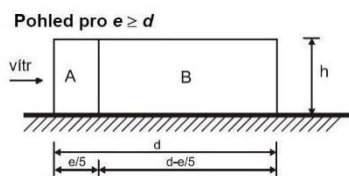
Hodnota e pro výpočet oblastí:

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(12,1; 2 \cdot 8,4) = 12,1 \text{ m}$$

e/5	d-e/5	4/5e	
2,42	9,68	9,68	[m]
e/2	e/4	e/10	
6,05	3,03	1,21	[m]

Součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny budovy:





Oblast	$C_{pe,10}$	$w_{e,10}$ [kN/m ²]
A	-1,200	-0,551
B	-0,800	-0,368
C	-	-
D	0,645	0,296
E	-0,355	-0,163

Tabulka 1: Součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny budovy

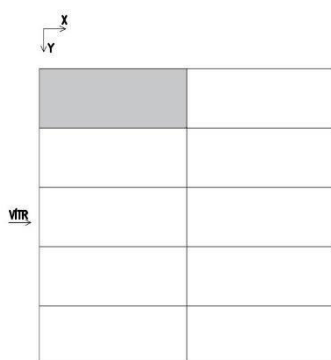
Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy:

Oblast	$C_{pe,10}$	$w_{e,10}$ [kN/m ²]
F	-1,800	-0,827
G	-1,200	-0,551
H	-0,700	-0,322
I_{min}	-0,200	-0,092
I_{max}	0,200	0,092

Tabulka 2: Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy

Působení větru ve směru X:

Liniové zatížení přiřazené k podlahovému a střešnímu patru. Je to zatížení od působení větru na obvodový plášť.



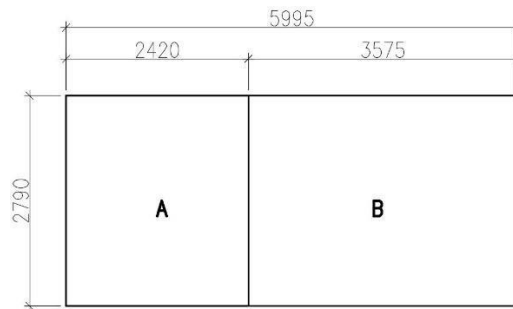
$$f_{x,p1,D} = f_{x,v1,D} = w_D \cdot \frac{2,79}{2} = 0,296 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,413 \text{ kN/m}$$

$$f_{x,b1,A} = f_{x,b3,A} = w_A \cdot \frac{2,79}{2} = 0,551 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,769 \text{ kN/m}$$

$$f_{x,b1,B} = f_{x,b3,B} = w_B \cdot \frac{2,79}{2} = 0,368 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,513 \text{ kN/m}$$

Bodová reakce od sousedící modulů soustavy. Při působení vodorovného zatížení se o sebe sousedící moduly opírají v rámových rozích, kde vzniká reakce. Všechny moduly v řadě mají stejnou tuhost, takže vodorovné zatížení se rovnoměrně roznese na každý dílec v řadě za sebou.

Bodová síla od větru na hrany modulu.

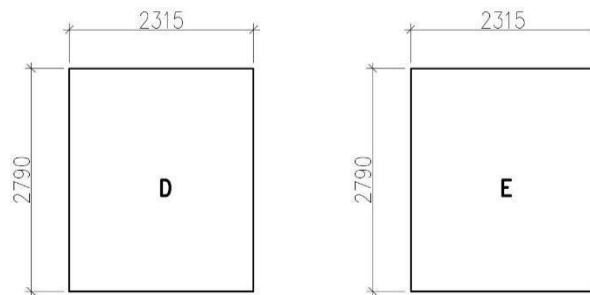


Obrázek 8 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť A, B

$$F_{AB; \Sigma} = 2,79 \cdot (2,42 \cdot w_A + 3,575 \cdot w_B)$$

$$= 2,79 \cdot (2,42 \cdot 0,551 + 3,575 \cdot 0,368) = 7,391 \text{ kN}$$

$$F_{AB; \frac{1}{4}} = F_{AB; \Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 7,391 \cdot \frac{1}{4} = 1,848 \text{ kN}$$



Obrázek 9 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť D, E

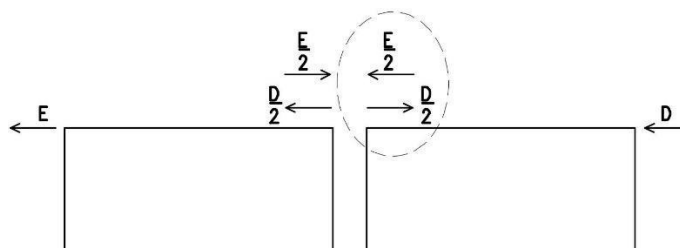
$$F_{D; \Sigma} = 2,79 \cdot 2,315 \cdot w_D = 2,79 \cdot 2,315 \cdot 0,296 = 1,912 \text{ kN}$$

$$F_{D; \frac{1}{4}} = F_{D; \Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 1,912 \cdot \frac{1}{4} = 0,478 \text{ kN}$$

$$F_{E; \Sigma} = 2,79 \cdot 2,315 \cdot w_E = 2,79 \cdot 2,315 \cdot 0,163 = 1,053 \text{ kN}$$

$$F_{E; \frac{1}{4}} = F_{E; \Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 1,053 \cdot \frac{1}{4} = 0,263 \text{ kN}$$

Reakce sil od sousedících modulů:



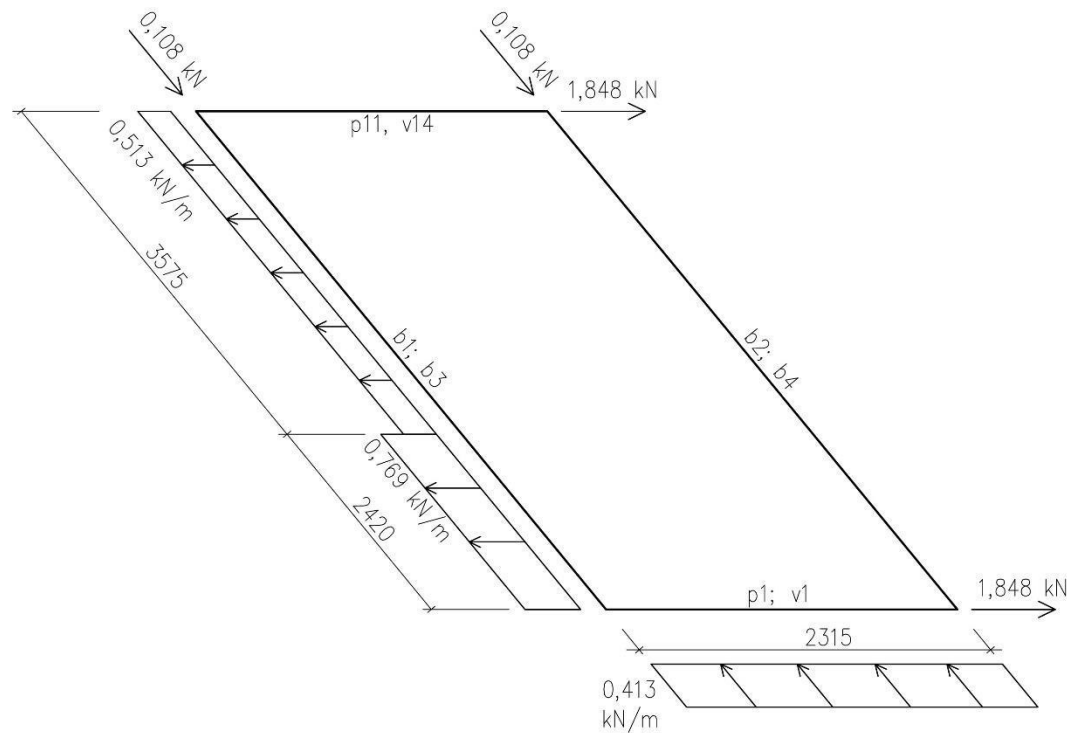
Obrázek 10 - Reakce sil od sousedících modulů

$$\rightarrow: \frac{D}{2} - \frac{E}{2} = \frac{0,478}{2} - \frac{0,263}{2} = 0,108 \text{ kN}$$

U bočního pláště dochází k sání z obou stran celé soustavy stejně.

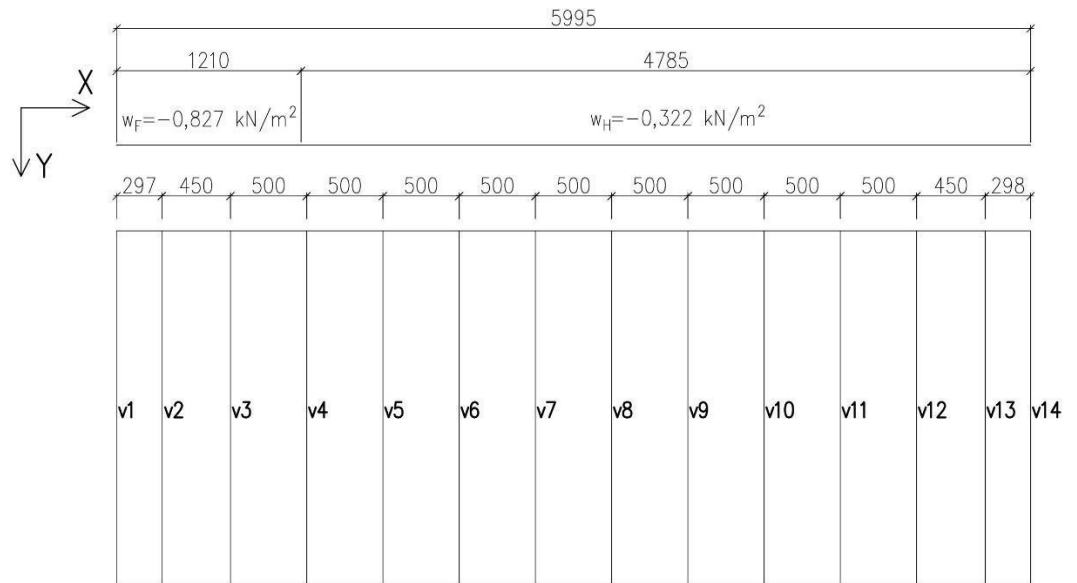
To znamená, že v rozích působí síla $F_{AB;1/4}$.

Výsledné působení vodorovných sil na podlahové i stropní podlaží.



Obrázek 11 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru X

Zatížení od větru na střechu, které je způsobeno sáním.



Obrázek 12 - Zatížení od větru na střechu ve směru X

$$f_{v1} = 0,827 \cdot 0,297 \cdot 0,5 = 0,123 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2} = 0,827 \cdot (0,297 + 0,450) \cdot 0,5 = 0,309 \text{ kN/m}$$

$$f_{v3} = 0,827 \cdot (0,450 + 0,500) \cdot 0,5 = 0,393 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4} = (0,827 + 0,322) \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,287 \text{ kN/m}$$

$$f_{v5...v11} = 0,322 \cdot 0,5 = 0,161 \text{ kN/m}$$

$$f_{v12} = 0,322 \cdot (0,450 + 0,500) \cdot 0,5 = 0,153 \text{ kN/m}$$

$$f_{v13} = 0,322 \cdot (0,450 + 0,298) \cdot 0,5 = 0,153 \text{ kN/m}$$

$$f_{v14} = 0,322 \cdot 0,298 \cdot 0,5 = 0,048 \text{ kN/m}$$

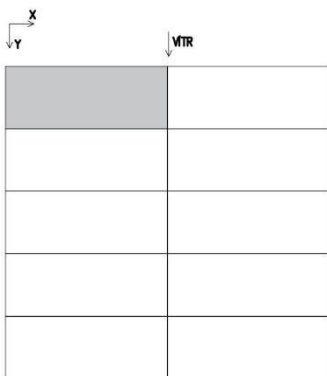
Působení větru ve směru Y:

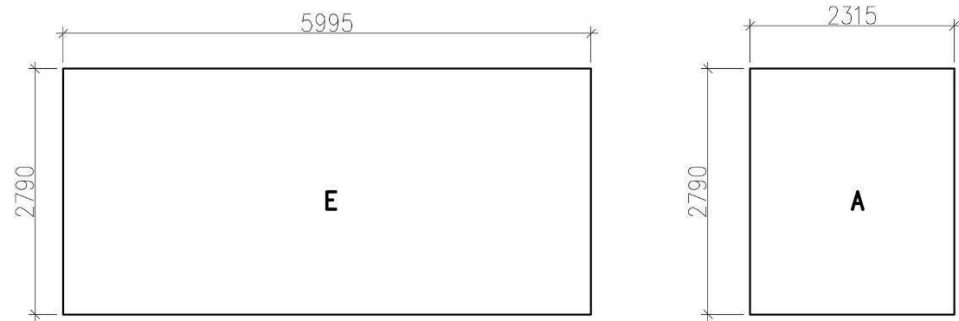
Liniové zatížení přiřazené k podlahovému a střešnímu patru

$$f_{y,p1,A} = f_{y,v1,A} = w_A \cdot \frac{2,79}{2} = 0,551 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,769 \text{ kN/m}$$

$$f_{y,b1,D} = f_{y,b3,D} = w_D \cdot \frac{2,79}{2} = 0,296 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,413 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od větru na hrany modulu.





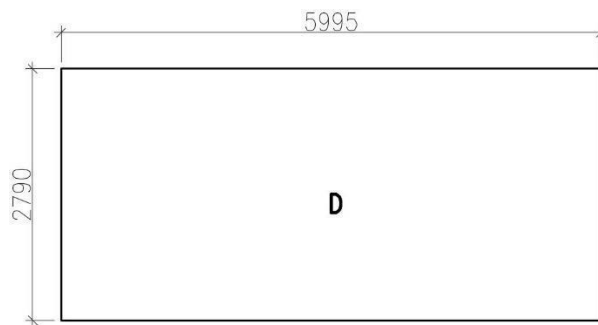
Obrázek 13 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť E, A

$$F_{E;\Sigma} = 2,79 \cdot 5,995 \cdot w_E = 2,79 \cdot 5,995 \cdot 0,163 = 2,726 \text{ kN}$$

$$F_{E;\frac{1}{4}} = F_{E;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 2,726 \cdot \frac{1}{4} = 0,682 \text{ kN}$$

$$F_{A;\Sigma} = 2,79 \cdot 2,315 \cdot w_A = 2,79 \cdot 2,315 \cdot 0,551 = 3,559 \text{ kN}$$

$$F_{A;\frac{1}{4}} = F_{A;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 3,559 \cdot \frac{1}{4} = 0,890 \text{ kN}$$

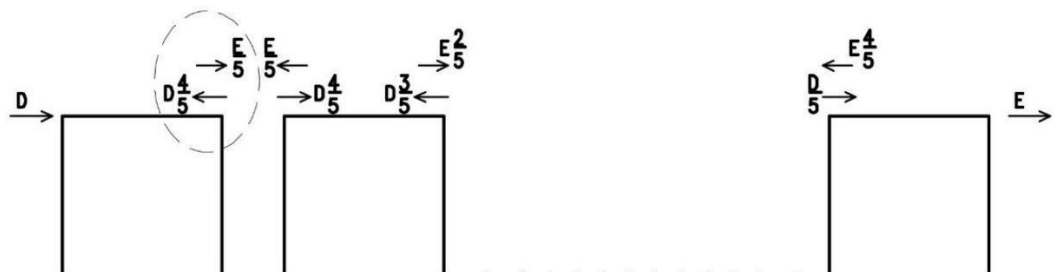


Obrázek 14 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť E, A

$$F_{D;\Sigma} = 2,79 \cdot 5,995 \cdot w_D = 2,79 \cdot 5,995 \cdot 0,296 = 4,951 \text{ kN}$$

$$F_{D;\frac{1}{4}} = F_{D;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 4,951 \cdot \frac{1}{4} = 1,238 \text{ kN}$$

Reakce sil od sousedících modulů:

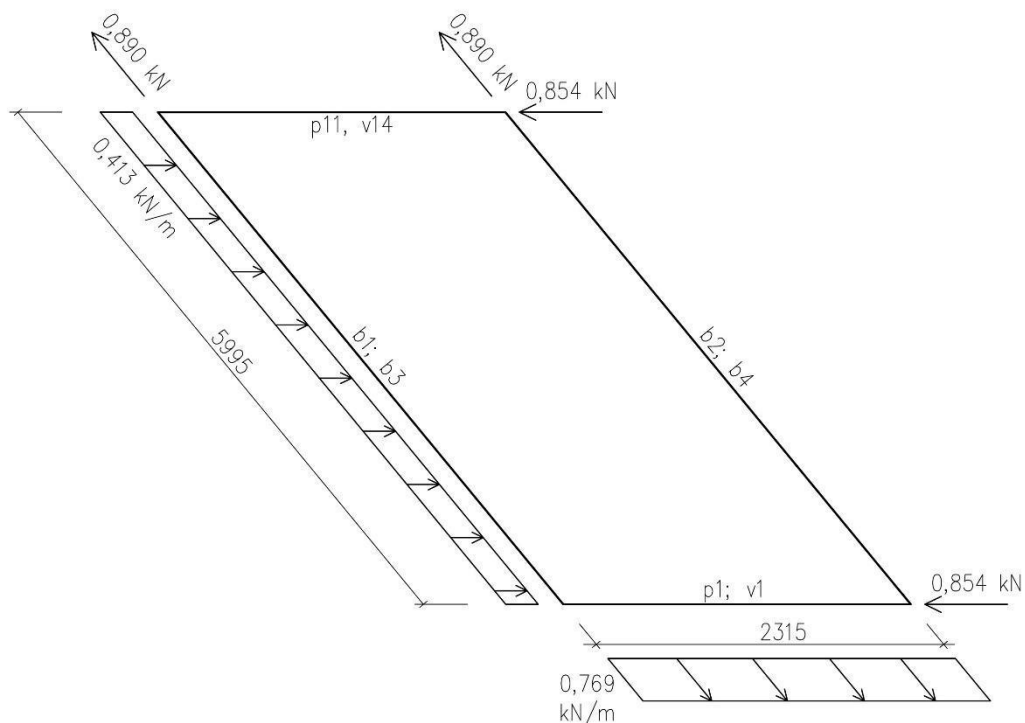


Obrázek 15 - Reakce sil od sousedících modulů II

$$\leftarrow: D \frac{4}{5} - \frac{E}{5} = \frac{1,238 \cdot 4}{5} - \frac{0,682}{5} = 0,854 \text{ kN}$$

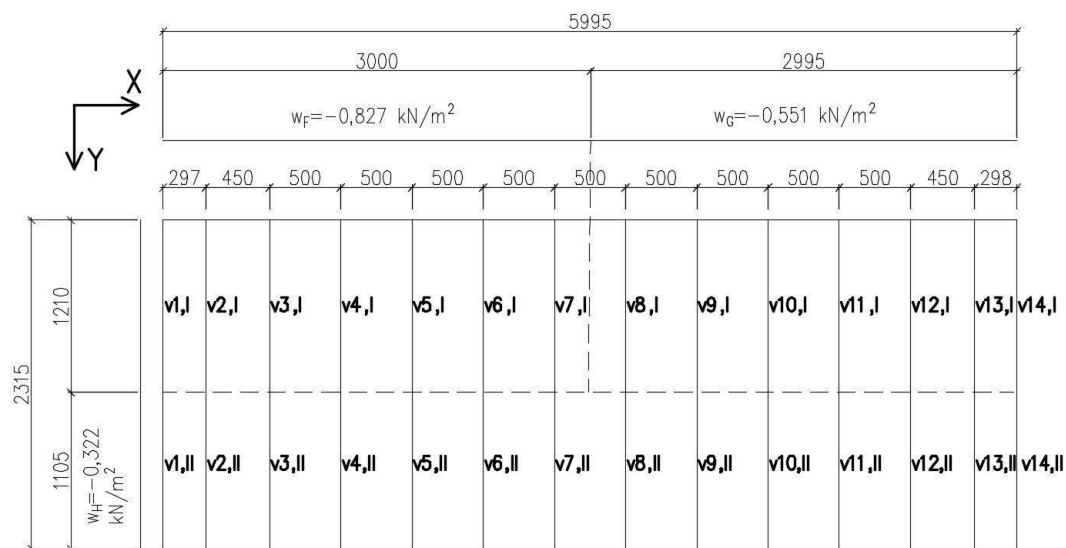
U bočního pláště dochází k sání z obou stran celé soustavy stejně.
To znamená, že v rozích působí síla $F_{A;1/4}$.

Výsledné působení vodorovných sil na podlahové i stropní podlaží.



Obrázek 16 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru Y

Zatížení od větru na střechu, které je způsobeno sáním.



Obrázek 17 - Zatížení od větru na střechu ve směru Y

$$f_{v1,I} = 0,827 \cdot 0,297 \cdot 0,5 = 0,123 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2,I} = 0,827 \cdot (0,297 + 0,450) \cdot 0,5 = 0,309 \text{ kN/m}$$

$$f_{v3,I} = 0,827 \cdot (0,450 + 0,500) \cdot 0,5 = 0,393 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4,I...v7,I} = 0,827 \cdot 0,5 = 0,414 \text{ kN/m}$$

$$f_{v8,I...v11,I} = 0,551 \cdot 0,5 = 0,275 \text{ kN/m}$$

$$f_{v12,I} = 0,551 \cdot (0,450 + 0,500) \cdot 0,5 = 0,262 \text{ kN/m}$$

$$f_{v13,I} = 0,551 \cdot (0,450 + 0,298) \cdot 0,5 = 0,206 \text{ kN/m}$$

$$f_{v14,I} = 0,551 \cdot 0,298 \cdot 0,5 = 0,082 \text{ kN/m}$$

$$f_{v1,II} = f_{v14,II} = 0,322 \cdot 0,297 \cdot 0,5 = 0,048 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2,II} = f_{v13,II} = 0,322 \cdot (0,297 + 0,450) \cdot 0,5 = 0,120 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4,II...v11,II} = 0,322 \cdot 0,5 = 0,161 \text{ kN/m}$$

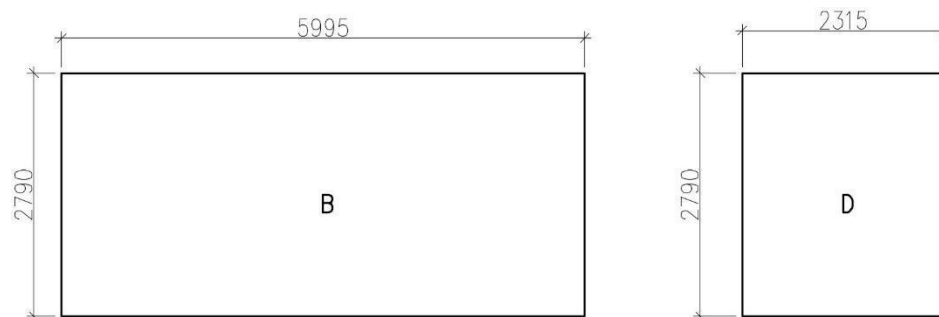
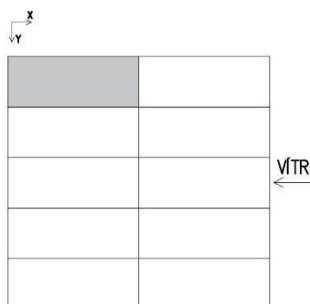
Působení větru ve směru X-II:

Liniové zatížení přiřazené k podlahovému a střešnímu patru

$$f_{x-II,b1,B} = f_{x-II,b3,B} = w_B \cdot \frac{2,79}{2} = 0,368 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,513 \text{ kN/m}$$

$$f_{x-II,p1,E} = f_{x-II,v1,E} = w_E \cdot \frac{2,79}{2} = 0,163 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,227 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od větru na hrany modulu.



Obrázek 18 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť B, D

$$F_{B;\Sigma} = 2,79 \cdot 5,995 \cdot w_B = 2,79 \cdot 5,995 \cdot 0,368 = 6,155 \text{ kN}$$

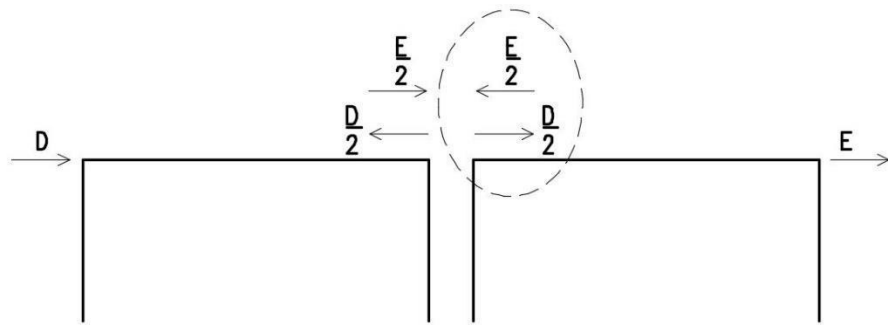
$$F_{B;\frac{1}{4}} = F_{B;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 6,155 \cdot \frac{1}{4} = 1,539 \text{ kN}$$

$$F_{D;\Sigma} = 2,79 \cdot 2,315 \cdot w_D = 2,79 \cdot 2,315 \cdot 0,296 = 1,912 \text{ kN}$$

$$F_{D;\frac{1}{4}} = F_{D;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 1,912 \cdot \frac{1}{4} = 0,478 \text{ kN}$$

$$F_{E;\frac{1}{4}} = F_{E;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 1,053 \cdot \frac{1}{4} = 0,263 \text{ kN}$$

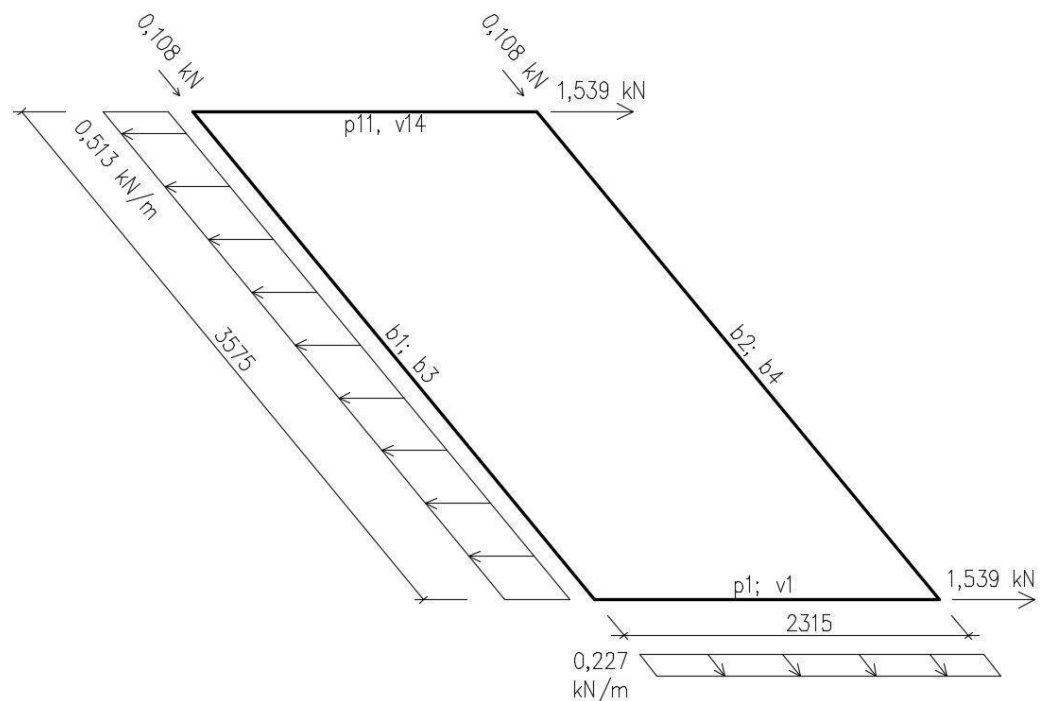
Reakce sil od sousedících modulů:



Obrázek 19 - Reakce sil od sousedících modulů III

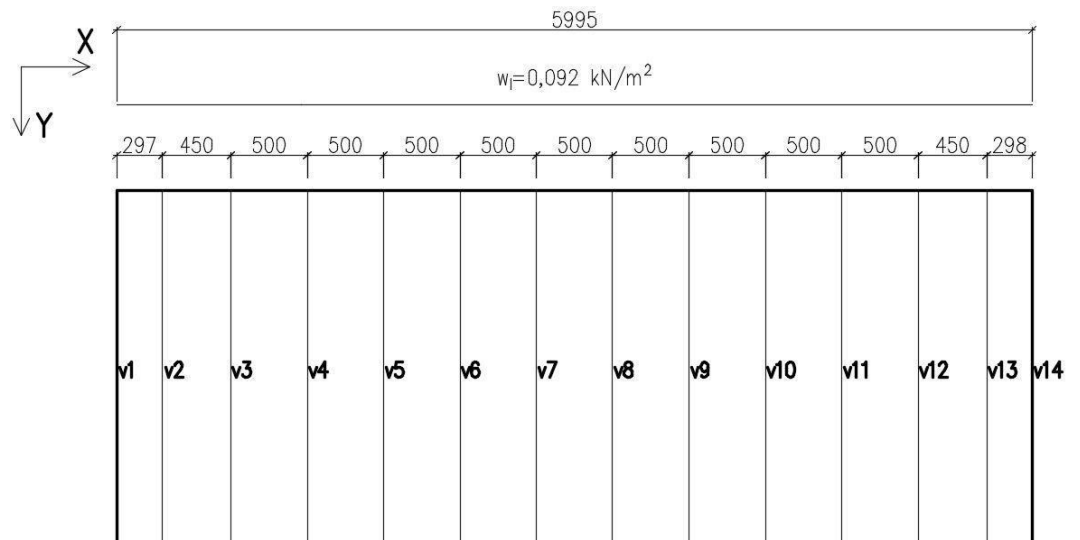
$$\rightarrow: \frac{D}{2} - \frac{E}{2} = \frac{0,478}{2} - \frac{0,263}{2} = 0,108 \text{ kN}$$

Výsledné působení vodorovných sil na podlahové i stropní podlaží.



Obrázek 20 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru X-II

Zatížení od větru na střeche. Celá plocha střechy tohoto modulu je v zóně I, kde je buď tlak $0,092 \text{ kN/m}^2$, nebo sání $-0,092 \text{ kN/m}^2$. Sání má ovšem menší účinky na střešní vazníky než vítr ve směru X a Y, takže zde může být tato kombinace vyloučena a je ponechám pouze tlak.



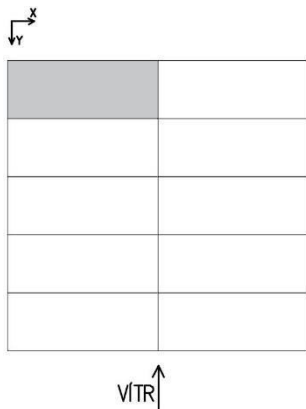
Obrázek 21 - Zatížení od větru na střechu ve směru Y

$$f_{v1} = f_{v14} = 0,092 \cdot 0,297 \cdot 0,5 = 0,014 \text{ kN/m}$$

$$f_{v2} = f_{v13} = 0,092 \cdot (0,297 + 0,450) \cdot 0,5 = 0,034 \text{ kN/m}$$

$$f_{v3} = f_{v12} = 0,092 \cdot (0,450 + 0,500) \cdot 0,5 = 0,044 \text{ kN/m}$$

$$f_{v4...v11} = 0,092 \cdot 0,5 = 0,046 \text{ kN/m}$$



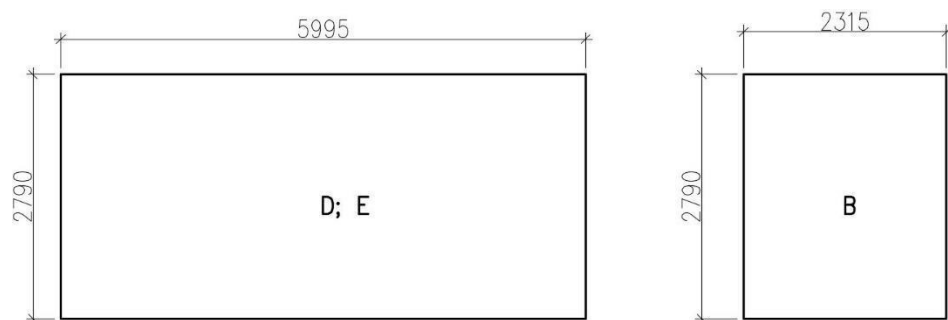
Působení větru ve směru Y-II:

Liniové zatížení přiřazené k podlahovému a střešnímu patru

$$f_{y-II,p1,B} = f_{y-II,v1,B} = w_B \cdot \frac{2,79}{2} = 0,368 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,513 \text{ kN/m}$$

$$f_{y-II,b1,E} = f_{y-II,b3,E} = w_E \cdot \frac{2,79}{2} = 0,163 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,227 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od větru na hrany modulu.



Obrázek 22 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť B, D, E

$$F_{D;\Sigma} = 2,79 \cdot 5,995 \cdot w_D = 2,79 \cdot 5,995 \cdot 0,296 = 4,951 \text{ kN}$$

$$F_{D;\frac{1}{4}} = F_{D;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 4,951 \cdot \frac{1}{4} = 1,238 \text{ kN}$$

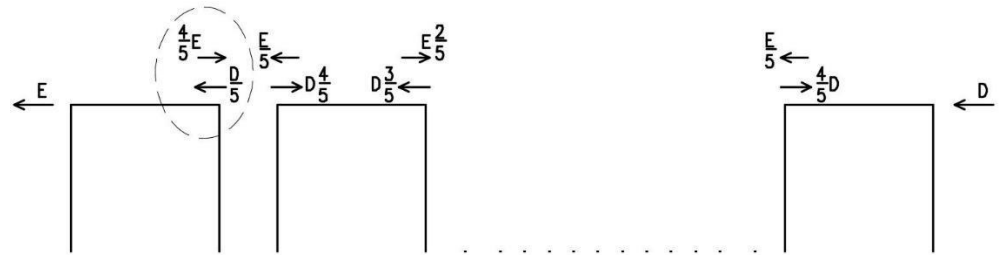
$$F_{E;\Sigma} = 2,79 \cdot 5,995 \cdot w_E = 2,79 \cdot 5,995 \cdot 0,163 = 2,726 \text{ kN}$$

$$F_{E;\frac{1}{4}} = F_{E;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 2,726 \cdot \frac{1}{4} = 0,682 \text{ kN}$$

$$F_{B;\Sigma} = 2,79 \cdot 2,315 \cdot w_B = 2,79 \cdot 2,315 \cdot 0,368 = 2,377 \text{ kN}$$

$$F_{B;\frac{1}{4}} = F_{B;\Sigma} \cdot \frac{1}{4} = 2,377 \cdot \frac{1}{4} = 0,594 \text{ kN}$$

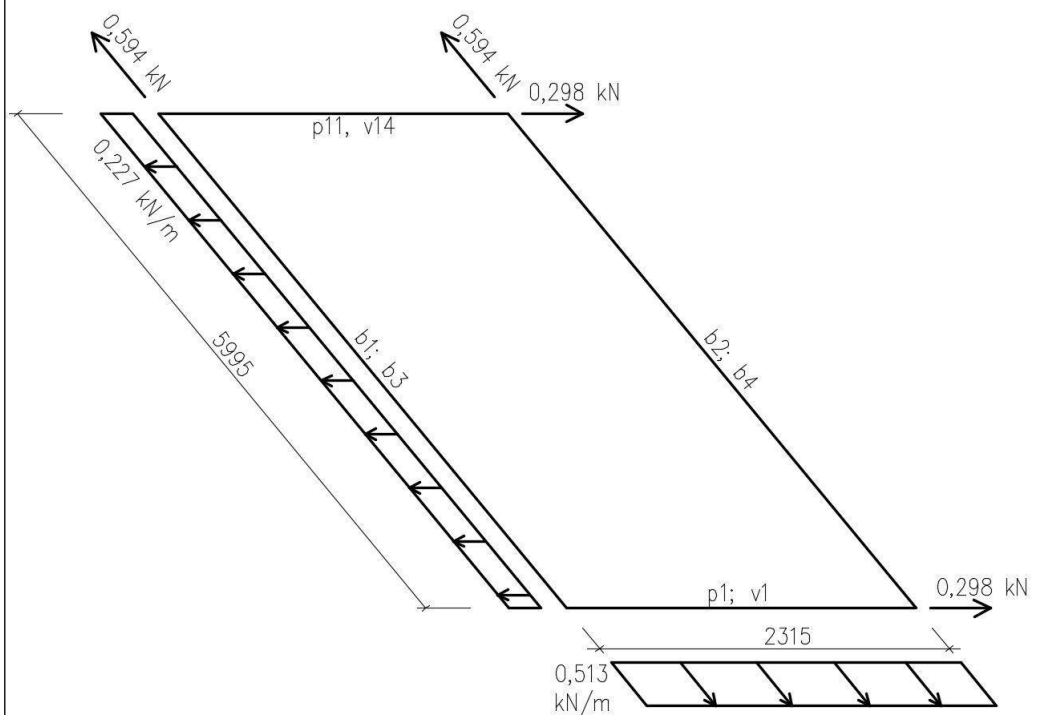
Reakce sil od sousedících modulů:



Obrázek 23 - Reakce sil od sousedících modulů III

$$\rightarrow: E \frac{4}{5} - \frac{D}{5} = \frac{4 \cdot 0,682}{5} - \frac{1,238}{5} = 0,298 \text{ kN}$$

Výsledné působení vodorovných sil na podlahové i stropní podlaží.



Obrázek 24 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru Y-II

Zatížení od větru na střechu je stejné jako u větru ve směru X-II.

2.3. Rámové imperfekce (globální analýza)

Imperfekce soustavy ve tvaru celkového počátečního naklonění konstrukce.

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$
$$\Phi_0 = \frac{1}{200}$$
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{8,4}} = 0,69; \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$
$$\alpha_{m,x} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_x}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,816$$
$$\alpha_{m,y} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_y}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{6}\right)} = 0,764$$
$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_{m,x} = \frac{1}{200} \cdot 0,69 \cdot 0,816 = 0,0028$$
$$\Phi_y = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_{m,y} = \frac{1}{200} \cdot 0,69 \cdot 0,764 = 0,0026$$

Výpočet ekvivalentních vodorovných sil.

-podlaha, boční stěny – působí na podlahové patro

$$H_{x,k, \text{stálé-I}} = \left[(5,995 + 2,315) \cdot 0,377 + 5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,232 \right] \cdot 0,0028 = 0,013 \text{ kN}$$

$$H_{y,k, \text{stálé-I}} = \left[(5,995 + 2,315) \cdot 0,377 + 5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,232 \right] \cdot 0,0026 = 0,012 \text{ kN}$$

-střecha – působí na střešní patro

$$H_{x,k, \text{stálé-II}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,151 \right) \cdot 0,0028 = 0,0029 \text{ kN}$$

$$H_{y,k, \text{stálé-II}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,151 \right) \cdot 0,0026 = 0,0027 \text{ kN}$$

-užitné – působí na podlahové patro

$$H_{x,k, \text{užitné}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 2,5 \right) \cdot 0,0028 = 0,0486 \text{ kN}$$

$$H_{y,k, \text{užitné}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 2,5 \right) \cdot 0,0026 = 0,0451 \text{ kN}$$

-sníh – působí na střešní patro horního modulu

$$H_{x,k, \text{sníh}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,8 \right) \cdot 0,0028 = 0,0155 \text{ kN}$$

$$H_{y,k, \text{sníh}} = \left(5,995 \cdot \frac{2,315}{2} \cdot 0,8 \right) \cdot 0,0026 = 0,0144 \text{ kN}$$

2.4. Zatěžovací stavy

1. Zatěžovací stav
 - typ působení: stálé
 - název zatížení: **vlastní tíha nosné konstrukce**
(automaticky vygenerováno programem Scia Engineer 17)
2. Zatěžovací stav
 - typ působení: stálé
 - název zatížení: **tíha podlahy, stopu a obvodových stěn**
(viz. kap. 2.1.)
3. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné
 - název zatížení: **užitné zatížení od osob** (viz. kap. 2.2.1.)
4. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné
 - název zatížení: **zatížení sněhem** (viz. kap. 2.2.2.)
5. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné (výběrové: vítr)
 - název zatížení: **zatížení větrem ve směru x**
(viz. kap. 2.2.3.)
6. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné (výběrové: vítr)
 - název zatížení: **zatížení větrem ve směru y**
(viz. kap. 2.2.3.)
7. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné (výběrové: vítr)
 - název zatížení: **zatížení větrem ve směru x-II**
(viz. kap. 2.2.3.)
8. Zatěžovací stav
 - typ působení: proměnné (výběrové: vítr)
 - název zatížení: **zatížení větrem ve směru y-II**
(viz. kap. 2.2.3.)

2.5 Kombinace zatížení

Součinitelé spolehlivosti.

$\gamma_{Gj,sup}=1,35$... stálé zatížení nepříznivé

$\gamma_{Gj,inf}=1,00$... stálé zatížení příznivé

$\gamma_{Q,i}=1,50$... proměnné zatížení nepříznivé

0 ... proměnné zatížení příznivé

$\gamma_{Q,i}=1,50$... proměnné zatížení nepříznivé

0 ... proměnné zatížení příznivé

Kombinační součinitelé.

$\psi_0=0,7$... užitné

$\psi_0=0,5$... sníh

$\psi_0=0,6$... vítr

$\xi=0,85$... stálé

Kombinace pro MSÚ (STR/GEO) (soubor B)

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

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

C03 – $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS5$

C04 – $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS6$

C05 – $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS7$

C06 – $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS8$

C07 – $0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS5$

C08 – $0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS6$

C09 – $0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS7$

C010 – $0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS8$

C011 – $0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS1 + 0,85 \cdot 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3 + 1,5 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot ZS5$

$$\begin{aligned}
\text{CO12} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS6} \\
\text{CO13} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS7} \\
\text{CO14} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS8} \\
\text{CO15} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot \text{ZS5} \\
\text{CO16} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot \text{ZS6} \\
\text{CO17} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot \text{ZS7} \\
\text{CO18} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4} + 1,5 \cdot \text{ZS8} \\
\text{CO19} &= 1,00 \cdot \text{ZS1} + 1,00 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot \text{ZS5} \\
\text{CO20} &= 1,00 \cdot \text{ZS1} + 1,00 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot \text{ZS6} \\
\text{CO21} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4} \\
\text{CO22} &= 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS1} + 0,85 \cdot 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot \text{ZS4} \\
\text{CO23} &= 1,35 \cdot \text{ZS1} + 1,35 \cdot \text{ZS2} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot \text{ZS3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS4}
\end{aligned}$$

ČSN EN 1990,

kap. 6.5

Charakteristická kombinace pro MSP

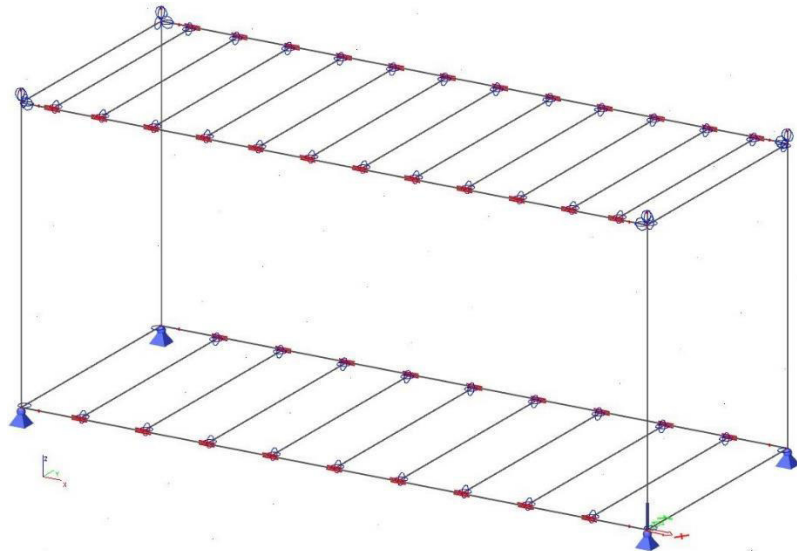
$$6.14b \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\begin{aligned}
\text{CO30} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS5} \\
\text{CO31} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS6} \\
\text{CO32} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS7} \\
\text{CO33} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS8} \\
\text{CO34} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS5} \\
\text{CO35} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS6} \\
\text{CO36} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS7} \\
\text{CO37} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + \text{ZS4} + 0,6 \cdot \text{ZS8} \\
\text{CO38} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + \text{ZS5} \\
\text{CO39} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + \text{ZS6} \\
\text{CO40} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + \text{ZS7} \\
\text{CO41} &= \text{ZS1} + \text{ZS2} + 0,7 \cdot \text{ZS3} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + \text{ZS8}
\end{aligned}$$

3 Varianty statických schémat

3.1 Tuhé rámy

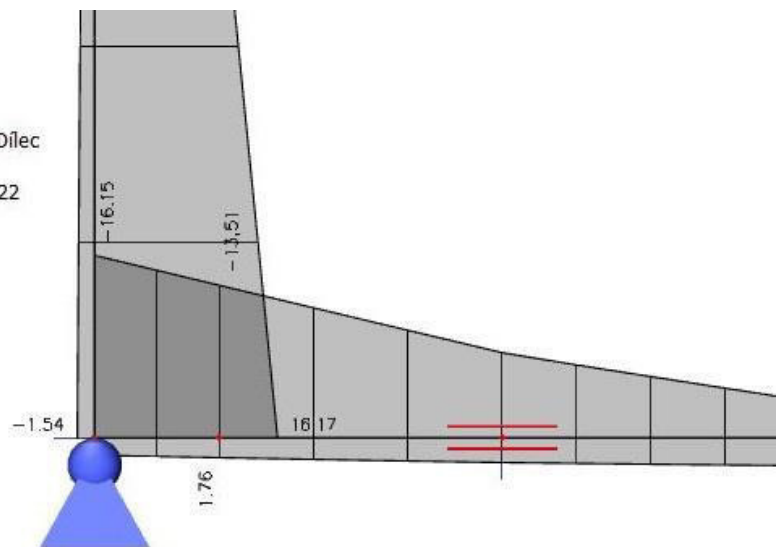
Modulu je brán jako rámová konstrukce, kde ztužující rámové rohy se nacházejí v úrovni podlahy. Ztužení ve směru X je zajištěno mezi podlahovým bočním a rohovým profilem. Ztužení ve směru Y je zajištěno mezi podlahovým čelním a rohovým profilem. Střešní profily boční a čelní jsou k rohovým sloupkům připojeny kloubově. Jednotlivá parta na sebe navazují přes kloubové uzly.



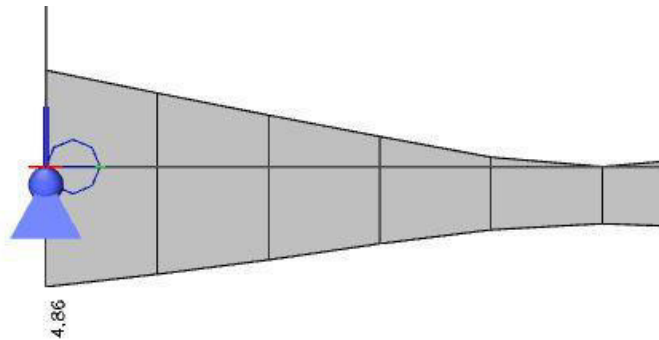
Obrázek 25 - Model modulu s rámovými rohy

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y
Lineární výpočet
Kombinace: C01
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: B82, B7, B222



Obrázek 26 - Namáhání styčnicku ohybovým momentem ve směru X



Obrázek 27 - Namáhání styčnicku ohybovým momentem ve směru Y

Při porovnání výsledků únosnosti styčnicku z laboratorních zkoušek s hodnotami ohybových momentů zjistíme, že ve směru X styčnick nevyhovuje. Pro zpřesnění průběhu vnitřních sil, by se měli přidat do rámových rohů pružné klouby podle laboratorní zkoušky svařovaného styčnicku, a to v obou směrech X a Y.

ČSN EN 1993-1-8

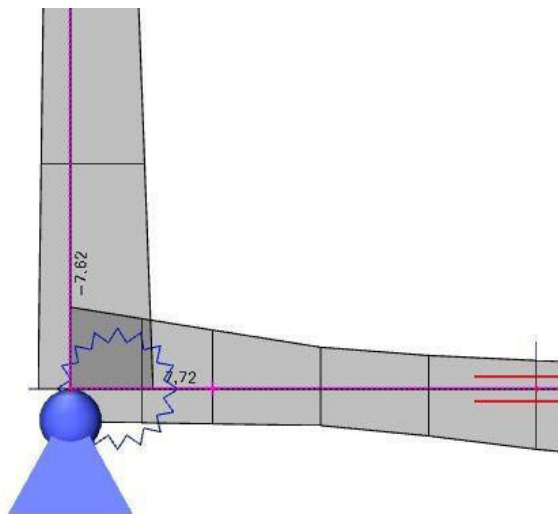
3.2 Polotuhé rámy

Boční profil dosáhl mezi únosnosti v modelu tuhého rámu, tudíž je potřeba najít odpovídající tuhost iterací.

Zpráva Touax:

Zkouška
svařovaného
styčnicku.

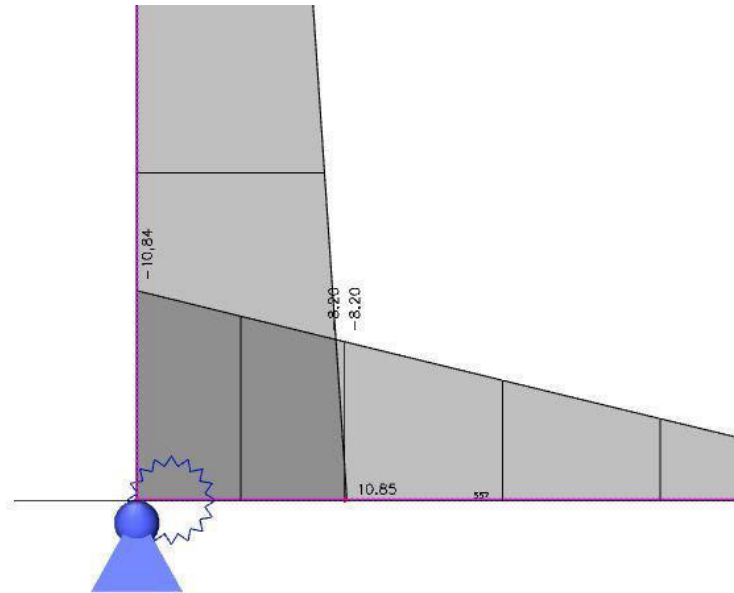
1. iterace – Naprosto tuhé rámové rohy, kde ohybový moment vyšel 16,15 kNm. Únosnost styčnicku je 15,45 kNm a tudíž je za hranicí MSÚ.
2. iterace – Tuhost je přiřazena jako tuhost spoje při dosažení MSÚ, $S_{j,Rd}=126$ kNm. Výsledný moment je ve styčnicku je 7,23 kNm. To se snížilo pod hranici $2/3 \cdot M_{j,Rd} = 10,3$ kNm, do které se předpokládá počáteční tuhost.



Obrázek 28- 2. iterace; hodnota ohyb. momentu

(*) - za mezí únosnosti v poli

3. iterace – Dosazena počáteční tuhost $S_{j,ini} = 385$ kNm/rad. Výsledný ohybový moment je 10,84 kNm. Podle zprávy jsou $2/3 \cdot M_{j,Rd} = 10,3$ kNm, což přibližně odpovídá momentu na modelu konstrukce. Je tudíž ponechána tuhost $S_{j,ini} = 385$ kNm/rad.



Obrázek 29 - 3. iterace; ohybový moment

Iterace	Tuhost [kNm/rad]	Moment – styčnick [kNm]	Moment – pole [kNm]
1	∞	16,15	10,84
2	126	7,62	19,55 (*)
3	385	10,84	16,00

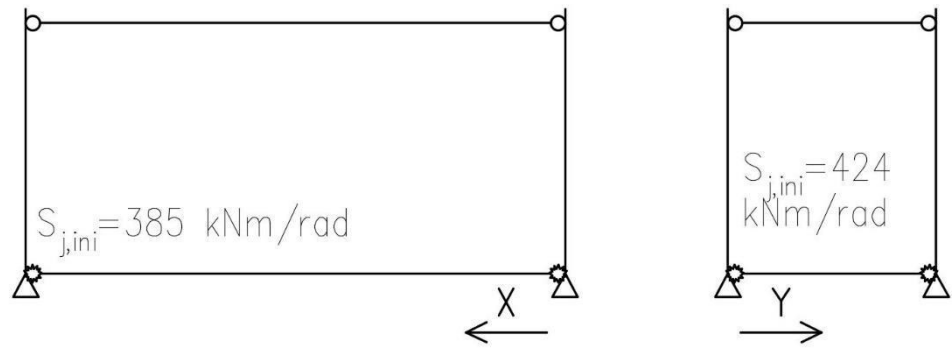
Tabulka 3 - Iterace tuhosti

Čelní profil dosahuje s tuhými rámy ohybového momentu 4,86 kNm a jeho únosnost je 9,73 kNm.

$$M_{Ed} = 4,86 \text{ [kNm]} \leq \frac{2}{3} \cdot M_{j,Rd} = \frac{2}{3} \cdot 9,73 = 6,5 \text{ [kNm]}$$

$$4,86 \leq 6,5 \text{ [kNm]}$$

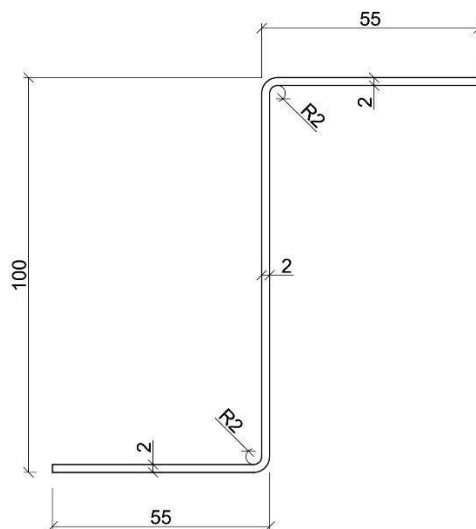
Když M_{Ed} nepřesahuje $2/3 \cdot M_{j,Rd}$ je ponechána počáteční tuhost přípoje $S_{j,ini} = 424$ kNm/rad.



Obrázek 30 - Model s polotuhými styčníky

4 Posouzení prvků konstrukce

4.1 Vaznice – střešní “Z” profil



Obrázek 31 - Střešní "Z" profil

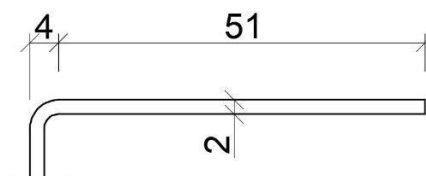
$$L = 2192 \text{ mm}; \quad A = 412 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$I_y = 675749 \text{ mm}^4; \quad I_z = 210017 \text{ mm}^4$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice



Obrázek 32 - Pásnice "Z" profil

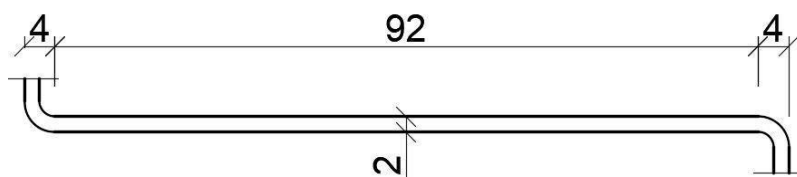
$$c = 51 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{51}{2} = 25,5 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 4}$$

- stojina



Obrázek 33 - Pásnice "Z" profil

$$c = 92 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{92}{2} = 46 \not\leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \quad \dots \quad \text{stojina třídy 4}$$

→ průřez třídy 4

• **Vliv zaoblení**

$$r = 2 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$b_t = 53,12 \text{ mm}$$

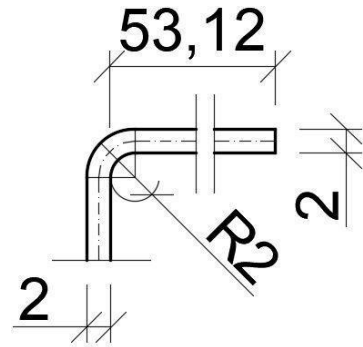
$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 2$$

$$2 \leq 10 \quad [\text{mm}]$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 53,12$$

$$2 \leq 5,312 \quad [\text{mm}]$$

... .. zaoblení lze zanedbat



ČSN EN 1993–1-5,
kap. 3

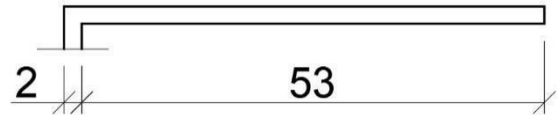
• **Smykové ochabnutí – pásnice**

$$L_e = 2192 \text{ mm}$$

$$b_0 = 53 \text{ mm}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2192}{50} = 43,84$$

53 $\not\leq$ 43,84 [mm] ... smykové ochabnutí nelze zanedbat



A_{sl} plocha
podélných výztuh

$$A_{sl} = 0$$

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = 1$$

$$\kappa = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e} = \frac{1 \cdot 53}{2192} = 0,024$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,024^2} = 0,996; \quad \text{pro } 0,02 < \kappa \leq 0,70$$

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0 = 0,996 \cdot 53 = 52,788 \text{ mm}$$

ČSN EN 1993–1-5,
kap. 4

ψ ... poměr napětí

tab. 4.2 - Přecházející
tlačené části

• **Účinky boulení – pásnice**

$$\bar{b} = c = 53 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

rov. (4.3) -
Přečnávající tlačené
části

→ $k_\sigma = 0,43 \dots$ podle tab. 4.2

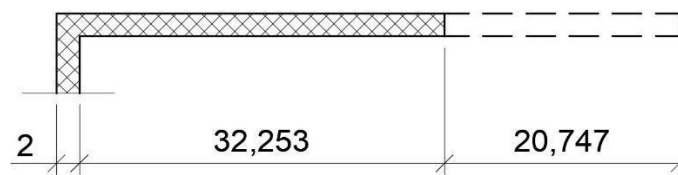
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{53}{2}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,423$$

– pro $\bar{\lambda}_p > 0,748$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,423 - 0,188}{1,423^2} = 0,611$$

- **Kombinace boulení a smykového ochabnutí**

$$b_{eff} = \rho \cdot \beta \cdot b_0 = 0,611 \cdot 0,996 \cdot 53 = 32,253 \text{ mm}$$



Obrázek 34 - Oblast neúčinné zóny na pásnici

ČSN EN 1993–1-5,
kap. 4

- **Účinky boulení – stojina (celá část v tlaku)**

$$\bar{b} = c = 96 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$\psi \dots$ poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

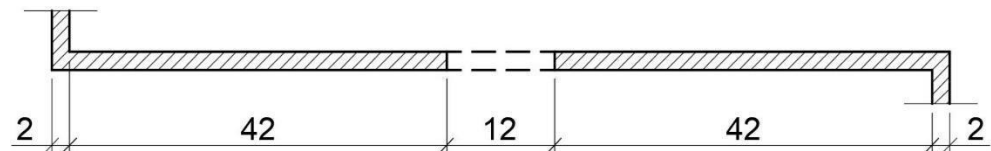
→ $k_\sigma = 4,0 \dots$ podle tab. 4.1

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{96}{2}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,845$$

– pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,845 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,845^2} = 0,875$$

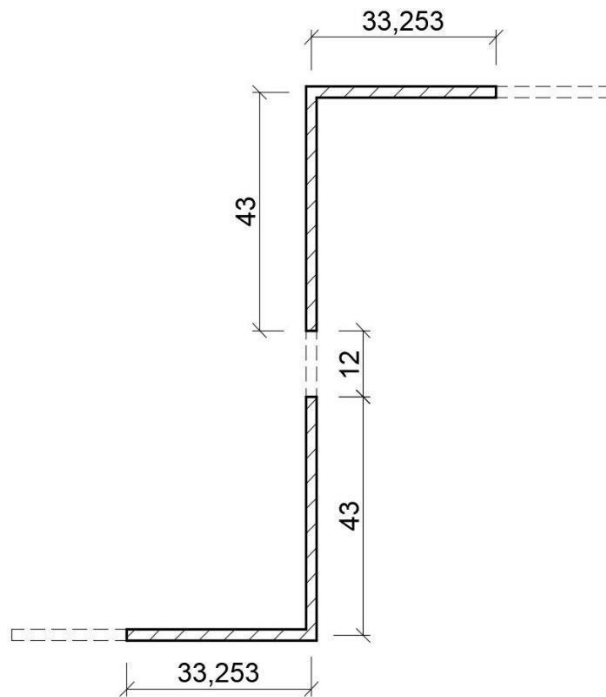
rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části



Obrázek 35 - Neúčinná zóna na stojině

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,875 \cdot 96 = 84 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 42 \text{ mm}$$



Obrázek 36 - Účinný průřez pro průřez v tlaku

$$A_{eff} = (33,253 \cdot 2 + 43 \cdot 2) \cdot 2 = 305,012 \text{ mm}^2$$

- Účinky boulení – stojina (namáhána momentem)

$$\bar{b} = c = 96 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$b_t = 42,512 \text{ mm}$$

$$b_c = 53,488 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{42,512}{-53,488} = -0,795$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

$$- \text{pro } 0 > \psi > -1$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$$

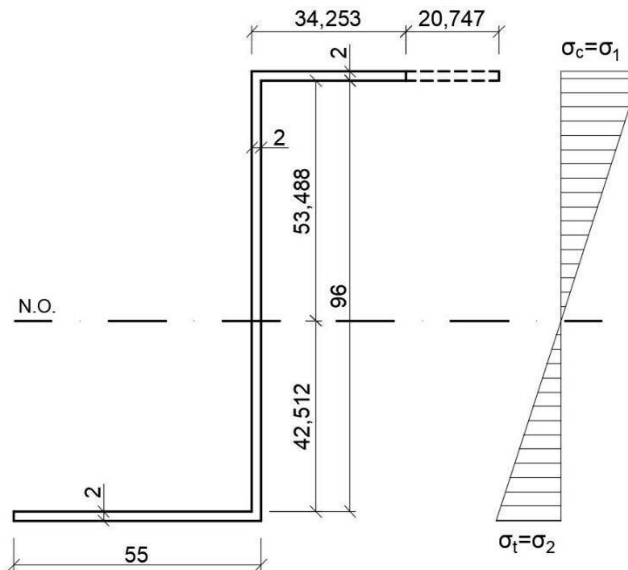
$$= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,795) + 9,78 \cdot (-0,795)^2 = 18,992$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{96}{2}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{18,992}} = 0,388$$

$$- \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \rightarrow \quad \rho = 1,0$$

\rightarrow nedochází k boulení



Obrázek 37 - Účinný průřez při namáhání kladným momentem

$$I_{eff} = \frac{1}{12} \cdot 34,253 \cdot 2^3 + 34,253 \cdot 2 \cdot 54,488^2 + \frac{1}{12} \cdot 55 \cdot 2^3 + 55 \cdot 2 \cdot 43,512^2 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 96^3 + 2 \cdot 96 \cdot \left(\frac{96}{2} - 42,512\right)^2$$

$$= 564950,892 \text{ mm}^4$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{564950,892}{55,488} = 10181,5 \text{ mm}^3$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{210017}{412}} = 22,578 \text{ mm}$$

• **Posouzení – MSÚ**

- tah: $N_{Ed} = 0,69 \text{ kN}$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{412 \cdot 235}{1,0} = 96820 \text{ N} = \underline{96,82 \text{ kN}}$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$\underline{0,69 \leq 96,82 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

- tlak: $N_{Ed} = -0,54 \text{ kN}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,606 \cdot 305 \cdot 235}{1,0} = 43435 \text{ N}$$

$$= \underline{43,44 \text{ kN}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_z} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} = \frac{2192}{22,578} \cdot \frac{\sqrt{\frac{305,012}{412}}}{93,9} = 0,889$$

ČSN EN 1993-1-1
(kap. 6.3)

křivka „c“

$\alpha=0,49$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot \\ &[1 + 0,49 \cdot (0,889 - 0,2) + 0,889^2] = 1,06 \\ \chi &= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,06 + \sqrt{1,06^2 - 0,889^2}} \\ &= 0,606\end{aligned}$$

$$N_{c,Ed} \leq N_{Rd}$$

$$0,54 \leq 43,44 \text{ [kN]} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

- kladný ohybový moment:

$$M_{y,Ed} = 0,51 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{cr} = 2,37 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff} \cdot f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{10181,5 \cdot 235}{2,37 \cdot 10^6}} = 1,01$$

$\bar{\lambda}_{LT} \rightarrow \chi_{LT}$... křivka vzpěrnosti "d"

$$\chi_{LT} = 0,462$$

$$M_{y,Rd} = \frac{0,462 \cdot 10181,5 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 1,105 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{y,Rd}$$

$$0,51 \leq 1,105 \text{ [kN]} \dots \text{ VYHOVUJE (46\%)}$$

ČSN EN 1993-1-5

- smyk:

(kap. 5)

$$h_w = 96 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$\varepsilon=1$

$$\frac{h_w}{t} = \frac{96}{2} = 48 \not\geq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60$$

$\eta=1,2$

\rightarrow posouzení na únosnost při boulení ve smyku

ČSN EN 1993-1-3

(kap. 6.1.5)

$$\begin{aligned}V_{b,Rd} &= \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{96}{\sin 90} \cdot 2 \cdot 0,58 \cdot 235}{1,0} \\ &= 26170 \text{ N} = 26,27 \text{ kN}\end{aligned}$$

$s_w=98 \text{ mm}$... výška stojiny mezi středy rohů

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{98}{2} \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0,567$$

\rightarrow pro $\bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$

$$V_{z,Ed} = 0,89 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{b,Rd}$$

$$\underline{0,89 \leq 26,27 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

- **Posouzení – MSP**

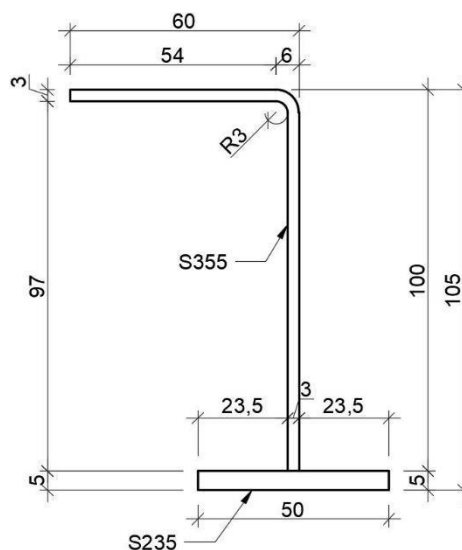
$$u_{z,max} = 4,3 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{L}{250} = \frac{2192}{250} = 8,77 \text{ mm}$$

$$u_{z,max} \leq \delta$$

$$\underline{4,30 \leq 8,77 \text{ [mm]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

4.2 Vaznice – podlahový “Z” profil



Obrázek 38 - Podlahový "Z" profil

$$L = 2193 \text{ mm}; \quad A = 721 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}; \quad f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$I_y = 1309570 \text{ mm}^4; \quad I_z = 216006 \text{ mm}^4$$

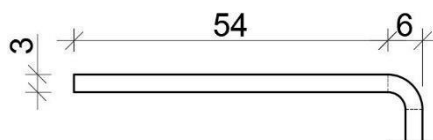
ČSN EN 1993-1-1

(kap. 5.5)

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{216006}{721}} = 22,578 \text{ mm}$$

• Zatřídění průřezu

- pásnice



Obrázek 39 - Pásnice podl. "Z" profilu

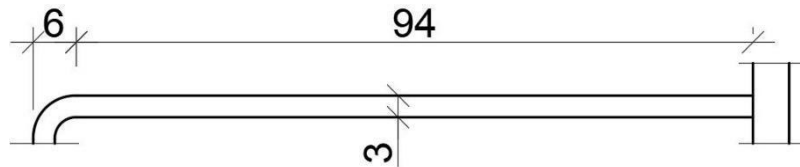
$$c = 54 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{54}{3} = 18 \quad \not\leq \quad 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11,4 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 4}$$

- stojina



Obrázek 40 - Stojina podl. "Z" profilu

$$c = 94 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{94}{3} = 31,33 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,6 \dots \text{ stojina třídy 1}$$

→ průřez třídy 4

• Vliv zaoblení

$$r = 3 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$b_t = 57,18 \text{ mm}$$

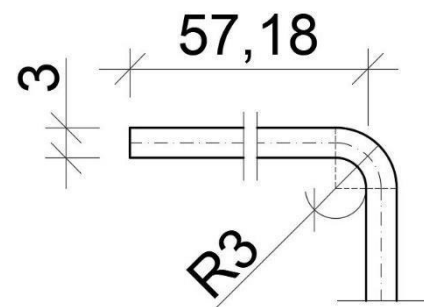
$$1. \ r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 3$$

$$3 \leq 15 \text{ [mm]}$$

$$2. \ r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 57,18$$

$$3 \leq 5,718 \text{ [mm]}$$

... .. zaoblení lze zanedbat



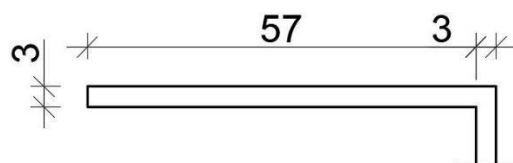
• Smykové ochabnutí – pásnice

$$L_e = 2193 \text{ mm}$$

$$b_0 = 57 \text{ mm}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2193}{50} = 43,86$$

57 > 43,86 [mm] ... smykové ochabnutí nelze zanedbat



ČSN EN 1993-1-5,
kap. 4

A_{sl} plocha
podélných výztuh

$$A_{sl} = 0$$

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = 1$$

$$\kappa = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e} = \frac{1 \cdot 57}{2193} = 0,026$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,026^2} = 0,996 ; \text{ pro } 0,02 < \kappa \leq 0,70$$

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0 = 0,996 \cdot 57 = 56,772 \text{ mm}$$

- Účinky boulení – pásnice

$$\bar{b} = c = 57 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

tab. 4.2 - Přechňívající
tlačené části

$$\rightarrow k_\sigma = 0,43 \dots \text{podle tab. 4.2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{57}{3}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,253$$

rov. (4.3) -

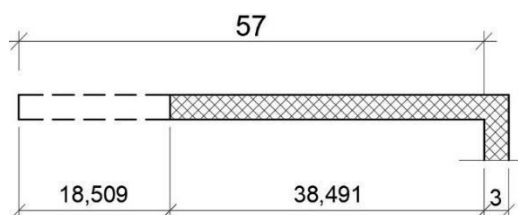
Přechňívající tlačené
části

$$- \text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,253 - 0,188}{1,253^2} = 0,678$$

- Kombinace boulení a smykového ochabnutí

$$b_{eff} = \rho \cdot \beta \cdot b_0 = 0,678 \cdot 0,996 \cdot 57 = 38,491 \text{ mm}$$



Obrázek 41 - Oblast neúčinné zóny na pásnici

ČSN EN 1993-1-5,

kap. 4

- Účinky boulení – stojina (celá část v tlaku)

$$\bar{b} = c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

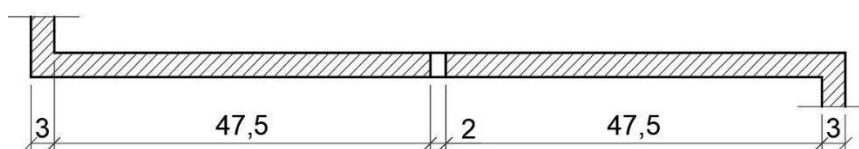
$$\rightarrow k_\sigma = 4,0 \dots \text{podle tab. 4.1}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97}{3}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,699$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$- \text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,699 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,699^2} = 0,980$$



Obrázek 42 - Neúčinná zóna na stojině

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,980 \cdot 97 = 95 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 95 = 47,5 \text{ mm}$$

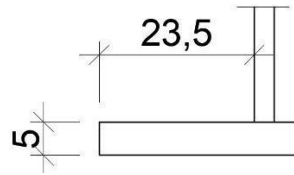
- **Smykové ochabnutí – dolní pásnice**

$$L_e = 2193 \text{ mm}$$

$$b_0 = 23,5 \text{ mm}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2193}{50} = 43,86$$

23,5 < 43,86 [mm] ... smykové ochabnutí lze zanedbat



- **Účinky boulení – dolní pásnice**

$$\bar{b} = c = 23,5 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

tab. 4.1 - Přechínající

→ $k_\sigma = 0,43$... podle tab. 4.2

tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{23,5}{5}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,25$$

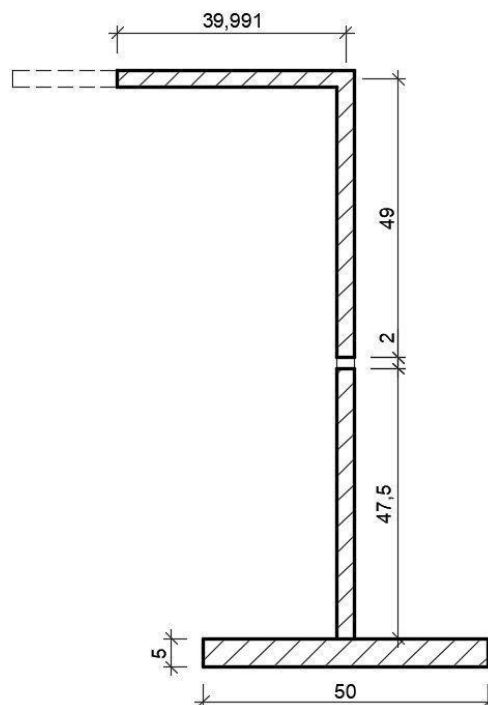
rov. (4.3) -

Přechínající tlačené části

– pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ → $\rho = 1,0$

→ nedochází k boulení

- **Účinný průřez pro průřez v tlaku**



Obrázek 43 - Účinný průřez pro průřez v tlaku

$$A_{eff} = (39,991 + 49 + 47,5) \cdot 3 + 50 \cdot 5 = 659,47 \text{ mm}^2$$

- Účinky boulení – stojina (namáhána momentem)

$$\bar{b} = c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$b_t = 38,693 \text{ mm}$$

$$b_c = 58,307 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{38,693}{-58,307} = -0,664$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

– pro $0 > \psi > -1$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$$

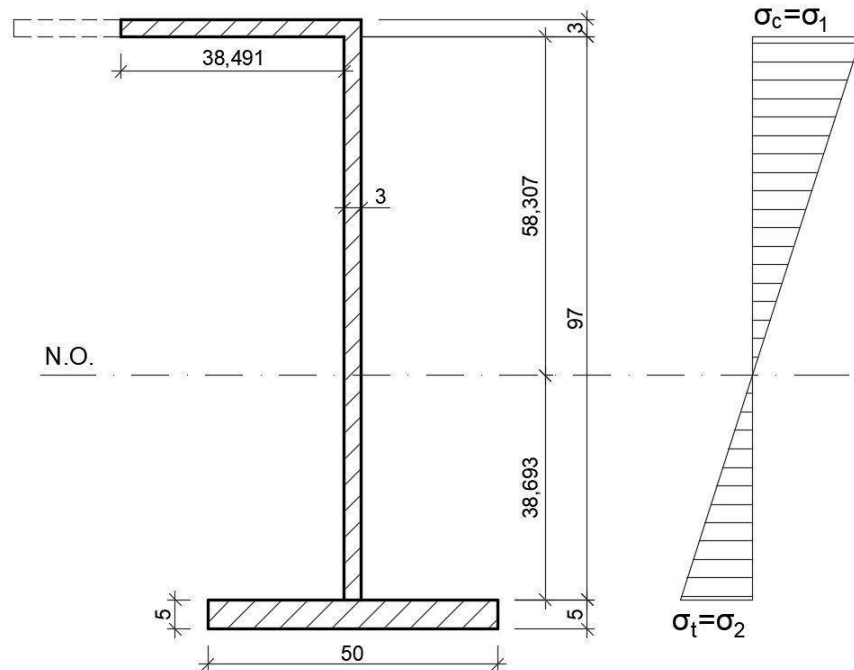
$$= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,664) + 9,78 \cdot (-0,664)^2 = 16,299$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97}{3}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{16,299}} = 0,346$$

– pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \rightarrow \rho = 1,0$

\rightarrow nedochází k boulení



Obrázek 44 - Účinný průřez při namáhání kladným momentem

$$I_{eff} = \frac{1}{12} \cdot 38,491 \cdot 3^3 + 38,491 \cdot 3 \cdot 59,807^2 + \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 100^3 + 3 \cdot 100 \cdot (50 - 38,693)^2 + \frac{1}{12} \cdot 50 \cdot 5^3 + 50 \cdot 5 \cdot (38,693 + 2,5)^2 = 1126210,472 \text{ mm}^4$$

• **Posouzení – MSÚ**

- tah: $N_{Ed} = 0,77 \text{ kN}$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{721 \cdot 235}{1,0} = 169435 \text{ N} = \underline{169,4 \text{ kN}}$$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$\underline{0,77 \leq 169,4 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

- tlak:

$$N_{Ed} = -0,32 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,288 \cdot 659,47 \cdot 235}{1,0} = 67473 \text{ N}$$

$$= \underline{67,47 \text{ kN}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_z} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}}}{\lambda_1} = \frac{2193}{17,31} \cdot \frac{\sqrt{659,47}}{76,4} = 1,586$$

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

$$[1 + 0,49 \cdot (1,586 - 0,2) + 1,586^2] = 2,097$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,097 + \sqrt{2,097^2 - 1,586^2}}$$

$$= 0,288$$

$$N_{c,Ed} \leq N_{Rd}$$

$$\underline{0,32 \leq 67,47 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE (zanedbatelná)}$$

- kladný ohybový moment (horní vlákna):

$$M_{y,Ed} = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,h,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot I_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0} \cdot e_h}$$

$$M_{cr} = 5,72 \text{ kNm}$$

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{e_h} = \frac{1309570}{56,7} = 23096,5 \text{ mm}^4$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{23096,5 \cdot 355}{5,72 \cdot 10^6}} = 1,20$$

$$\bar{\lambda}_{LT} \rightarrow \chi_{LT} \dots \text{ křivka vzpěrnosti "d"}$$

$$\chi_{LT} = 0,376$$

křivka „c“

$$\alpha=0,49$$

$$e_h=61,307 \text{ mm}$$

$$e_d=43,693 \text{ mm}$$

M_{cr} ... z programu
Scia Engineer

$$M_{b,Rd} = \frac{0,376 \cdot 1126210,472 \cdot 355}{61,307 \cdot 1,0} \cdot 10^{-6} = 2,45 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,h,Rd}$$

$$1,68 \leq 2,45 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE (68,5\%)}$$

- kladný ohybový moment (dolní vlákna):

$$M_{b,Rd} = \frac{0,376 \cdot 1126210,472 \cdot 235}{43,693 \cdot 1,0} \cdot 10^{-6} = 2,28 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,d,Rd}$$

$$1,68 \leq 2,28 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE (73,7\%)}$$

ČSN EN 1993-1-5

- smyk:

(kap. 5)

$$h_w = 101 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{h_w}{t} = \frac{101}{3} = 34 \not\geq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60$$

$$\eta = 1,2$$

→ posouzení na únosnost při boulení ve smyku

ČSN EN 1993-1-3

(kap. 6.1.5)

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{101}{\sin 90} \cdot 3 \cdot 0,58 \cdot 355}{1,0}$$

$$= 62388 \text{ N} = 62,388 \text{ kN}$$

$s_w = 97 \text{ mm}$... výška stojiny mezi středy rohů

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{97}{3} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,460$$

$$\rightarrow \text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$$

$$V_{z,Ed} = 2,91 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{b,Rd}$$

$$2,91 \leq 62,388 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE}$$

• Posouzení – MSP

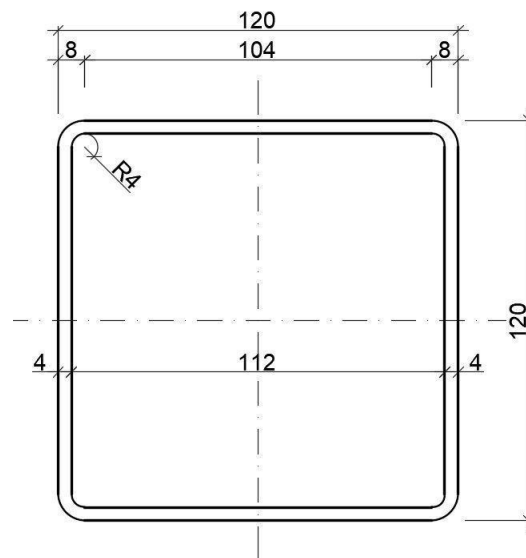
$$u_{z,max} = 3,4 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{L}{250} = \frac{2193}{250} = 8,77 \text{ mm}$$

$$u_{z,max} \leq \delta$$

$$3,40 \leq 8,77 \text{ [mm]} \dots \text{VYHOVUJE}$$

4.3 Podlahový profil boční



Obrázek 45 - Podlahový profil boční

$$L = 5655 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice, stojina

$$c = 104 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{104}{4} = 26 \not\leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 1}$$

- zjištěno pomocí:

AutoCad

Scia Engineer

- **Průřezové charakteristiky**

$$A = 1815 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = 4022758,85 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = \frac{I}{e} = \frac{4022758,85}{60} = 67046 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 78330 \text{ mm}^3$$

- klopení je zabráněno vaznicemi

- **Vnitřní síly**

<i>Komb.</i>	<i>N [kN]</i>	<i>V_y [kN]</i>	<i>V_z [kN]</i>	<i>M_y [kNm]</i>	<i>M_z [kNm]</i>
<i>CO8</i>	14,07	0,79	14,83	16,00	0,84

Tabulka 4 - Vnitřní síly podlahový boční profil

- **Ohyb a osová síla**

ČSN EN 1993-1-1;

(kap. 6.2.9)

- pro průřezy 1. třídy (rov. 6.41)

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1815 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-3} = 426,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78330 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 18,41 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78330 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 18,41 \text{ kNm}$$

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

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = 18,41 \cdot \frac{1-0,033}{1-0,5 \cdot 0,47} = 18,41 \cdot 1,26 = 23,27 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{14,07}{426,5} = 0,033$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{1815 - 2 \cdot 120 \cdot 4}{1815} = 0,47$$

, ale $M_{N,y,Rd} < M_{pl,y,Rd}$

$$\rightarrow M_{N,y,Rd} = 18,41 \text{ kNm}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,033^2} = 1,66$$

$$\left[\frac{16,00}{18,41} \right]^{1,66} + \left[\frac{0,84}{18,41} \right]^{1,66} \leq 1,0$$

$$0,80 + 0,01 \leq 1,0 \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (81\%)}$$

- **Smyk**

$$V_{z,Ed} = 14,83 \text{ kN}$$

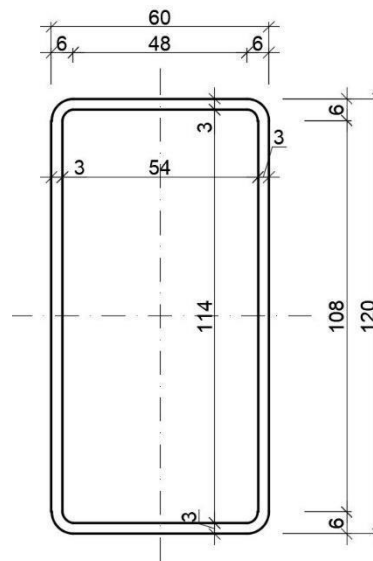
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{907,5 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 123,13 \text{ kN/m}$$

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{1815 \cdot 120}{120 + 120} = 907,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$14,83 \leq 123,13 \text{ [kN]} \dots \text{ VYHOVUJE (12\%)}$$

4.4 Podlahový profil čelní



Obrázek 46 - Podlahový profil čelní

$$L = 2135 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 48 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{48}{3} = 16 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \dots \text{ pásnice třídy 1}$$

- stojina

$$c = 108 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{108}{3} = 36 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \quad \dots \text{ pásnice třídy 1}$$

- zjištěno pomocí:

AutoCad

Scia Engineer

- **Průřezové charakteristiky**

$$A = 1021 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1891194 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 644028 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = 31520 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 21470 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 39180 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 24210 \text{ mm}^3$$

- **Vnitřní síly**

Komb.	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
CO16	0	1,34	5,11	4,00	0,77

Tabulka 5 - Vnitřní síly podlahový boční profil

- **Posouzení – MSÚ**

-ohyb:

- M_{CR} zjištěno
pomocí:
Scia Engineer

$$M_{cr} = 377,33 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{39180 \cdot 235}{377,33 \cdot 10^6}} = 0,14$$

$$\bar{\lambda}_{LT} \rightarrow \chi_{LT} \text{ ... křivka vzpěrnosti "d"}$$

$$\chi_{LT} = 1,05 \text{ ... průřez neklopí}$$

- pro průřezy 2. třídy (rov. 6.41)

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

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39180 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 9,21 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24210 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 5,69 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = 9,21 \cdot \frac{1-0}{1-0,5 \cdot 0,295} = 9,21 \cdot 1,17 = 10,78 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{0}{426,5} = 0$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{1021 - 2 \cdot 120 \cdot 3}{1021} = 0,295$$

, M_{N,y,Rd} je větší, proto se nechá hodnoty původní M_{pl,y,Rd}

$$\rightarrow M_{N,y,Rd} = 9,21 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow M_{N,z,Rd} = 5,69 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0^2} = 1,66$$

$$\left[\frac{4,00}{9,21}\right]^{1,66} + \left[\frac{0,77}{5,69}\right]^{1,66} \leq 1,0$$

$$[0,43]^{1,66} + [0,14]^{1,66} \leq 1,0$$

$$0,25 + 0,04 \leq 1,0 \quad \dots \quad \underline{0,29 \leq 1,0} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (29\%)}$$

-smyk V_z :

$$V_{z,Ed} = 5,11 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{680,67 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 92,35 \text{ kN/m}$$

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{1021 \cdot 120}{60 + 120} = 680,67 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$5,11 \leq 92,35 \text{ [kN]} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (6\%)}$$

-smyk V_y :

$$V_{z,Ed} = 1,34 \text{ kN}$$

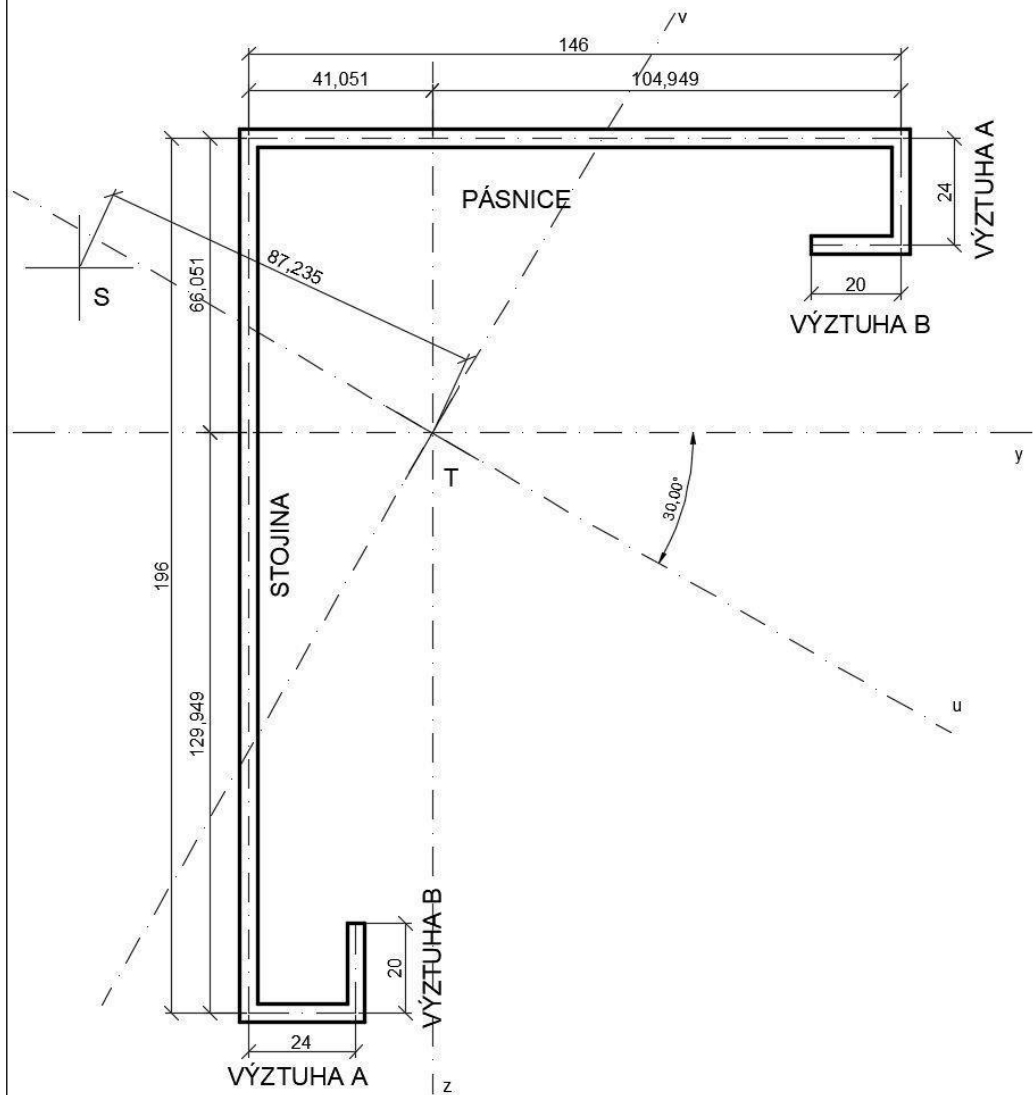
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{340,33 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 46,18 \text{ kN/m}$$

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{1021 \cdot 60}{120 + 60} = 340,33 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$1,34 \leq 46,18 \text{ [kN]} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (3\%)}$$

4.5 Rohový sloupek



Obrázek 47 - Rohový sloupek

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$I_t = 8856,7 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 3,0374 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$L = 2790 \text{ mm}; \quad A = 1720 \text{ mm}$$

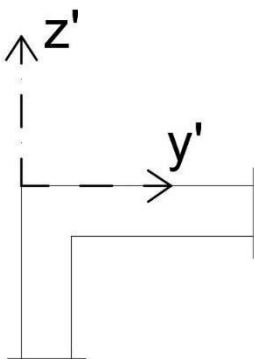
$$\text{– těžiště: } y = 41,051 \text{ mm}; \quad z = -66,051 \text{ mm}$$

– hlavní osy:

$$\alpha = -30^\circ$$

$$I_u = 1,1174 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_v = 2,7424 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



$$i_u = \sqrt{\frac{I_u}{A}} = \sqrt{\frac{1,1174 \cdot 10^7}{1720}} = 80,60 \text{ mm}$$

$$i_v = \sqrt{\frac{I_v}{A}} = \sqrt{\frac{2,7424 \cdot 10^6}{1720}} = 39,93 \text{ mm}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 134 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{134}{4} = 34 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ pásnice třídy 4}$$

- stojina

$$c = 184 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{184}{4} = 46 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ stojina třídy 4}$$

- **Vliv zaoblení**

$$r = 4 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b_t = 134 \text{ mm}$$

$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 4$$

$$4 \leq 20 \quad [\text{mm}]$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 134$$

$$4 \leq 13,4 \quad [\text{mm}]$$

... .. zaoblení lze zanedbat

4.5.1 Účinný průřez při tlaku

- **Účinky boulení – výztuha B**

$$\bar{b} = b_{p,b} = 20 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí
 tab. 4.2 - Přečnivající
 tlačené části

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 0,43$... podle tab. 4.2

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{20}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,330$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,748$... $\rho = 1,0$... výztuha B nebolí

- Účinky boulení – výztuha A

$$\bar{b} = b_{p,a} = 24 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... podle tab. 4.1

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{24}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,130$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... výztuha A nebolí

- Účinky boulení – pásnice

$$\bar{b} = b_p = 142 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... podle tab. 4.1

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{142}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,768$$

–pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,768 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,768^2} = 0,929$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,929 \cdot 142 = 131,918 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí
 tab. 4.1 - Vnitřní
 tlačené části

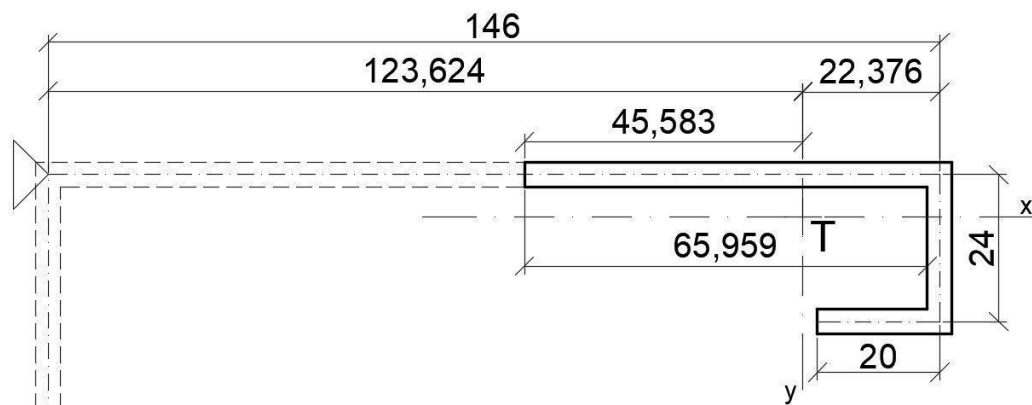
ψ ... poměr napětí
 tab. 4.1 - Vnitřní
 tlačené části

ČSN EN 1993-1-3,
(kap. 5.5)

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 131,918 = 65,959 \text{ mm}$$

- **Distorzní vyboulení– pásnice**

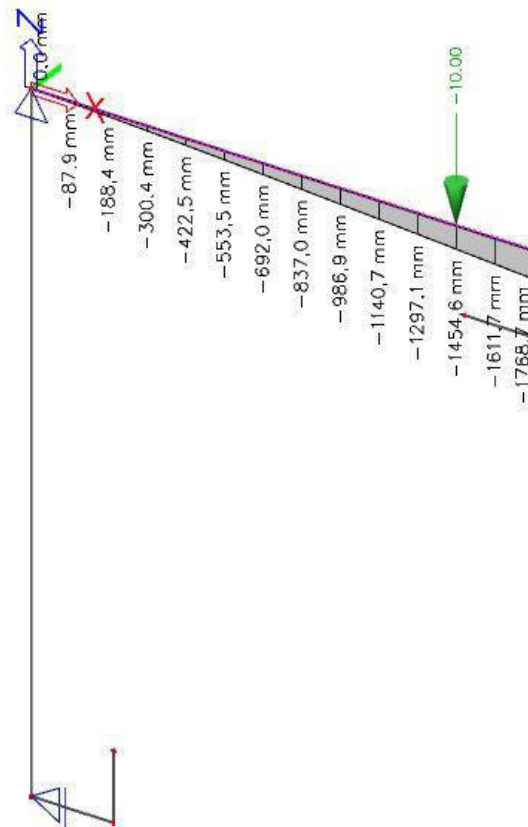
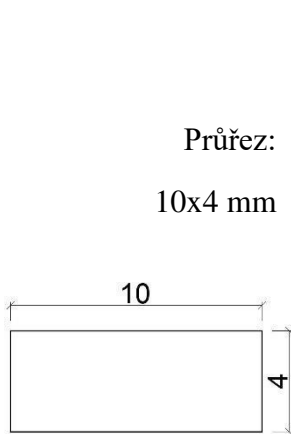
Pro výpočet distorzního vyboulení je potřeba znát pérovou tuhost výztuhy K . Ta se dá určit z deformace jednotkové délky výztuhy při působení jednotkového zatížení u , podle vztahu $K=u/\delta$. Kde δ je průhyb výztuhy při působení jednotkového zatížení u působícího v těžišti účinné části průřezu.



Obrázek 48 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

$$A_s = 447,8360 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,x} = 44292,2576 \text{ mm}^4$$



Obrázek 49 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 1454,6 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{1454,6} \cdot \frac{1}{10} [\text{mm}] = 0,6875 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,6875 \cdot 210000 \cdot 44292,2576}}{447,8360} = 357,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{357,12}} = 0,997$$

–pro $0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,997 = 0,749$$

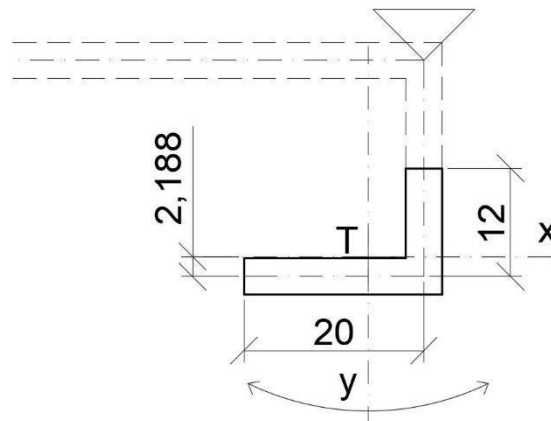
- Redukovaná účinná plocha a šířka– pásnice

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,749 \cdot 447,836 = 335,495 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 4 \cdot \frac{335,495}{447,836} = \underline{2,997 \text{ mm}}$$

- Distorzní vyboulení– výztuha **B**

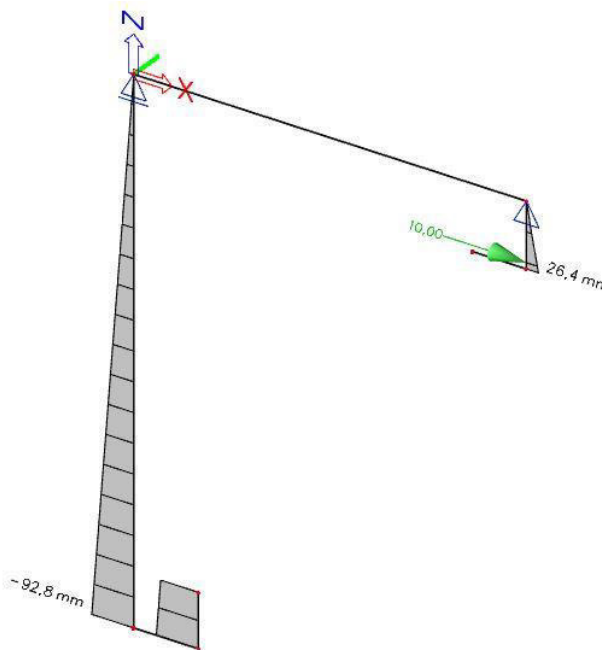
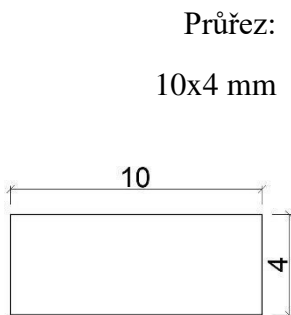
Účinná část průřezu pro distorzní vybočení je celá výztuha *B* a polovina výztuhy *A*.



Obrázek 50- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy

$$A_s = 128 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,y} = 5830,167 \text{ mm}^4$$



Obrázek 51 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 26,4 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{26,4} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 37,879 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{37,879 \cdot 210000 \cdot 5830,167}}{128} = 3364,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{3364,87}} = 0,325$$

–pro $\bar{\lambda}_p < 0,65$... $\chi_d = 1$... *výztuha nevybouluje*

- **Účinky boulení – stojina**

$$\bar{b} = b_p = 196 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... *podle tab. 4.1*

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{196}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 1,06$$

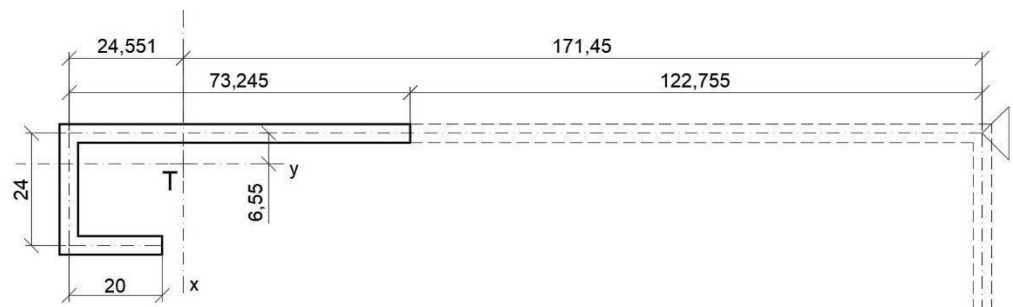
–pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,06 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{1,06^2} = 0,747$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,747 \cdot 196 = 146,4904 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 146,4904 = 73,2452 \text{ mm}$$

- **Distorzní vyboulení – stojina**



Obrázek 52 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

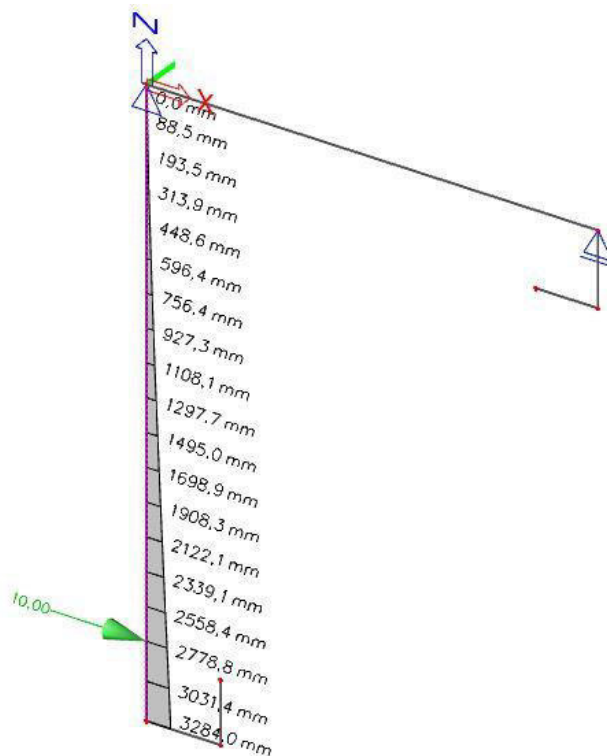
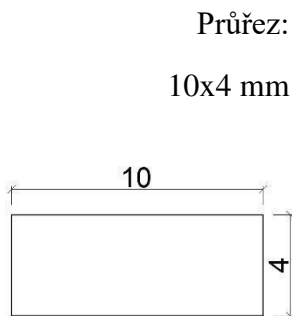
$$A_s = 468,9808 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,x} = 45270,5564 \text{ mm}^4$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

ČSN EN 1993-1-3,
(kap. 5.5)



Obrázek 53 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 2778,8 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{2778,8} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 0,360 \text{ [N/mm]}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{CR,S} &= \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,360 \cdot 210000 \cdot 45270,5564}}{468,9808} \\ &= 249,439 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{249,439}} = 1,193$$

$$\text{--pro } 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

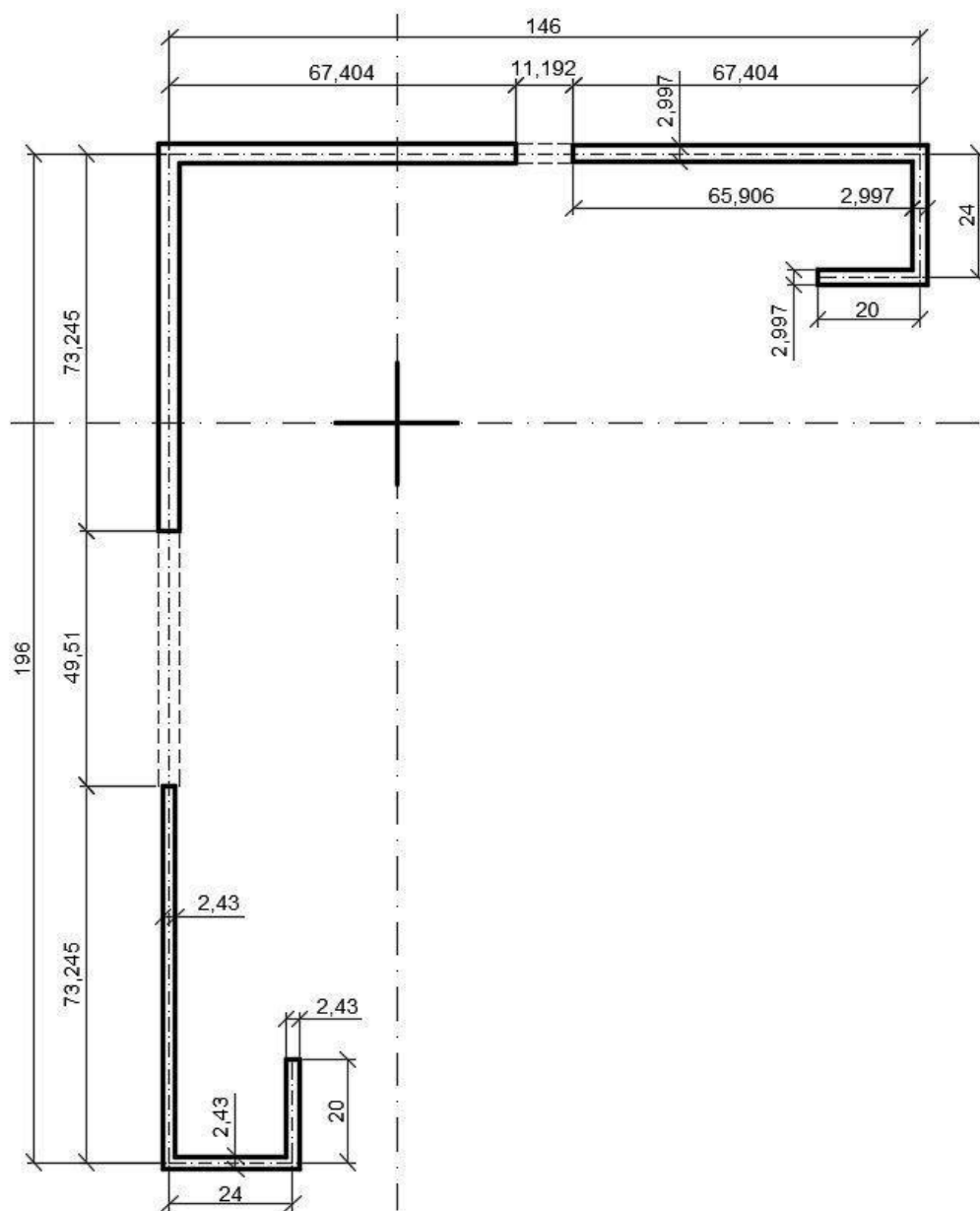
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 1,193 = 0,607$$

- Redukovaná účinná plocha a šířka– stojina

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,607 \cdot 468,9808 = 284,895 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 4 \cdot \frac{284,895}{468,9808} = \underline{2,430 \text{ mm}}$$

- Účinný průřez při tlaku



Obrázek 54 - Účinný průřez při tlaku

$$A_{eff} = 1181,38 \text{ mm}^2$$

4.5.2 Účinný průřez při kladném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = 196 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b_c = 72,852 \text{ mm}$$

$$b_t = 123,148 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

ČSN EN 1993–1-5,

kap. 4

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

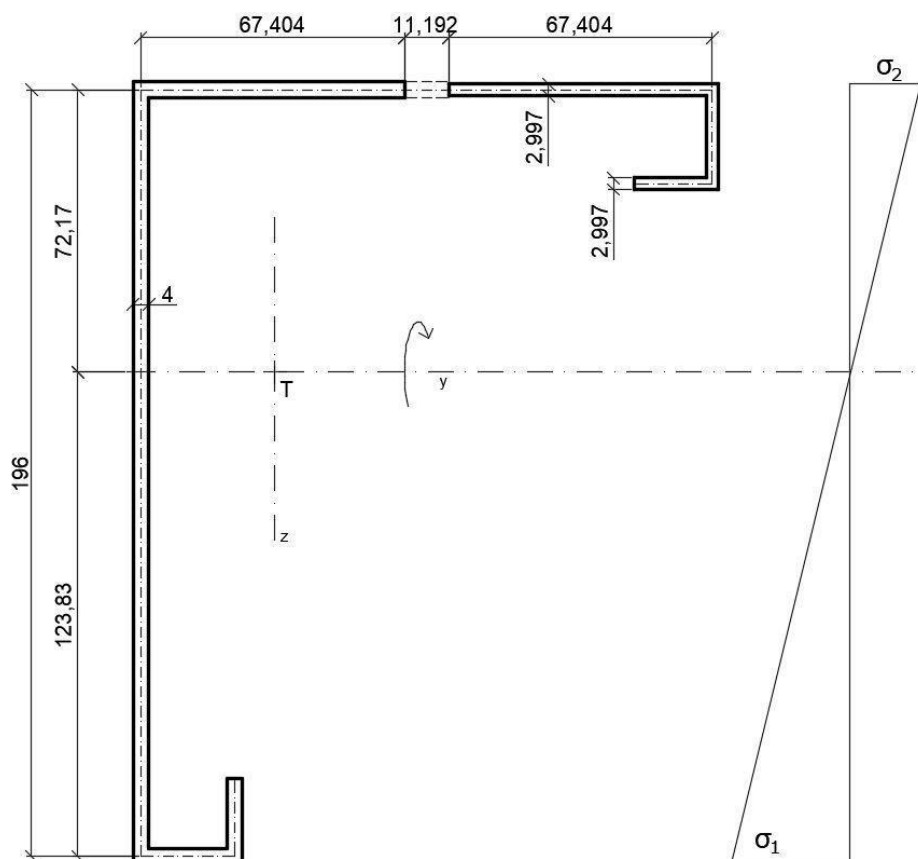
$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{123,148}{-72,852} = -1,690$$

→ pro $-1 > \psi > -3$

$$k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 5,98 \cdot (1 - [-1,690])^2 = 43,272$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{196}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{43,272}} = 0,322$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... stojina nebouh



Obrázek 55 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y

$$I_{y,eff}^+ = 8409594,96 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^+ = \frac{I_{y,eff}^+}{e_y} = \frac{8409594,96}{125,83} = 66832,99 \text{ mm}^3$$

4.5.3 Účinný průřez při záporném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = 196 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b_c = -129,949 \text{ mm}$$

$$b_t = 66,051 \text{ mm}$$

ČSN EN 1993–1-5,

kap. 4

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{66,051}{-129,949} = -0,508$$

→ pro $0 > \psi > -1$

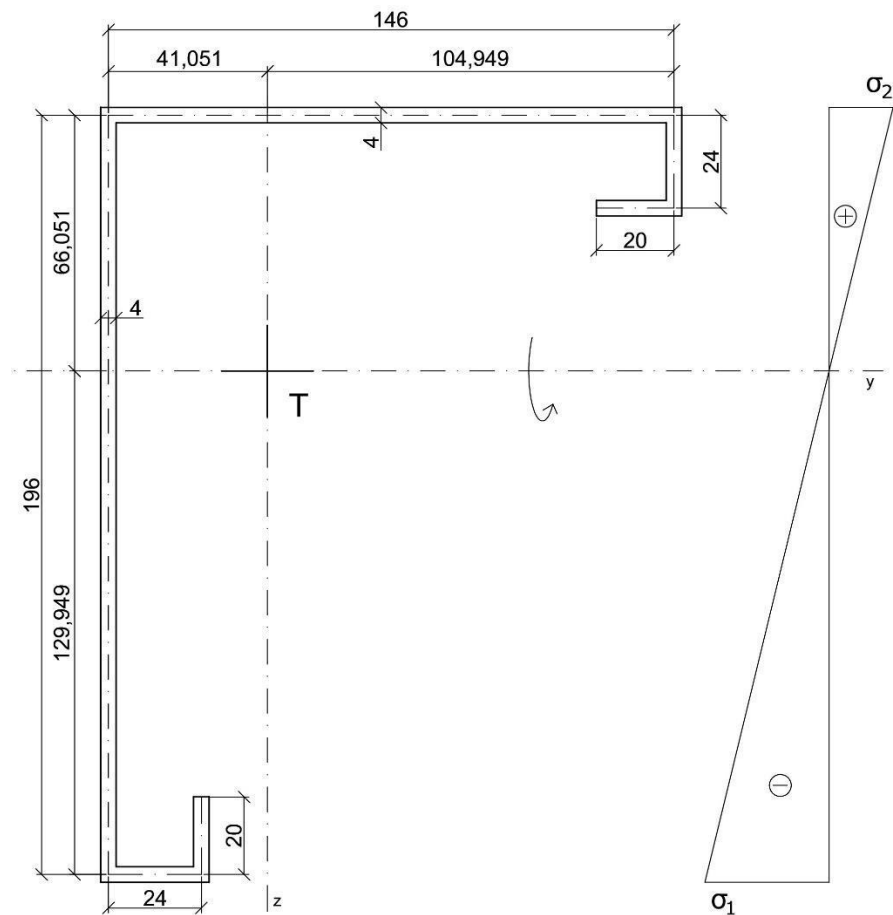
$$\begin{aligned} k_\sigma &= 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 \\ &= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,508) + 9,78 \cdot (-0,508)^2 \\ &= 13,529 \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{196}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{13,529}} = 0,576$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... *stojina nebouli*

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části



Obrázek 56 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y

$$I_{y,eff}^- = 9065904,83 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^- = \frac{I_{y,eff}^-}{e_y} = \frac{9065904,83}{131,949} = 68707,64 \text{ mm}^3$$

4.5.4 Účinný průřez při kladném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = 146 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b_c = -52,466 \text{ mm}$$

$$b_t = 93,534 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{93,534}{-52,466} = -1,783$$

$$\rightarrow \text{pro } -1 > \psi > -3$$

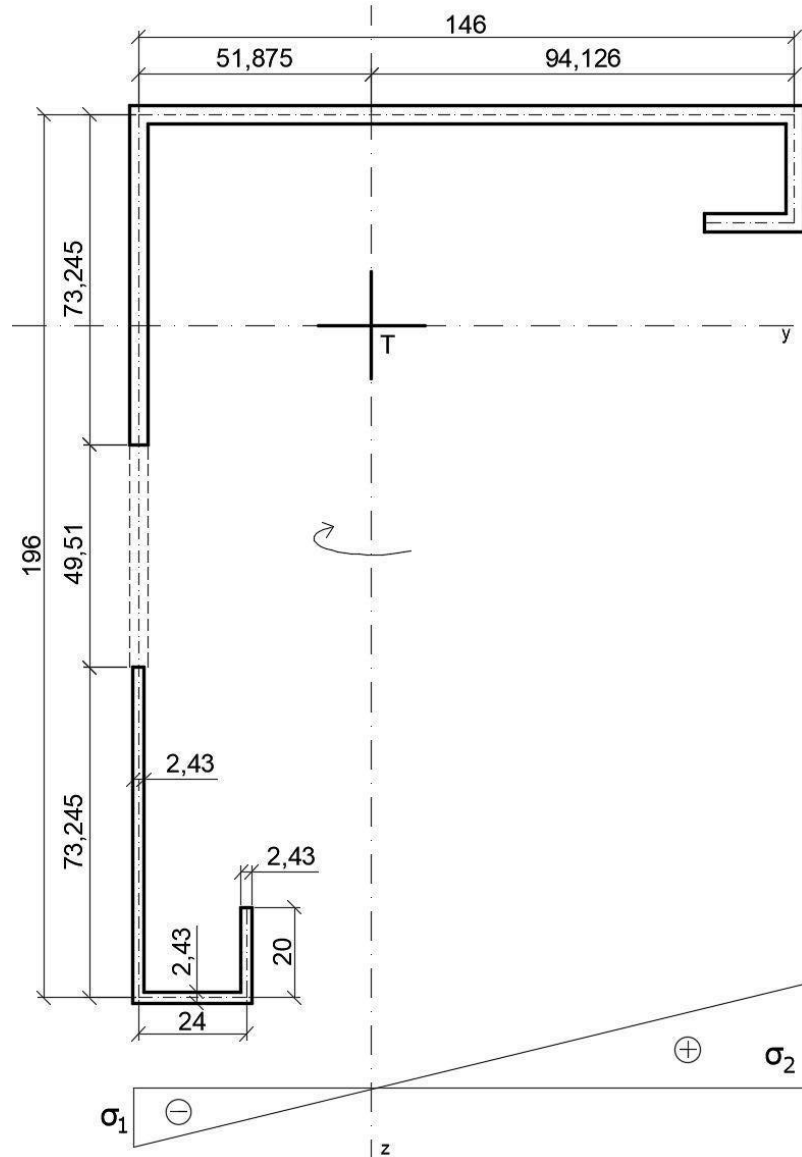
$$k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 5,98 \cdot (1 - [-1,783])^2 = 46,316$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{196}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{46,316}} = 0,232$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... stojina neboulí

$$I_{z,eff}^+ = 4122568,05 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^+ = \frac{I_{z,eff}^+}{e_z} = \frac{4122568,05}{96,126} = 42887,13 \text{ mm}^3$$



Obrázek 57 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z

4.5.5 Účinný průřez při záporném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = 146 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b_c = -104,949 \text{ mm}$$

$$b_t = 41,051 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{41,051}{-104,949} = -0,391$$

$$\rightarrow \text{pro } 0 > \psi > -1$$

ČSN EN 1993-1-5,

kap. 4

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

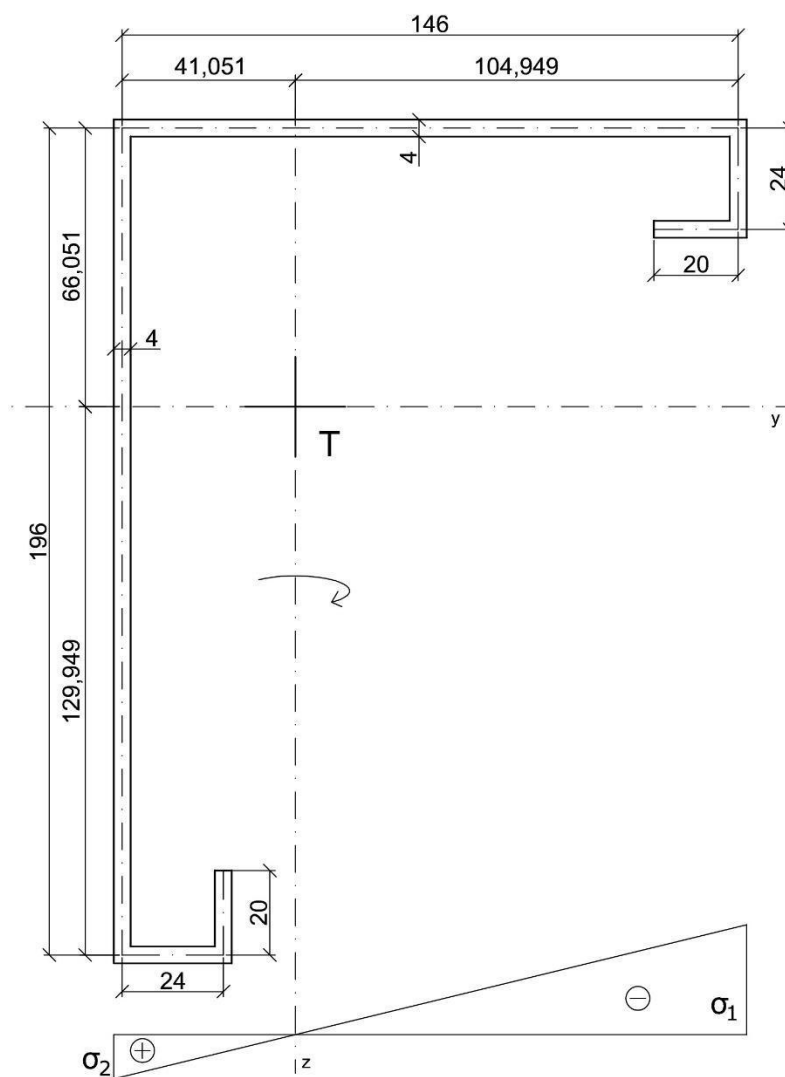
$$\begin{aligned} k_{\sigma} &= 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 \\ &= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,391) + 9,78 \cdot (-0,391)^2 \\ &= 11,766 \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{\frac{146}{4}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{11,766}} = 0,461$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... stojina nebouli

$$I_{z,eff}^- = 4850504,83 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^- = \frac{I_{z,eff}^-}{e_z} = \frac{4850504,83}{106,949} = 45353,438 \text{ mm}^3$$



Obrázek 58 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z

4.5.6 Vzpěr

- Vybočení kolmo k ose v (ve směru u)

$$L_{cr,v} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_v} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \frac{2790}{39,93} \cdot \sqrt{\frac{1181,38}{1720}} = 0,758$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,758 - 0,2) + 0,758^2] = 0,924$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,924 + \sqrt{0,924^2 - 0,758^2}} = \underline{0,689}$$

- **Vybočení kolmo k ose u (ve směru v)**

$$L_{cr,u} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_u} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \frac{2790}{80,60} \cdot \sqrt{\frac{1181,38}{1720}} = 0,375$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,375 - 0,2) + 0,375^2] = 0,613$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,613 + \sqrt{0,613^2 - 0,375^2}} = \underline{0,910}$$

- **Vzpěr zkroucením**

-souřadnice středu
smyku od těžiště:

$$y_o = -79 \text{ mm}$$

$$z_o = 37 \text{ mm}$$

$$i_o^2 = i_v^2 + i_u^2 + y_o^2 + z_o^2 = 39,93^2 + 80,6^2 + (-79)^2 + 37^2 = 15700,965 \text{ mm}^2$$

$$N_{CR,T} = \frac{1}{i_o^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{l_T^2} \right) = \frac{1}{15700,965} \cdot \left(81000 \cdot 8856,7 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,0374 \cdot 10^9}{2790^2} \right) = 97200,93 \text{ N}$$

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,T}}} = \sqrt{\frac{1181,38 \cdot 355}{97200,93}} = 2,077$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,077 - 0,2) + 2,077^2] = 3,117$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,117 + \sqrt{3,117^2 - 2,077^2}} = \underline{0,184}$$

- **Prostorový vzpěr**

$$N_{CR,T} = 97201 \text{ N}$$

$$N_{CR,u} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_u}{L_{CR,u}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,1174 \cdot 10^7}{2790^2} = 2975229 \text{ N}$$

$$u_o = \sqrt{y_o^2 + z_o^2} = \sqrt{79^2 + 37^2} = 87,235 \text{ mm}$$

$$i_o = \sqrt{15700,965} = 125,3 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 = 1 - \left(\frac{87,235}{125,3}\right)^2 = 0,5153 \text{ [-]}$$

$$N_{CR,TF} = \frac{N_{CR,u}}{2 \cdot \beta} \cdot \left[1 + \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 \cdot \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}}\right]$$

$$= \frac{2975229}{2 \cdot 0,5153} \cdot \left[1 + \frac{97201}{2975229} - \sqrt{\left(1 - \frac{97201}{2975229}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{87,235}{125,3}\right)^2 \cdot \frac{97201}{2975229}}\right]$$

$$= 95660 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,TF}}} = \sqrt{\frac{1181,38 \cdot 355}{95660}} = 2,094$$

křivka „c“
α=0,49

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,094 - 0,2) + 2,094^2] = 3,156$$

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,156 + \sqrt{3,156^2 - 2,094^2}} = \underline{0,181}$$

- **Nejmenší χ**

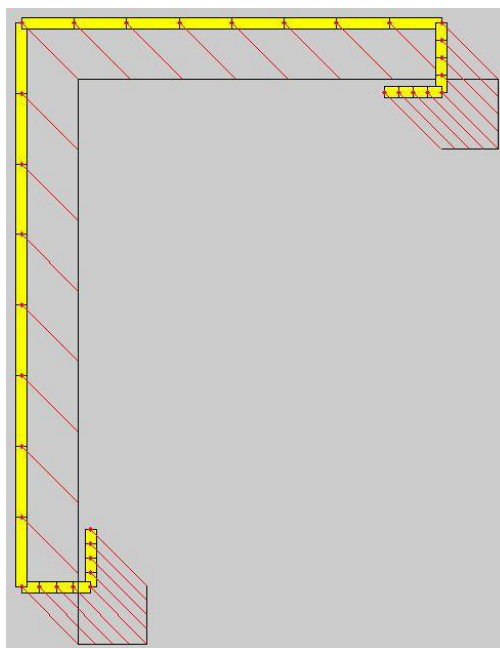
$$\chi = \min(\chi_v; \chi_u; \chi_T; \chi_{TF}) = \min(0,689; 0,910; 0,184; 0,181) = 0,181$$

4.5.7 Výpočet kritických napětí pomocí programu CUFSM

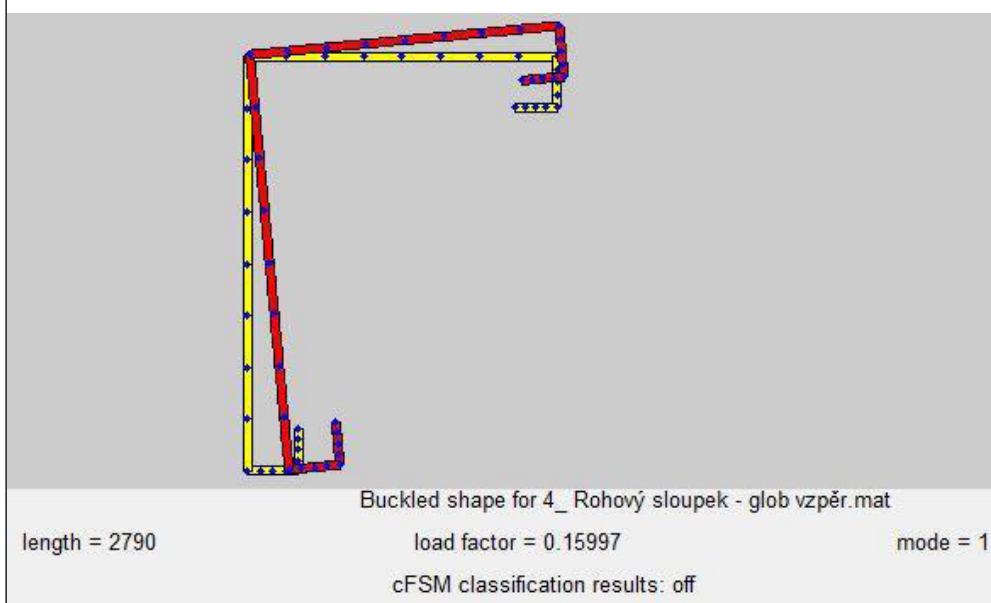
Pro porovnání výsledků kritických napětí je použit program CUFSM. Ten umožňuje určit lokální, distorzní a globální módy ztráty

stability. Program provede lineární stabilitní analýzu, jejíž výsledkem bude graf závislosti kritického napětí pro jednotlivé módy vybočení na délce polovlny vybočení.

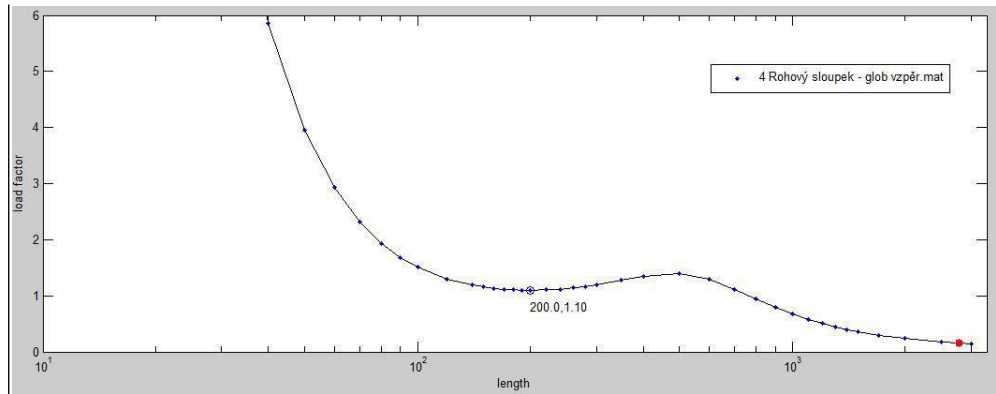
1. Nejprve se vymodeluje průřez, kde není zabráněno žádnému posunu, a kde dochází ke všem módům vybočení. Napětí je nastaveno rovnoměrně 355 MPa.



Obrázek 59 - CUFSM - průřez bez zabránění posunů



Obrázek 60 - CUFSM – tvar vybočení celkového vzpěru



Obrázek 61 - CUFSM - funkce kritického napětí v závislosti na délce

Zde je vidět, že při délce 2790 mm dochází k celkovému vzpěru zkroucením. Z této analýzy se vezme kritické napětí pro výpočet.

$$\text{load factor} = 0,16 [-]$$

$$\text{napětí} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr, glob} = 0,16 \cdot 355 = 56,8 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\sigma_{cr, glob} \cdot A}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 1181,38}{56,8 \cdot 1720}} = 2,072$$

křivka „c“

$$\alpha=0,49$$

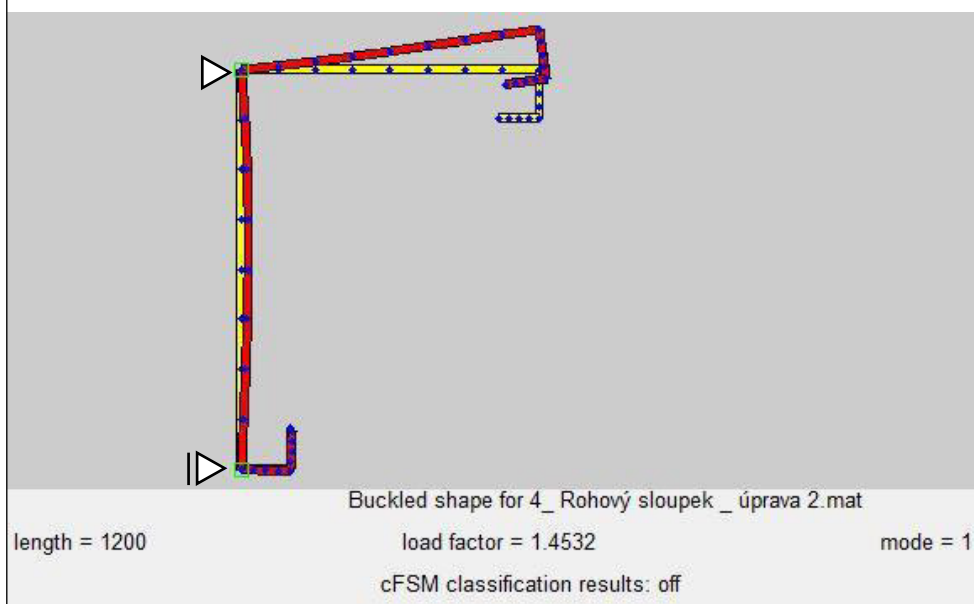
$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,072 - 0,2) + 2,072^2] = 3,105$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,105 + \sqrt{3,105^2 - 2,072^2}} = \underline{0,185}$$

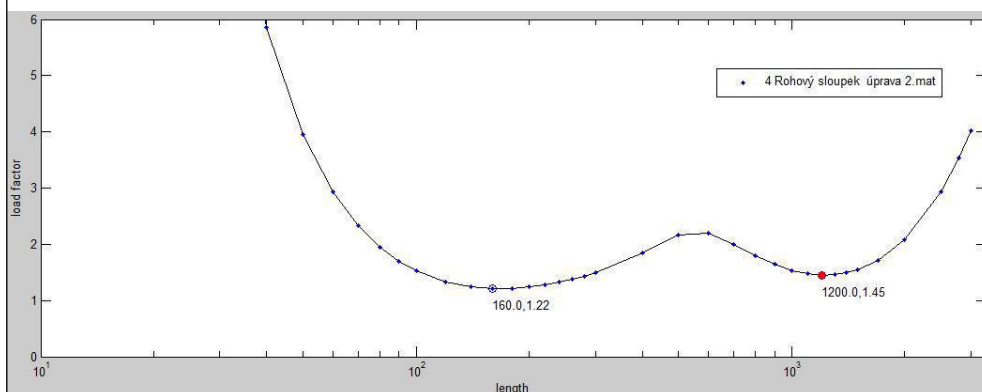
Vypočtený součinitel vzpěrnosti $\chi=0,185$ je zde téměř shodný s ručním výpočtem bez použití softwaru, který byl $\chi=0,181$.

2. Pro ověření výpočtů distorzního vyboulení se musí model upravit. Aby se zpřesnily hodnoty kritického napětí a nedocházelo k nežádoucímu globálnímu vzpěru, tak průřez v rozích podepřeme. Podpory umístíme ve stejných bodech, v jakých byly uvažovány v ručním výpočtu distorzního vyboulení.

a. Distorzní vyboulení pásnice



Obrázek 62-CUFM – Tvar distorzního vyboulení pásnice



Obrázek 63- CUFM – funkce krit. napětí pro vyboulení pásnice

load factor = 1,45 [-]

napětí = 355 MPa

$$\sigma_{cr,pasn} = 1,45 \cdot 355 = 514,75 \text{ MPa}$$

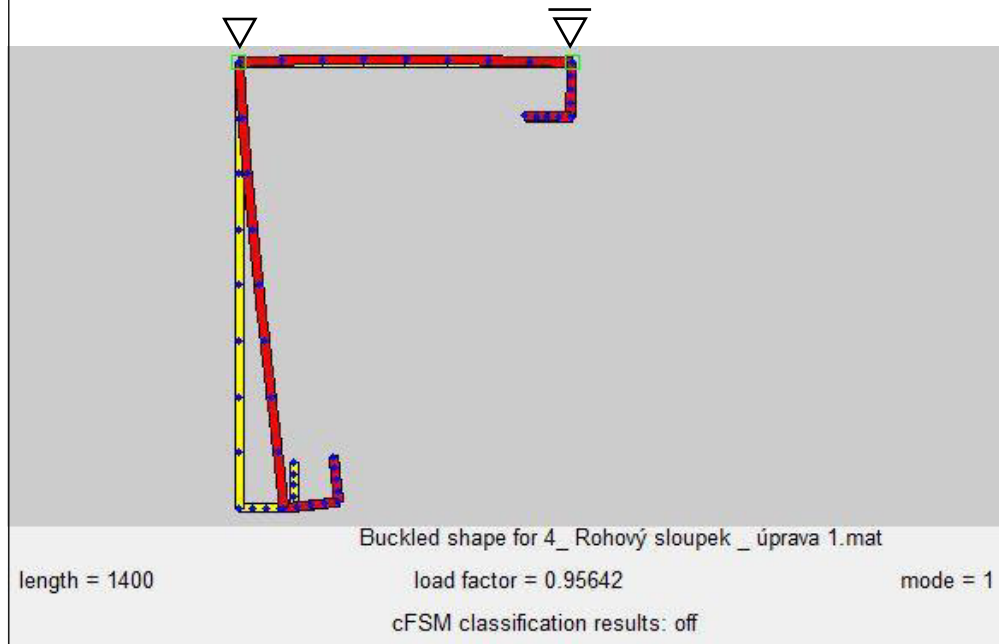
$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,pasn}}} = \sqrt{\frac{355}{514,75}} = 0,830$$

–pro $0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$

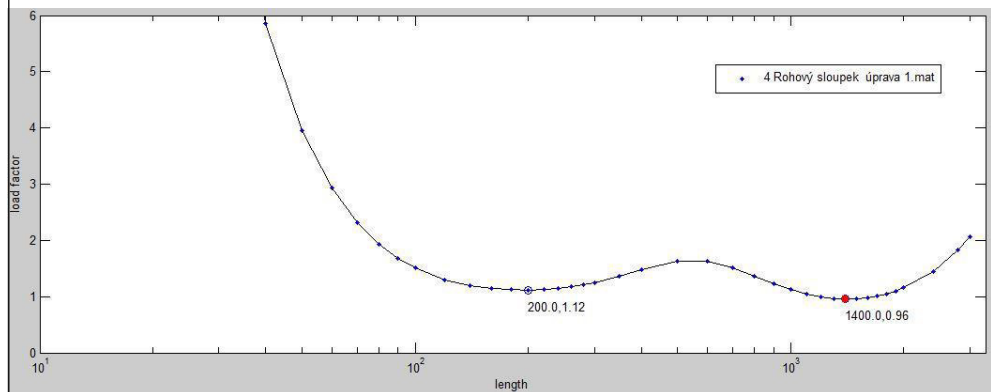
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,830 = 0,870$$

Vypočtený součinitel vzpěrnosti je $\chi_d=0,870$. Z ručního výpočtu je výsledek $\chi_d=0,749$, o 14 % menší. Tyto hodnoty nejsou podobné, ale z ručního výpočtu je výsledek konzervativnější, takže se bude pokračovat s touto hodnotou.

b. Distorzní vyboulení stojiny



Obrázek 64-CUFM – Tvar distorzního vyboulení stojiny



Obrázek 65- CUFM – funkce krit. napětí pro vyboulení stojiny

load factor = 0,96 [-]

napětí = 355 MPa

$$\sigma_{cr,pasn} = 0,96 \cdot 355 = 340,80 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,pasn}}} = \sqrt{\frac{355}{340,80}} = 1,021$$

–pro $0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$

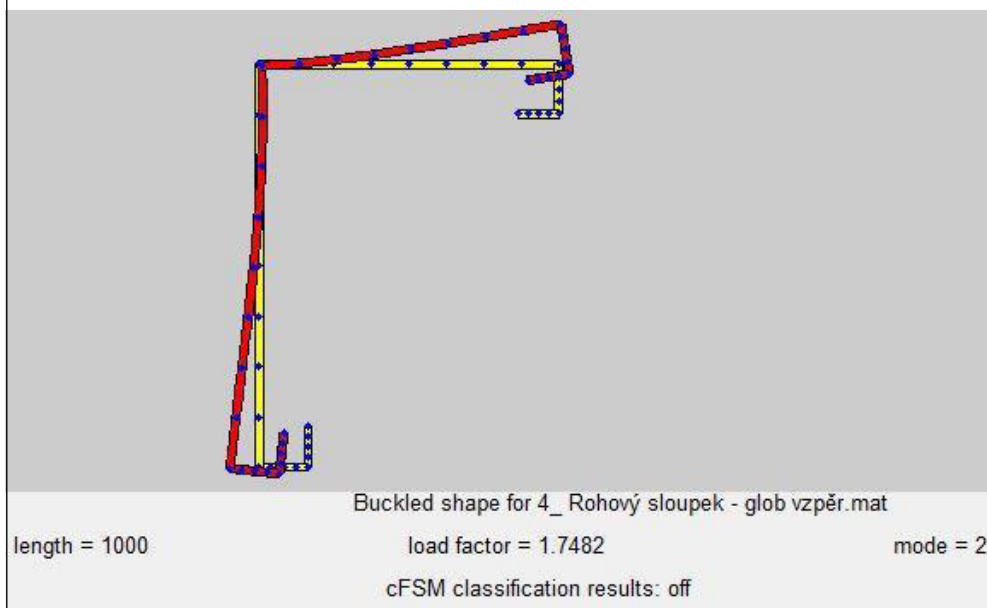
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 1,021 = 0,732$$

Vypočtený součinitel vzpěrnosti je $\chi_d=0,732$. Z ručního výpočtu je výsledek $\chi_d=0,607$, o 17 % menší. Tyto hodnoty nejsou podobné, ale

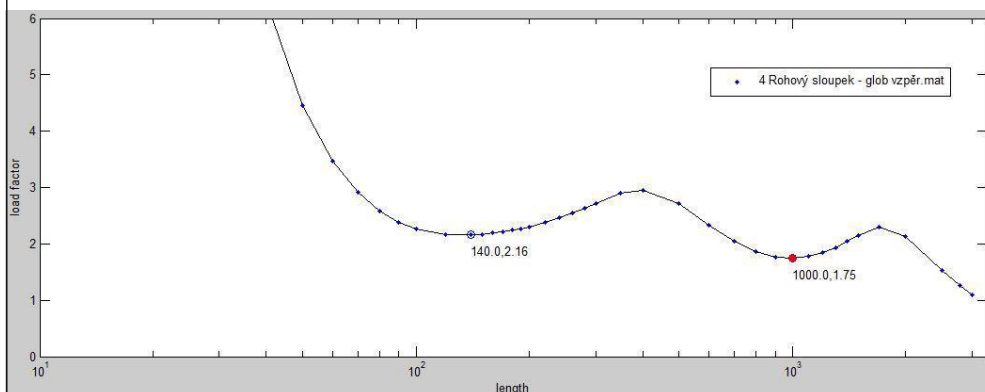
z ručního výpočtu je výsledek konzervativnější, takže se bude pokračovat s touto hodnotou.

c. Distorzní vyboulení stojiny a zároveň pásnice

Je nutné ještě ověřit stav, kdy vyboolí současně stojina i pásnice směrem od sebe. Ten nastane na průřezu, který není nijak podepřen, v 2. vlastním tvaru při délce 1000 mm.



Obrázek 66-CUFMSM – Tvar distortního vyboulení stojiny a pásnice



Obrázek 67- CUFMSM – funkce krit. napětí pro vyboulení stojiny a pásnice

load factor = 1,75 [-]

napětí = 355 MPa

$\sigma_{cr,ps} = 1,75 \cdot 355 = 621,25 \text{ MPa}$

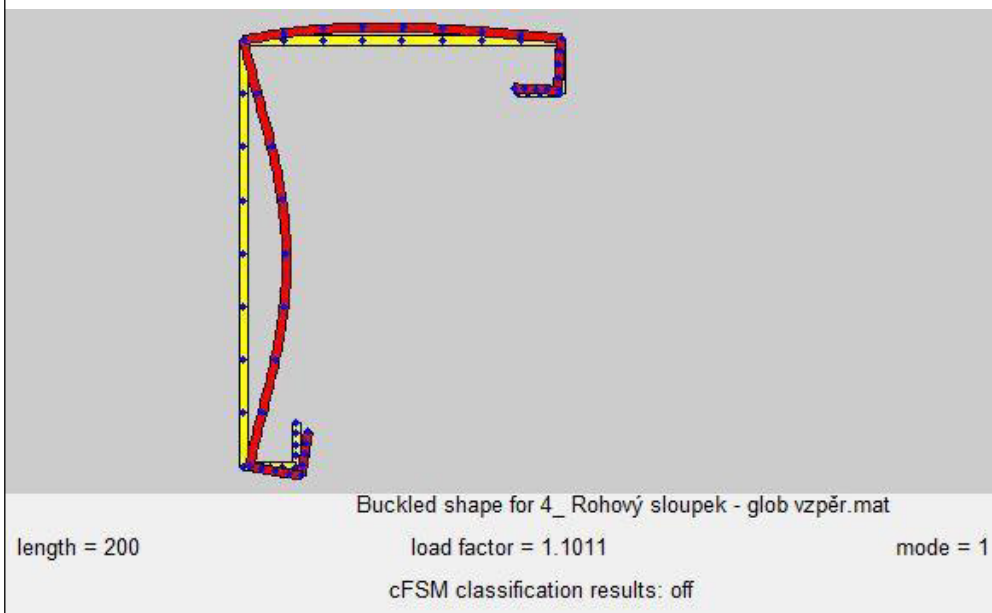
$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,ps}}} = \sqrt{\frac{355}{621,25}} = 0,756$$

$$-pro\ 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

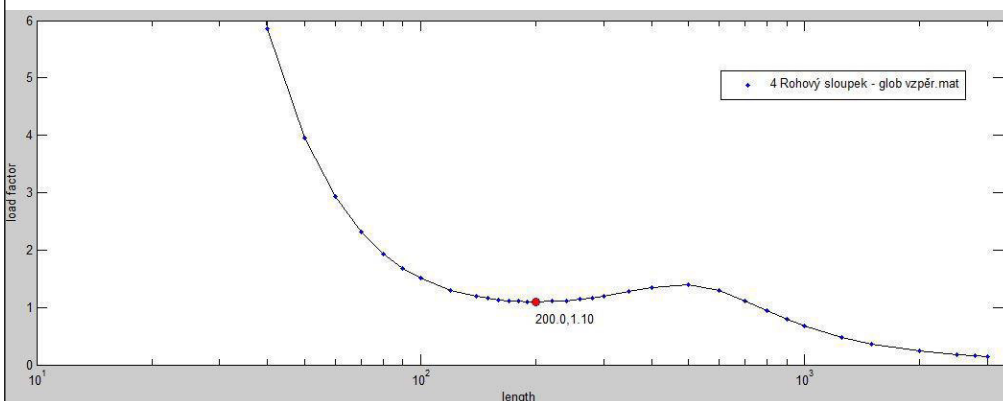
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,756 = 0,923$$

Stav, kdy vyboolí pásnice a stojina zároveň, není pravděpodobnější, než když vyboolí pouze každá část zvlášť. Výsledek $\chi_d=0,923$, který je vyšší než předchozí dva stavy, to dokazuje.

3. Ověření boulení pásnice. Použije se model pro globální vzpěr.



Obrázek 68-CUFM – Tvar boulení stojiny



Obrázek 69- CUFM – funkce krit. napětí pro boulení stojiny

$$\text{load factor} = 1,10 \text{ [-]}$$

$$\text{napětí} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,ps} = 1,10 \cdot 355 = 390,50 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,ps}}} = \sqrt{\frac{355}{390,50}} = 0,953$$

$$-pro\ 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

$$\rho = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,953 = 0,781$$

Výsledky ručního výpočtu $\rho=0,747$, jsou podobné výsledkům z programu CUFMSM $\rho=0,781$. Z toho vyplývá, že ruční výpočet byl proveden správně.

4.5.8 Vnitřní síly

<i>Komb.</i>	<i>N [kN]</i>	<i>Vy [kN]</i>	<i>Vz [kN]</i>	<i>My [kNm]</i>	<i>Mz [kNm]</i>
<i>CO1-obál.</i>	-42,60	1,64	4,31	10,85	4,32
<i>CO7</i>	-39,71	0,33	4,31	10,85	1,90

Tabulka 6 - Vnitřní síly rohového sloupku

4.5.9 Posouzení MSÚ

- tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,181 \cdot 1181,38 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^3} = 75,91\ kN$$

$$N_{b,Rd} \leq N_{b,Rd}$$

$$42,60 \leq 75,91 \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (56\%)}$$

- ohyb

$$M_{y,Rd}^+ = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{66832,99 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 23,73\ kN$$

$$M_{y,Rd}^- = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{68707,64 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 24,39\ kN$$

$$M_{z,Rd}^+ = \frac{W_{z,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{42887,13 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 15,22\ kN$$

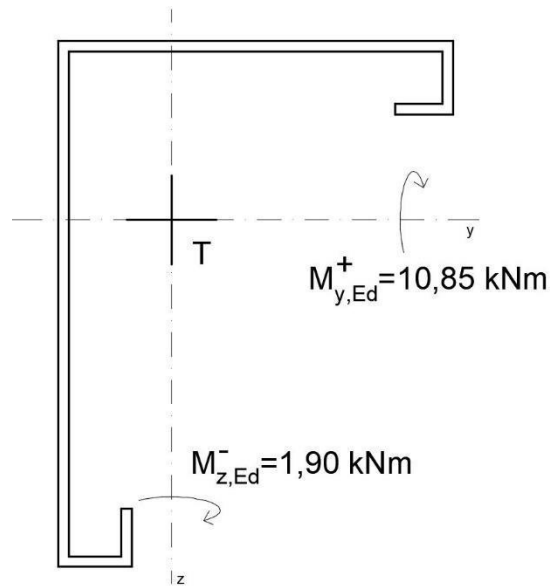
$$M_{z,Rd}^- = \frac{W_{z,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45353,44 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 16,10\ kN$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$10,85 \leq 15,22 \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (71\%)}$$

- ohyb a tlaková síla

Jako nejnejpříznivější je kombinace CO7 na sloupku č. B7. Výběr této kombinace je blíže určen v příloze č. 1.



Obrázek 70- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^+}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{39,71}{75,91}\right)^{0,8} + \left(\frac{10,85}{23,73}\right)^{0,8} + \left(\frac{1,90}{15,22}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$0,60 + 0,53 + 0,19 \leq 1,0$$

$$1,32 \not\leq 1,0 \quad \dots \quad \text{NEVYHOVUJE (132 \%)}$$

ČSN EN 1993-1-5

- únosnost ve smyku ve směru z

(kap. 5)

$$h_w = 192 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\eta = 1,2$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{192}{\sin 90} \cdot 4 \cdot 0,58 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^3} = \underline{158,1 \text{ kN}}$$

$$= 26,27 \text{ kN}$$

ČSN EN 1993-1-3

(kap. 6.1.5)

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{196}{4} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,697$$

$$\rightarrow \text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$$

$s_w = 196 \text{ mm}$... výška stojiny mezi středy rohů

$$V_{z,Ed} = 4,31 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{b,Rd}$$

f_{vb} ... pro stojinu bez podélných výztuh

$$\underline{4,31 \leq 158,1 \text{ [kN]}} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE}$$

- únosnost ve smyku ve směru y

$$h_w = 142 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{142}{\sin 90} \cdot 4 \cdot 0,58 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^3} = \underline{117,0 \text{ kN}}$$
$$= 26,27 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{146}{4} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,519$$

$$\rightarrow \text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$$

$$V_{z,Ed} = 4,31 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{b,Rd}$$

$$\underline{0,33 \leq 117,0 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

4.5.10 Posouzení MSP

Pro posouzení vodorovných posunů je použit model s počátečními tuhostmi $S_{j,ini}$. Podrobnější výsledky jsou uvedeny v příloze č. 2.

Kombinační klíč pro MSP.

$$CO2 - ZS1 + ZS2 + 0,70 \cdot ZS3 + 0,50 \cdot ZS4 + ZS6$$

- vodorovný posun jednoho patra

$$u_x = 34,9 \text{ mm}$$

$$u_y = 35,9 \text{ mm} \dots (\text{větší})$$

$$\delta = \frac{H}{300} = \frac{2790}{300} = 9,3 \text{ mm}$$

$$u_y < \delta$$

$$\underline{35,9 \not< 9,3 \text{ [mm]}} \dots \text{ NEVYHOVUJE}$$

- vodorovný posun celé konstrukce

$$u_x = 62,4 \text{ mm}$$

$$u_y = 64,3 \text{ mm} \dots (\text{větší})$$

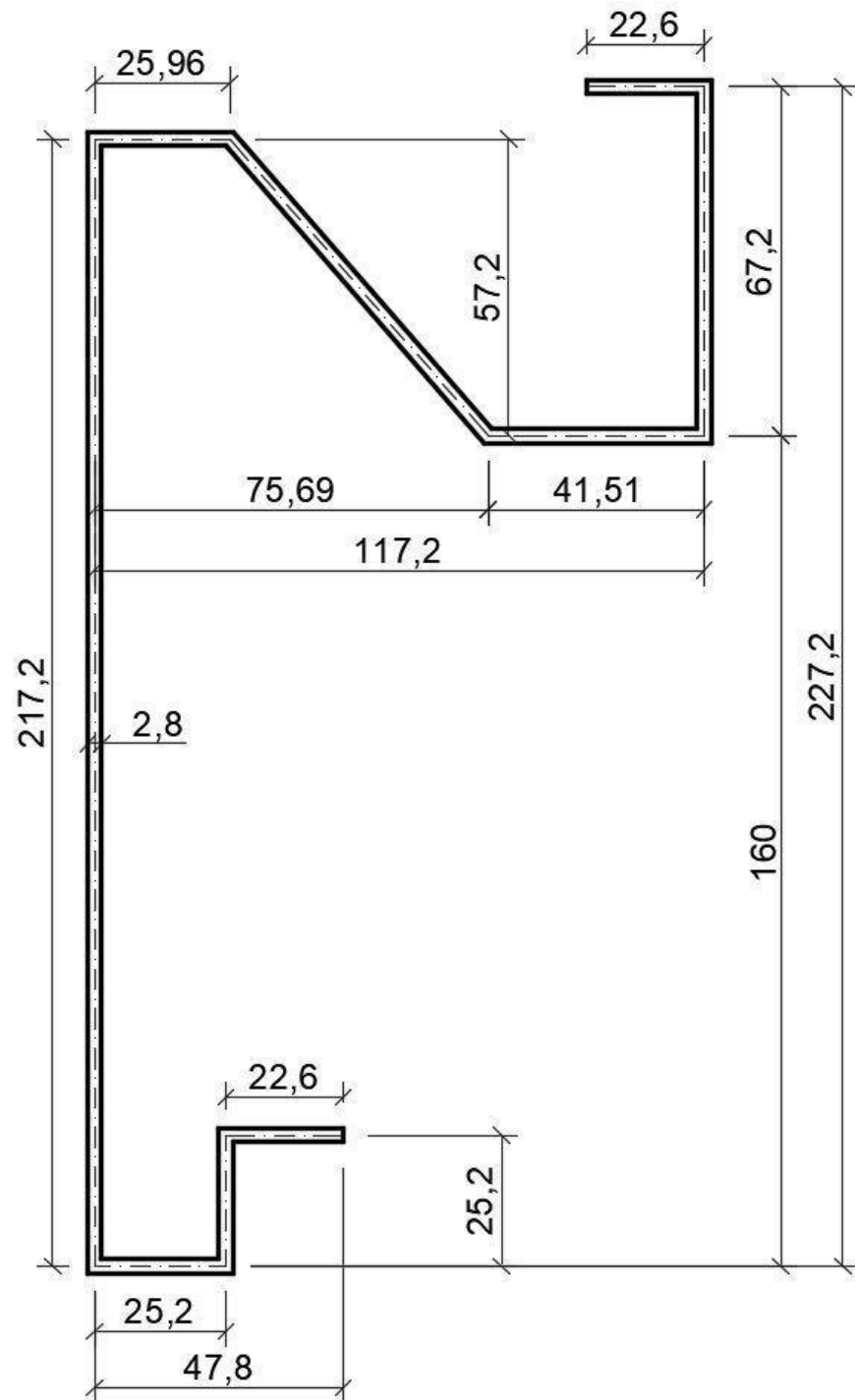
$$\delta = \frac{H}{500} = \frac{8370}{500} = 16,7 \text{ mm}$$

$$u_y < \delta$$

64,3 ≠ 16,7 [mm] ... *NEVYHOVUJE*

Oba posuny nevyhovují. V tomto modelu nejsou zahrnuty tuhosti obvodových plášťů, které také do určité míry pomáhají ztužení celé konstrukce.

4.6 Střešní profil boční



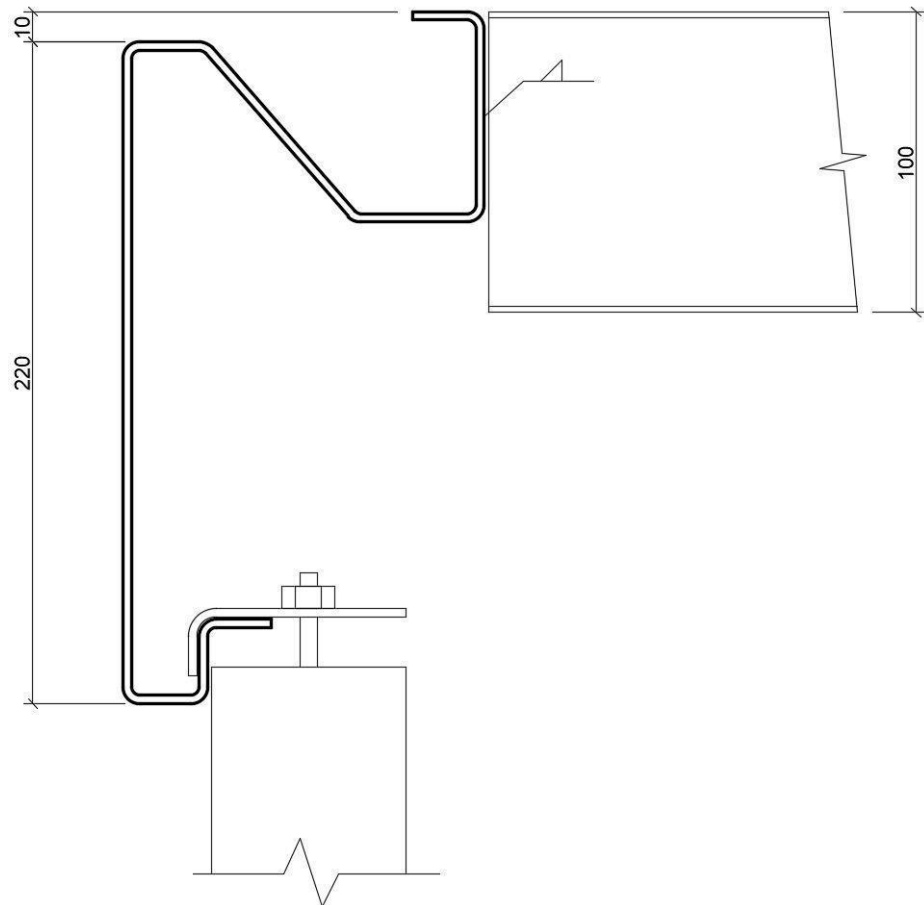
Obrázek 71- Střešní profil boční

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$A = 1465,15 \text{ mm}^2$$

$$L = 5790 \text{ mm}$$

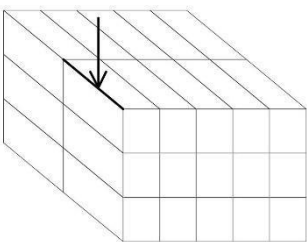
$$\begin{aligned}
 - \text{délka průřezu profilu} - L_{prof} &= 22,60 + 67,20 + 41,51 + 75,79 \\
 &+ 25,96 + 217,20 + 25,20 + 25,20 + 22,60 \\
 &= 523,26 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Obrázek 72- Připojení střešní vaznice a obvodového pláště

Způsob připojení střešní vaznice a obvodového pláště způsobuje, že je profil poměrně složitý na posouzení, protože síly nepůsobí v místě těžiště ani poblíž stojiny. Je otázka, zda-li se zatížení od vaznice distribuuje po celém průřezu, nebo jestli se zdeformuje pouze horní část a spodní část zůstane bez napětí.

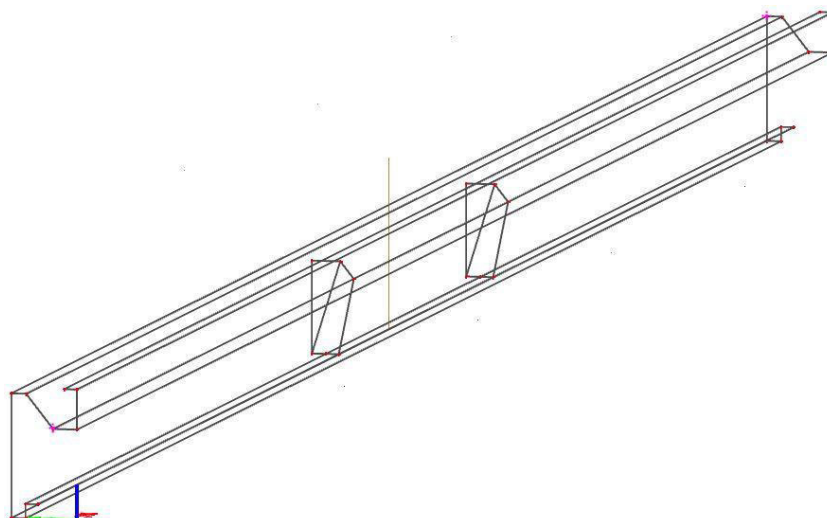
Komplikovaný tvar celého průřezu, podle mého názoru, znemožňuje nosník počítat pružně jako prutový prvek. Proto volím výpočet desko-stěnovým modelem a z něho následně vyhodnotit výsledné napětí.



Nejvíce namáhaný je střešní boční profil v krajním modulu ve třetím patře, na který působí zatížení od sněhu a bočního větru. Pro tento prvek se bude sestavovat zatížení.

4.6.1 Desko-stěnový model

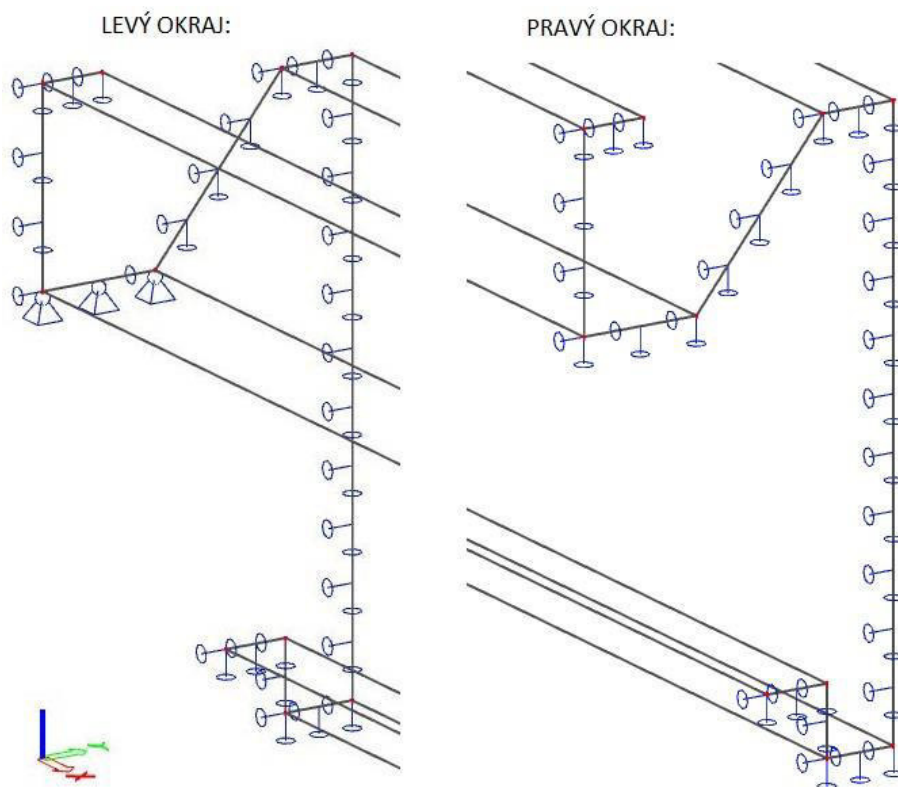
Výpočet bude probíhat v programu Scia Engineer.



Obrázek 73- Desko-stěnový model ve Scia

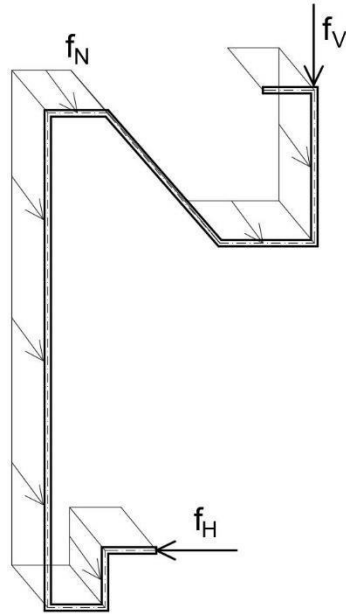
Tloušťka plechů je 2,8 mm; délka nosníku je 5655 mm. Nosník obsahuje dva výztužné plechy o tloušťce 3 mm ve vzdálenosti 2248 mm od obou konců.

Na okrajích se nacházejí podpory, které zajišťují, aby nosník působil jako prostý.



Obrázek 74- Okrajové podpory

4.6.2 Zatížení desko-stěnového modelu



Obrázek 75- Schéma liniového zatížení profilu

Zatížení od obvodového pláště představuje sílu f_H , a od střešního pláště sílu f_V . Dále je přidána ještě normálová síla na profil, jejíž hodnota je zjištěna z prutového modelu s polotuhými rámy. Aby mohla tato síla správně působit na průřez, přepočítá se konkrétní síla F_N z prutového modelu na liniové zatížení f_N na okraje desko-stěnového modelu.

Zatěžovací stavy

- ZS1 – Vlastní tíha
 - vygenerováno programem Scia Engineer
 - $F_{N,1} = -0,14 \text{ kN}$... připočteno k ZS2
- ZS2 – Stálé zatížení
 - $f_V = 1,158 \text{ [m]} \cdot 0,151 \text{ [kNm}^{-2}] + 0,08 = 0,225 \text{ kNm}^{-1}$
 - $f_H = 0$
 - $F_{N,2} = -0,37 \text{ kN}$
 - $f_{N,2} = (F_{N,1} + F_{N,2})/L_{prof} = (-0,14 - 0,37)/0,523 = -0,975 \text{ kNm}^{-1}$
- ZS3 – Užité zatížení
 - $F_N = -1,66 \text{ kN}$
 - $f_{N,3} = F_{N,3} \cdot L_{prof} = -1,66/0,523 = -3,174 \text{ kNm}^{-1}$

w... průměrná
hodnota tlaku plochu
při větru X

$$w_H = 0,322 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_F = 0,827 \text{ kNm}^{-2}$$

(-Převzmememe
z kap .2.2.3 - Zat.
větrem X na podl.
profil)

w... průměrná
hodnota tlaku plochu
při větru Y

$$w_G = -0,551 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_F = -0,827 \text{ kNm}^{-2}$$

- ZS4 – Sníh

$$- f_V = 1,158 [m] \cdot 0,8 [kNm^{-2}] = 0,926 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = 0$$

$$- F_{N,4} = 0$$

- ZS5 – Vítr X

$$- w_V = (-0,322 \cdot 4,785 - 0,827 \cdot 1,210) \cdot \frac{1}{5,995}$$
$$= -0,424 [kNm^{-2}]$$

$$f_V = 1,158 [m] \cdot (-0,424) [kNm^{-2}]$$
$$= -0,492 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = (0,513 \cdot 3,575 + 0,769 \cdot 2,420) \cdot \frac{1}{5,995}$$
$$= 0,616 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,5} = -0,29 \text{ kN}$$

$$f_{N,5} = F_{N,5}/L_{prof} = -0,29/0,523 = -0,554 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS6 – Vítr Y

$$- w_V = (-0,551 \cdot 2,995 - 0,827 \cdot 3,000) \cdot \frac{1}{5,995}$$
$$= -0,690 [kNm^{-2}]$$

$$- f_V = 1,158 [m] \cdot (-0,690) [kNm^{-2}] = -0,800 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = -0,413 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,6} = 0,87 \text{ kN}$$

$$f_{N,6} = F_{N,6}/L_{prof} = 0,87/0,523 = 1,663 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS7 – Vítr X_II

$$- f_V = 1,158 [m] \cdot 0,092 [kNm^{-2}] = 0,107 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = 0,513 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,7} = 0,08 \text{ kN}$$

$$f_{N,7} = F_{N,7}/L_{prof} = 0,08/0,523 = 0,153 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS8 – Vítr Y_II

$$- f_V = 1,158 [m] \cdot 0,092 [kNm^{-2}] = 0,107 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = 0,227 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,8} = 0,62 \text{ kN}$$

$$f_{N,8} = F_{N,8}/L_{prof} = 0,62/0,523 = 1,185 \text{ kNm}^{-1}$$

Kombinace zatížení

Kombinace stejná jako v kapitole 2.5 - Kombinace zatížení. Zde byla nalezena jako nejkritičtější kombinace č. CO13.

4.6.3 Napětí na průřezu

Uprostřed nosníku je veden řez, na kterém se vykreslí napětí σ_x . Hustota sítě pro výpočet desko-stěnového modelu je nastavena na 0,01 m.

Výsledné napětí na průřezu na horní výztuze:

$$\sigma_x = -606,1 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí na průřezu na dolní výztuze:

$$\sigma_x = -421,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_x}{f_y} = \frac{606,1}{355} = 1,71 [-]$$

Napětí na průřezu je větší než mez kluzu oceli, která je $f_y=355$ MPa. Tento profil nevyhovuje návrhovému zatížení.

4.6.4 Průhyb

- svislý průhyb: 128,6 mm

- vodorovný průhyb: 149,2 mm

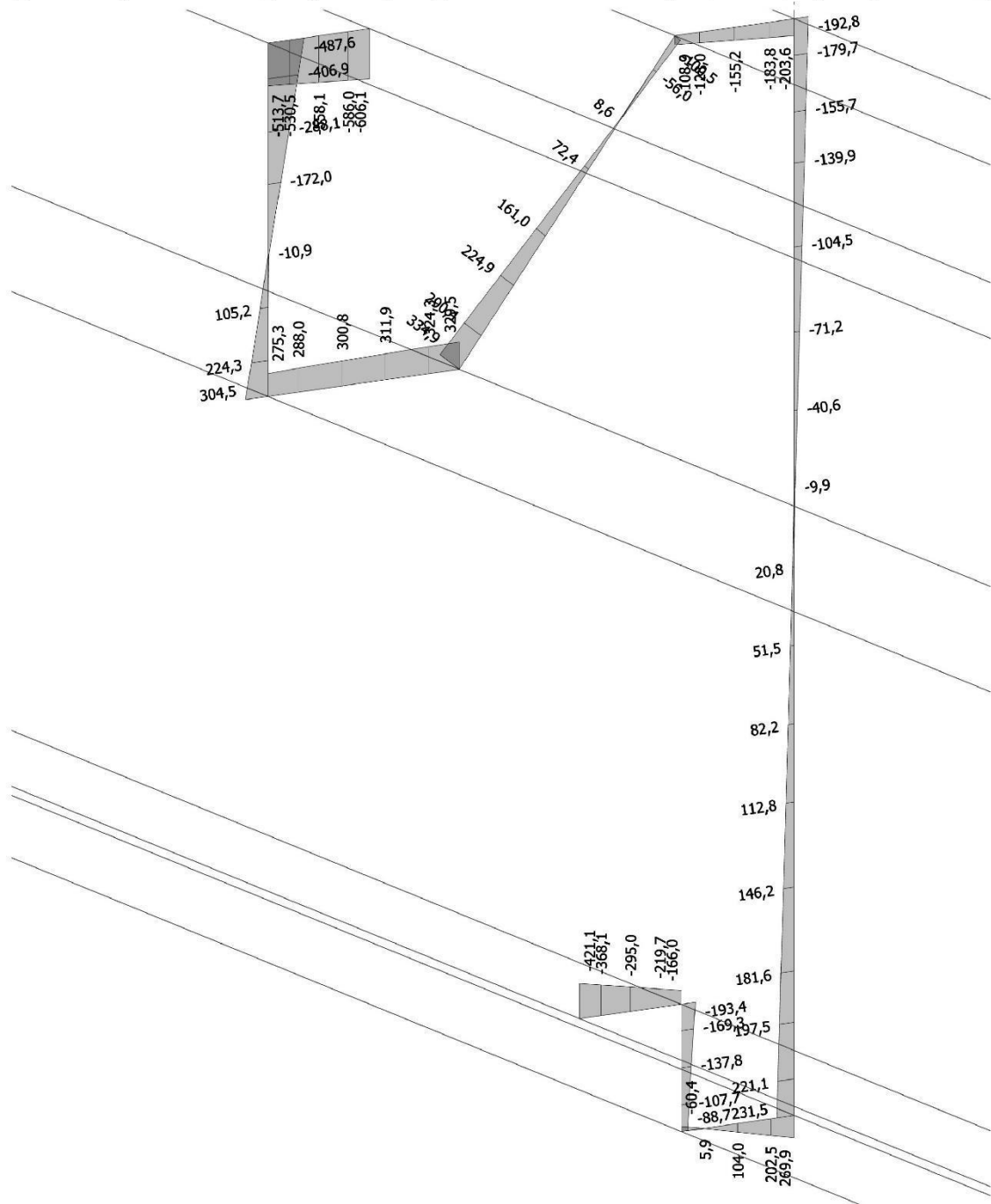
$$- \delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5790}{200} = 28,95 \text{ mm}$$

$$- \delta_{svislý} = 128,6 \text{ [mm]} \not\leq \delta_{lim} = 28,95 \text{ [mm]}$$

$$- \delta_{vodor.} = 149,2 \text{ [mm]} \not\leq \delta_{lim} = 28,95 \text{ [mm]}$$

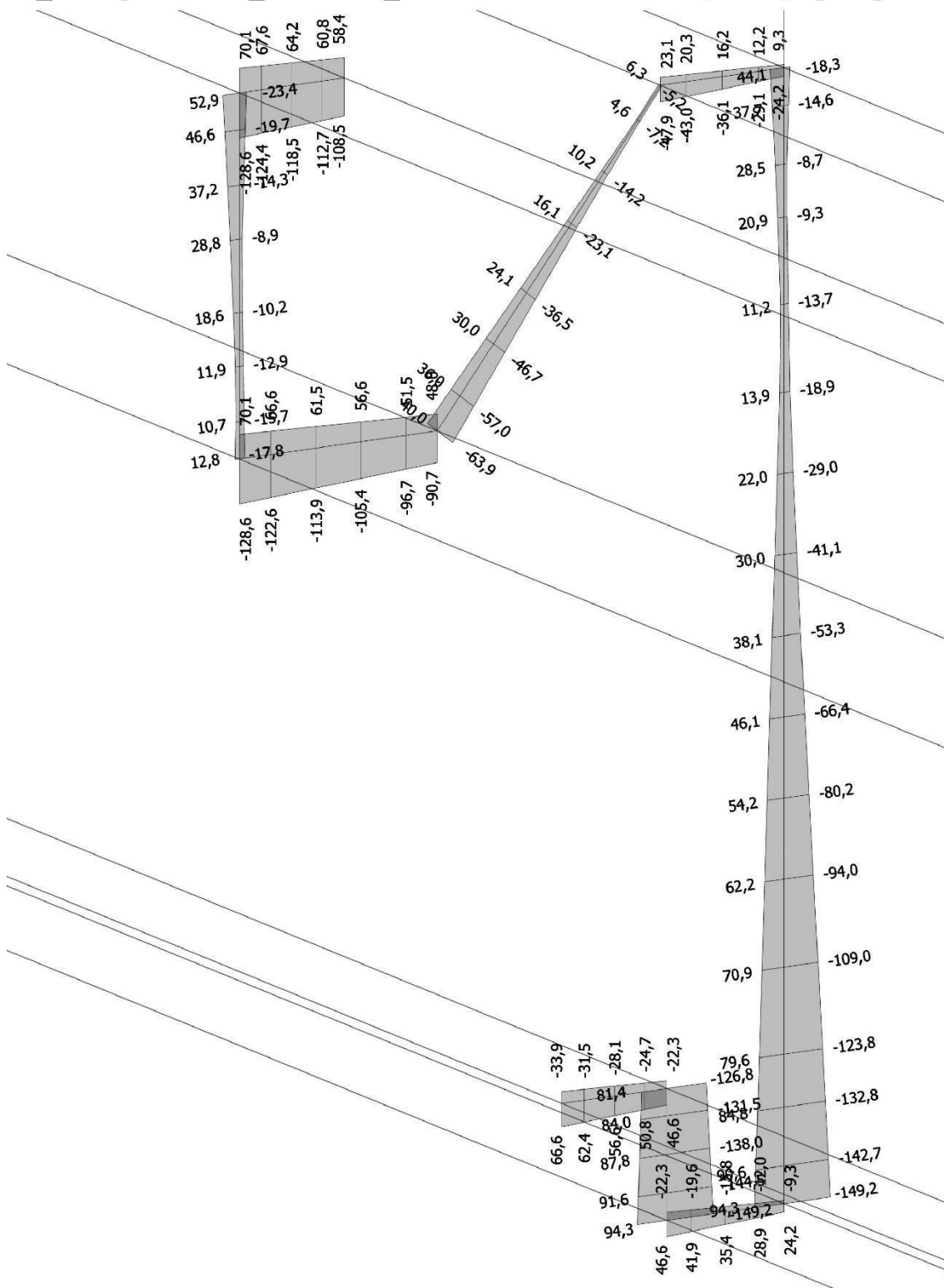
Svislý ani vodorovný průhyb nesplňují limity pro deformaci.

5_Střešní profil boční_napětí sigma_X - CO13 - tl. stěny 2,8 mm, s příd plechem_2



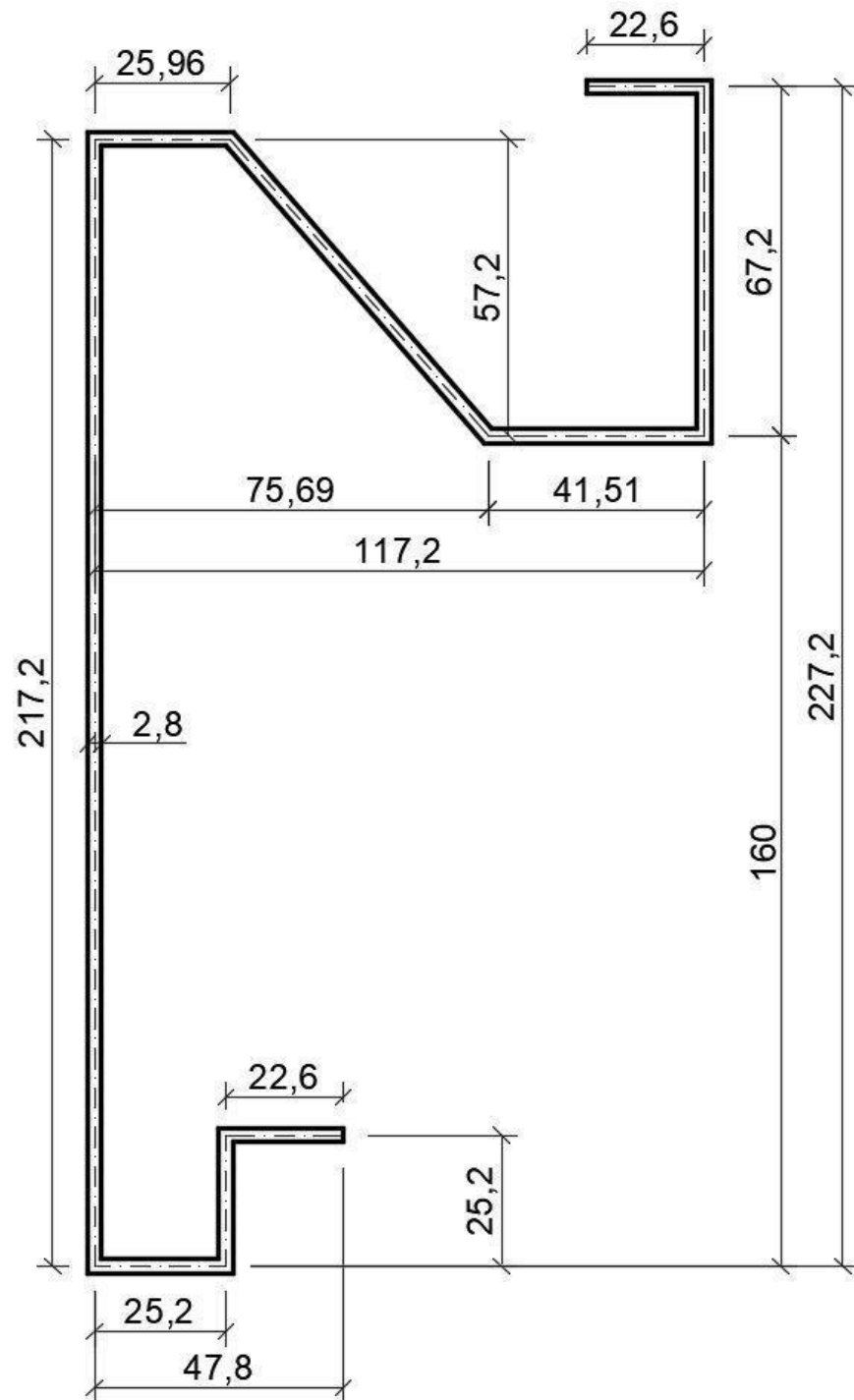
Obrázek 76- Napětí σ_X v řezu uprostřed nosníku [MPa]

5_Střeš prof boční_deform u_z - MSP - char. - tl. stě 2,8 mm, s příd plech



Obrázek 77- Deformace nosníku v řezu uprostřed nosníku [mm]

4.7 Střešní profil čelní



Obrázek 78- Střešní profil čelní

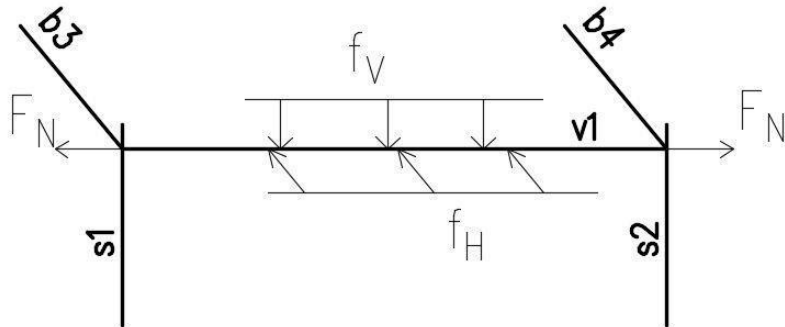
$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$A = 1465,15 \text{ mm}^2$$

$$L = 2133 \text{ mm}$$

Model tohoto profilu je stejný jako u střešního profilu bočního. Rozdíl je v jeho délce, absenci výztužných plechů a různých hodnotách zatížení

4.7.1 Zatížení desko-stěnového modelu



Obrázek 79- Schéma zatížení

Zatížení od obvodového pláště představuje sílu f_H , a od střešního pláště sílu f_V . Dále je přidána ještě normálová síla na profil, jejíž hodnota je zjištěna z prutového modelu s polotuhými rámy. Aby mohla tato síla správně působit na průřez, přepočítá se konkrétní síla F_N z prutového modelu na liniové zatížení f_N na okraje desko-stěnového modelu.

Zatěžovací stavy

- ZS1 – Vlastní tíha
 - vygenerováno programem Scia Engineer
 - $F_{N,1} = 0,15 \text{ kN}$... připočteno k ZS2
- ZS2 – Stálé zatížení
 - $f_V = \frac{0,298}{2} [\text{m}] \cdot 0,151 [\text{kNm}^{-2}] = 0,022 \text{ kNm}^{-1}$
 - $F_{N,2} = -0,13 \text{ kN}$
 - $f_{N,2} = (F_{N,1} + F_{N,2})/L_{prof} = (0,15 + 0,13)/0,523$
 $= 0,535 \text{ kNm}^{-1}$
- ZS3 – Užité zatížení
 - $F_N = 0,08 \text{ kN}$
 - $f_{N,3} = F_{N,3}/L_{prof} = 0,08/0,523 = 0,153 \text{ kNm}^{-1}$
- ZS4 – Sníh
 - $f_V = \frac{0,298}{2} [\text{m}] \cdot 0,8 [\text{kNm}^{-2}] = 0,119 [\text{kNm}^{-1}]$

$$- F_{N,4} = 0,69 \text{ kN}$$

$$f_{N,4} = F_{N,4}/L_{prof} = 0,69 \cdot 0,523 = 1,319 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS5 – Vitr X

$$- f_V = \frac{0,298}{2} [m] \cdot (-0,827) [kNm^{-2}] = -0,123 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = 0,296 \cdot \frac{2,79}{2} = 0,413 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,5} = 0,52 \text{ kN}$$

$$f_{N,5} = F_{N,5}/L_{prof} = 0,52/0,523 = 0,994 [kNm^{-1}]$$

- ZS6 – Vitr Y

$$- f_V = \frac{0,298}{2} [m] \cdot (-0,827) [kNm^{-2}] = -0,123 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = -0,551 \cdot \frac{2,79}{2} = -0,769 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,6} = -0,91 \text{ kN}$$

$$f_{N,6} = \frac{F_{N,6}}{L_{prof}} = -0,91/0,523 = -1,740 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS7 – Vitr X_{II}

$$- f_V = \frac{0,298}{2} [m] \cdot 0,092 [kNm^{-2}] = 0,014 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = -0,163 \cdot \frac{2,79}{2} = -0,227 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,7} = 0,87 \text{ kN}$$

$$f_{N,7} = F_{N,7}/L_{prof} = 0,87/0,523 = 1,663 \text{ kNm}^{-1}$$

- ZS8 – Vitr Y_{II}

$$- f_V = \frac{0,298}{2} [m] \cdot 0,092 [kNm^{-2}] = 0,014 [kNm^{-1}]$$

$$- f_H = -0,368 \cdot \frac{2,79}{2} = -0,513 [kNm^{-1}]$$

$$- F_{N,7} = 0,24 \text{ kN}$$

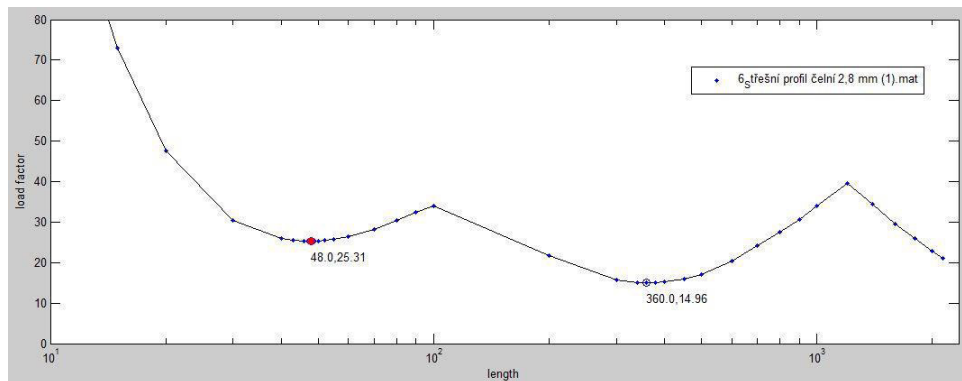
$$f_{N,7} = F_{N,7} \cdot L_{prof} = 0,24/0,523 = 0,459 \text{ kNm}^{-1}$$

Kombinace zatížení

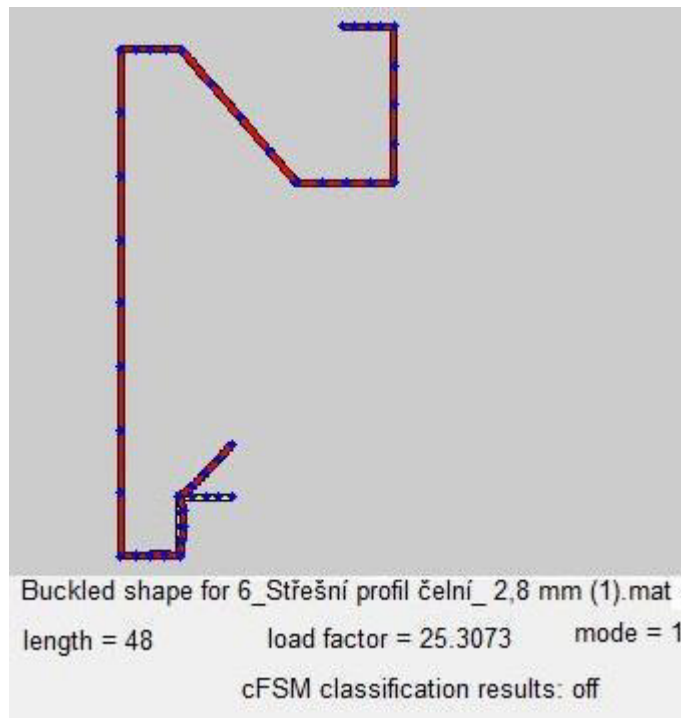
Kombinace stejné jako v kapitole 2.5 - Kombinace zatížení. Zde byla nalezena jako nejkritičtější kombinace č. CO16

Boulení – dolní výztuhy

Podle průběhu funkce kritického napětí je patrné, že nejprve vyboulí dolní výztuha.



Obrázek 81- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar



Obrázek 82- Tvar vyboulení dolní výztuhy

load factor = 25,31 [-]

napětí = 123,8 MPa

$\sigma_{cr} = 25,31 \cdot 123,8 = 3133,38 \text{ MPa}$

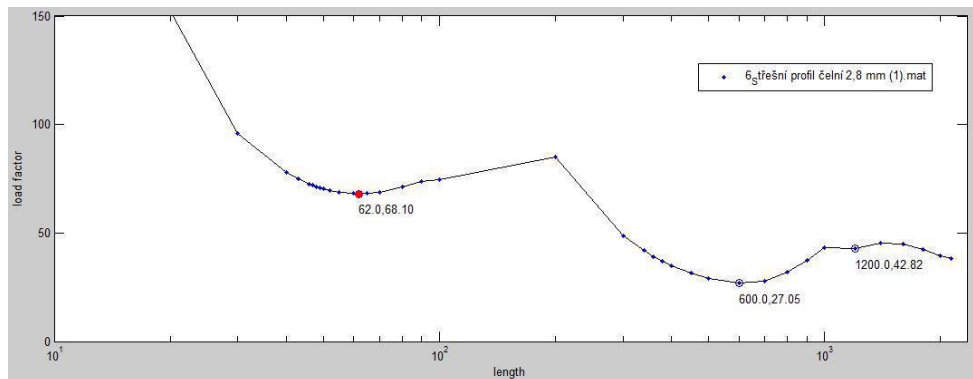
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{355}{3133,38}} = 0,337$$

–pro $0,65 < \bar{\lambda}_p$

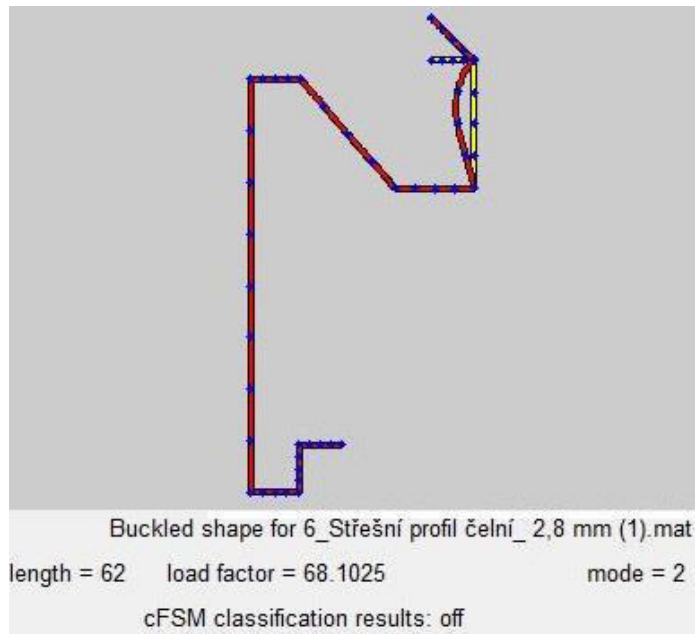
→ $\rho = 1$... *nedochází k boulení výztuhy*

Boulení – horní výztuhy

Stav, kdy nastane vyboulení horní výztuhy, je až v druhém vlastním tvaru. Pro jistotu se provede výpočet, zda-li nedochází k boulení.



Obrázek 83- Funkce krit. napětí pro 2. vlastní tvar



Obrázek 84- Tvar vyboulení horní výztuhy

load factor = 68,10 [-]

napětí = 123,8 MPa

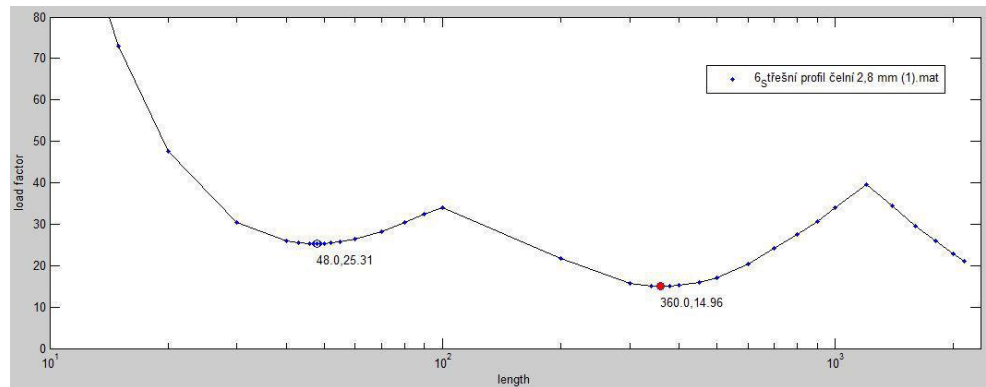
$$\sigma_{cr} = 68,10 \cdot 123,8 = 8430,78 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{355}{8430,78}} = 0,205$$

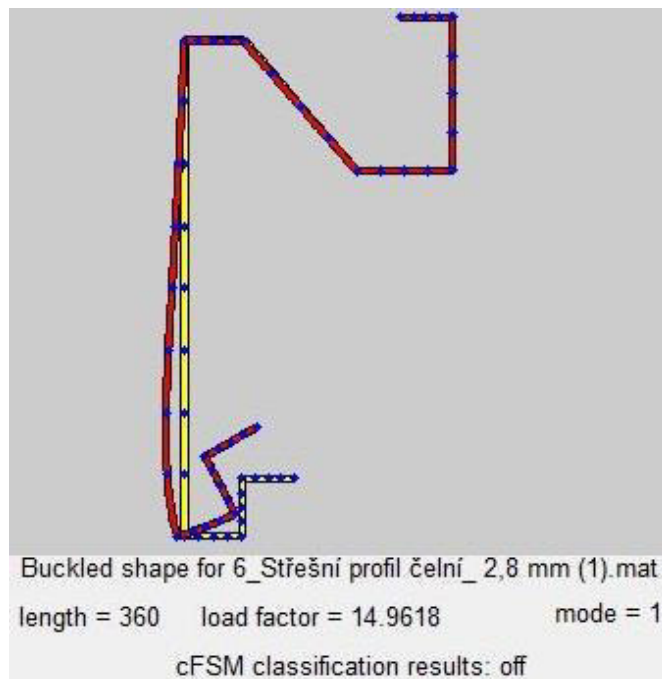
—pro $0,65 < \bar{\lambda}_p$

→ $\rho = 1$... *nedochází k boulení výztuhy*

Distorzní vyboulení dolní výztuhy



Obrázek 85- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar



Obrázek 86- Tvar dist. vyboulení dolní výztuhy

load factor = 14,96 [-]

napětí = 123,8 MPa

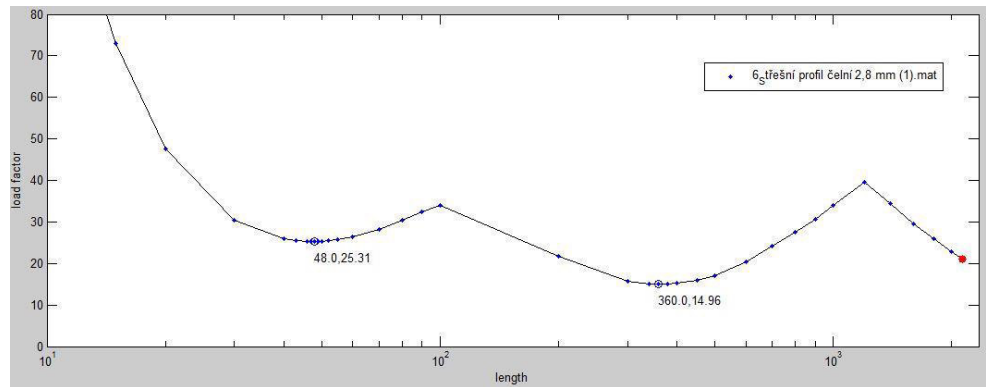
$\sigma_{cr,pasn} = 14,96 \cdot 123,8 = 1852,05 \text{ MPa}$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,pasn}}} = \sqrt{\frac{355}{1852,05}} = 0,438$$

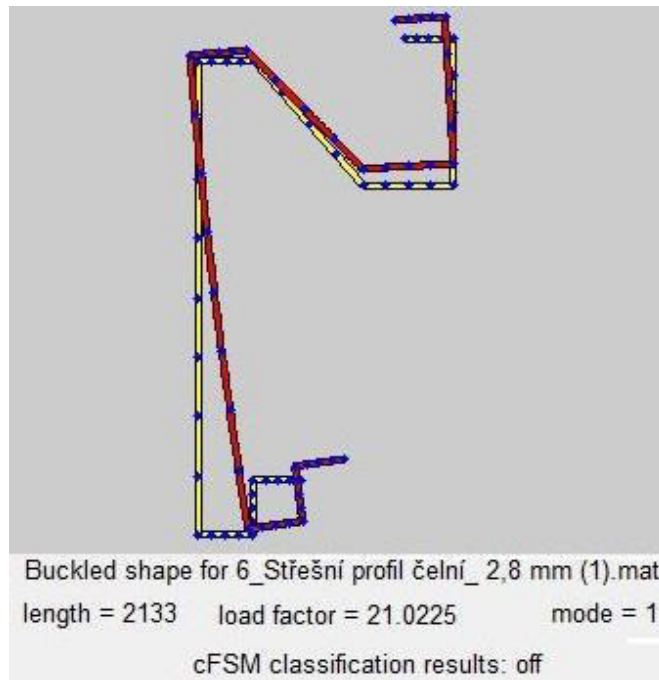
—pro $0,65 < \bar{\lambda}_p$

→ $\chi_d = 1$... *nedochází k dist. vyboulení*

Klopení



Obrázek 87- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar



Obrázek 88- Tvar klopení

load factor = 21,02 [-]

napětí = 123,8 MPa

$$\sigma_{cr, glob} = 21,02 \cdot 123,8 = 2602,28 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr, glob}}} = \sqrt{\frac{355}{2602,28}} = 0,369$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,369 - 0,2) + 0,369^2] = 0,632$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,632 + \sqrt{0,632^2 - 0,369^2}} = \underline{0,873}$$

Klopení $\chi=0,873$ se zahrne do výpočtu tím, že se zredukuje tloušťka v desko-stěnovém modelu ve Scia Engineer.

$$t_{red} = t \cdot \chi = 2,8 \cdot 0,873 = 2,444 \text{ mm}$$

Napětí po redukci tloušťky

Výsledné napětí na průřezu na horní výztuze:

$$\sigma_x = -31,5 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí na průřezu na dolní výztuze:

$$\sigma_x = -153,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_x}{f_y} = \frac{153,6}{355} = 0,43 [-] \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledné napětí na průřezu v horním rohu nad stojinou.

$$\sigma_x = -32,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = -90,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 0; \tau_{xz} = 0$$

ČSN EN 1993-1-1

kap. 6.2 Únosnost
průřezu

rov. (6.1)

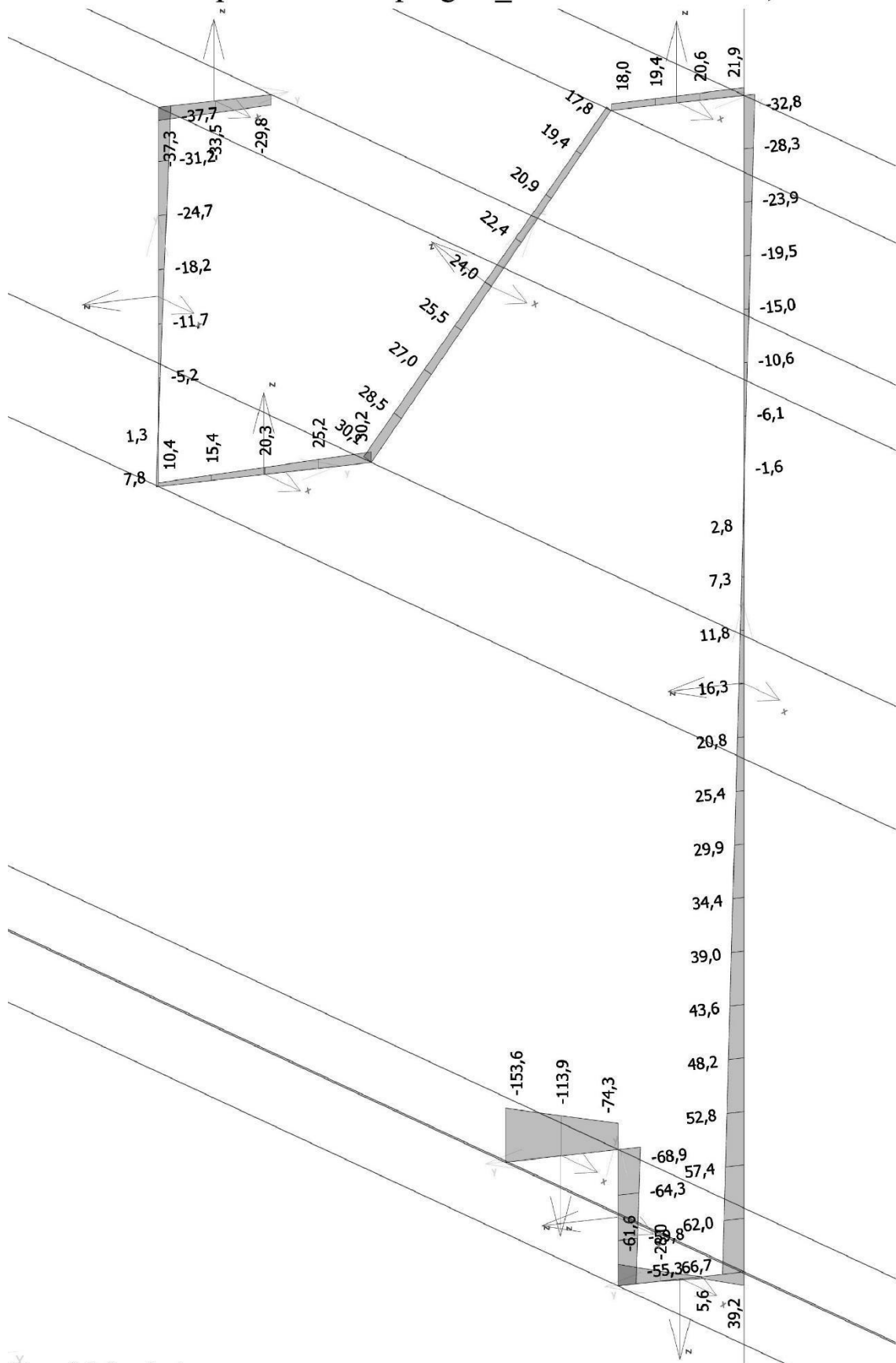
$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{32,8}{355}\right)^2 + \left(\frac{90,5}{355}\right)^2 - \left(\frac{32,8}{355}\right) \cdot \left(\frac{90,5}{355}\right) + 3 \cdot \left(\frac{0}{355}\right)^2 \leq 1$$

$$\underline{0,05 \leq 1}$$

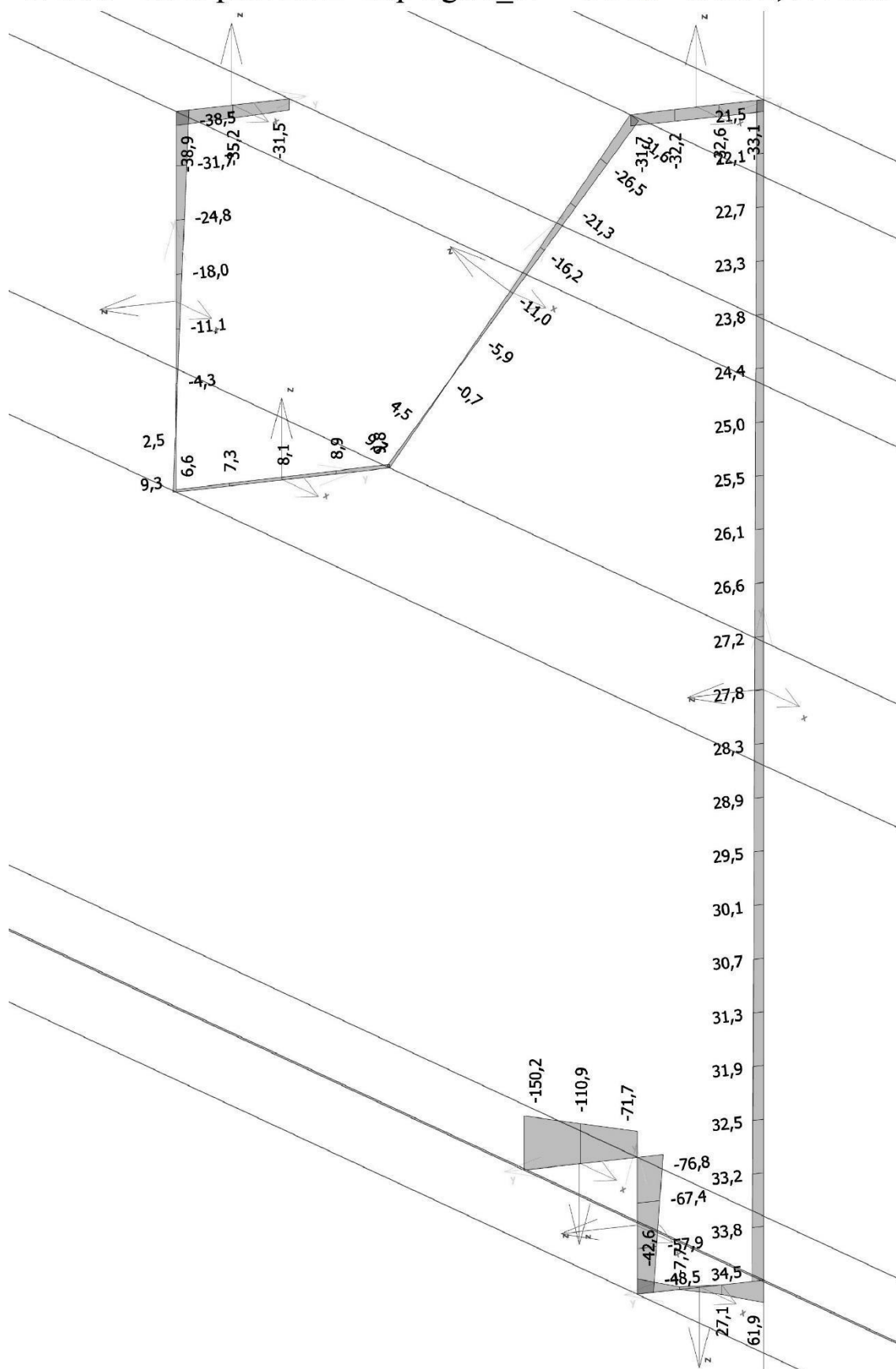
Tento nosník vyhovuje návrhovému zatížení.

171213 - Střeš prof čelní - nap sigma_X- - CO16 - tl. stě 2,444 mm



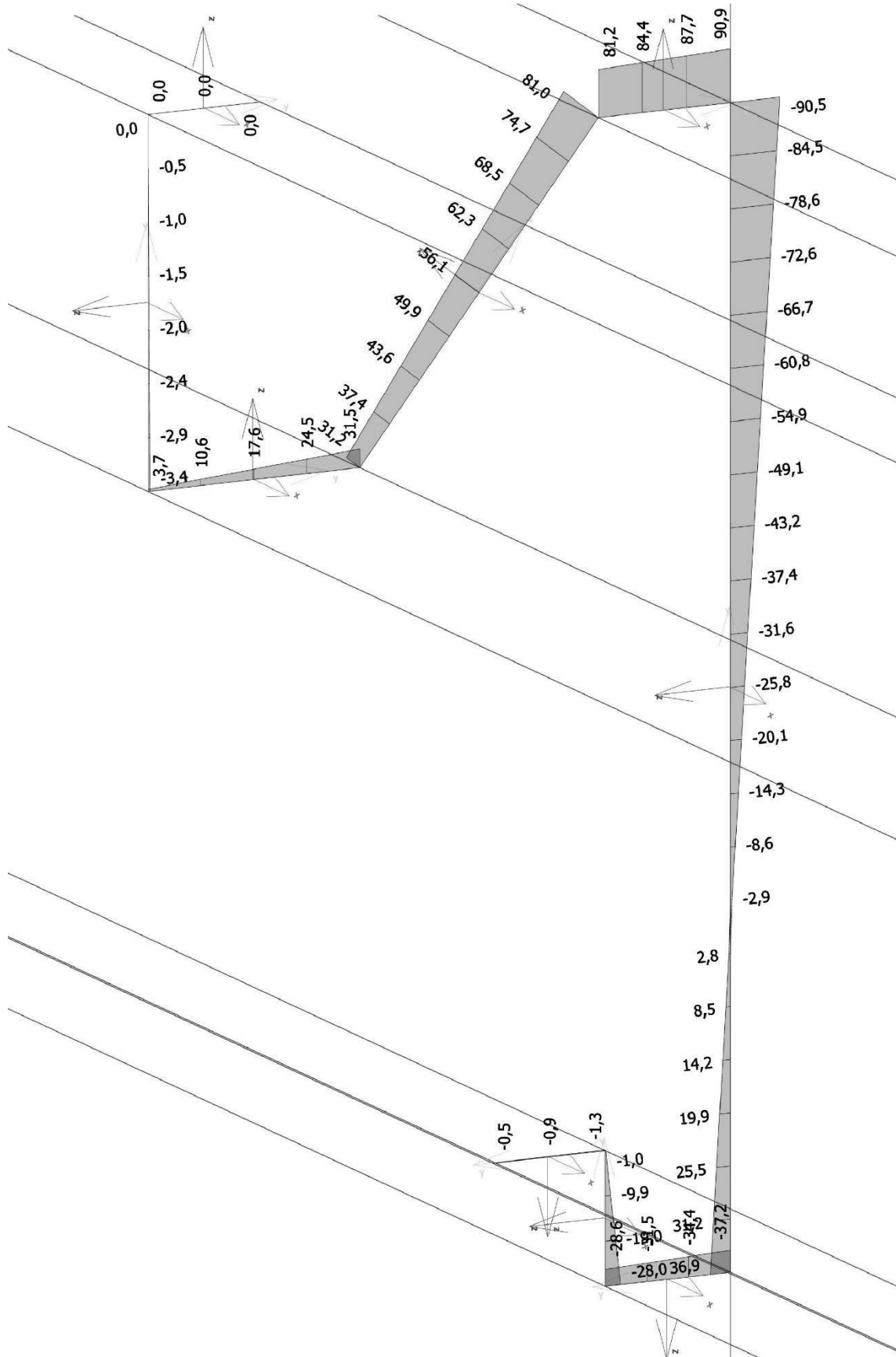
Obrázek 89- Napětí sigma_X- s redukovanou šířkou

171213 - Střeš prof čelní - nap sigma_X+ - CO16 - tl. stě 2,444 mm



Obrázek 90- Napětí σ_{X+} s redukovanou šířkou

171213 - Střech prof čelní - nap sigma_Y - - CO16 - tl. stě 2,444 mm



Obrázek 91- Napětí sigma_Y- s redukovanou šířkou

4.7.3 Průhyb

- svislý průhyb: 1,0 mm

- vodorovný průhyb: 5,1 mm

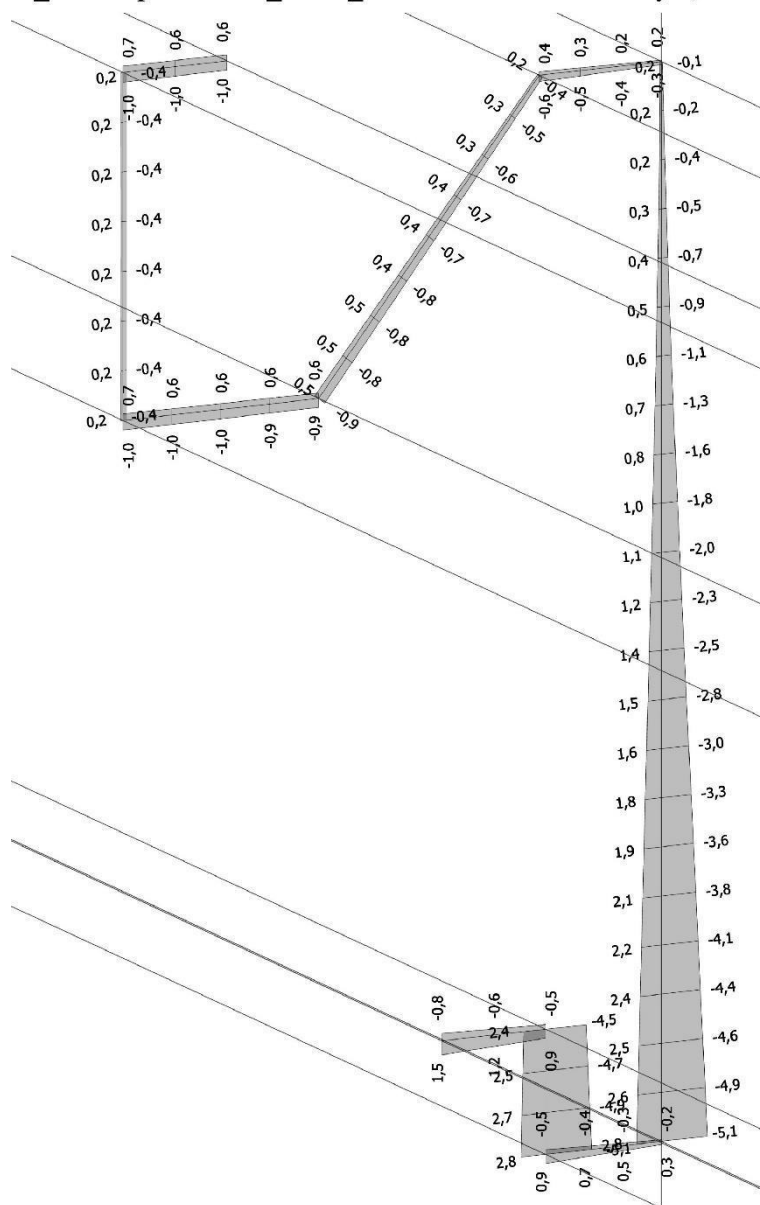
$$-\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{2133}{200} = 10,67 \text{ mm}$$

$$-\delta_{svislý} = 1,0 \text{ [mm]} \leq \delta_{lim} = 10,67 \text{ [mm]}$$

$$-\delta_{vodor.} = 5,1 \text{ [mm]} \leq \delta_{lim} = 10,67 \text{ [mm]}$$

Svislý i vodorovný průhyb splňují limity pro deformaci.

5_Střešní profil čelní_def u_z - MSP-charak. - tl. stěny 2,8 mm



Obrázek 92- Průhyb u_z

4.8 Shrnutí výsledků

Vaznice střešní

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
N-tah	0,69	96,82	0,01
N-tlak	0,54	43,44	0,01
M_y	0,51	1,105	0,46
V_z	0,89	26,27	0,03

	Průhyb MSP	Mezní průhyb	
u_z	4,30	8,77	OK

Vaznice střešní vyhovuje návrhovému zatížení.

Vaznice podlahová

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
N-tah	0,77	169,40	0,01
N-tlak	0,32	67,47	0,01
M_y	1,68	2,28	0,74
V_z	2,91	62,39	0,05

	Průhyb MSP	Mezní průhyb	
u_z	3,40	8,77	OK

Vaznice podlahová vyhovuje návrhovému zatížení.

Podlahový profil boční

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
ohyb- dvousměrný	16,00; 0,84	18,41; 18,41	0,81
Smyk V_z	14,83	123,13	0,12

Podlahový profil vyhovuje návrhovému zatížení.

Podlahový profil čelní

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
ohyb- dvousměrný	4,00; 0,77	9,21; 5,69	0,29
Smyk V_z	5,11	92,35	0,06
Smyk V_y	1,34	46,18	0,03

Rohový sloupek

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
N-tlak	42,60	75,91	0,56
M_y	10,85	15,22	0,71
Ohyb+tlak	39,71 10,85 1,90	75,91 23,73 15,22	1,32
Smyk V_z	4,31	158,10	0,03
Smyk V_y	0,33	117,00	-

	Posun MSP	Mezní posun	
u - jednoho patra	34,9	9,3	3,75
u - celé kce.	64,3	16,7	3,85

Rohový sloupek nevyhovuje návrhovému zatížení, ani vodorovným deformacím.

Střešní profil boční

	Napětí od zatížení [MPa]	Mez kluzu oceli [MPa]	Využití [-]
Horní výztuha	606,1	355	1,71
Dolní výztuha	421,1	355	1,19

	Posun MSP	Mezní posun	
Svislý průhyb	128,6 [mm]	28,95 [mm]	4,44
Vodorovný průhyb	149,2 [mm]	28,95 [mm]	5,15

Střešní profil boční nevyhovuje návrhovému zatížení, ani deformacím.

Střešní profil čelní

	Napětí od zatížení [MPa]	Mez kluzu oceli [MPa]	Využití [-]
Horní výztuha	30,2	355	0,08
Dolní výztuha	143,2	355	0,40

	Posun MSP	Mezní posun	
Svislý průhyb	1,0 [mm]	10,67 [mm]	0,09
Vodorovný průhyb	5,1 [mm]	10,67 [mm]	0,48

Střešní profil čelní vyhovuje návrhovému zatížení i deformacím.

5 Optimalizace průřezů

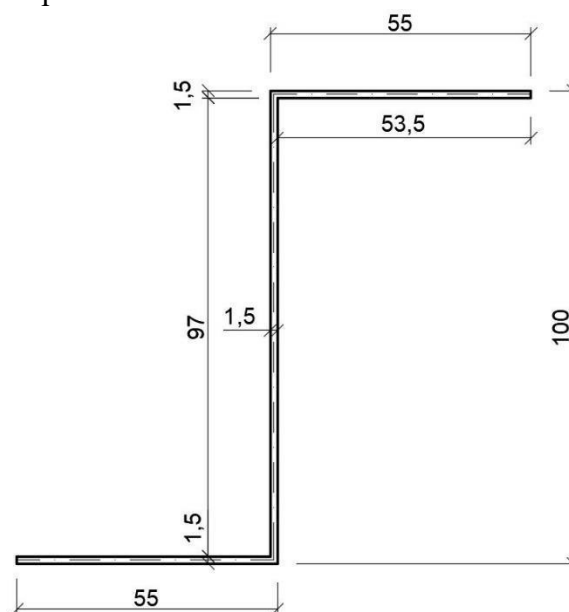
V optimalizaci průřezů se budeme snažit upravit geometrii nebo druh oceli jednotlivých profilů tak, aby co nejlépe vyhovovali návrhovému zatížení. Zároveň se u profilů budou dodržovat původní vnější rozměry tam, kde je to nutné.

5.1 Vaznice – střešní “Z” profil (optimalizace)

Vaznice je využita na 46 %. Posouzení na ohyb.

5.1.1 Optimalizace 1

V první optimalizaci se sníží tloušťka z 2 mm na 1,5 mm.



Obrázek 93- Snížení tloušťky na 1,5 mm

$$L = 2192 \text{ mm}; \quad A = 310,5 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 53,5 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{53,5}{1,5} = 35,67 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 4}$$

- stojina

$$c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{97}{1,5} = 64,67 \not\leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \quad \dots \quad \text{stojina třídy 4}$$

- **Vliv zaoblení**

$$\begin{aligned} r &= 1,5 \text{ mm} \\ t &= 1,5 \text{ mm} \\ b_t &= 53,59 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1. \quad r &\leq 5 \cdot t = 5 \cdot 1,5 \\ 1,5 &\leq 7,5 \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad r &\leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 53,59 \\ 1,5 &\leq 5,359 \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

... .. zaoblení lze zanedbat

- **Smykové ochabnutí – pásnice**

$$\begin{aligned} L_e &= 2192 \text{ mm} \\ b_0 &= 53,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2192}{50} = 43,84$$

53,5 $\not\leq$ 43,84 [mm] ... smykové ochabnutí nelze zanedbat

A_{sl} plocha
podélných výztuh

$$A_{sl} = 0$$

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = 1$$

$$\kappa = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e} = \frac{1 \cdot 53,5}{2192} = 0,024$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,024^2} = \underline{0,996}; \quad \text{pro } 0,02 < \kappa \leq 0,70$$

- **Účinky boulení – pásnice**

$$\begin{aligned} \bar{b} &= c = 53,5 \text{ mm} \\ t &= 1,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 0,43$... podle tab. 4.2

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{53,5}{1,5}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,915$$

–pro $\bar{\lambda}_p > 0,748$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,915 - 0,188}{1,915^2} = \underline{0,471}$$

- **Kombinace boulení a smykového ochabnutí**

ČSN EN 1993–1-5,
kap. 3

ČSN EN 1993–1-5,
kap. 4

ψ ... poměr napětí

tab. 4.2 - Přechňívající
tlačéné částí

rov. (4.3) -
Přechňívající tlačéné
částí

$$b_{eff} = \rho \cdot \beta \cdot b_0 = 0,471 \cdot 0,996 \cdot 53,5 = 25,098 \text{ mm}$$

- Účinky boulení – stojina (namáhána momentem)

$$\bar{b} = c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$b_t = 40,668 \text{ mm}$$

$$b_c = 56,332 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{40,668}{-56,332} = -0,722$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

– pro $-1 < \psi < 0$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$$

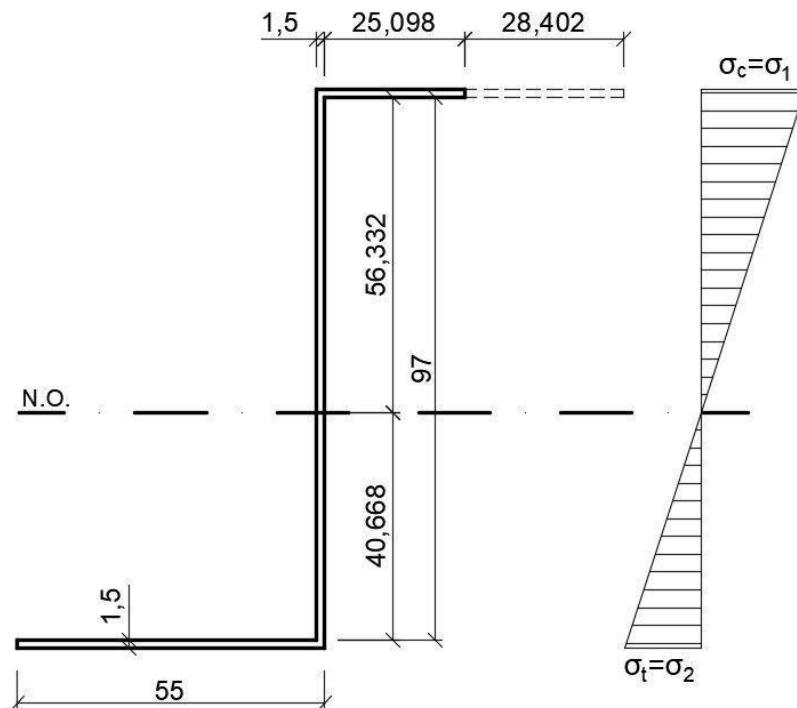
$$= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,722) + 9,78 \cdot (-0,722)^2 = 17,450$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97}{1,5}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{17,450}} = 0,545$$

– pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \rightarrow \rho = \underline{1,0}$

\rightarrow nedochází k boulení



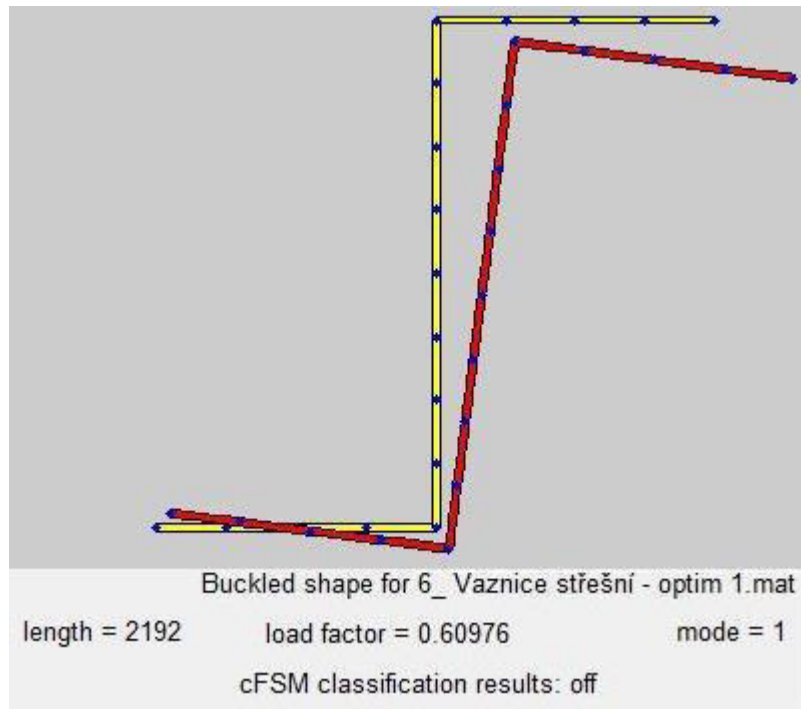
Obrázek 94- Účinný průřez optimalizace 1

$$A_{eff} = 267,897 \text{ mm}^2$$

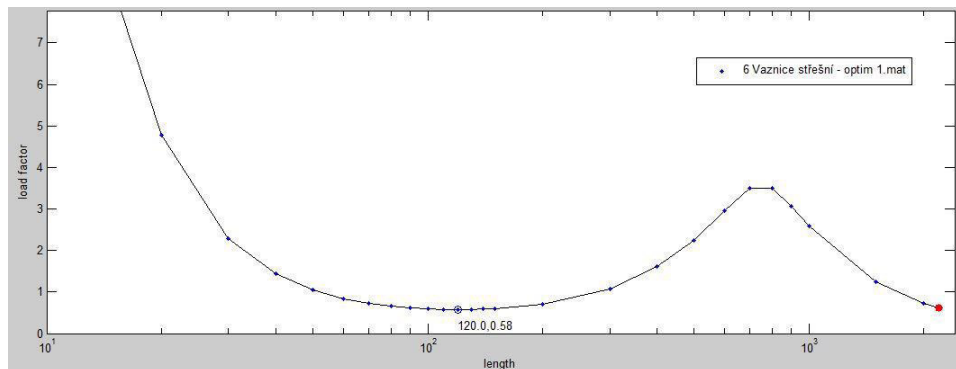
$$I_{eff} = 394555,34 \text{ mm}^4$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{394555,34}{57,835} = 6822,1 \text{ mm}^3$$

- Klopení (z CUFSM)



Obrázek 95- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 1



Obrázek 96- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 1

load factor = 0,610 [-]

napětí = 235 MPa

$$\sigma_{cr, glob} = 0,610 \cdot 235 = 143,3 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\sigma_{cr, glob} \cdot A}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 267,897}{143,3 \cdot 310,5}} = 1,190$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,190 - 0,2) + 1,190^2] = 1,584$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,584 + \sqrt{1,584^2 - 1,190^2}} = \underline{0,380}$$

- **Posouzení – MSÚ**

$$M_{y,Ed} = 0,51 \text{ kNm}$$

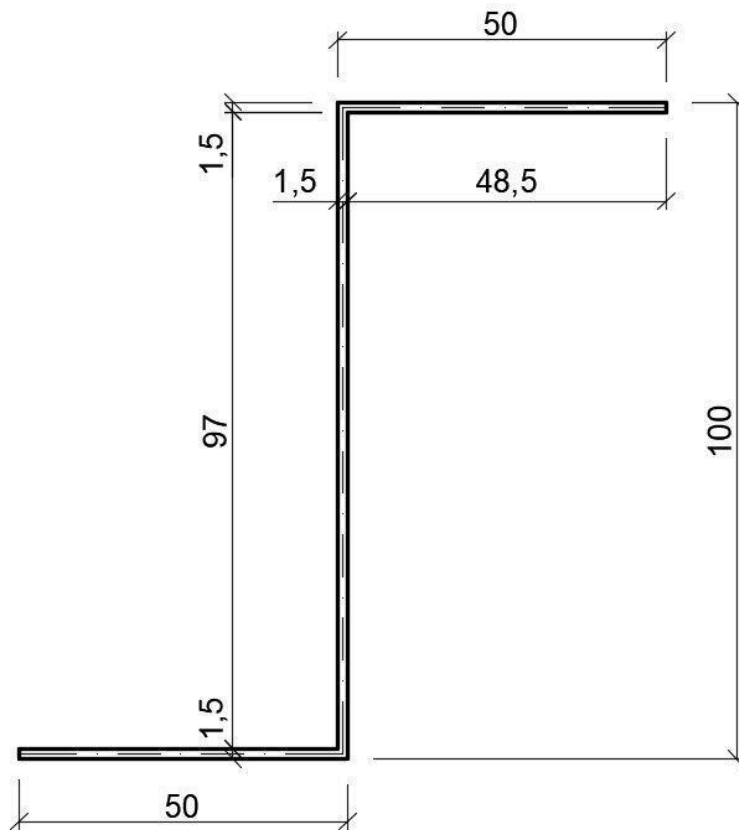
$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,380 \cdot 6822,1 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 0,609 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{y,Rd}$$

$$0,51 \leq 0,609 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE (83,7\%)}$$

5.1.2 Optimalizace 2

V první optimalizaci, kdy se zmenšila tloušťka na 1,5 mm bylo dosaženo vyššího využití únosnosti nosníku a to 83,7 %. Druhá optimalizace se pokusí zjistit, zda-li bude možné i zkrácení šířky pásnice na 50 mm při tloušťce 1,5 mm.



Obrázek 97- Zkrácení šířky pásnic na 50 mm, tloušťka 1,5 mm

$$L = 2192 \text{ mm}; \quad A = 310,5 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

ČSN EN 1993-1-5,
kap. 3

$$c = 48,5 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{48,5}{1,5} = 32,33 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 4}$$

- stojina

$$c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{97}{1,5} = 64,67 \not\leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \quad \dots \quad \text{stojina třídy 4}$$

• **Smykové ochabnutí – pásnice**

$$L_e = 2192 \text{ mm}$$

$$b_0 = 48,5 \text{ mm}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2192}{50} = 43,84$$

$48,5 < 43,84 \text{ [mm]}$... *smykové ochabnutí nelze zanedbat*

A_{sl} ... plocha
podélných výztuh

$$A_{sl} = 0$$

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = 1$$

$$\kappa = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e} = \frac{1 \cdot 53,5}{2192} = 0,024$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,024^2} = \underline{0,996}; \quad \text{pro } 0,02 < \kappa \leq 0,70$$

• **Účinky boulení – pásnice**

$$\bar{b} = c = 48,5 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 0,43$... *podle tab. 4.2*

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{48,5}{1,5}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,736$$

– *pro* $\bar{\lambda}_p > 0,748$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,736 - 0,188}{1,736^2} = \underline{0,514}$$

• **Kombinace boulení a smykového ochabnutí**

$$b_{eff} = \rho \cdot \beta \cdot b_0 = 0,514 \cdot 0,996 \cdot 48,5 = 24,829 \text{ mm}$$

ČSN EN 1993-1-5,
kap. 4

ψ ... poměr napětí

tab. 4.2 - Přechňívající
tlačéné částí

rov. (4.3) -
Přechňívající tlačéné
částí

• Účinky boulení – stojina (namáhána momentem)

$$\bar{b} = c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$b_t = 41,774 \text{ mm}$$

$$b_c = 55,226 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{41,774}{-55,226} = -0,756$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

$$- \text{pro } -1 < \psi < 0$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$$

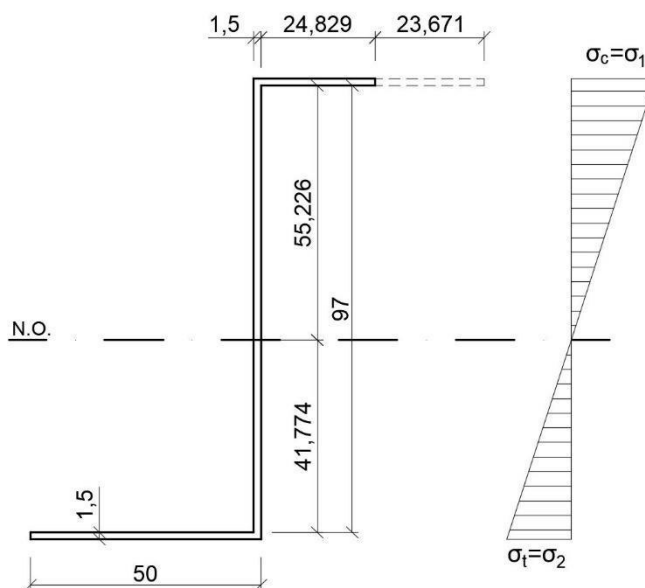
$$= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,756) + 9,78 \cdot (-0,756)^2 = 18,155$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97}{1,5}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{18,155}} = 0,534$$

$$- \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \rightarrow \quad \rho = \underline{1,0}$$

\rightarrow nedochází k boulení



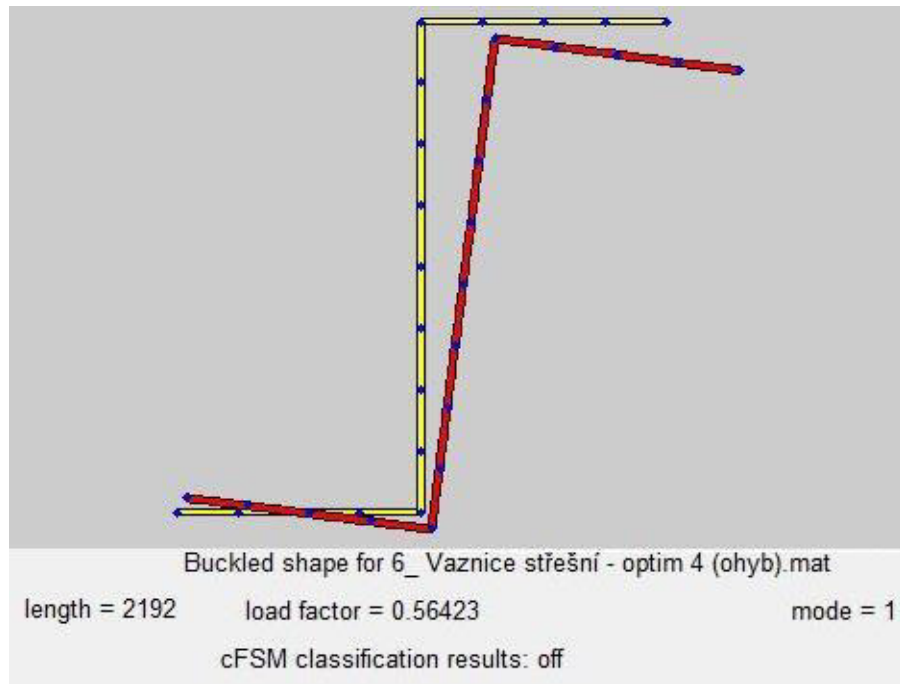
Obrázek 98- Účinný průřez – optimalizace 2

$$A_{eff} = 259,993 \text{ mm}^2$$

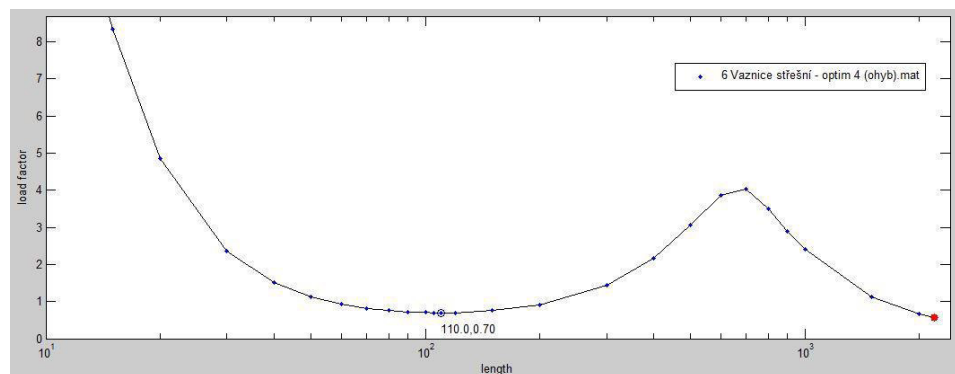
$$I_{eff} = 380055,152 \text{ mm}^4$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{380055,152}{56,726} = 6699,84 \text{ mm}^3$$

- Klopení (z CUFSM)



Obrázek 99- Tvar klopení průřezu – optimalizace 2



Obrázek 100- Křivka kritického napětí – optimalizace 2

load factor = 0,564 [-]

napětí = 235 MPa

$$\sigma_{cr, glob} = 0,564 \cdot 235 = 132,6 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\sigma_{cr, glob} \cdot A}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 259,993}{132,6 \cdot 295,5}} = 1,249$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,249 - 0,2) + 1,249^2] = 1,678$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,678 + \sqrt{1,678^2 - 1,249^2}} = \underline{0,357}$$

průhyb vypočten
v programu Scia
Engineer

- **Posouzení – MSÚ**

$$M_{y,Ed} = 0,51 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,357 \cdot 6699,84 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 0,562 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{y,Rd}$$

$$\underline{0,510 \leq 0,562 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE (90,7\%)}$$

- **Posouzení – MSP**

$$u_{z,max} = 5,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{2192}{250} = 8,77 \text{ mm}$$

$$u_{z,max} \leq \delta_{lim}$$

$$\underline{5,3 \leq 8,77 \text{ [mm]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

5.1.3 Vyhodnocení optimalizace

Bylo zjištěno, že ztenčení profilu na 1,5 mm je možné. Poté průřez vyhovuje na 83,7 %.

U optimalizace 2 byla zkrácena šířka na 50 mm při zachování tloušťky 1,5 mm z předchozí optimalizace. Zde vychází využití 90,7 %.

Když se porovná efektivní šířka pásnice u optimalizace 1 a 2, tak jejich rozdíl je pouze 0,269 mm. To znamená, že zkracování pásnice se jeví jako efektivní optimalizace, nicméně problém je klopení celého průřezu, které při dalším zkrácení sníží jeho únosnost.

Tloušťka průřezu 1,5 mm a šířka pásnice 50 mm je konečná optimalizace.

5.2 Vaznice – podlahový “Z” profil (optimalizace)

Vaznice je využita na 73,7 %. Posouzení na ohyb.

5.2.1 Optimalizace 1

Změna třídy oceli na S235 u stojiny a pásnice. Posouzení na ohyb u horních vláken.

- kladný ohybový moment (horní vlákna):

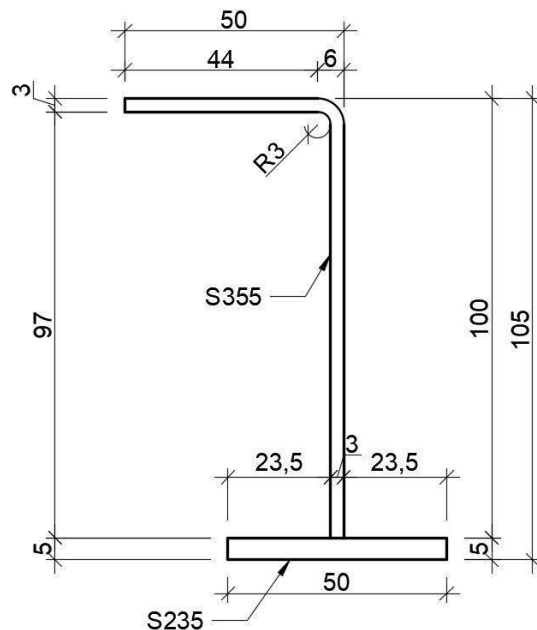
$$M_{b,Rd} = \frac{0,376 \cdot 1126210,472 \cdot 235}{61,307 \cdot 1,0} \cdot 10^{-6} = 1,62 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,h,Rd}$$

$$1,68 \not\leq 1,62 \text{ [kN]} \dots \text{NEVYHOVUJE}$$

5.2.2 Optimalizace 2

Zkrácení pásnice na 50 mm.



Obrázek 101- Zkrácení pásnice o 10 mm

$$L = 2193 \text{ mm}; \quad A = 691 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}; \quad f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 44 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{44}{3} = 14,67 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11,4 \dots \text{pásnice třídy 4}$$

ČSN EN 1993-1-5,
kap. 3

• **Vliv zaoblení**

$$r = 3 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$b_t = 47,18 \text{ mm}$$

$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 3$$

$$3 \leq 15 \text{ [mm]}$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 47,18$$

$$3 \leq 4,718 \text{ [mm]}$$

... .. zaoblení lze zanedbat

• **Smykové ochabnutí – pásnice**

$$L_e = 2193 \text{ mm}$$

$$b_0 = 47 \text{ mm}$$

$$b_0 < \frac{L_e}{50} = \frac{2193}{50} = 43,86 \text{ mm}$$

47 \nless 43,86 [mm] ... smykové ochabnutí nelze zanedbat

A_{sl} plocha
podélných výztuh

$$A_{sl} = 0$$

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 \cdot t}} = 1$$

$$\kappa = \frac{\alpha_0 \cdot b_0}{L_e} = \frac{1 \cdot 47}{2193} = 0,021$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,021^2} = \underline{0,997}; \quad \text{pro } 0,02 < \kappa \leq 0,70$$

• **Účinky boulení – pásnice**

ČSN EN 1993-1-5,
kap. 4

$$\bar{b} = c = 47 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

tab. 4.2 - Přechňívající
tlačené části

$\rightarrow k_\sigma = 0,43$... podle tab. 4.2

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{47}{3}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,034$$

–pro $\bar{\lambda}_p > 0,748$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,034 - 0,188}{1,034^2} = \underline{0,791}$$

rov. (4.3) -
Přechňívající tlačené
části

• **Kombinace boulení a smykového ochabnutí**

$$b_{eff} = \rho \cdot \beta \cdot b_0 = 0,791 \cdot 0,997 \cdot 47 = 37,080 \text{ mm}$$

• Účinky boulení – stojina (namáhána momentem)

$$\bar{b} = c = 97 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$b_t = 38,31 \text{ mm}$$

$$b_c = 58,69 \text{ mm}$$

ψ ... poměr napětí

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{38,31}{-58,69} = -0,653$$

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

– pro $-1 < \psi < 0$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$$

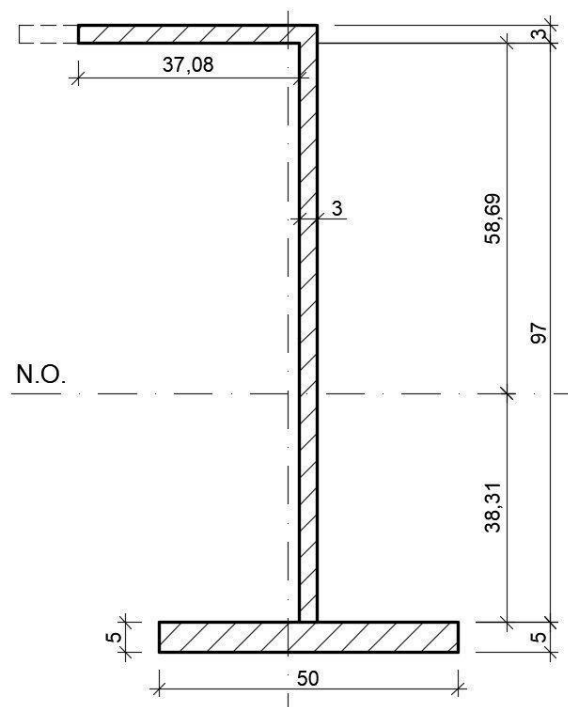
$$= 7,81 - 6,29 \cdot (-0,653) + 9,78 \cdot (-0,653)^2 = 16,088$$

rov. (4.2) - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97}{3}}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{17,450}} = 0,545$$

– pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \rightarrow \rho = \underline{1,0}$

\rightarrow nedochází k boulení



Obrázek 102- Účinný průřez

$$A_{eff} = 661,24 \text{ mm}^2$$

$$I_{eff} = 1110969,406 \text{ mm}^4$$

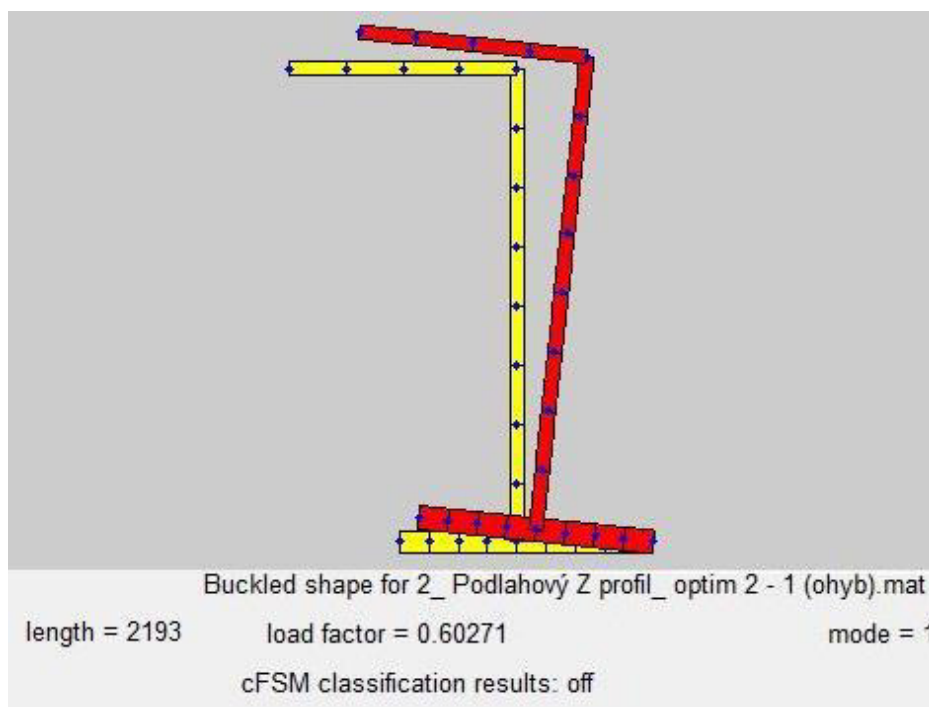
$$e_h = 61,69 \text{ mm}$$

$$W_{eff,h} = \frac{I_{eff}}{e_h} = \frac{1110969,406}{61,69} = 18008,9 \text{ mm}^3$$

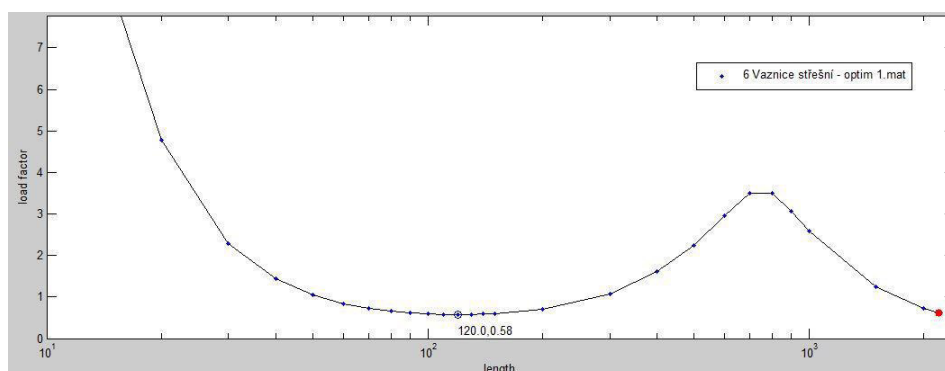
$$e_d = 43,31 \text{ mm}$$

$$W_{eff,d} = \frac{I_{eff}}{e_d} = \frac{1110969,406}{43,31} = 26257,85 \text{ mm}^3$$

- Klopení (z CUFSM)



Obrázek 103- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 2



Obrázek 104- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 2

load factor = 0,603 [-]

napětí = 355 MPa

$$\sigma_{cr, glob} = 0,603 \cdot 355 = 214,065 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\sigma_{cr, glob} \cdot A}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 661,24}{214,065 \cdot 691}} = 1,260$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,260 - 0,2) + 1,260^2] = 1,696$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,696 + \sqrt{1,696^2 - 1,260^2}} = \underline{0,353}$$

- **Posouzení – MSÚ**

- kladný ohybový moment (horní vlákna):

$$M_{y,Ed} = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,h,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,353 \cdot 18008,9 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,257 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,h,Rd}$$

$$1,68 \leq 2,257 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE (74,4\%)}$$

- kladný ohybový moment (dolní vlákna):

$$M_{b,Rd} = \frac{0,376 \cdot 26257,85 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,178 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,d,Rd}$$

$$1,68 \leq 2,178 \text{ [kN]} \dots \text{VYHOVUJE (77,1\%)}$$

ČSN EN 1993-1-5

(kap. 5)

$$\varepsilon=1$$

$$\eta=1,2$$

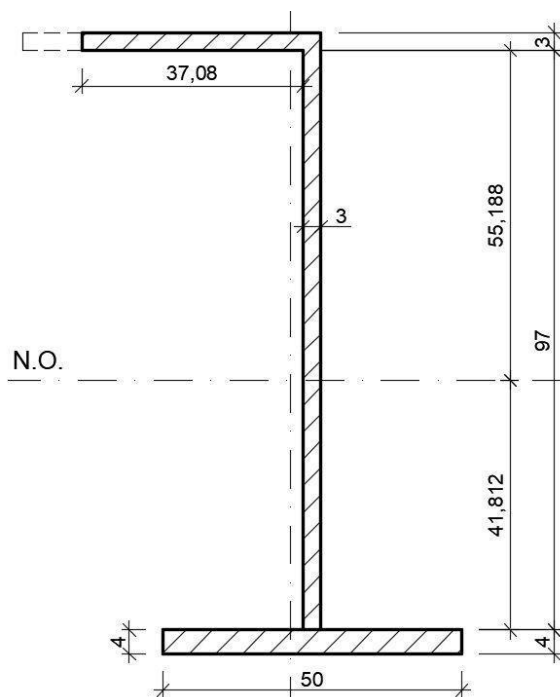
ČSN EN 1993-1-3

(kap. 6.1.5)

$s_w=97 \text{ mm}$... výška stojiny mezi středy rohů

5.2.3 Optimalizace 3

V této optimalizaci se navíc sníží tloušťka spodní pásnice na 4 mm. Zde boulení horní pásnice a stojiny bude stejné jako v optimalizaci 2.



Obrázek 105- Účinný průřez

$$A = 641 \text{ mm}^2; \quad A_{eff} = 611,24 \text{ mm}^2$$

$$I_{eff} = 1011834,373 \text{ mm}^4$$

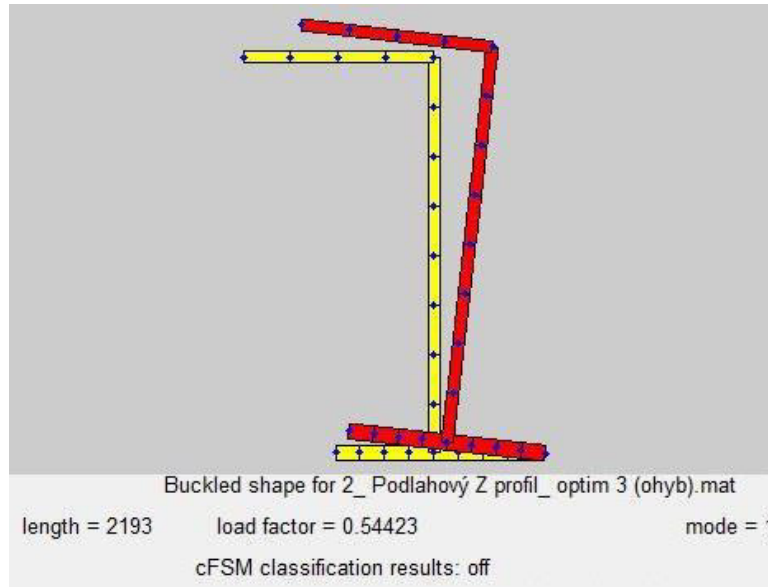
$e_h=58,188 \text{ mm}$

$e_d=45,812 \text{ mm}$

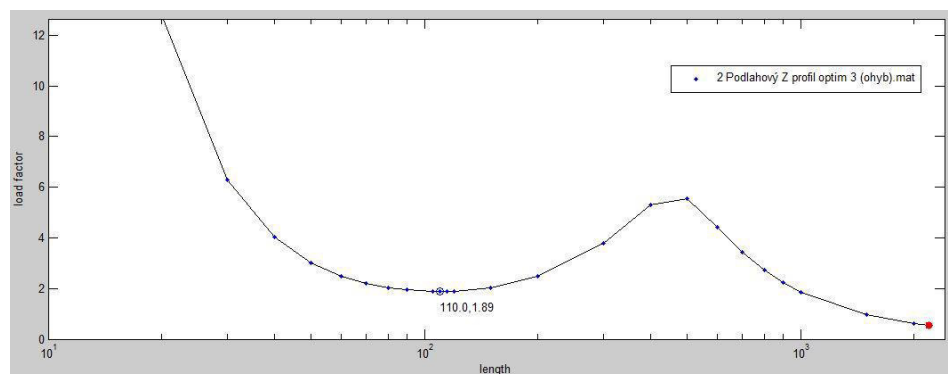
$$W_{eff,h} = \frac{I_{eff}}{e_h} = \frac{1011834,373}{58,188} = 17389,056 \text{ mm}^3$$

$$W_{eff,d} = \frac{I_{eff}}{e_d} = \frac{1011834,373}{45,812} = 22086,667 \text{ mm}^3$$

- **Klopení (z CUFSM)**



Obrázek 106- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 3



Obrázek 107- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 3

load factor = 0,544 [-]

napětí = 355 MPa

$$\sigma_{cr, glob} = 0,544 \cdot 355 = 193,202 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{eff}}{\sigma_{cr, glob} \cdot A}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 611,24}{193,202 \cdot 641}} = 1,324$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,324 - 0,2) + 1,324^2] = 1,803$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,803 + \sqrt{1,803^2 - 1,324^2}} = \underline{0,330}$$

- **Posouzení – MSÚ**

- kladný ohybový moment (horní vlákna):

$$M_{y,Ed} = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,353 \cdot 17389,056 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,037 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,h,Rd}$$

$$\underline{1,68 \leq 2,037 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE (82,5 \%)}$$

- kladný ohybový moment (dolní vlákna):

$$M_{b,Rd} = \frac{0,376 \cdot 22086,667 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 1,713 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,d,Rd}$$

$$\underline{1,68 \leq 1,713 \text{ [kN]}} \dots \text{ VYHOVUJE (98,1\%)}$$

- **Posouzení – MSP**

$$u_{z,max} = 3,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{2193}{250} = 8,77 \text{ mm}$$

$$u_{z,max} \leq \delta_{lim}$$

$$\underline{3,6 \leq 8,77 \text{ [mm]}} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

průhyb vypočten
v programu Scia
Engineer

5.2.4 Vyhodnocení optimalizace

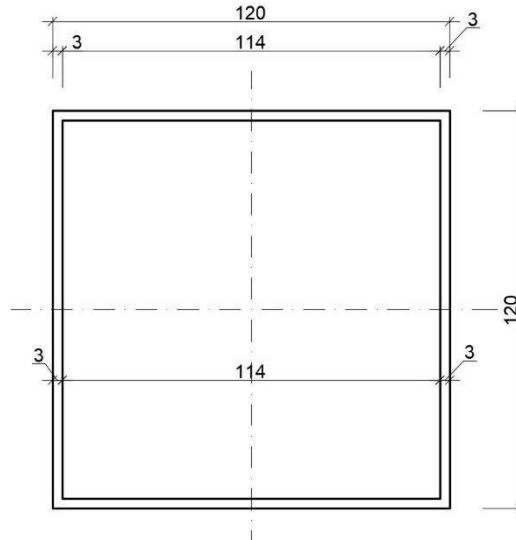
Optimalizace 3 těsně vyhovuje s využitím 98,1 %. Výsledný profil má tedy šířku horní výztuhy 50 mm a tloušťku dolní pásnice 4 mm.

5.3 Podlahový profil boční

Podlahový profil boční je využit na 81 %. Posouzení na obousměrný ohyb.

5.3.1 Optimalizace 1

Snížena tloušťka na 3 mm.



Obrázek 108 - Podlahový profil boční

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice, stojina

$$c = 114 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{114}{3} = 38 \leq 38 \cdot \varepsilon = 38 \cdot 1 = 38 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 2}$$

- zjištěno pomocí:

AutoCad

Scia Engineer

- **Průřezové charakteristiky**

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 60240 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{60240 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 14,16 \text{ kNm}$$

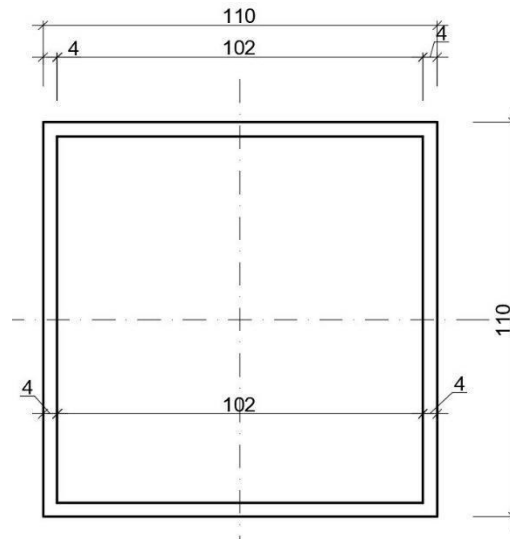
$$M_{Ed} = 16,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$16,00 \not\leq 14,16 \quad \dots \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

5.3.2 Optimalizace 2

Snížena výška a šířka na 110 mm. Tloušťka 4 mm.



Obrázek 109 - Podlahový profil boční

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice, stojina

$$c = 112 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{112}{4} = 28 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \dots \quad \text{pásnice třídy 1}$$

- zjištěno pomocí:

AutoCad

Scia Engineer

- **Průřezové charakteristiky**

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 65210 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{65210 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 15,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 16,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$16,00 \not\leq 15,32 \quad \dots \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

5.3.3 Vyhodnocení optimalizace

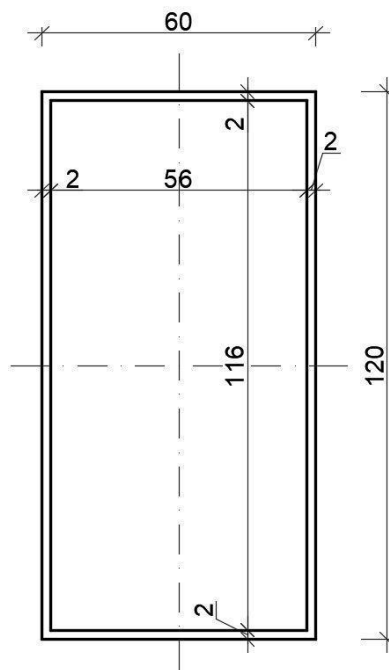
Obě optimalizace nevyhovují. Navrhuji ponechat průřez nezměněný.

5.4 Podlahový profil čelní

Podlahový profil čelní je využit na 29 %. Posouzení na obousměrný ohyb.

5.4.1 Optimalizace 1

Snížena tloušťka na 2 mm.



Obrázek 110 - Podlahový profil čelní

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 56 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{56}{2} = 28 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \dots \text{ pásnice třídy 1}$$

- stojina

$$c = 116 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{116}{2} = 58 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \quad \dots \text{ pásnice třídy 1}$$

- **Vliv zaoblení**

$$r = 2 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$b_t = 56,24 \text{ mm}$$

$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 2$$

$$2 \leq 10 \quad [\text{mm}]$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 56,24$$

$$2 \leq 5,624 \quad [\text{mm}]$$

... .. zaoblení lze zanedbat

- zjištěno pomocí:

AutoCad

Scia Engineer

- **Průřezové charakteristiky**

$$A = 704 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 27616 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 17056 \text{ mm}^3$$

- **Posouzení – MSÚ**

-ohyb:

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

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{27616 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 6,49 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17056 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 4,00 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} = 6,49 \cdot \frac{1-0}{1-0,5 \cdot 0,295} = 9,21 \cdot 1,17 = 10,78 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{0}{426,5} = 0$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{704 - 2 \cdot 120 \cdot 2}{704} = 0,318$$

, $M_{N,y,Rd}$ je větší, proto se nechá hodnoty původní $M_{pl,y,Rd}$

$$\rightarrow M_{N,y,Rd} = 6,49 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow M_{N,z,Rd} = 4,00 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0^2} = 1,66$$

$$\left[\frac{4,00}{6,49} \right]^{1,66} + \left[\frac{0,77}{4,00} \right]^{1,66} \leq 1,0$$

$$[0,67]^{1,66} + [0,19]^{1,66} \leq 1,0$$

$$0,45 + 0,06 \leq 1,0 \quad \dots \quad \underline{0,51 \leq 1,0} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE (51 \%)}$$

5.4.2 Vyhodnocení optimalizace

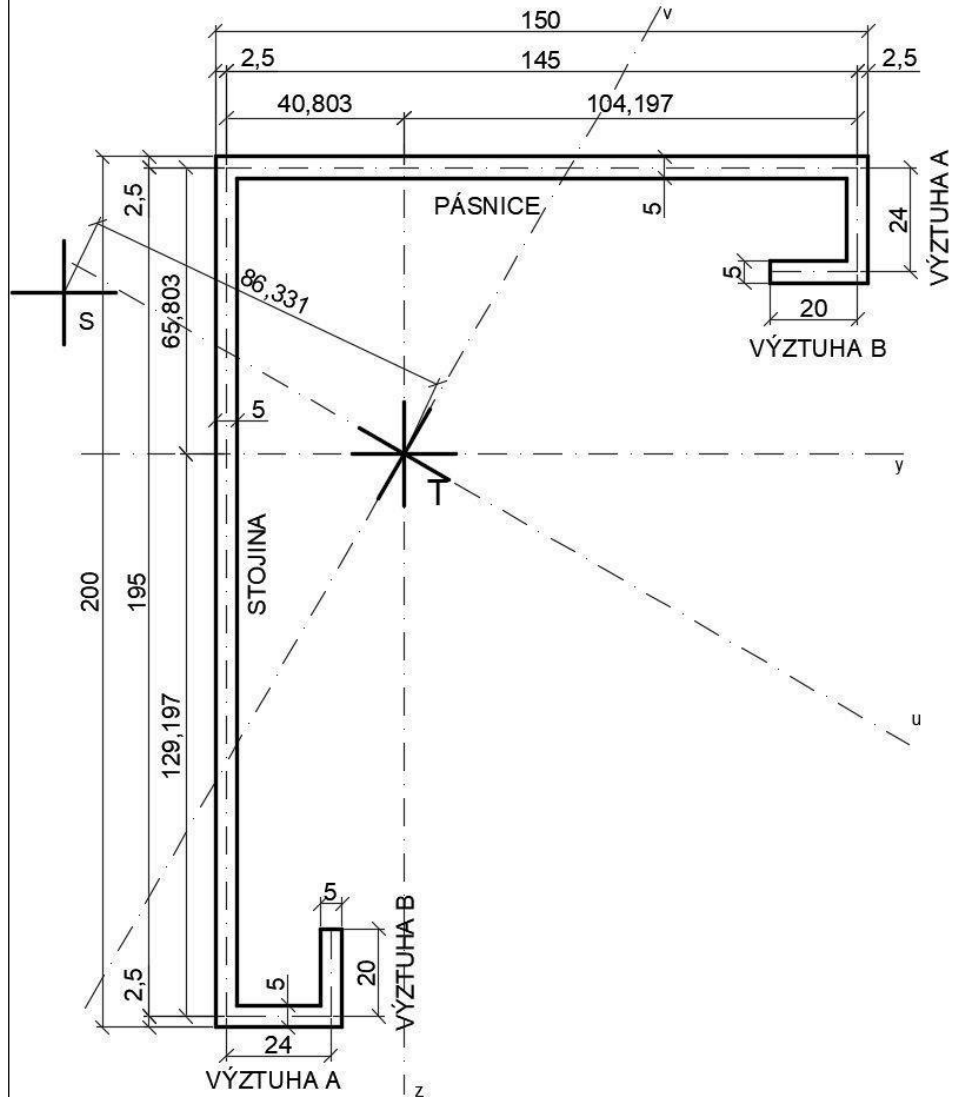
Optimalizace vyhovuje. Navrhuji ovšem ponechat průřez nezměněný, nebo ztenčit průřez maximálně na 2 mm, z důvodů co největšího zachování původní tuhosti ve styčnicku.

5.5 Rohový sloupek

Rohový sloupek nevyhovuje v kombinaci ohybu a tlaku na 132 %.

5.5.1 Optimalizace 1

Zvýšení tloušťky stěny na 5 mm.



Obrázek 111 - Rohový sloupek – optimalizace 1

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$I_t = 17477 \text{ mm}^4$$

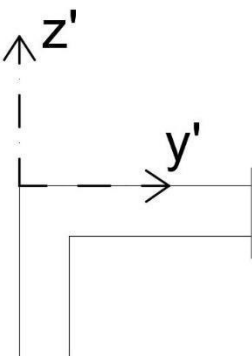
$$I_w = 3,783 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$L = 2790 \text{ mm}; \quad A = 2140 \text{ mm}$$

$$\text{– těžiště: } y = 43,303 \text{ mm}; \quad z = -68,303 \text{ mm}$$

– hlavní osy:

$$\alpha = -29,92^\circ$$



$$I_u = 1,3758 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_v = 3,3778 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_u = \sqrt{\frac{I_u}{A}} = \sqrt{\frac{1,3758 \cdot 10^7}{2140}} = 80,18 \text{ mm}$$

$$i_v = \sqrt{\frac{I_v}{A}} = \sqrt{\frac{3,3778 \cdot 10^6}{2140}} = 39,73 \text{ mm}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 140 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{140}{5} = 28 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ pásnice třídy 4}$$

- stojina

$$c = 190 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{190}{5} = 38 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ stojina třídy 4}$$

- **Vliv zaoblení**

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$b_t = 140,6 \text{ mm}$$

$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 5$$

$$5 \leq 25 \quad [\text{mm}]$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 140,6$$

$$5 \leq 14,06 \quad [\text{mm}]$$

... .. zaoblení lze zanedbat

Účinný průřez při tlaku

ČSN EN 1993-1-5,

kap. 4

- Účinky boulení – výztuha **B**

$$\bar{b} = b_{p,b} = 20 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.2 - Přechýlající
tlačené části

$$\rightarrow k_\sigma = 0,43 \text{ ... podle tab. 4.2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{20}{5}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,264$$

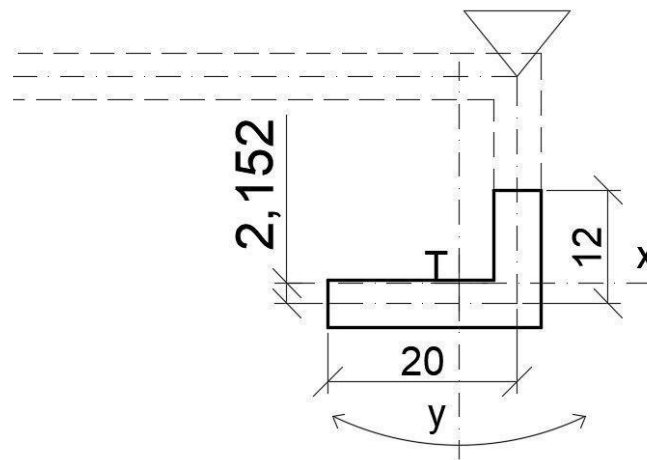
$$\text{--pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \text{ ... } \rho = 1,0 \text{ ... výztuha B nebouli}$$

ČSN EN 1993-1-3,

(kap. 5.5)

- Distorzní vyboulení – výztuha **B**

Účinná část průřezu pro distorzní vybočení je celá výztuha **B** a polovina výztuhy **A**.

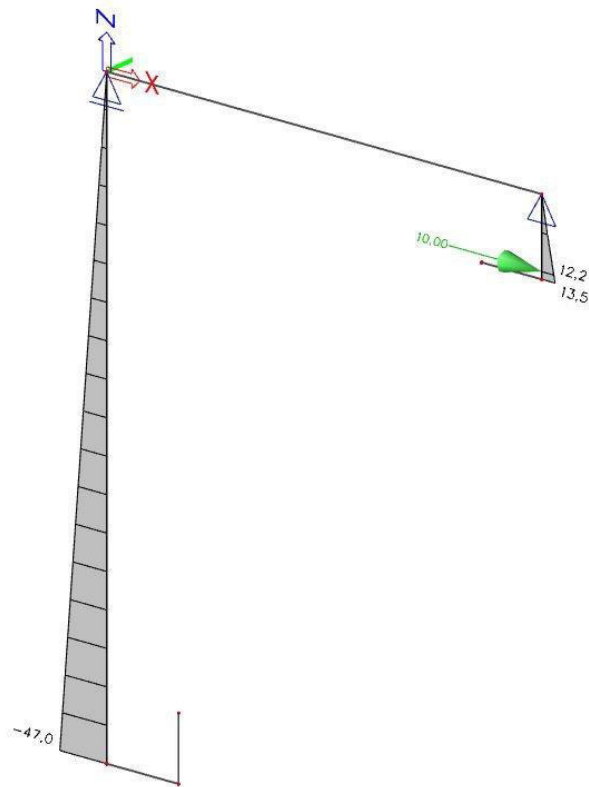


Obrázek 112- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy

$$A_s = 160 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,y} = 7402,120 \text{ mm}^4$$

Průřez:
10x5 mm



Obrázek 113 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 12,2 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{12,2} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 81,967 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{81,967 \cdot 210000 \cdot 7402,120}}{160}$$

$$= 4461,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{4461,88}} = 0,282$$

–pro $\bar{\lambda}_p < 0,65$... $\chi_d = 1$... *nedochází k vyboulení*

• **Účinky boulení – výztuha A**

$$\bar{b} = b_{p,a} = 24 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... *podle tab. 4.1*

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{24}{5}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,104$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... *výztuha A nebouli*

- **Účinky boulení – pásnice**

$$\bar{b} = b_p = 140 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... *podle tab. 4.1*

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{140}{5}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,606$$

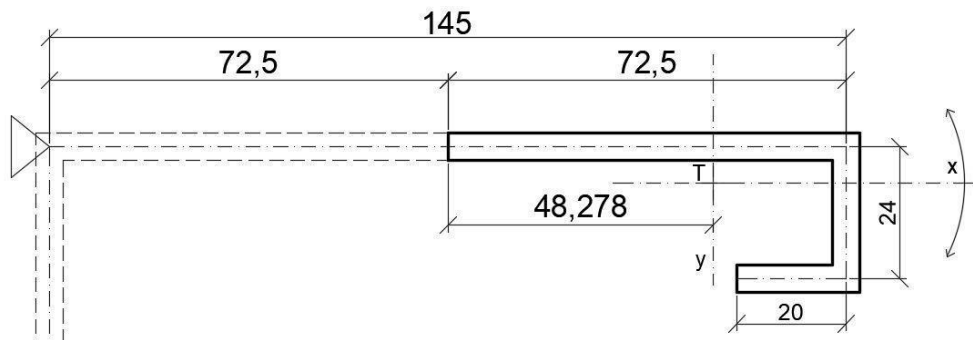
–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... *pásnice nebouli*

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 1 \cdot 140 = 140 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 140 = 70 \text{ mm}$$

- **Distorzní vyboulení – pásnice**

Výpočet pérové tuhosti výztuhy K .



Obrázek 114 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

$$A_s = 582,5 \text{ mm}^2$$

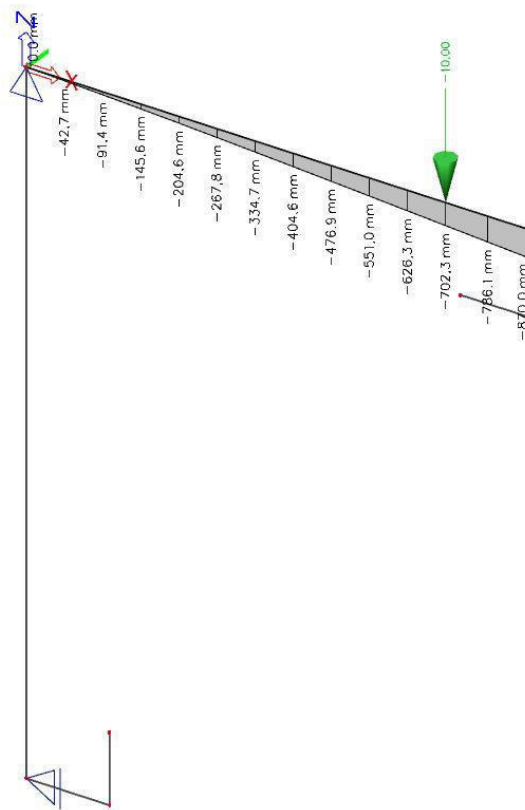
$$I_{s,x} = 57039,2069 \text{ mm}^4$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

ČSN EN 1993-1-3,
(kap. 5.5)

Průřez:
10x5 mm



Obrázek 115 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 702,3 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{702,3} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 1,4239 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{1,4239 \cdot 210000 \cdot 57039,2069}}{582,5}$$

$$= 448,4036 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{448,4036}} = 0,890$$

$$\text{--pro } 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,890 = 0,827$$

- Redukovaná účinná plocha a šířka– pásnice

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,827 \cdot 582,5 = 481,549 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 4 \cdot \frac{481,549}{582,5} = \underline{\underline{4,133 \text{ mm}}}$$

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = b_p = 190 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

→ $k_\sigma = 4,0$... podle tab. 4.1

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{190}{5}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,822$$

–pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$

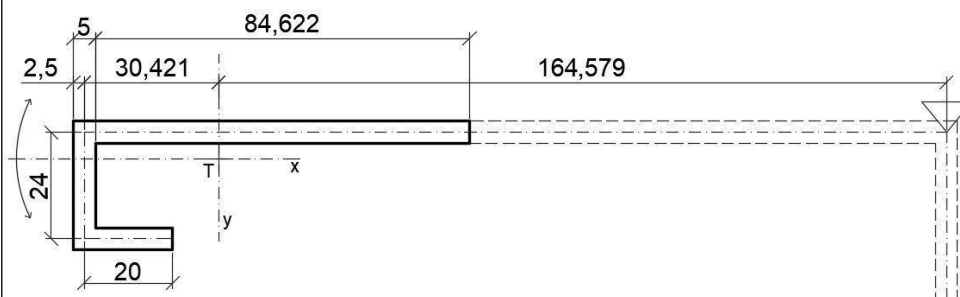
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,822 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,822^2} = 0,891$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,891 \cdot 190 = 169,245 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 169,245 = 84,622 \text{ mm}$$

ČSN EN 1993–1-3,
(kap. 5.5)

- Distorzní vyboulení – stojina

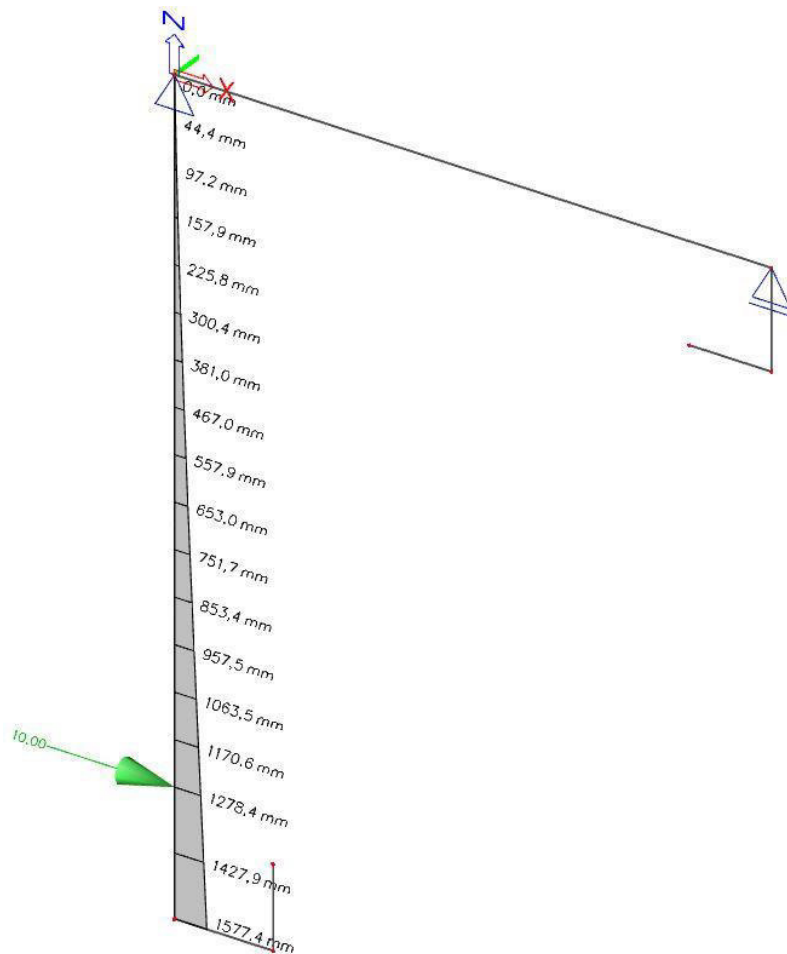


Obrázek 116 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

$$A_s = 655,61 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,x} = 60014,434 \text{ mm}^4$$

Průřez:
10x5 mm



Obrázek 117 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 1278,4 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{1278,4} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 0,782 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,782 \cdot 210000 \cdot 60014,434}}{655,61} = 302,893 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{302,893}} = 1,083$$

$$\text{--pro } 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

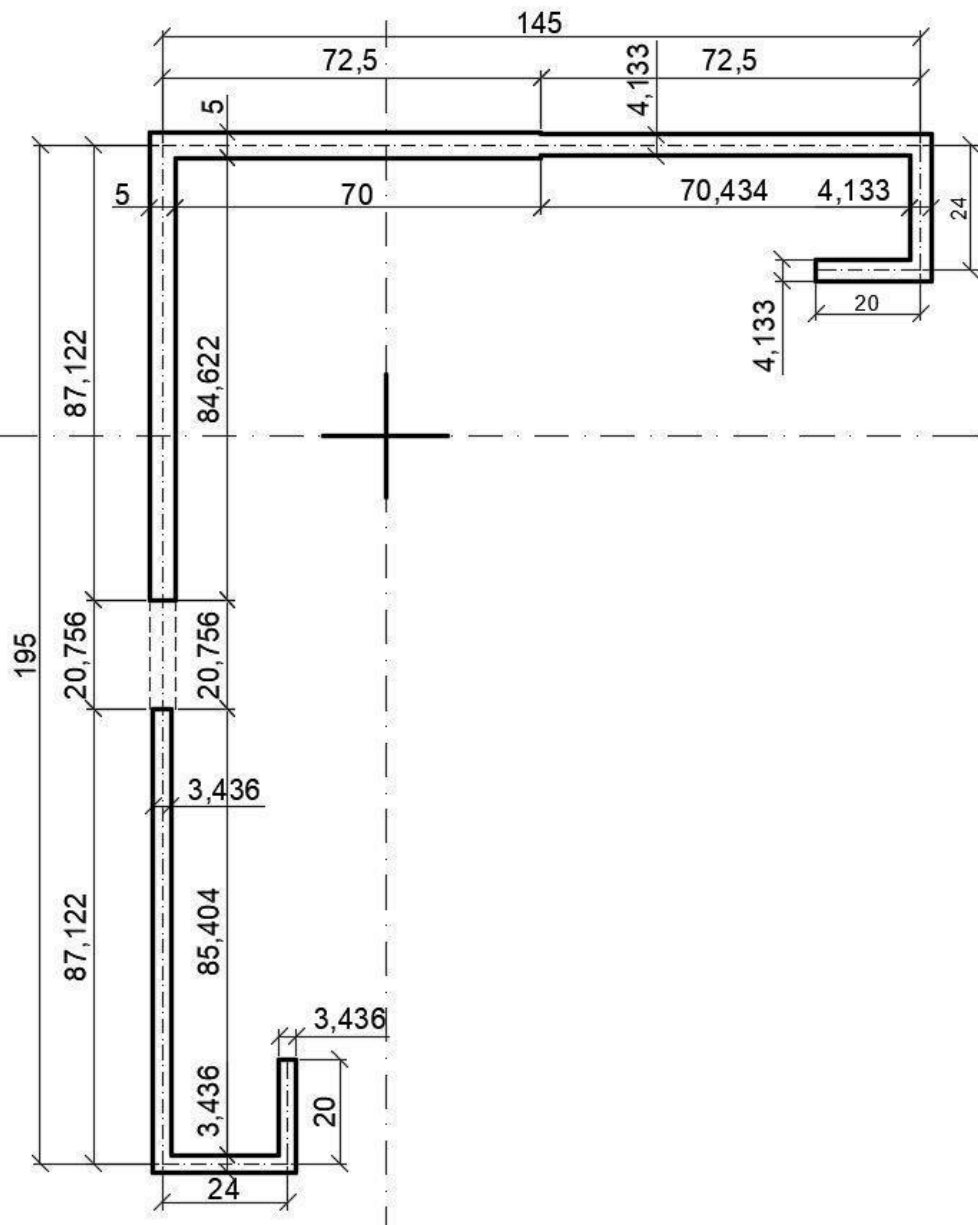
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 1,083 = 0,687$$

- **Redukovaná účinná plocha a šířka– stojina**

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,687 \cdot 655,61 = 450,586 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 4 \cdot \frac{450,586}{655,61} = \underline{\underline{3,436 \text{ mm}}}$$

- Účinný průřez při tlaku



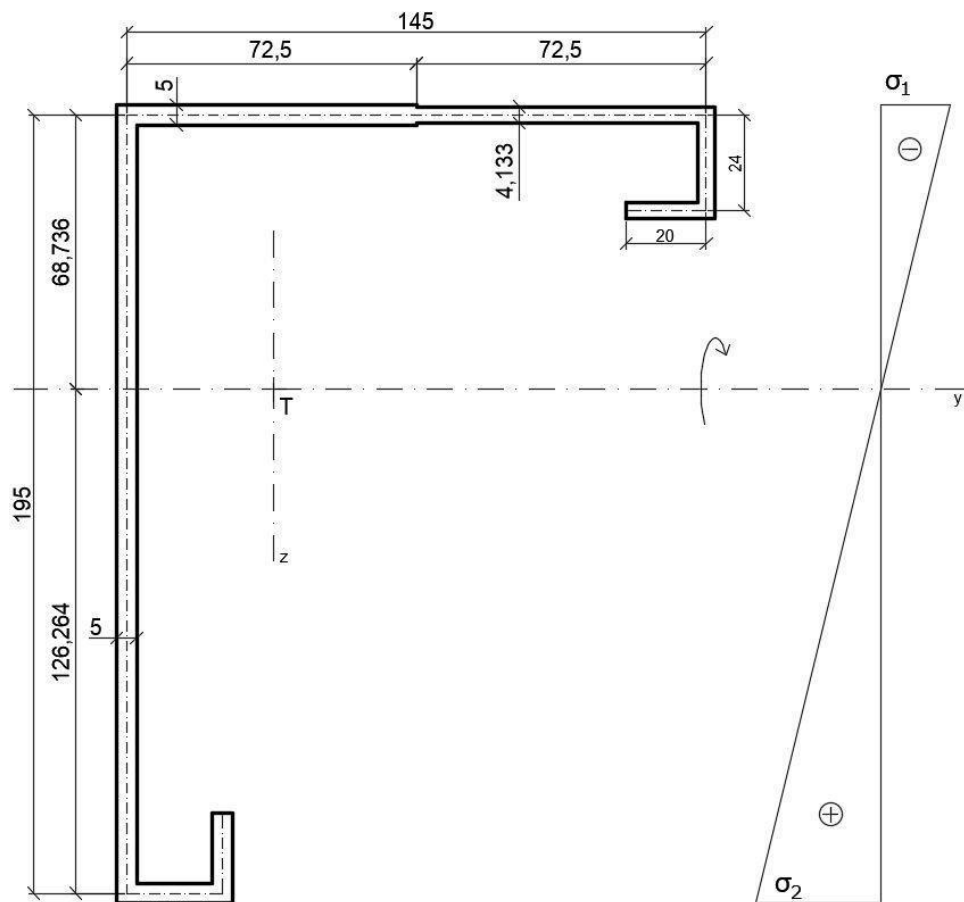
Obrázek 118 - Účinný průřez při tlaku

$$A_{eff} = 1730,1397 \text{ mm}^2$$

Účinný průřez při kladném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.2), takže se zvýšením tloušťky na 5 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 119 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y

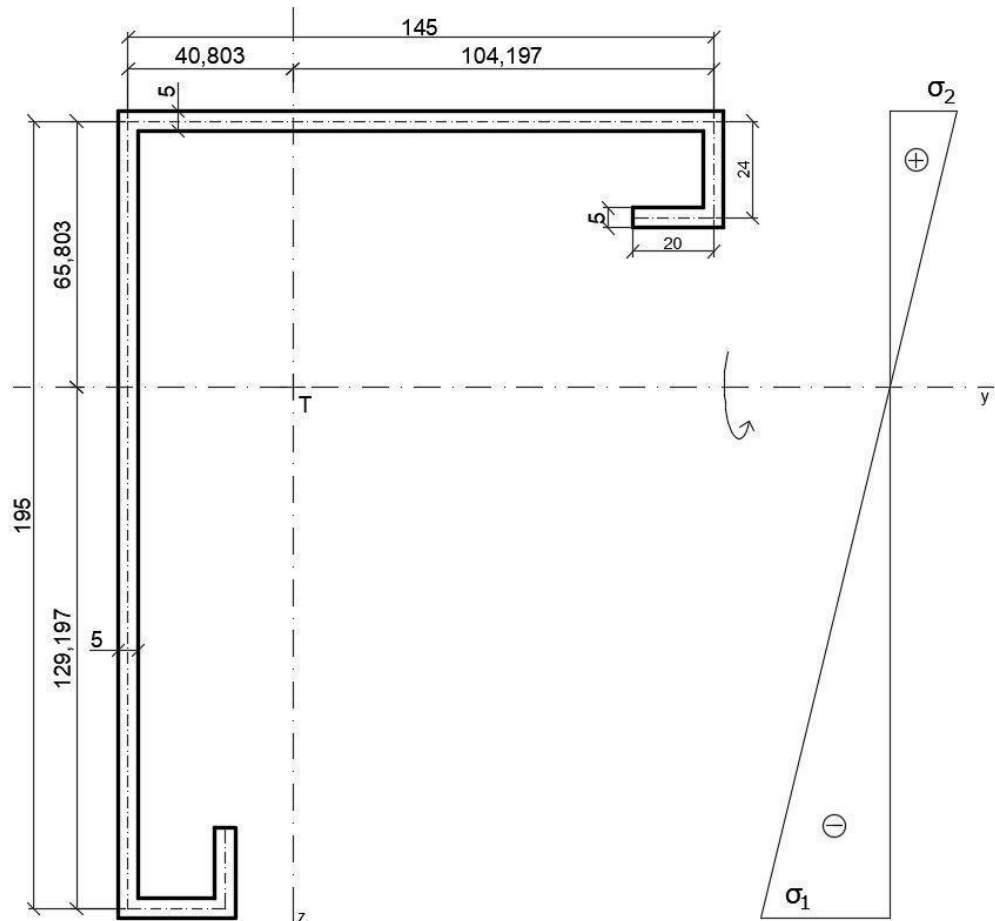
$$I_{y,eff}^+ = 10794273,4078 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^+ = \frac{I_{y,eff}^+}{e_y} = \frac{10794273,4078}{128,764} = 83829,90 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při záporném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.3), takže se zvýšením tloušťky na 5 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 120 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y

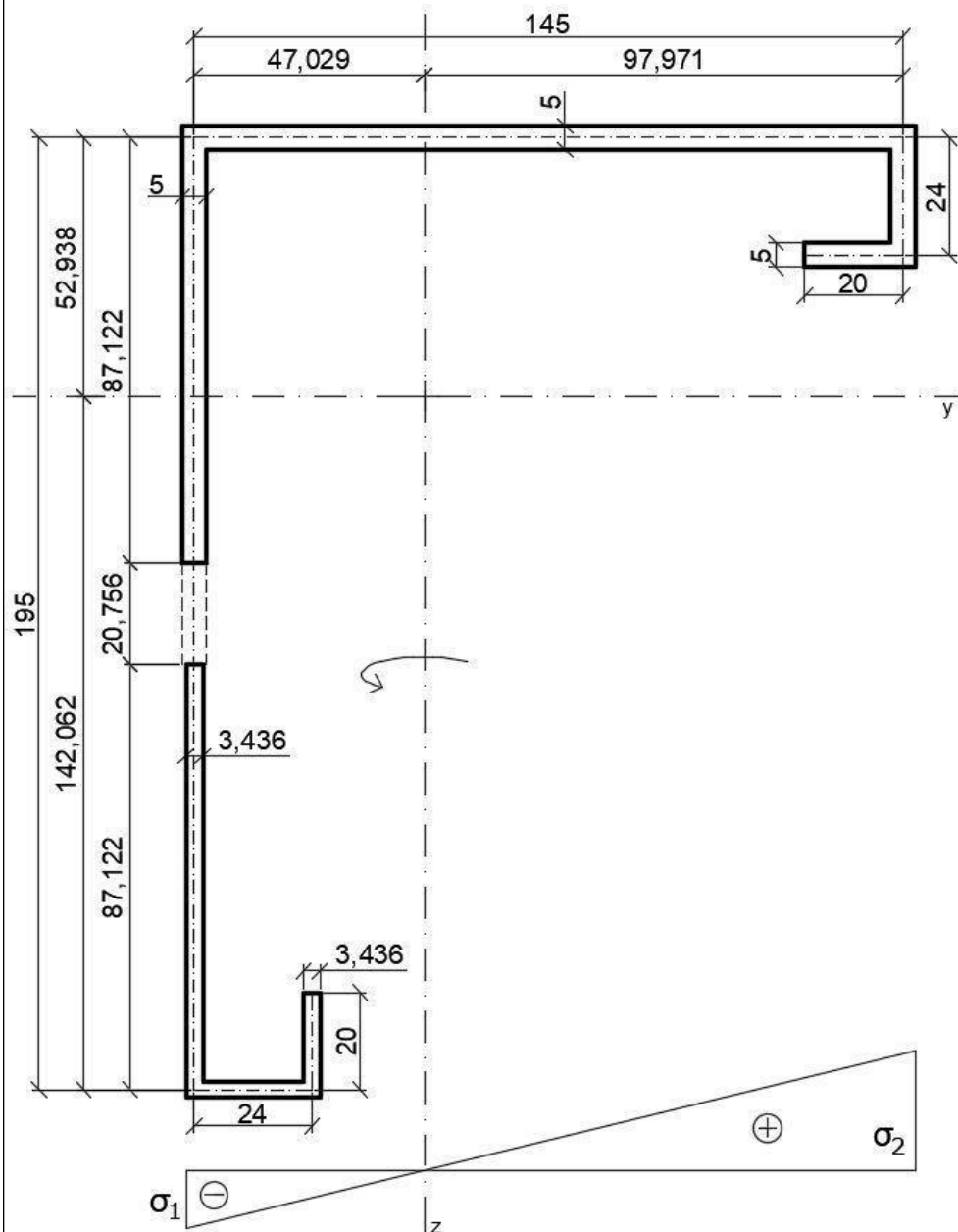
$$I_{y,eff}^- = 11176268,9158 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^- = \frac{I_{y,eff}^-}{e_y} = \frac{11176268,9158}{131,697} = 84863,50 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při kladném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.4), takže se zvýšením tloušťky na 5 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 121 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z

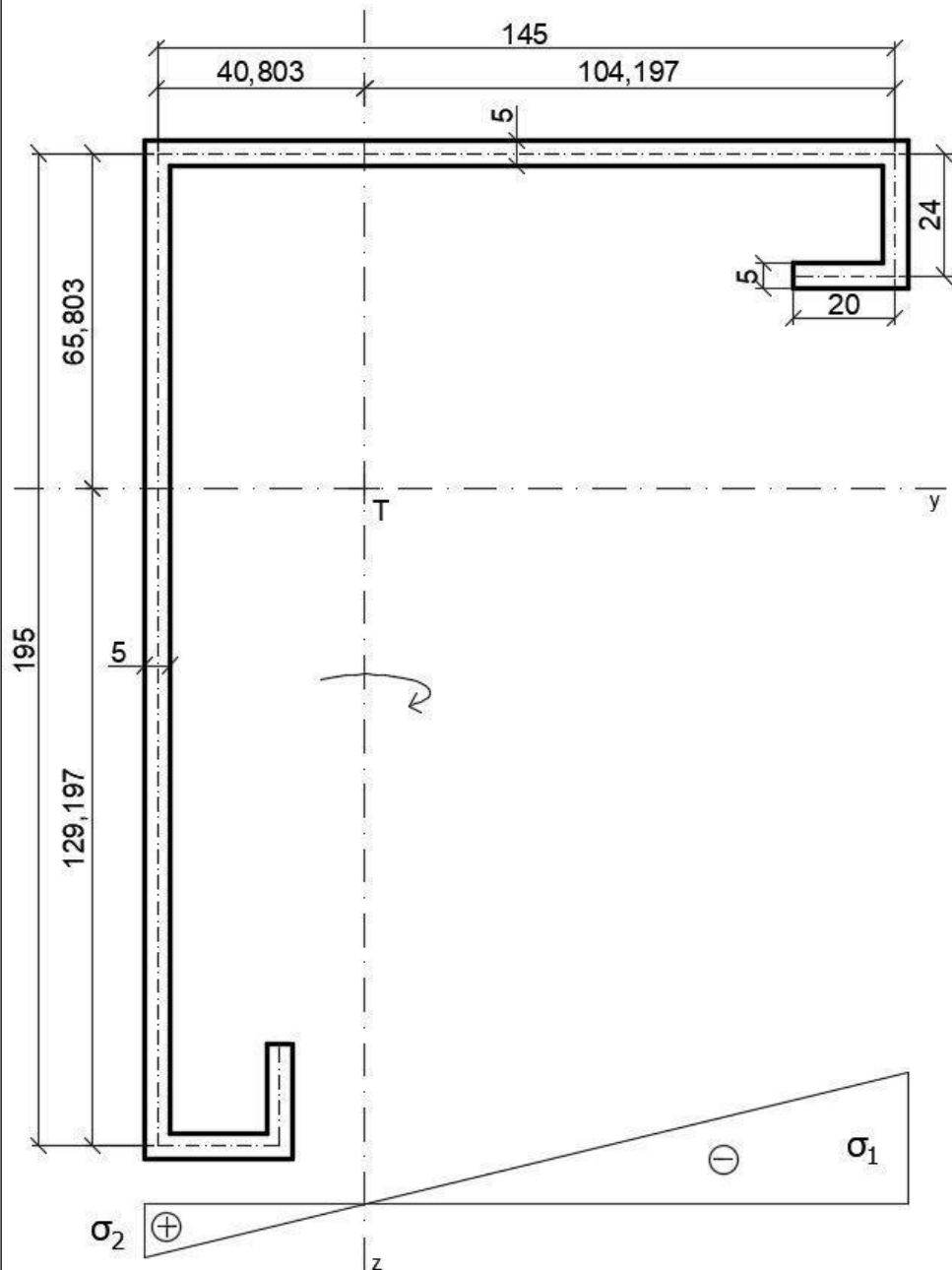
$$I_{z,eff}^+ = 5446119,0714 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^+ = \frac{I_{z,eff}^+}{e_z} = \frac{5446119,0714}{100,471} = 54205,88 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při záporném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.5), takže se zvýšením tloušťky na 5 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 122 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z

$$I_{z,eff}^- = 5959987,6658 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^- = \frac{I_{z,eff}^-}{e_z} = \frac{5959987,6658}{106,697} = 55859,00 \text{ mm}^3$$

Vzpěr

- Vyročení kolmo k ose v (ve směru u)

$$L_{cr,v} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“

$\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_v} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} = \frac{2790}{39,73} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1730,14}{2140}}}{76,40} = 0,826$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,826 - 0,2) + 0,826^2] = 0,995 \end{aligned}$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,995 + \sqrt{0,995^2 - 0,826^2}} = \underline{0,646}$$

- Vyročení kolmo k ose u (ve směru v)

$$L_{cr,u} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“

$\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_u} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} = \frac{2790}{80,18} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1730,14}{2140}}}{76,40} = 0,410$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,410 - 0,2) + 0,410^2] = 0,635$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,635 + \sqrt{0,635^2 - 0,410^2}} = \underline{0,892}$$

- Vzpěr zkroucením

$$\begin{aligned} i_o^2 &= i_v^2 + i_u^2 + y_o^2 + z_o^2 = 39,73^2 + 80,18^2 + (-78)^2 + 37^2 \\ &= 15460,383 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$y_o = -78 \text{ mm}$

$z_o = 37 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} N_{CR,T} &= \frac{1}{i_o^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{l_T^2} \right) = \frac{1}{15460,383} \\ &\cdot \left(81000 \cdot 17477 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,783 \cdot 10^9}{2790^2} \right) \\ &= 156717,30 \text{ N} \end{aligned}$$

-souřadnice středu
smyku od těžiště:

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,T}}} = \sqrt{\frac{1730,14 \cdot 355}{156717,30}} = 1,980$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,980 - 0,2) + 1,980^2] = 2,896$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,896 + \sqrt{2,896^2 - 1,980^2}} = \underline{0,200}$$

• **Prostorový vzpěr**

$$N_{CR,T} = 156717,30 \text{ N}$$

$$N_{CR,u} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_u}{L_{Cr,u}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,3758 \cdot 10^7}{2790^2} = 3663245 \text{ N}$$

$$u_o = \sqrt{y_o^2 + z_o^2} = \sqrt{78^2 + 37^2} = 86,3308 \text{ mm}$$

$$i_o = \sqrt{15460,383} = 124,34 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 = 1 - \left(\frac{86,3308}{124,34}\right)^2 = 0,5179 \text{ [-]}$$

$$\begin{aligned} N_{CR,TF} &= \frac{N_{CR,u}}{2 \cdot \beta} \cdot \left[1 + \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 \cdot \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}} \right] \\ &= \frac{3663245}{2 \cdot 0,5153} \cdot \left[1 + \frac{156717,30}{3663245} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{\left(1 - \frac{156717,30}{3663245}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{86,3308}{124,34}\right)^2 \cdot \frac{156717,30}{3663245}} \right] \\ &= 153482 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,TF}}} = \sqrt{\frac{1730,14 \cdot 355}{153482}} = 2,000$$

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,000 - 0,2) + 2,000^2] = 2,942$$

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,942 + \sqrt{2,942^2 - 2,000^2}} = \underline{0,196}$$

• **Nejmenší χ**

$$\chi = \min(\chi_v; \chi_u; \chi_T; \chi_{TF}) = \min(0,689; 0,910; 0,200; 0,196) = 0,196$$

Vnitřní síly

Komb.	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
CO1-obál.	-42,66	1,68	4,31	11,00	4,23
CO7	-39,79	0,27	4,31	11,00	1,72

Tabulka 7 - Vnitřní síly rohového sloupku

Posouzení MSÚ

- tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,196 \cdot 1730,14 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^3} = 120,38 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \leq N_{b,Rd}$$

$$42,66 \leq 120,38 \dots \text{ VYHOVUJE (35,4 \%)}$$

- ohyb

$$M_{y,Rd}^+ = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{83829,90 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 29,76 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd}^- = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84863,50 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 30,13 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd}^+ = \frac{W_{z,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54205,88 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 19,24 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd}^- = \frac{W_{z,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{55859,00 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 19,83 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$11,00 \leq 19,22 \dots \text{ VYHOVUJE (57,2 \%)}$$

- ohyb a tlaková síla

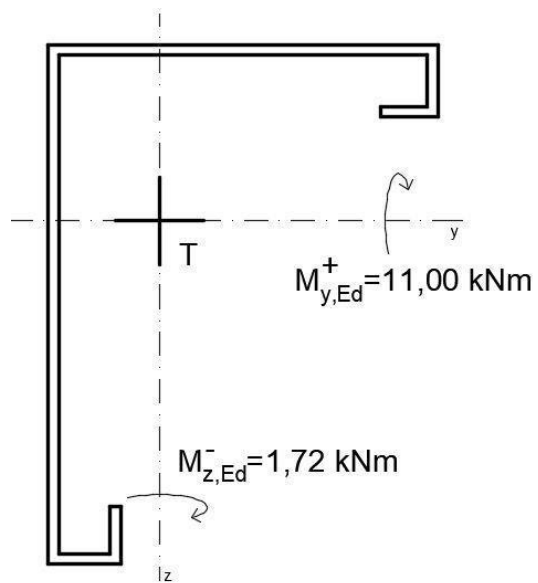
Jako nejnejpříznivější je kombinace CO7 na sloupku č. B7 i po optimalizaci 1. Vnitřní síly se ovšem o trochu liší než před optimalizací.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^+}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{39,79}{120,38}\right)^{0,8} + \left(\frac{11,00}{29,76}\right)^{0,8} + \left(\frac{1,72}{19,24}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$0,412 + 0,451 + 0,145 \not\leq 1,0$$

$$1,009 \not\leq 1,0 \dots \text{ NEVYHOVUJE (100,9 \%)}$$



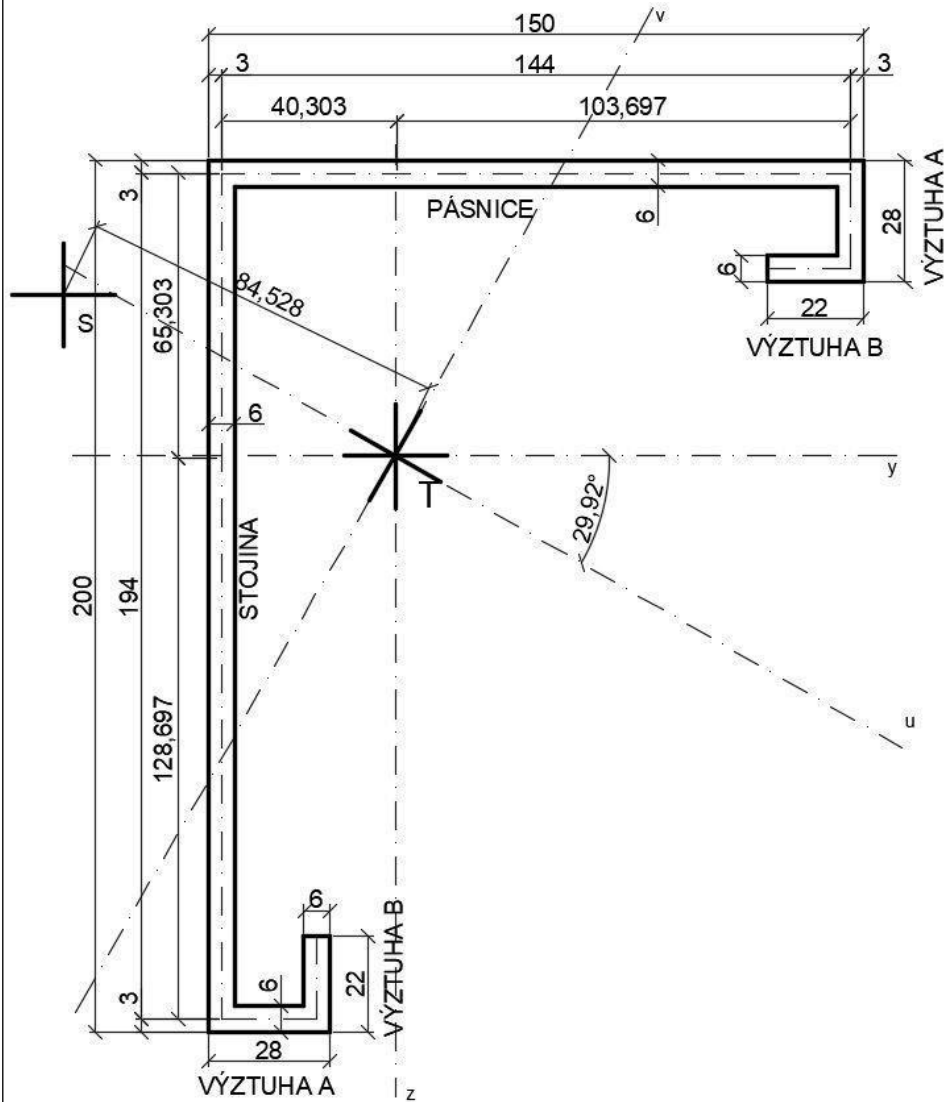
Obrázek 123- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7

Vyhodnocení

Tato optimalizace těsně nevyhovuje. Bude se muset dále zesílit.

5.5.2 Optimalizace 2

Zvýšení tloušťky stěny na 6 mm. Zachování vnějších rozměrů.



Obrázek 124 - Rohový sloupek – optimalizace 2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$I_t = 29822 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 3,6169 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$L = 2790 \text{ mm}; \quad A = 2520 \text{ mm}$$

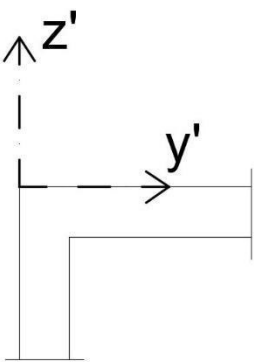
$$\text{– těžiště: } y = 43,303 \text{ mm}; \quad z = -68,303 \text{ mm}$$

– hlavní osy:

$$\alpha = -29,92^\circ$$

$$I_u = 1,5955 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_v = 3,8507 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



$$i_u = \sqrt{\frac{I_u}{A}} = \sqrt{\frac{1,5955 \cdot 10^7}{2520}} = 79,57 \text{ mm}$$

$$i_v = \sqrt{\frac{I_v}{A}} = \sqrt{\frac{3,8507 \cdot 10^6}{2520}} = 39,09 \text{ mm}$$

- **Zatřídění průřezu**

- pásnice

$$c = 138 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{138}{6} = 23 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ pásnice třídy 4}$$

- stojina

$$c = 188 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{188}{6} = 31 \not\leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,814 = 11 \quad \dots \text{ stojina třídy 4}$$

- **Vliv zaoblení**

$$r = 6 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$b_t = 138,7 \text{ mm}$$

$$1. \quad r \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 6$$

$$6 \leq 30 \text{ [mm]}$$

$$2. \quad r \leq 0,1 \cdot b_t = 0,1 \cdot 138,7$$

$$6 \leq 13,87 \text{ [mm]}$$

... .. zaoblení lze zanedbat

Účinný průřez při tlaku

ČSN EN 1993-1-5,

kap. 4

- Účinky boulení – výztuha **B**

$$\bar{b} = b_{p,b} = 16 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.2 - Přechínající
tlačené části

$$\rightarrow k_\sigma = 0,43 \text{ ... podle tab. 4.2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{16}{6}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,176$$

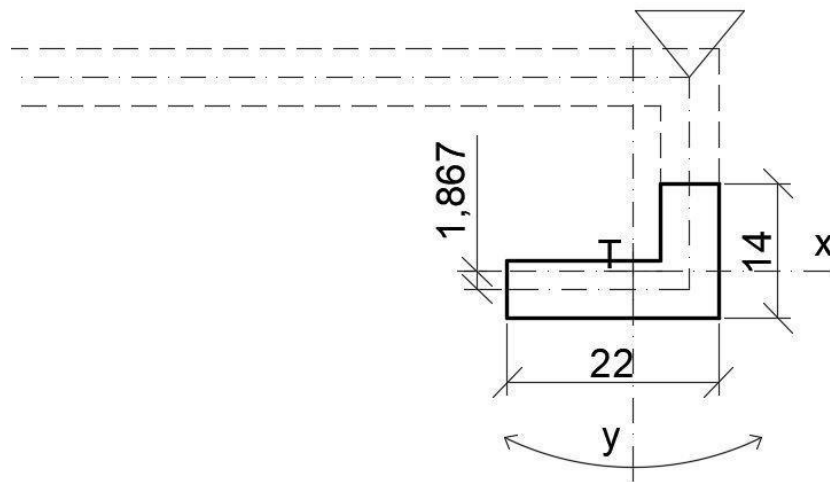
$$\text{--pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \text{ ... } \rho = 1,0 \text{ ... výztuha B nebouli}$$

ČSN EN 1993-1-3,

(kap. 5.5)

- Distorzní vyboulení– výztuha **B**

Účinná část průřezu pro distorzní vybočení je celá výztuha **B** a polovina výztuhy **A**.

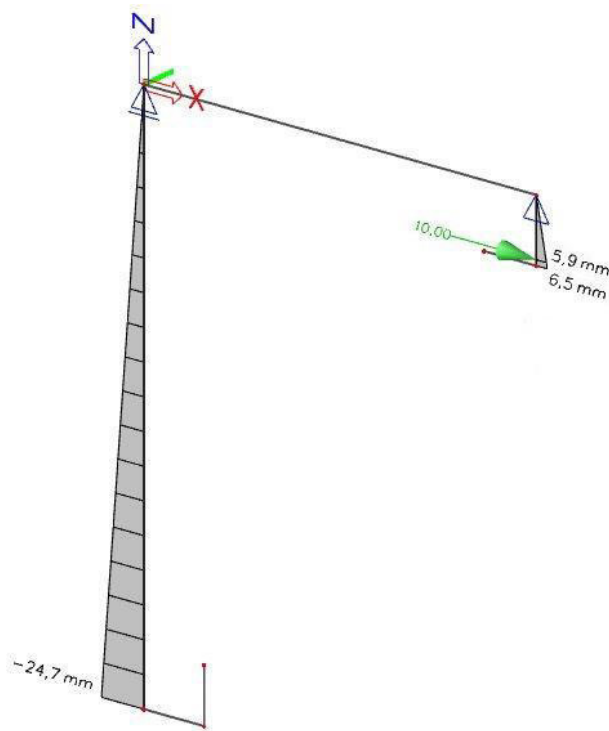


Obrázek 125- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy

$$A_s = 180 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,y} = 7720,80 \text{ mm}^4$$

Průřez:
10x6 mm



Obrázek 126 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 5,9 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{5,9} \cdot \frac{1}{10 [\text{mm}]} = 169,492 [\text{N/mm}]$$

$$\begin{aligned} \sigma_{CR,S} &= \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{169,492 \cdot 210000 \cdot 7720,80}}{180} \\ &= 5824,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{5824,68}} = 0,247$$

–pro $\bar{\lambda}_p < 0,65$... $\chi_d = 1$... *nedochází k vyboulení*

- **Účinky boulení – výztuha A**

$$\bar{b} = b_{p,a} = 16 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

→ $k_\sigma = 4,0$... *podle tab. 4.1*

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{16}{6}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,058$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... *výztuha A nebouli*

- **Účinky boulení – pásnice**

$$\bar{b} = b_p = 138 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

→ $k_\sigma = 4,0$... *podle tab. 4.1*

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{138}{6}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,498$$

–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$... $\rho = 1,0$... *pásnice nebouli*

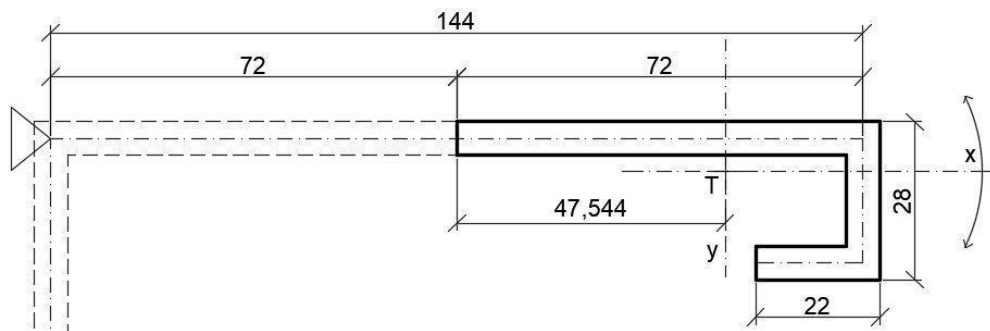
$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 1 \cdot 138 = 138 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 138 = 69 \text{ mm}$$

- **Distorzní vyboulení – pásnice**

Výpočet pérové tuhosti výztuhy K .

ČSN EN 1993–1-3,
(kap. 5.5)

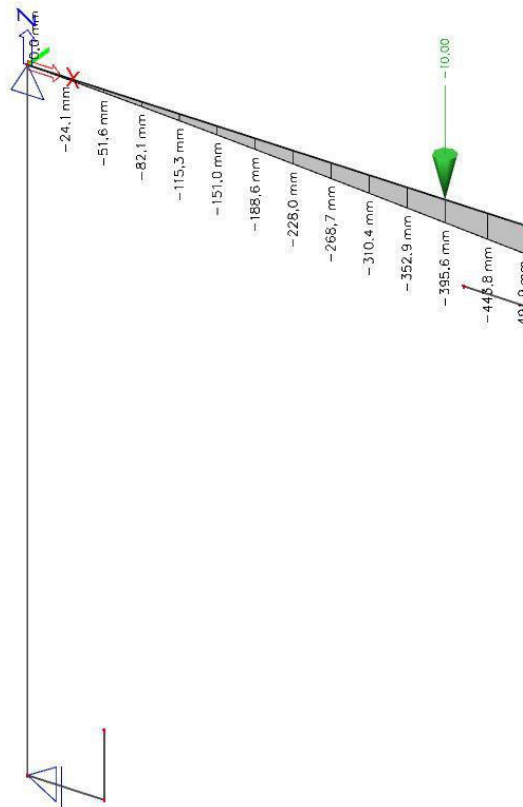


Obrázek 127 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

$$A_s = 678,0 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,x} = 56168,7965 \text{ mm}^4$$

Průřez:
10x6 mm



Obrázek 128 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 395,6 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{395,6} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 2,5278 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{2,5278 \cdot 210000 \cdot 56168,7965}}{678,0}$$

$$= 509,3653 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{509,3653}} = 0,835$$

$$\text{--pro } 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 0,835 = 0,866$$

- Redukovaná účinná plocha a šířka– pásnice

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,866 \cdot 678 = 587,430 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 6 \cdot \frac{587,430}{678} = \underline{\underline{5,198 \text{ mm}}}$$

- Účinky boulení – stojina

$$\bar{b} = b_p = 188 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

ψ ... poměr napětí

tab. 4.1 - Vnitřní
tlačené části

$$\rightarrow k_\sigma = 4,0 \dots \text{podle tab. 4.1}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{188}{6}}{28,4 \cdot 0,814 \cdot \sqrt{4,0}} = 0,678$$

$$- \text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,673$$

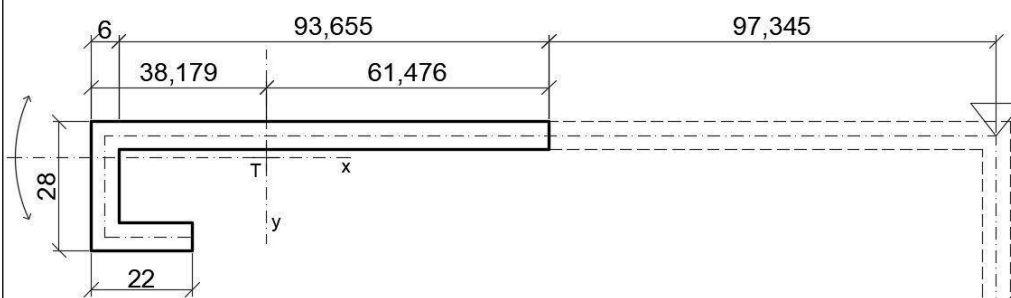
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,678 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,678^2} = 0,996$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = 0,996 \cdot 188 = 187,309 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 187,309 = 93,655 \text{ mm}$$

ČSN EN 1993-1-3,
(kap. 5.5)

- Distorzní vyboulení – stojina

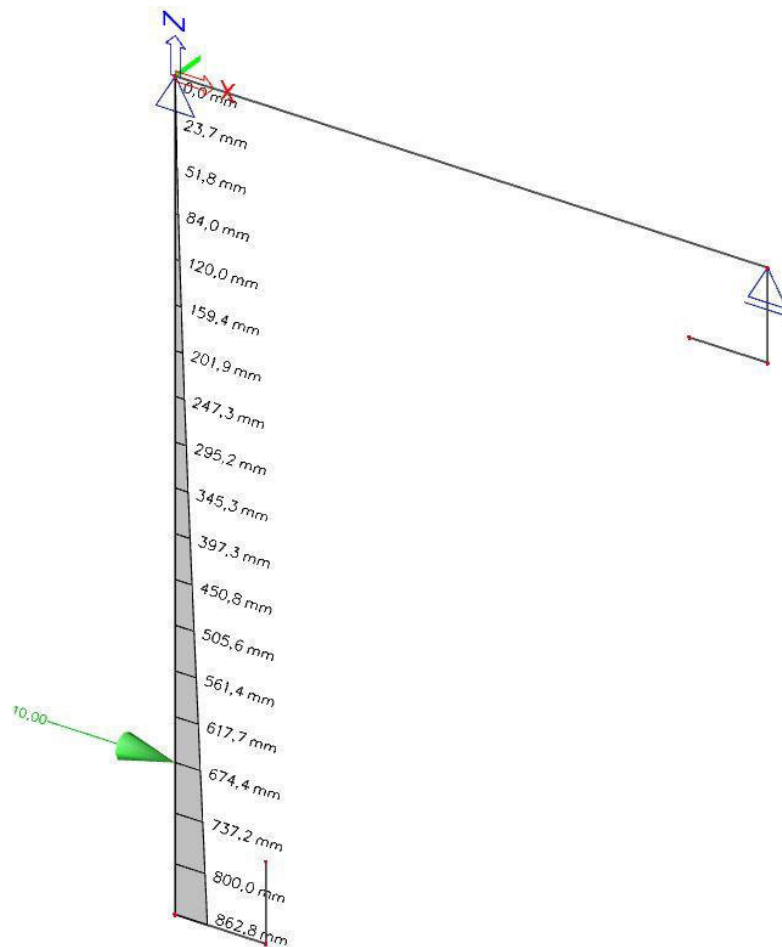


Obrázek 129 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti

$$A_s = 825,93 \text{ mm}^2$$

$$I_{s,x} = 60755,1931 \text{ mm}^4$$

Průřez:
10x6 mm



Obrázek 130 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer

$$F = 10 \text{ kN}; \quad \delta = 674,4 \text{ mm}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{10000}{674,4} \cdot \frac{1}{10 \text{ [mm]}} = 1,483 \text{ [N/mm]}$$

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{1,483 \cdot 210000 \cdot 60755,1931}}{825,93}$$

$$= 333,065 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{CR,S}}} = \sqrt{\frac{355}{333,065}} = 1,032$$

$$\text{-- pro } 0,65 < \bar{\lambda}_p < 1,38$$

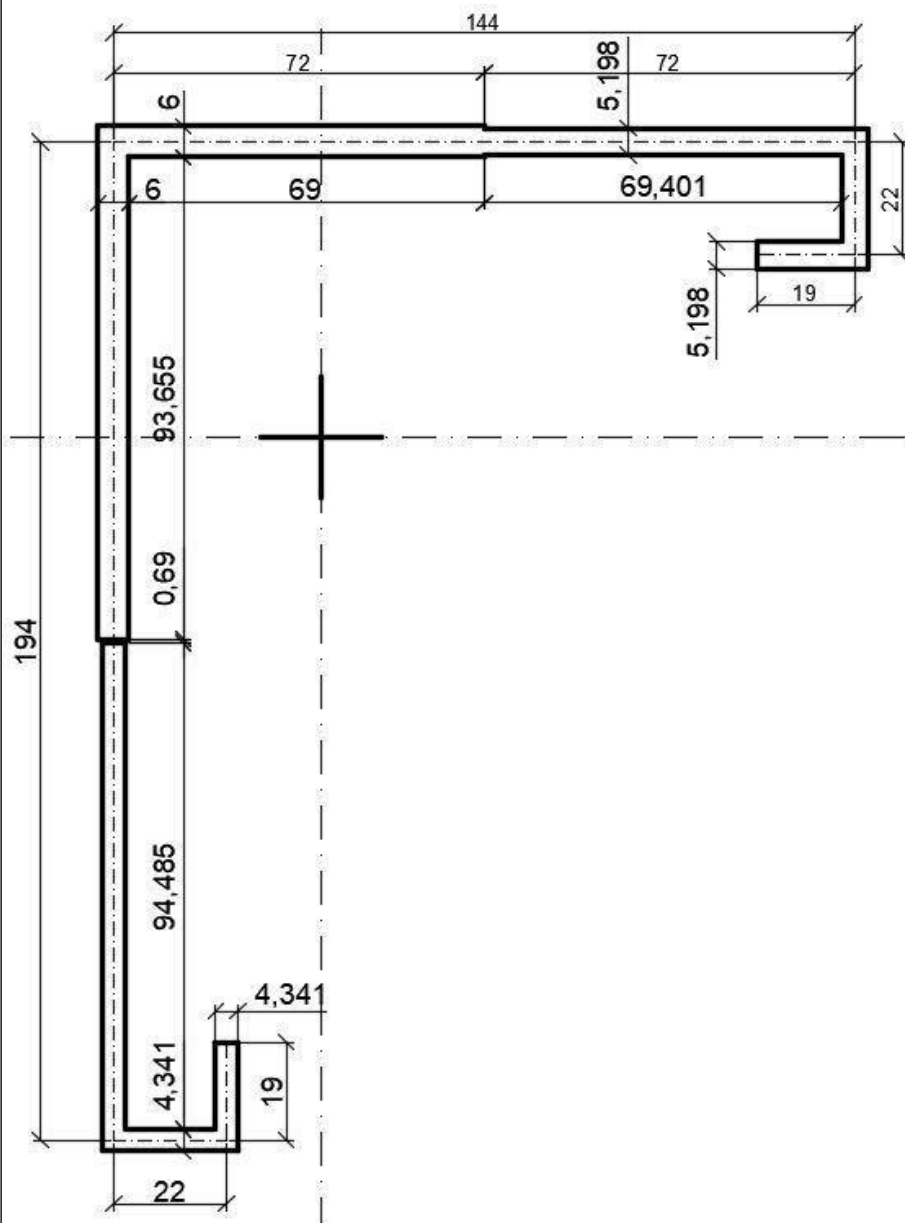
$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_p = 1,47 - 0,723 \cdot 1,032 = 0,724$$

- Redukovaná účinná plocha a šířka– stojina

$$A_{s,red} = \chi_{d,1} \cdot A_s = 0,724 \cdot 825,93 = 597,62 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s} = 4 \cdot \frac{597,62}{825,93} = \underline{4,341 \text{ mm}}$$

- Účinný průřez při tlaku



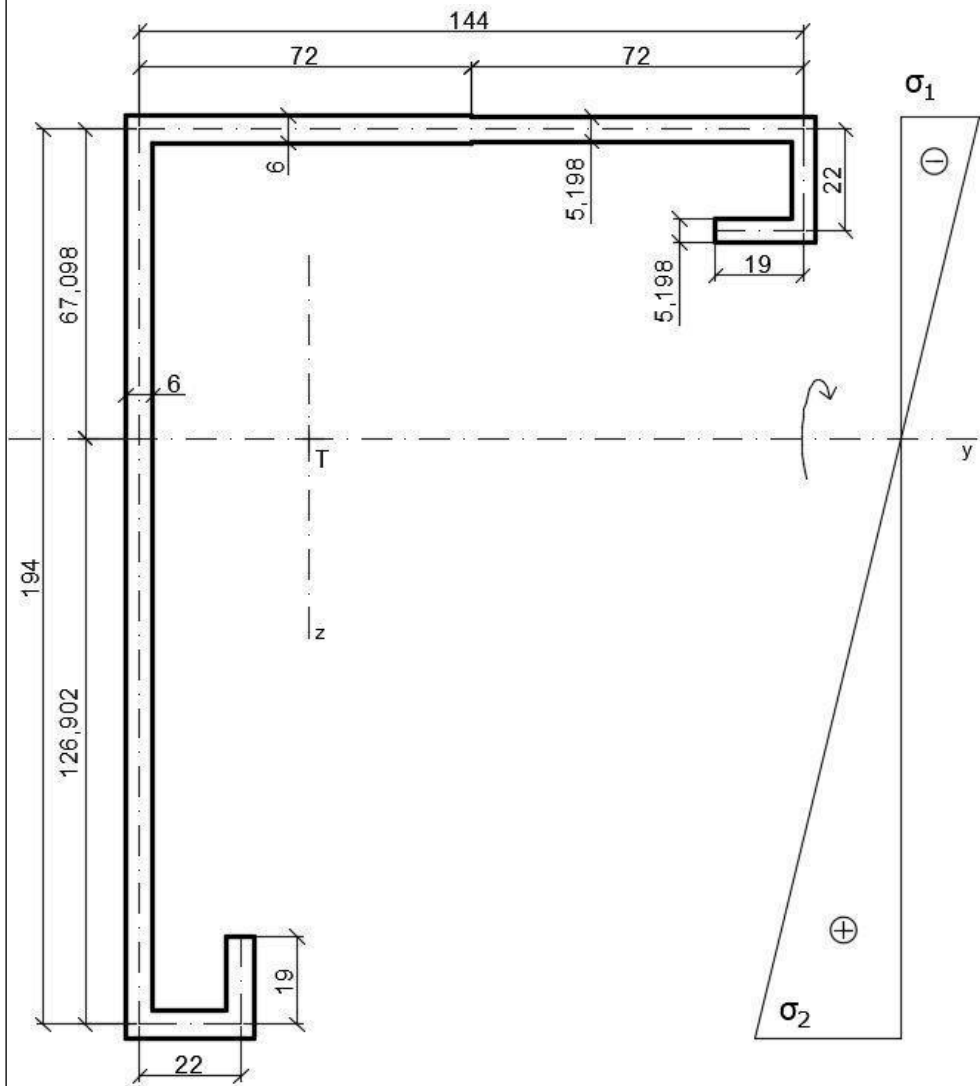
Obrázek 131 - Účinný průřez při tlaku

$$A_{eff} = 2196,8644 \text{ mm}^2$$

Účinný průřez při kladném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.2), takže se zvýšením tloušťky na 6 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 132 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y

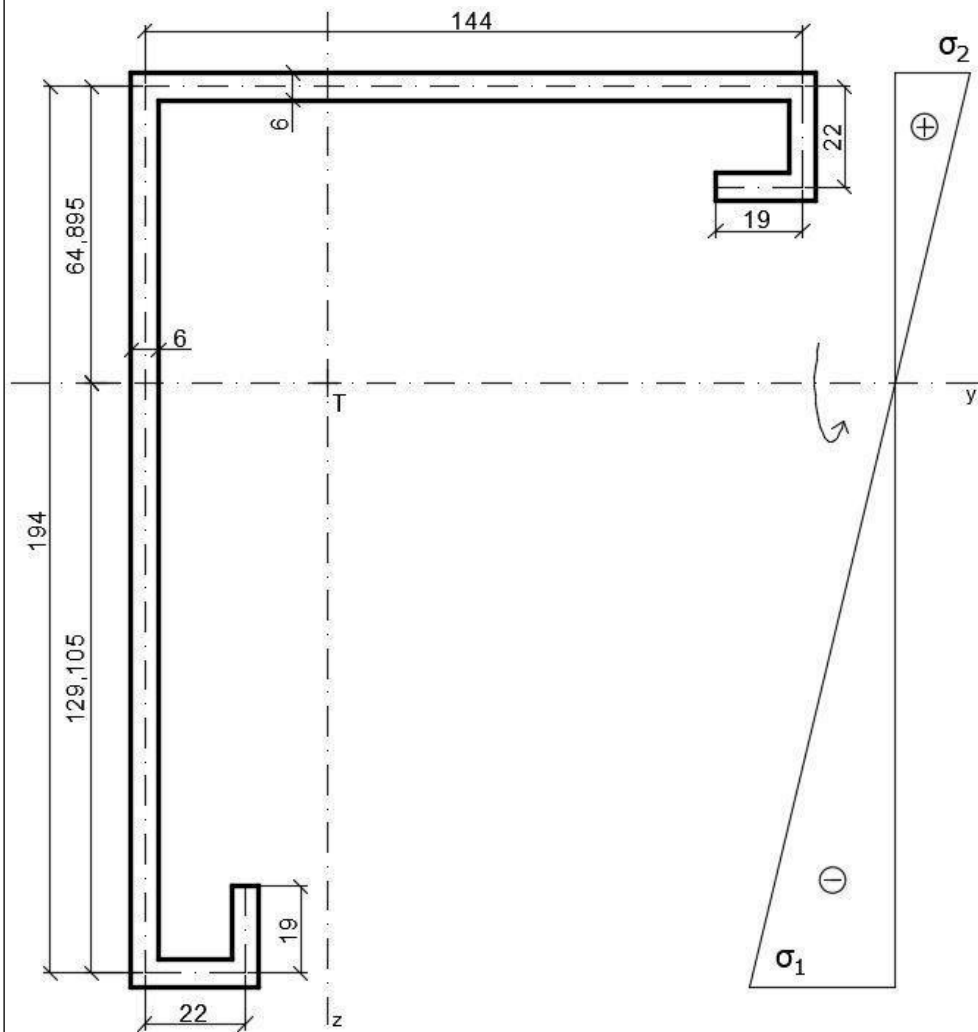
$$I_{y,eff}^+ = 12608011,0699 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^+ = \frac{I_{y,eff}^+}{e_y} = \frac{12608011,0699}{129,902} = 97057,87 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při záporném momentu kolem osy y

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.3), takže se zvýšením tloušťky na 6 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 133 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y

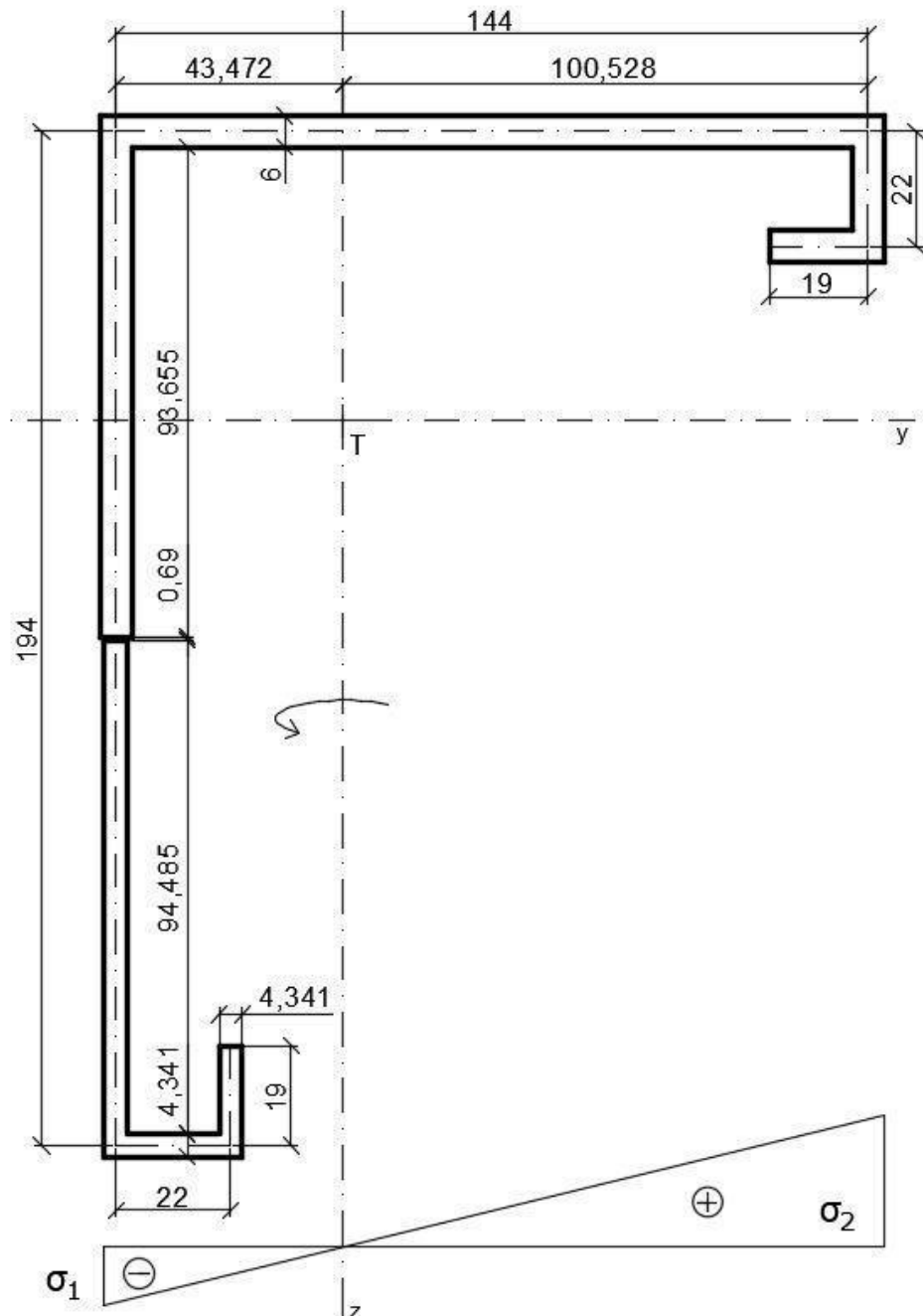
$$I_{y,eff}^- = 12943972,3429 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff}^- = \frac{I_{y,eff}^-}{e_y} = \frac{12943972,3429}{132,105} = 97982,46 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při kladném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.4), takže se zvýšením tloušťky na 6 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 134 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z

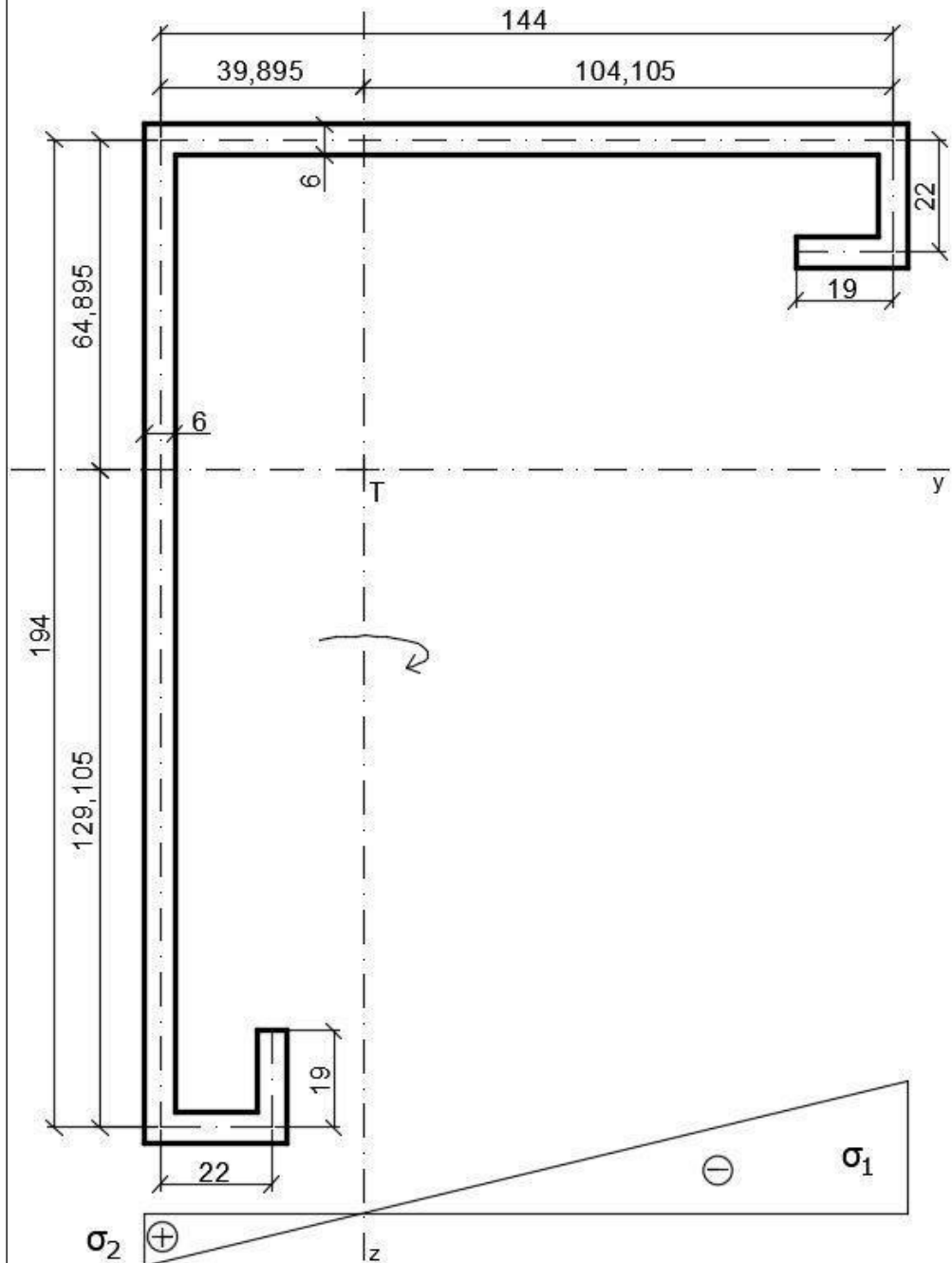
$$I_{z,eff}^+ = 6526221,1796 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^+ = \frac{I_{z,eff}^+}{e_z} = \frac{6526221,1796}{103,528} = 63038,22 \text{ mm}^3$$

Účinný průřez při záporném momentu kolem osy z

- Účinky boulení – stojina (v ohybu)

Stojina namáhaná ohybovým momentem neboulila při tloušťce 4 mm (viz. kap. 4.5.5), takže se zvýšením tloušťky na 6 mm se dá předpokládat, že stojina také boulit nebude.



Obrázek 135 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z

$$I_{z,eff}^- = 6861372,3429 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,eff}^- = \frac{I_{z,eff}^-}{e_z} = \frac{6861372,3429}{107,105} = 64062,11 \text{ mm}^3$$

Vzpěr

- Vyročení kolmo k ose v (ve směru u)

$$L_{cr,v} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“

$$\alpha=0,49$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_v} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} = \frac{2790}{39,09} \cdot \frac{\sqrt{\frac{2196,8644}{2520}}}{76,40} = 0,872$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,872 - 0,2) + 0,872^2] = 1,045 \end{aligned}$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,045 + \sqrt{1,045^2 - 0,872^2}} = \underline{0,617}$$

- Vyročení kolmo k ose u (ve směru v)

$$L_{cr,u} = L = 2790 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

křivka „c“

$$\alpha=0,49$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{CR}}{i_u} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} = \frac{2790}{79,57} \cdot \frac{\sqrt{\frac{2196,8644}{2520}}}{76,40} = 0,429$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,429 - 0,2) + \\ &0,429^2] = 0,648 \end{aligned}$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,648 + \sqrt{0,648^2 - 0,429^2}} = \underline{0,882}$$

- Vzpěr zkroucením

$$\begin{aligned} i_o^2 &= i_v^2 + i_u^2 + y_o^2 + z_o^2 = 39,09^2 + 79,57^2 + (-76)^2 + 37^2 \\ &= 15004,303 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y_o = -76 \text{ mm}$$

$$z_o = 37 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} N_{CR,T} &= \frac{1}{i_o^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{l_T^2} \right) = \frac{1}{15004,303} \\ &\cdot \left(81000 \cdot 29822 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,6169 \cdot 10^9}{2790^2} \right) \\ &= 225177,285 \text{ N} \end{aligned}$$

-souřadnice středu
smyku od těžiště:

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,T}}} = \sqrt{\frac{2196,8644 \cdot 355}{225177,285}} = 1,861$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,861 - 0,2) + 1,861^2] = 2,639$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,639 + \sqrt{2,639^2 - 1,861^2}} = \underline{0,222}$$

• **Prostorový vzpěr**

$$N_{CR,T} = 225177,285 \text{ N}$$

$$N_{CR,u} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_u}{L_{cr,u}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,5955 \cdot 10^7}{2790^2} = 4248157 \text{ N}$$

$$u_o = \sqrt{y_o^2 + z_o^2} = \sqrt{76^2 + 37^2} = 84,5281 \text{ mm}$$

$$i_o = \sqrt{15004,303} = 122,49 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 = 1 - \left(\frac{84,5281}{122,49}\right)^2 = 0,5238 [-]$$

$$N_{CR,TF} = \frac{N_{CR,u}}{2 \cdot \beta} \cdot \left[1 + \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{u_o}{i_o}\right)^2 \cdot \frac{N_{CR,T}}{N_{CR,u}}}\right]$$

$$= \frac{4248157}{2 \cdot 0,5238} \cdot \left[1 + \frac{225177,285}{4248157} - \sqrt{\left(1 - \frac{225177,285}{4248157}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{84,5281}{122,49}\right)^2 \cdot \frac{225177,285}{4248157}}\right] = 219483 \text{ N}$$

$$= \frac{4248157}{2 \cdot 0,5238} \cdot \left[1 + \frac{225177,285}{4248157} - \sqrt{\left(1 - \frac{225177,285}{4248157}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{84,5281}{122,49}\right)^2 \cdot \frac{225177,285}{4248157}}\right] = 219483 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{CR,TF}}} = \sqrt{\frac{2196,8644 \cdot 355}{219483}} = 1,885$$

křivka „c“
 $\alpha=0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,885 - 0,2) + 1,885^2] = 2,689$$

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,689 + \sqrt{2,689^2 - 1,885^2}} = \underline{0,217}$$

• **Nejmenší χ**

$$\chi = \min(\chi_v; \chi_u; \chi_T; \chi_{TF}) = \min(0,617; 0,882; 0,222; 0,217) = 0,217$$

Vnitřní síly

<i>Komb.</i>	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
<i>CO1-obál.</i>	-42,94	1,69	4,30	11,07	4,19
<i>CO7</i>	-40,07	0,24	4,30	11,07	1,65

Tabulka 8 - Vnitřní síly rohového sloupku

Posouzení MSÚ

- tlak

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,217 \cdot 2196,8644 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^3} = 169,24 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \leq N_{b,Rd}$$

$$42,94 \leq 169,24 \dots \text{ VYHOVUJE (25,4 \%)}$$

- ohyb

$$M_{y,Rd}^+ = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97057,87 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 34,46 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd}^- = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97982,46 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 34,78 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd}^+ = \frac{W_{z,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{63038,22 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 22,38 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd}^- = \frac{W_{z,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{64062,11 \cdot 355}{1,0 \cdot 10^6} = 22,74 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\underline{11,07 \leq 19,22} \dots \text{ VYHOVUJE (57,2 \%)}$$

- ohyb a tlaková síla

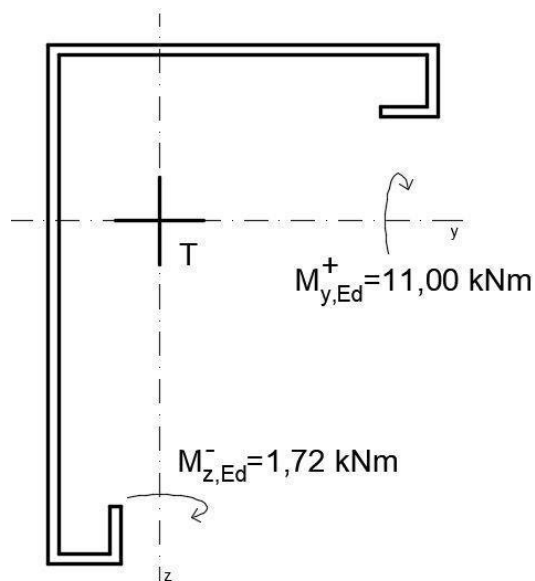
Jako nejneprůzračnější je kombinace CO7 na sloupku č. B7 i po optimalizaci 2. Vnitřní síly se ovšem o trochu liší než před optimalizací.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^+}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{40,07}{169,24}\right)^{0,8} + \left(\frac{11,07}{34,46}\right)^{0,8} + \left(\frac{1,65}{22,38}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$0,316 + 0,403 + 0,124 \leq 1,0$$

$$0,843 \leq 1,0 \dots \text{ VYHOVUJE (84,3 \%)}$$



Obrázek 136- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7

Posouzení MSP

Pro posouzení vodorovných posunů je použit model s počátečními tuhostmi $S_{j,ini}$.

Kombinační klíč pro MSP.

$$CO2 - ZS1 + ZS2 + 0,70 \cdot ZS3 + 0,50 \cdot ZS4 + ZS6$$

- vodorovný posun jednoho patra

$$u_x = 32,7 \text{ mm}$$

$$u_y = 32,7 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{H}{300} = \frac{2790}{300} = 9,3 \text{ mm}$$

$$u_y < \delta$$

$$\underline{32,7 \not< 9,3 \text{ [mm]}} \quad \dots \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

- vodorovný posun celé konstrukce

$$u_x = 58,4 \text{ mm}$$

$$u_y = 58,5 \text{ mm} \quad \dots \quad (\text{větší})$$

$$\delta = \frac{H}{500} = \frac{8370}{500} = 16,7 \text{ mm}$$

$$u_y < \delta$$

$$\underline{58,4 \not< 16,7 \text{ [mm]}} \quad \dots \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

5.5.3 Vyhodnocení optimalizací

Optimalizace 1 nevyhovuje o pouhé 0,9 %. Toto je návrh na hranici únosnosti a podle mého názoru bych radši přistoupil na optimalizaci 2, kde je tloušťka profilu 6 mm. Ta vyhovuje (84,3 %) i s mírnou rezervou a tím pádem je bezpečnější.

Mezní stav použitelnosti nevyhovuje ani v jednom případě. V tomto modelu nejsou zahrnuty tuhosti obvodových pláště, které také do určité míry pomáhají ztužení celé konstrukce. Aby průhyby vyhovovaly limitnímu stavu, musely by se do výpočtu zahrnout obvodové pláště, nebo úplně změnit průřez rohového sloupku, protože pouhé zesilování tloušťky plechu nestačí. Další možností by bylo vyztužení rohového styčnicku, který by posléze měl větší tuhost.

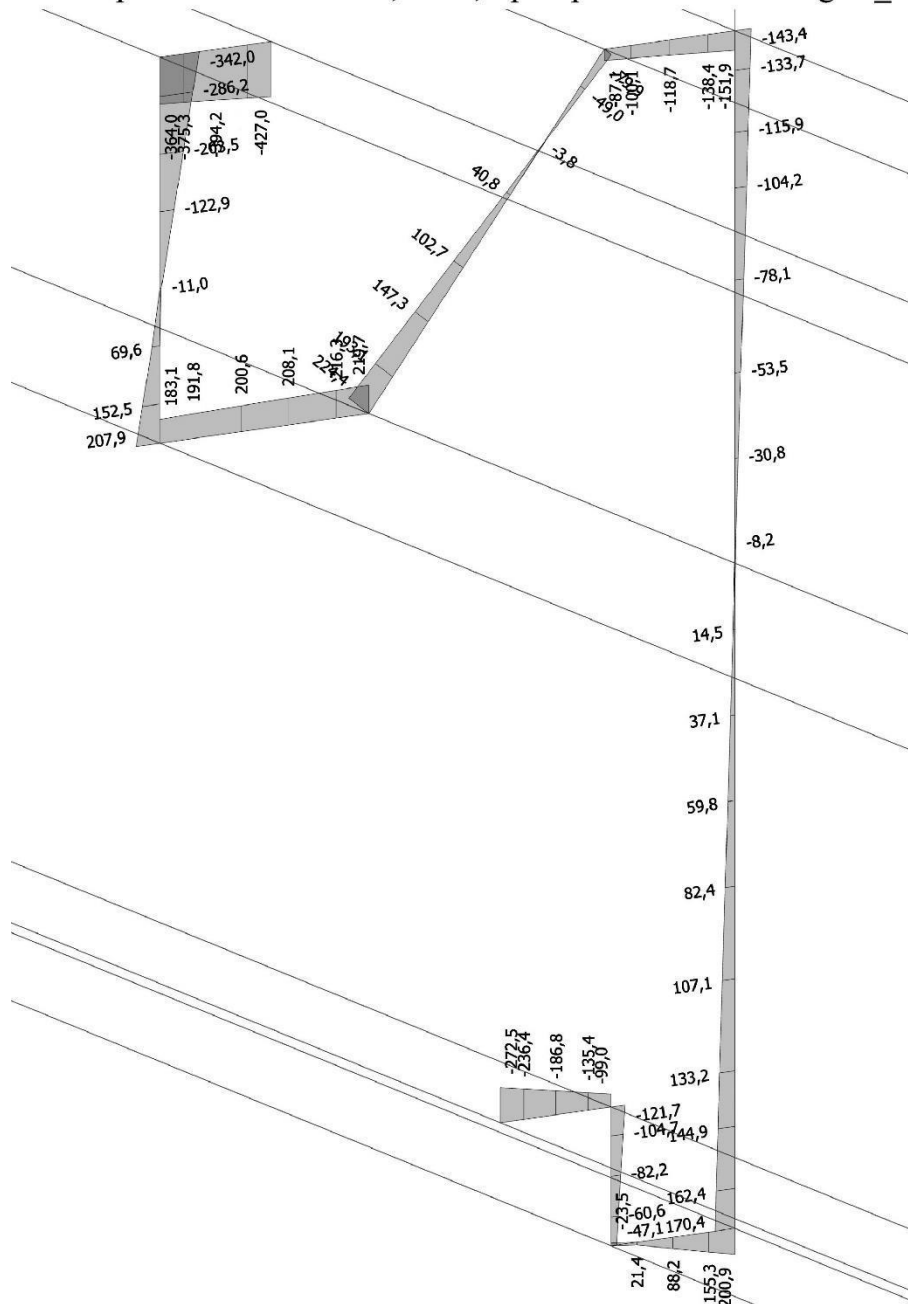
5.6 Střešní profil boční

Střešní profil boční se bude muset upravit, protože výsledné napětí na horní výztuze vychází 606 MPa. Pro ocel S355 toto napětí nevyhovuje. Aby byla zachována geometrie profilu, z důvodů napojení obvodového pláště a střešních vaznic, volím proto pouze zesilování tloušťky plechu.

5.6.1 Optimalizace 1

Zvýšení tloušťky plechu na 3,5 mm.

Střešní profil boční - tl. stě 3,5 mm, s příd plechem - CO8 - sigma_X+



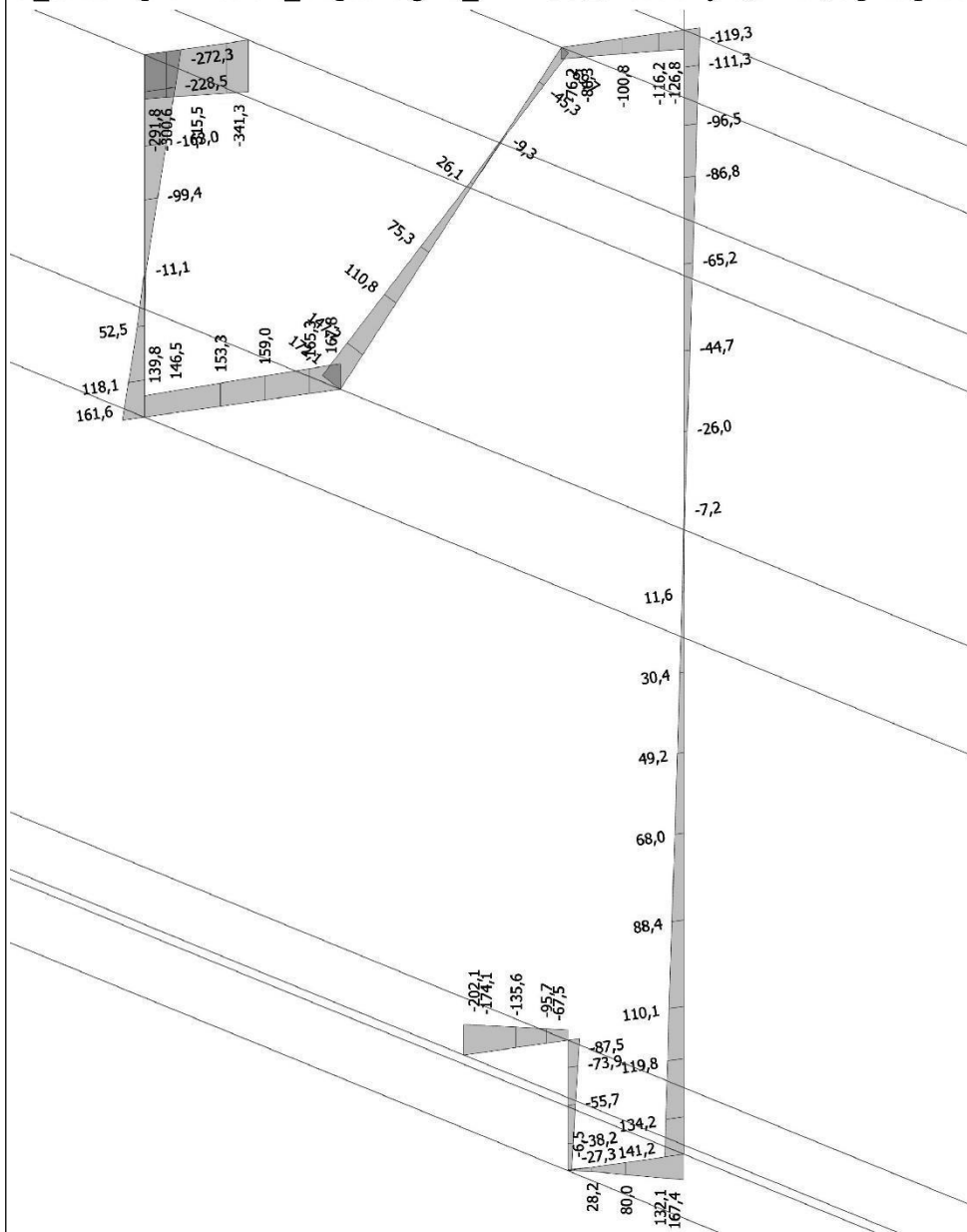
Obrázek 137- Napětí sigma_X+ na průřezu o tloušťce 3,5 mm

Se zvýšením tloušťky z 2,8 mm na 3,5 mm napětí kleslo na hodnotu -427 MPa. Tato optimalizace přesto stále nestačí, aby napětí vyhovovalo.

5.6.1 Optimalizace 2

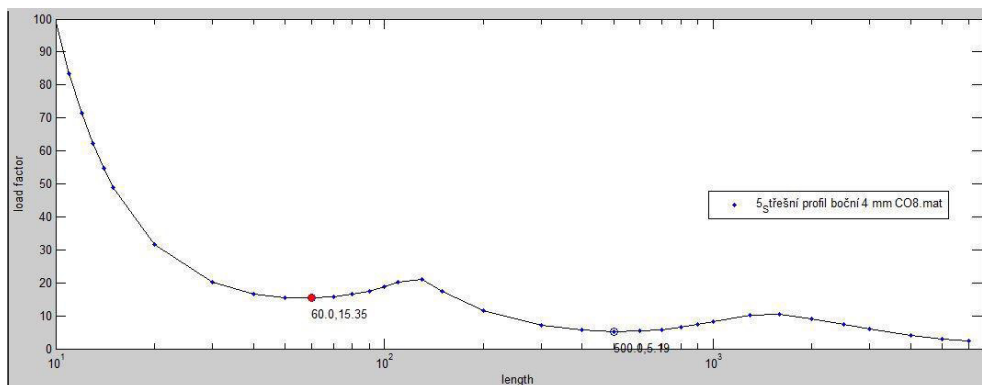
Zvýšení tloušťky plechu na 4,0 mm.

5_Střešní profil boční_ napětí sigma_X+ - CO13- tl. stěny 4,0 mm, s před plech



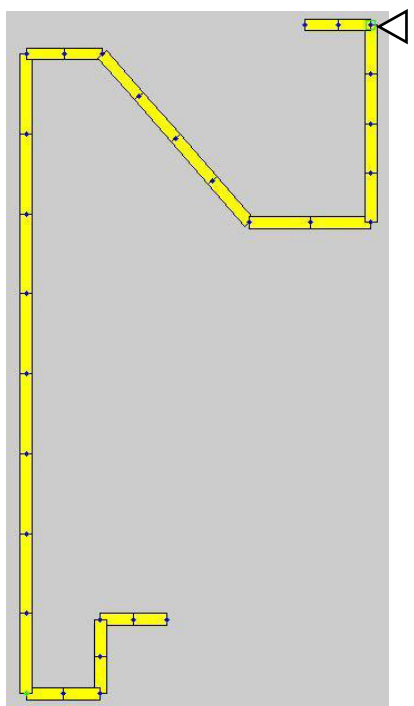
Obrázek 138- Napětí sigma_X+ na průřezu o tloušťce 4,0 mm

Zde napětí -341,3 MPa na horní výtuzce je nižší než mez kluzu oceli S355. Dále se však musí prověřit stabilita, zda nedochází k boulení, distorznímu vyboulení, nebo klopení. Výsledné napětí se vloží do programu CUFSM, z kterého nám vyjde funkce kritického napětí v závislosti na délce nosníku.

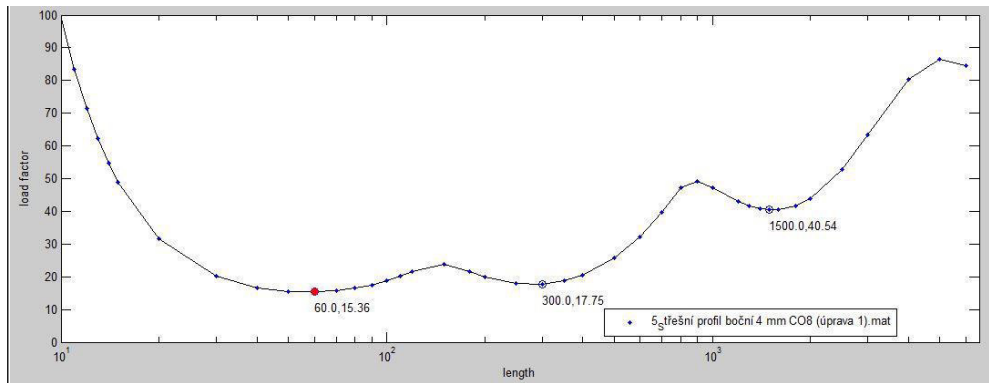


Obrázek 139- Funkce krit. napětí – optimalizace 2

Tento stav se dá ovšem využít pouze do délky 500 mm, protože se zde neuvažuje žádné boční podepření od střešních vaznic, které jsou přichyceny na nosník po 500 mm. Pro další pokračování průběh kritického napětí se vytvoří úprava č. 1, kde se simuluje připojení střešních vaznic. V této úpravě se odebere stupeň volnosti vodorovného posunu u horní výztuhy (viz. obr. x) a poté vznikne druhá křivka kritického napětí, která se od té první od určitého momentu liší.

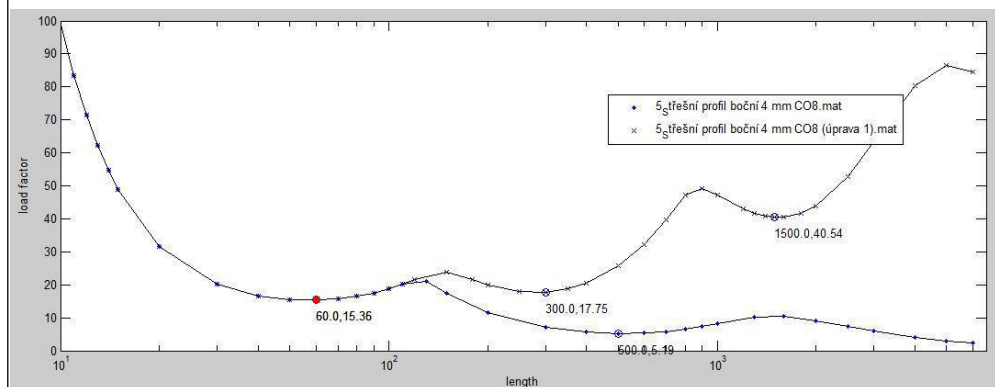


Obrázek 140- Průřez – optimalizace 2 (úprava č. 1)



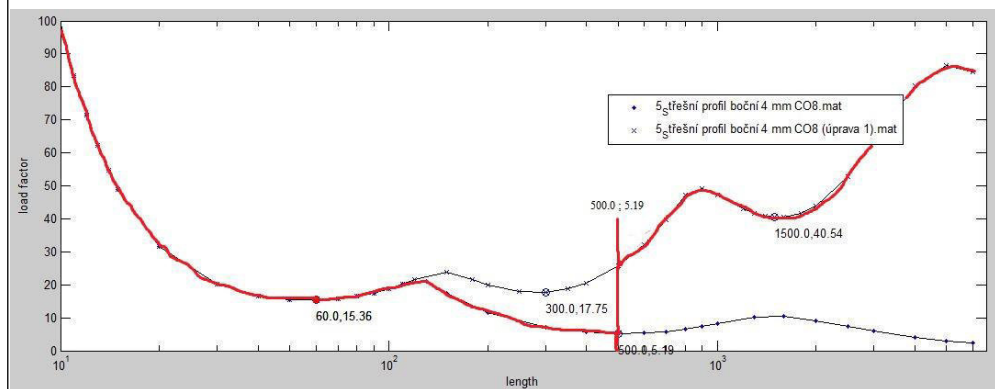
Obrázek 141- Funkce krit. napětí – optimalizace 2 (úprava 1)

Porovnání obou křivek.



Obrázek 142- Porovnání funkcí krit. napětí

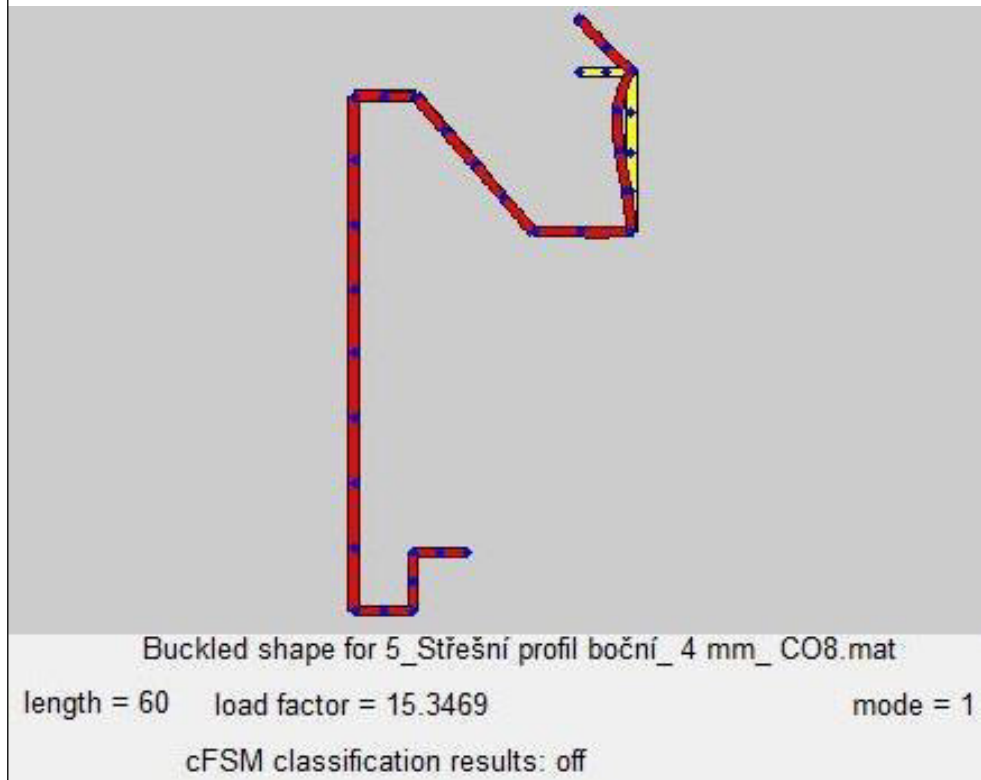
Do délky 500 mm je brána v úvahu křivka bez podepření a od délky 500 mm se použije křivka s úpravou č. 1.



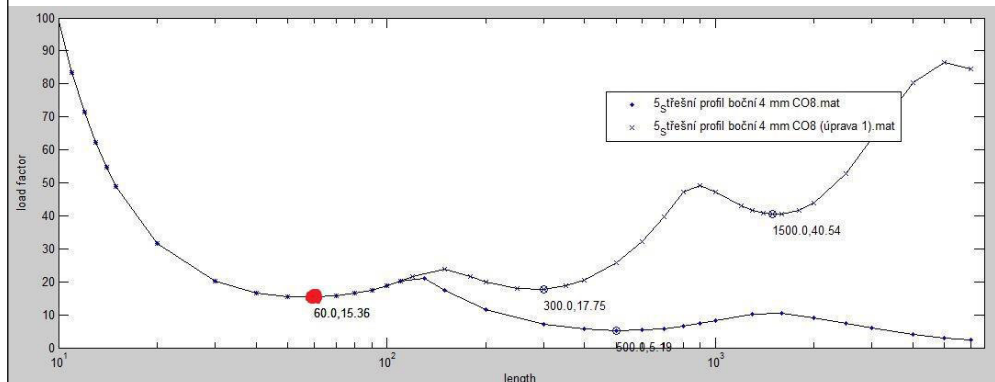
Obrázek 143- Schématické znázornění úseků

Boulení – horní výztuha

Nastává na horní výztuze v délce 60 mm.



Obrázek 144- Schéma boulení horní výztuhy



Obrázek 145- Funkce krit. napětí; bod boulení

load factor = 15,3469 [-]

napětí = 341,3 MPa

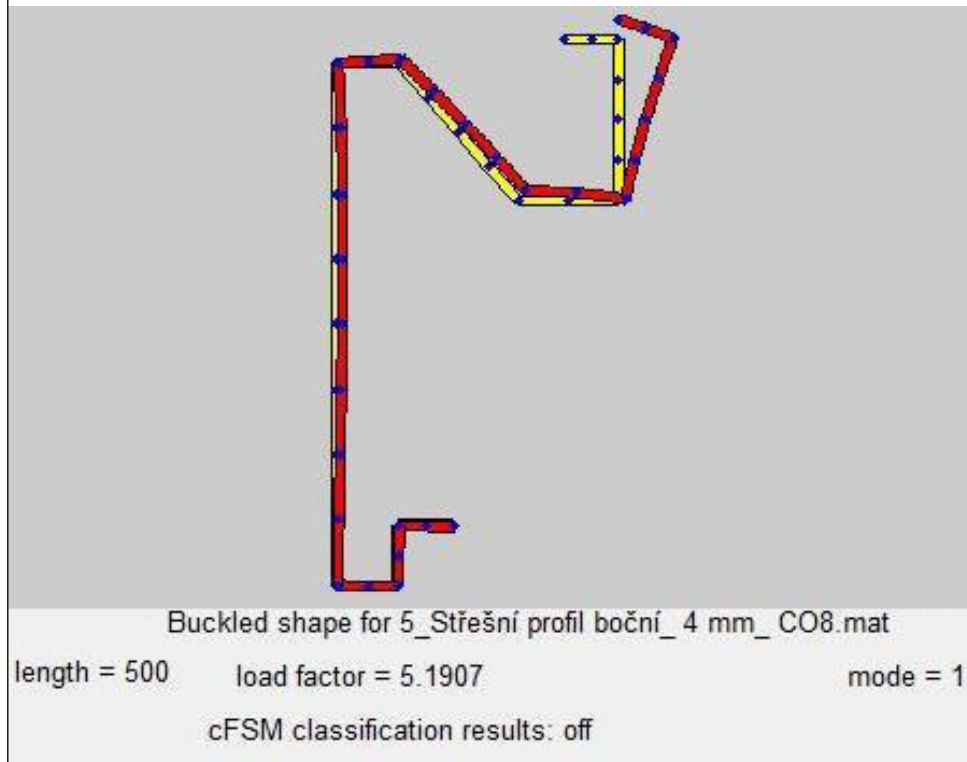
$\sigma_{cr,hv} = 15,3469 \cdot 341,3 = 5237,90 \text{ MPa}$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,hv}}} = \sqrt{\frac{355}{5237,90}} = 0,260$$

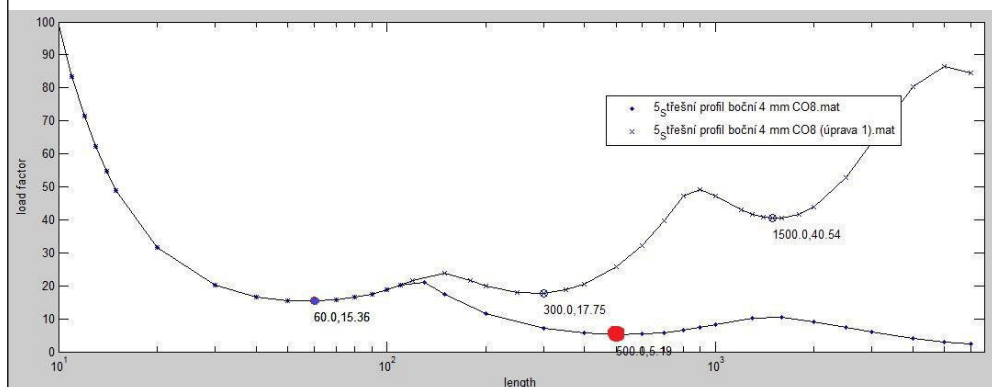
–pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,748$... $\rho = 1,0$... výztuha neboulí

Distorzni vybouleni – horni vyztuha

Horní vyztuze hrozi vybouleni v mezeře mezi vaznicemi. Nastává při délce 500 mm.



Obrázek 146- Schéma distorzniho vybouleni horni vyztuhy



Obrázek 147- Funkce krit. napětí; bod distorzniho vybouleni

load factor = 5,1907 [-]

napětí = 341,3 MPa

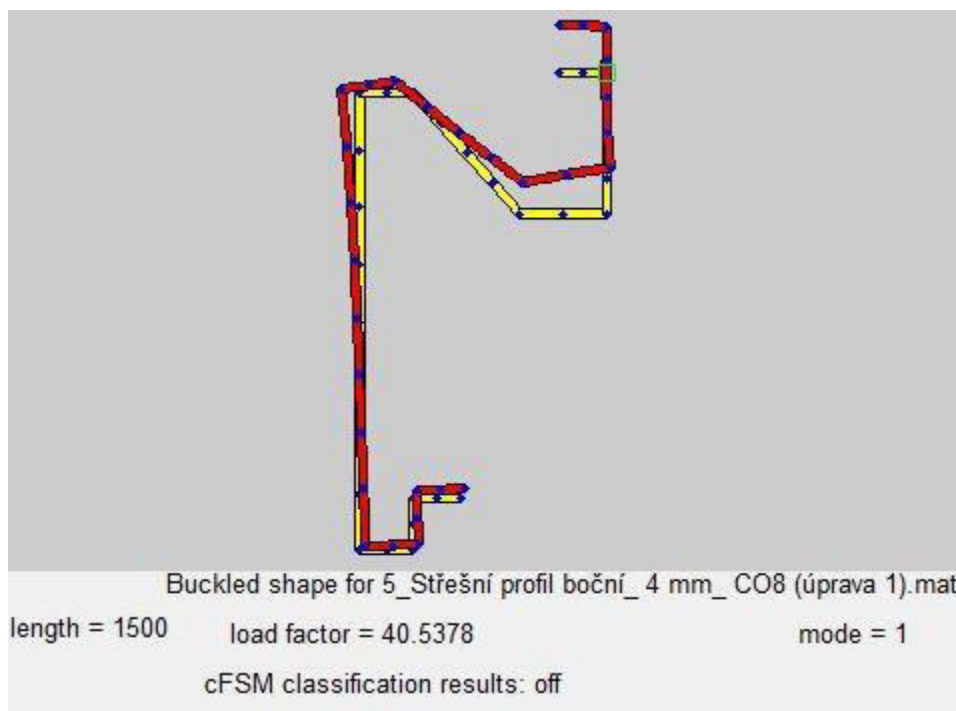
$$\sigma_{cr,hv} = 5,1907 \cdot 341,3 = 1771,59 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,hv}}} = \sqrt{\frac{355}{1771,59}} = 0,448$$

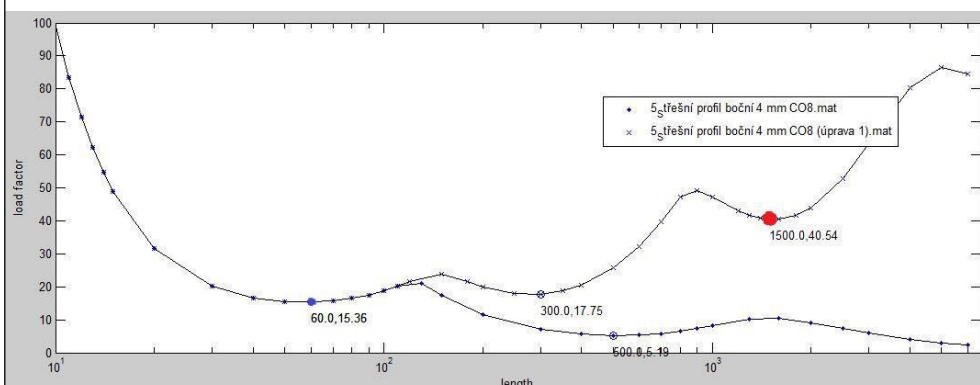
–pro $\bar{\lambda}_p < 0,65$... $\chi_d = 1$ nedochází k vyboulení

Klopení

Klopení průřezu



Obrázek 148- Schéma klopení průřezu



Obrázek 149- Funkce krit. napětí; bod klopení

load factor = 40,5378 [-]

napětí = 341,3 MPa

$\sigma_{cr, glob} = 40,5378 \cdot 341,3 = 13835,55 \text{ MPa}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr, glob}}} = \sqrt{\frac{355}{13835,55}} = 0,160$$

křivka „d“

$\alpha=0,76$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,160 - 0,2) + 0,160^2] = 0,498$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,498 + \sqrt{0,498^2 - 0,160^2}} = \underline{\underline{1,032}}$$

Nedochází ke klopení. To znamená, že nemusíme redukovat průřez kvůli problémům se stabilitou.

Výsledné napětí na průřezu na horní výztuze:

$$\sigma_x = -341,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_x}{f_y} = \frac{341,3}{355} = 0,96 [-] \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledné napětí na průřezu na dolní výztuze:

$$\sigma_x = -202,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_x}{f_y} = \frac{202,1}{355} = 0,57 [-] \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Tento nosník vyhovuje návrhovému zatížení.

Posouzení MSP

- svislý průhyb: 71,2 mm

- vodorovný průhyb: 79,6 mm

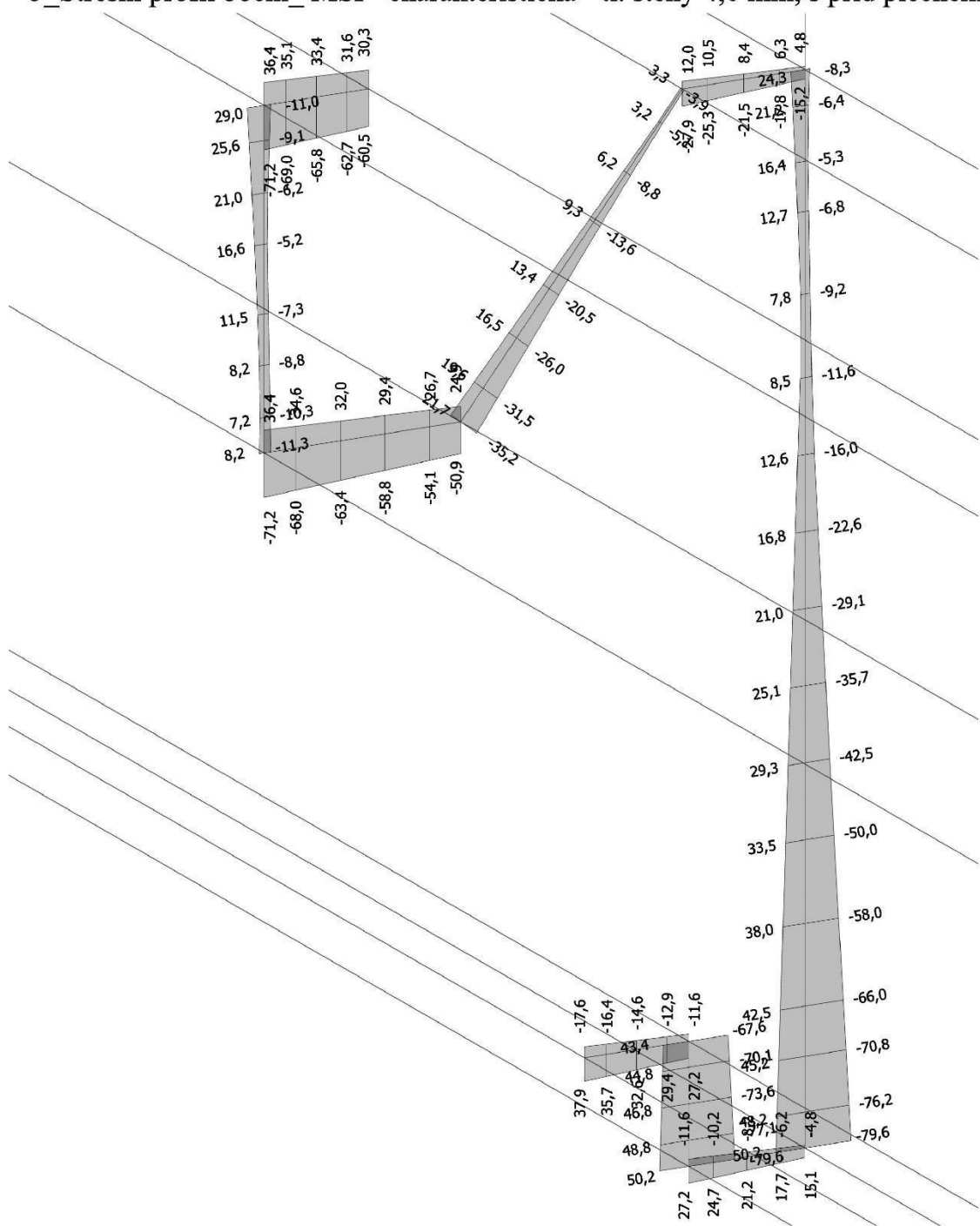
$$- \delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5790}{200} = 28,95 \text{ mm}$$

$$- \delta_{svislý} = 71,2 \text{ [mm]} \not\leq \delta_{lim} = 28,95 \text{ [mm]}$$

$$- \delta_{vodor.} = 79,6 \text{ [mm]} \not\leq \delta_{lim} = 28,95 \text{ [mm]}$$

Svislý i vodorovný průhyb nesplňují limity pro deformaci. Nastalo však zlepšení o cca. 50 mm než před optimalizací, ale stále to není dostačující.

5_Střešní profil boční_MSP- charakteristická - tl. stěny 4,0 mm, s příd plechem



Obrázek 150- MSP – charakteristická; u_z

5.7 Střešní profil čelní

Tento profil vychází na 43 %. Tloušťku 2,8 mm bych ponechal stejnou a dále profil neměnil, z důvodů zachování rezervy.

5.8 Shrnutí výsledků

Vaznice střešní

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
M_y	0,51	0,562	0,91

	Průhyb MSP	Mezní průhyb	
u_z	5,30	8,77	OK

Vaznice střešní vyhovuje návrhovému zatížení.

Vaznice podlahová

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
M_y	1,68	1,713	0,98

	Průhyb MSP	Mezní průhyb	
u_z	3,60	8,77	OK

Vaznice podlahová vyhovuje návrhovému zatížení.

Podlahový profil boční

Podlahovému profilu je ponechám původní průřez.

Podlahový profil čelní

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
--	-----------------------	------------------------	-------------

ohyb- dvousměrný	4,00; 0,77	6,49; 4,00	0,51
---------------------	---------------	---------------	------

Podlahový profil čelní vyhovuje návrhovému zatížení.

Rohový sloupek

	Hodnota zatížení [kN]	Návrhová únosnost [kN]	Využití [-]
N-tlak	42,60	169,24	0,25
M _y	11,07	19,22	0,57
Ohyb+tlak	40,07	169,24	0,84
	11,07	34,46	
	1,65	22,38	

	Posun MSP	Mezní posun	
u - jednoho patra	32,7	9,3	3,52
u - celé kce.	58,4	16,7	3,50

Rohový sloupek vyhovuje návrhovému zatížení, ale nevyhovuje vodorovným deformacím. Deformace nejsou předmětem řešení této práce.

Střešní profil boční

	Napětí od zatížení [MPa]	Mez kluzu oceli [MPa]	Využití [-]
Horní výztuha	341,3	355	0,96
Dolní výztuha	202,1	355	0,57

	Posun MSP	Mezní posun	

Svislý průhyb	71,2 [mm]	28,95 [mm]	2,46
Vodorovný průhyb	79,6 [mm]	28,95 [mm]	2,75

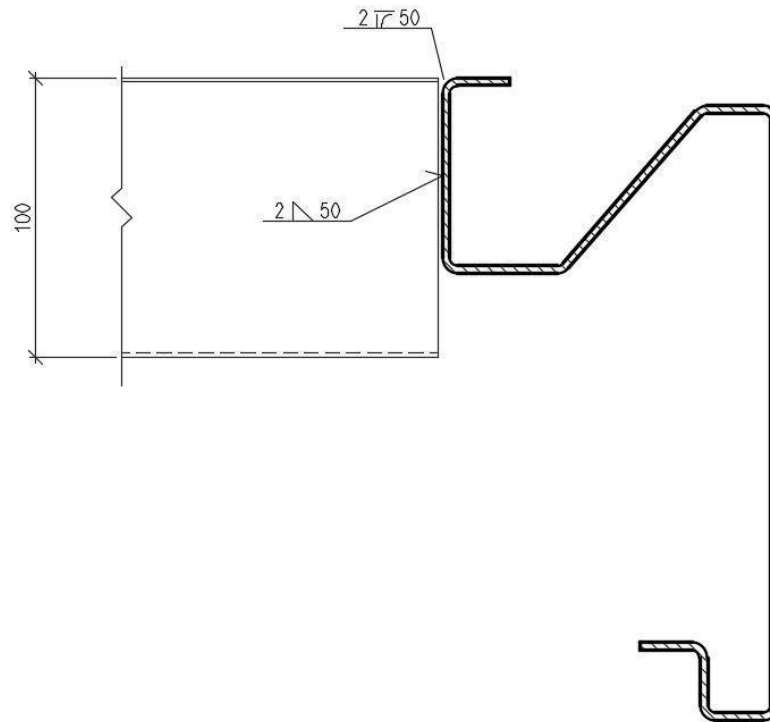
Střešní profil boční vyhovuje návrhovému zatížení, ale nevyhovuje oběma deformacím. Deformace nejsou předmětem řešení této práce.

Střešní profil čelní

Střešní profil čelní nebyl optimalizován.

6 Posouzení přípoju

6.1 Přípoj vaznice na střešní boční profil



Obrázek 151- Přípoj vaznice ke střešnímu bočnímu profilu

$$V_z = 0,89 \text{ kN}$$

- Posouzení svaru

$$a_w = 2 \text{ mm}$$

- min. délka svaru:

$$L \geq \max \left\{ \frac{6a}{40 \text{ mm}} \right\} = \max \left\{ \frac{12}{40 \text{ mm}} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 50 \text{ mm} \quad \dots \quad OK$$

- účinná délka délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 2 = 46 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w \cdot L_{eff}} = \frac{0,89}{0,002 \cdot 0,046} = 9674 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} = \sqrt{3} \cdot 9674 = 16755,7 \text{ kPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360000 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$16755,7 \leq 360000 \text{ [kPa]} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

- Posouzení stojiny vaznice na délce svaru

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{50}{\sin 90} \cdot 1,5 \cdot 0,58 \cdot 235}{1,0} = 10223 \text{ N}$$

$$= 10,223 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{50}{1,5} \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0,386$$

$$\rightarrow \text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$$

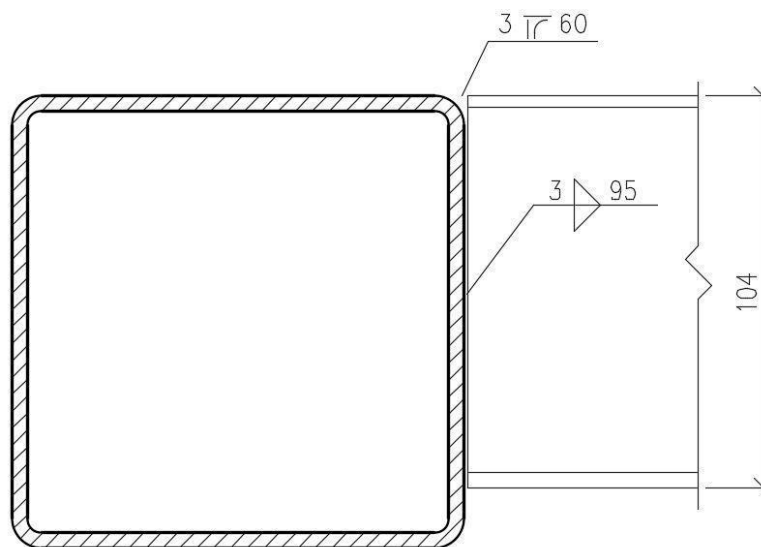
$$V_{z,Ed} = 0,89 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} \leq V_{b,Rd}$$

$$0,89 \leq 10,223 \text{ [kN]} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

Přípoj vaznice na boční profil vyhovuje.

6.2 Přípoj podlahové vaznice na podlahový boční profil



Obrázek 152- Přípoj podlahové vaznice

$$V_z = 2,90 \text{ kN}$$

$$N = 0,74 \text{ N}$$

- Posouzení svaru spoje

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

- min. délka svaru:

$$L \geq \max \left\{ \frac{6a}{40 \text{ mm}} \right\} = \max \left\{ \frac{18}{40 \text{ mm}} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 95 \text{ mm} \quad \dots \quad OK$$

- účinná délka délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 95 - 2 \cdot 3 = 89 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{a_w \cdot L_{eff}} = \frac{2,90}{0,003 \cdot 0,089} = 9674 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_{eff}} = \frac{0,74}{\sqrt{2} \cdot 0,003 \cdot 0,089} = 1960 \text{ kPa}$$

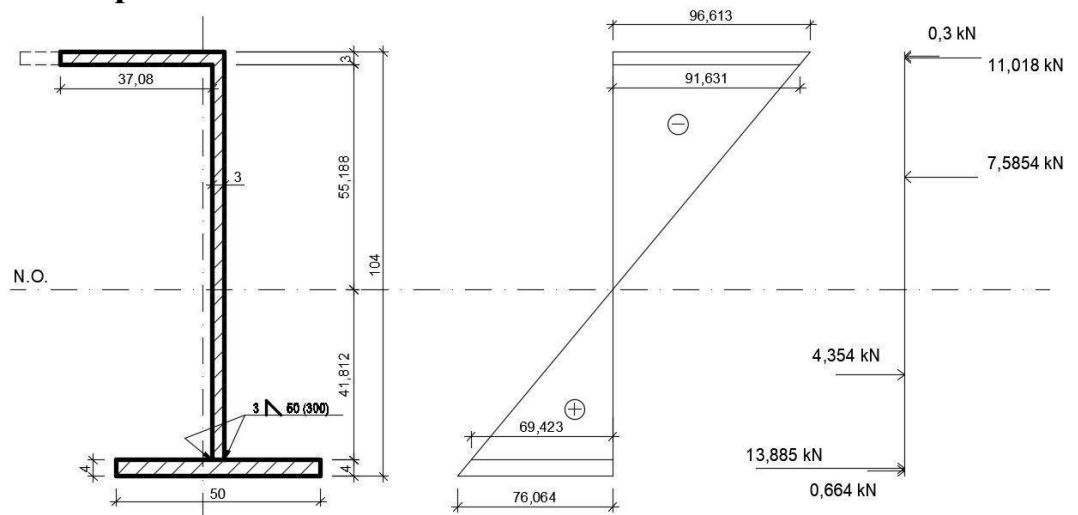
$$\sqrt{1960^2 + 3 \cdot 1960^2 + 3 \cdot 9674^2} = 6978 \text{ kPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 417778 \text{ kPa}$$

$$6978 \leq 417778 \text{ [kPa]} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE}$$

Přípoj podlahové vaznice na boční profil vyhovuje.

6.3 Posouzení svaru připojení dolní pásnice na podlahové vaznici



Obrázek 153- Schéma napětí na průřezu

$$M_{y,Ed} = 1,68 \text{ kN}$$

$$I_y = 1011834 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{d1} = \frac{M_{y,Ed} \cdot e_{d1}}{I_y} = \frac{1,68 \cdot 45,812}{1011834} = 76064 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{d2} = \frac{M_{y,Ed} \cdot e_{d2}}{I_y} = \frac{1,68 \cdot 41,812}{1011834} = 69423 \text{ kPa}$$

- Síla mezi dolní pásnicí a stojinou ... F_{dp}

$$F_1 = 69423 \cdot 0,003 \cdot 0,041812/2 = 4,354 \text{ kN}$$

$$F_2 = 69423 \cdot 0,004 \cdot 0,05 = 13,885 \text{ kN}$$

$$F_3 = (76064 - 69423) \cdot 0,004 \cdot 0,05/2 = 0,664 \text{ kN}$$

$$F_{dp} = 13,885 + 0,664 - 4,354 = 10,195 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

- min. délka svaru:

$$L \geq \max \left\{ \frac{6a}{40 \text{ mm}} \right\} = \max \left\{ \frac{18}{40 \text{ mm}} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 50 \text{ mm} \quad \dots \quad OK$$

- účinná délka délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w \cdot L_{eff}} = \frac{10,195}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,044} = 38617 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} = \sqrt{3} \cdot 38617 = 66887 \text{ kPa}$$

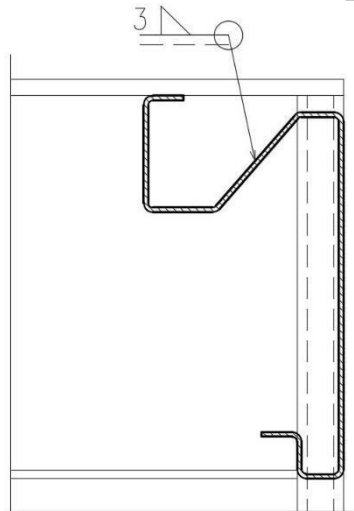
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360000 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$66887 \leq 360000 \text{ [kPa]} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE}$$

Svar dolní pásnice ke stojině vyhovuje.

6.3 Posouzení svaru střešního bočního profilu



Obrázek 154- Připoj střešního bočního profilu

$$V_{z,Ed} = 5,43 \text{ kN}$$

- Posouzení svaru

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

- min. délka svaru:

$$L \geq \max \left\{ \frac{6a}{40 \text{ mm}} \right\} = \max \left\{ \frac{18}{40 \text{ mm}} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 55 \text{ mm} \quad \dots \quad OK$$

- účinná délka délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 55 - 2 \cdot 3 = 49 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a_w \cdot L_{eff}} = \frac{5,43}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,049} = 18469 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} = \sqrt{3} \cdot 18469 = 31990 \text{ kPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{470000}{0,9 \cdot 1,25} = 417778 \text{ kPa}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\underline{31990 \leq 417778 \text{ [kPa]}} \quad \dots \quad \text{VYHOVUJE}$$

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést statické posouzení tenkostěnného ocelového modulu. Ve výpočtovém programu Scia Engineer byl vytvořen 3D model konstrukce a byly zde přidány tuhosti styčnicků rámových rohů. Ty způsobily redistribuci vnitřních sil na rámovém konstrukci.

Po posouzení jednotlivých profilů se zjistilo, že rohový sloupek a střešní profil boční nevyhovují návrhovému zatížení. Ostatní profily, které vyhovovaly, byly následně optimalizovány nebo ponechány, viz. kap. (5) optimalizace průřezů.

Rohový sloupek, aby vyhovoval, musel být zesílen z 4 mm na 6 mm.

Kvůli komplikovanému tvaru se střešní profil boční posuzoval jiným způsobem než ostatní profily, a to vytvořením desko-stěnového modelu. Výsledné napětí spolu se zahrnutím stability se poté porovnávalo s hodnotou meze kluzu oceli. Výsledkem bylo, že profil se musí zesílit z 2,8 mm na 4 mm.

Seznam obrázků

Obrázek 1- Nosná konstrukce objektu.....	5
Obrázek 2- Konstrukce modulu.....	6
Obrázek 3- Statický model pro výpočet vnitřních sil.....	6
Obrázek 4 - Stálé zatížení na podlahové nosníky.....	8
Obrázek 5 - Stálé zatížení na střešní nosníky.....	9
Obrázek 6 - Užité zatížení.....	9
Obrázek 7 - Zatížení sněhem.....	11
Obrázek 8 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť A, B.....	14
Obrázek 9 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť D, E.....	14
Obrázek 10 - Reakce sil od sousedících modulů.....	14
Obrázek 11 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru X.....	15
Obrázek 12 - Zatížení od větru na střechu ve směru X.....	16
Obrázek 13 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť E, A.....	17
Obrázek 14 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť E, A.....	17
Obrázek 15 - Reakce sil od sousedících modulů II.....	17
Obrázek 16 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru Y.....	18
Obrázek 17 - Zatížení od větru na střechu ve směru Y.....	18
Obrázek 18 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť B, D.....	19
Obrázek 19 - Reakce sil od sousedících modulů III.....	20
Obrázek 20 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru X-II.....	20
Obrázek 21 - Zatížení od větru na střechu ve směru Y.....	21
Obrázek 22 - Oblasti účinků větru na obvodový plášť B, D, E.....	21
Obrázek 23 - Reakce sil od sousedících modulů III.....	22
Obrázek 24 - Působení vodorovných sil na podlaží od větru ve směru Y-II.....	22
Obrázek 25 - Model modulu s rámovými rohy.....	27
Obrázek 26 - Namáhání styčnicku ohybovým momentem ve směru X.....	27
Obrázek 27 - Namáhání styčnicku ohybovým momentem ve směru Y.....	28
Obrázek 28- 2. iterace; hodnota ohyb. momentu.....	28
Obrázek 29 - 3. iterace; ohybový moment.....	29
Obrázek 30 - Model s polotuhými styčníky.....	30
Obrázek 31 - Střešní "Z" profil.....	31
Obrázek 32 - Pásnice "Z" profil.....	31
Obrázek 33 - Pásnice "Z" profil.....	31
Obrázek 34 - Oblast neúčinné zóny na pásnici.....	33
Obrázek 35 - Neúčinná zóna na stojině.....	33
Obrázek 36 - Účinný průřez pro průřez v tlaku.....	34
Obrázek 37 - Účinný průřez při namáhání kladným momentem.....	35
Obrázek 38 - Podlahový "Z" profil.....	38
Obrázek 39 - Pásnice podl. "Z" profilu.....	38
Obrázek 40 - Stojina podl. "Z" profilu.....	39
Obrázek 41 - Oblast neúčinné zóny na pásnici.....	40
Obrázek 42 - Neúčinná zóna na stojině.....	40
Obrázek 43 - Účinný průřez pro průřez v tlaku.....	41
Obrázek 44 - Účinný průřez při namáhání kladným momentem.....	42
Obrázek 45 - Podlahový profil boční.....	45

Obrázek 46 - Podlahový profil čelní.....	48
Obrázek 47 - Rohový sloupek	51
Obrázek 48 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	54
Obrázek 49 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	55
Obrázek 50- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy.....	56
Obrázek 51 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	56
Obrázek 52 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	57
Obrázek 53 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	58
Obrázek 54 - Účinný průřez při tlaku	59
Obrázek 55 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y	60
Obrázek 56 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y	61
Obrázek 57 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z	63
Obrázek 58 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z	64
Obrázek 59 - CUFMSM - průřez bez zabránění posunů.....	67
Obrázek 60 - CUFMSM – tvar vybočení celkového vzpěru.....	67
Obrázek 61 - CUFMSM - funkce kritického napětí v závislosti na délce	68
Obrázek 62-CUFMSM – Tvar distorzního vyboulení pásnice	69
Obrázek 63- CUFMSM – funkce krit. napětí pro vyboulení pásnice	69
Obrázek 64-CUFMSM – Tvar distorzního vyboulení stojiny.....	70
Obrázek 65- CUFMSM – funkce krit. napětí pro vyboulení stojiny.....	70
Obrázek 66-CUFMSM – Tvar distorzního vyboulení stojiny a pásnice.....	71
Obrázek 67- CUFMSM – funkce krit. napětí pro vyboulení stojiny a pásnice.....	71
Obrázek 68-CUFMSM – Tvar boulení stojiny.....	72
Obrázek 69- CUFMSM – funkce krit. napětí pro boulení stojiny.....	72
Obrázek 70- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7	74
Obrázek 71- Střešní profil boční.....	77
Obrázek 72- Připojení střešní vaznice a obvodového pláště	78
Obrázek 73- Desko-stěnový model ve Scia.....	79
Obrázek 74- Okrajové podpory	79
Obrázek 75- Schéma liniového zatížení profilu	80
Obrázek 76- Napětí σ_X v řezu uprostřed nosníku [MPa].....	83
Obrázek 77- Deformace nosníku v řezu uprostřed nosníku [mm].....	84
Obrázek 78- Střešní profil čelní.....	85
Obrázek 79- Schéma zatížení	86
Obrázek 80- Napětí σ_X uprostřed nosníku.....	88
Obrázek 81- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar	89
Obrázek 82- Tvar vyboulení dolní výztuhy.....	89
Obrázek 83- Funkce krit. napětí pro 2. vlastní tvar	90
Obrázek 84- Tvar vyboulení horní výztuhy.....	90
Obrázek 85- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar	91
Obrázek 86- Tvar dist. vyboulení dolní výztuhy	91
Obrázek 87- Funkce krit. napětí pro 1. vlastní tvar	92
Obrázek 88- Tvar klopení	92
Obrázek 89- Napětí σ_X - s redukovanou šířkou.....	94
Obrázek 90- Napětí σ_X + s redukovanou šířkou.....	95
Obrázek 91- Napětí σ_Y - s redukovanou šířkou.....	96

Obrázek 92- Průhyb u_z	97
Obrázek 93- Snížení tloušťky na 1,5 mm	101
Obrázek 94- Účinný průřez optimalizace 1	103
Obrázek 95- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 1	104
Obrázek 96- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 1	104
Obrázek 97- Zkrácení šířky pásnic na 50 mm, tloušťka 1,5 mm.....	105
Obrázek 98- Účinný průřez – optimalizace 2	107
Obrázek 99- Tvar klopení průřezu – optimalizace 2	108
Obrázek 100- Křivka kritického napětí – optimalizace 2	108
Obrázek 101- Zkrácení pásnice o 10 mm	110
Obrázek 102- Účinný průřez.....	112
Obrázek 103- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 2	113
Obrázek 104- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 2	113
Obrázek 105- Účinný průřez.....	114
Obrázek 106- Tvar klopení průřezu_ Optimalizace 3	115
Obrázek 107- Křivka kritického napětí_ Optimalizace 3	115
Obrázek 108 - Podlahový profil boční.....	117
Obrázek 109 - Podlahový profil boční.....	118
Obrázek 110 - Podlahový profil čelní.....	119
Obrázek 111 - Rohový sloupek – optimalizace 1	122
Obrázek 112- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy	124
Obrázek 113 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	125
Obrázek 114 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	126
Obrázek 115 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	127
Obrázek 116 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	128
Obrázek 117 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	129
Obrázek 118 - Účinný průřez při tlaku	130
Obrázek 119 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y	131
Obrázek 120 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y	132
Obrázek 121 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z	133
Obrázek 122 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z	134
Obrázek 123- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7	138
Obrázek 124 - Rohový sloupek – optimalizace 2	139
Obrázek 125- Náhradní systém pro výpočet pérové tuhosti výztuhy	141
Obrázek 126 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	142
Obrázek 127 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	143
Obrázek 128 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	144
Obrázek 129 - Náhradní systém průřezu pro výpočet pérové tuhosti.....	145
Obrázek 130 - Výpočet průhybu δ v programu Scia Engineer	146
Obrázek 131 - Účinný průřez při tlaku	147
Obrázek 132 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Y	148
Obrázek 133 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Y	149
Obrázek 134 - Účinný průřez při kladném momentu kolem osy Z	150
Obrázek 135 - Účinný průřez při záporném momentu kolem osy Z	151
Obrázek 136- Směry působení ohyb. momentů na rohový sloupek B7 v kombinaci CO7	155

Obrázek 137- Napětí σ_{X+} na průřezu o tloušťce 3,5 mm.....	157
Obrázek 138- Napětí σ_{X+} na průřezu o tloušťce 4,0 mm.....	158
Obrázek 139- Funkce krit. napětí – optimalizace 2.....	159
Obrázek 140- Průřez – optimalizace 2 (úprava č. 1).....	159
Obrázek 141- Funkce krit. napětí – optimalizace 2 (úprava 1).....	160
Obrázek 142- Porovnání funkcí krit. napětí.....	160
Obrázek 143- Schématické znázornění úseků.....	160
Obrázek 144- Schéma boulení horní výztuhy.....	161
Obrázek 145- Funkce krit. napětí; bod boulení.....	161
Obrázek 146- Schéma distorzního vyboulení horní výztuhy.....	162
Obrázek 147- Funkce krit. napětí; bod distorzního vyboulení.....	162
Obrázek 148- Schéma klopení průřezu.....	163
Obrázek 149- Funkce krit. napětí; bod klopení.....	163
Obrázek 150- MSP – charakteristická; u_z	165
Obrázek 151- Přípoj vaznice ke střešnímu bočnímu profilu.....	169
Obrázek 152- Přípoj podlahové vaznice.....	170
Obrázek 153- Schéma napětí na průřezu.....	171
Obrázek 154- Přípoj střešního bočního profilu.....	173

Seznam tabulek

Tabulka 1: Součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny budovy.....	13
Tabulka 2: Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy.....	13
Tabulka 3 - Iterace tuhosti.....	29
Tabulka 4 - Vnitřní síly podlahový boční profil.....	46
Tabulka 5 - Vnitřní síly podlahový boční profil.....	49
Tabulka 6 - Vnitřní síly rohového sloupku.....	73
Tabulka 7 - Vnitřní síly rohového sloupku.....	137
Tabulka 8 - Vnitřní síly rohového sloupku.....	154



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Přílohy

Bc. Petr Janíček

Leden 2018

SEZNAM PŘÍLOH:

PŘÍLOHA Č. 1 - Výběr nejkritičtější kombinace vnitřních sil pro rohový sloupek

PŘÍLOHA Č. 2 - Vodorovné posuny rohového sloupku z programu Scia Engineer.
Obálka MSP

PŘÍLOHA Č. 3 - Scia Engineer report, vnitřní síly, deformace – prutový model

PŘÍLOHA Č. 4 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního
bočního profilu

PŘÍLOHA Č. 5 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního
bočního profilu – optimalizovaný

PŘÍLOHA Č. 6 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního
čelní profilu

PŘÍLOHA Č. 7 - Výkres dispozice, M1:20

PŘÍLOHA Č. 8 - Výkres detailů, M1:5

Příloha č. 1 - Výběr nejkritičtější kombinace vnitřních sil pro rohový sloupek

Vnitřní síly pro 4 rohové sloupky B5, B7, B11, B12 vygenerované ze Scia Engineer. U každého řádku je napsaný i kombinační klíč. Dále jsou provedeny čtyři výpočty podle rovnic níže, aby se zjistila nejkritičtější kombinace na určitém sloupku.

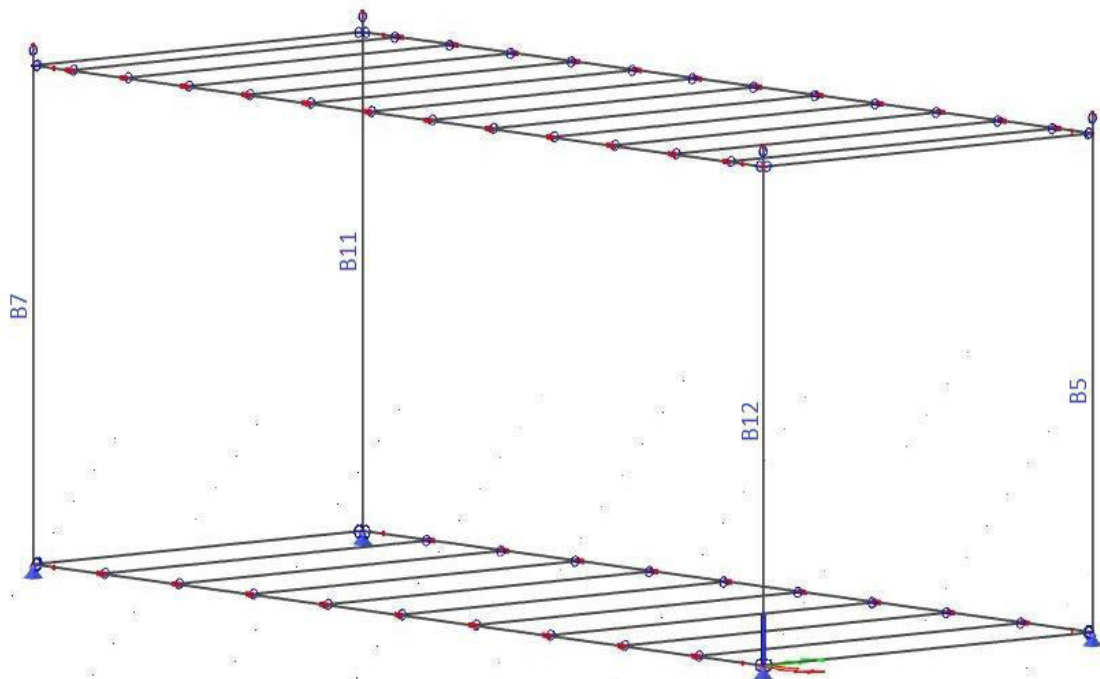
Jméno	Stav	N,Ed [kN]	M _y ,Ed [kNm]	M _z ,Ed [kNm]	1. výpočet	2. výpočet	3. výpočet	4. výpočet
B5	CO1/1	-41,70	10,35	0,28	1,175	1,173	1,164	1,162
B5	CO1/2	-6,18	-0,26	-0,17	0,189	0,188	0,188	0,187
B5	CO1/3	-8,78	1,85	3,96	0,649	0,634	0,646	0,631
B5	CO1/4	-33,40	5,63	-3,98	1,177	1,162	1,170	1,155
B5	CO1/5	-39,61	10,37	0,30	1,153	1,151	1,142	1,140
B5	CO1/6	-32,39	9,97	0,46	1,066	1,064	1,056	1,053
B5	CO1/7	-8,62	-2,46	1,42	0,489	0,482	0,485	0,478
B5	CO1/8	-15,15	1,09	-4,01	0,705	0,689	0,703	0,688
B5	CO1/9	-27,03	6,38	3,99	1,130	1,115	1,122	1,107
B7	CO1/10	-42,59	8,25	-1,91	1,249	1,241	1,240	1,232
B7	CO1/11	-5,07	0,27	0,27	0,182	0,181	0,182	0,180
B7	CO1/12	-7,48	1,86	3,99	0,630	0,615	0,627	0,612
B7	CO1/13	-34,01	5,97	-3,65	1,177	1,163	1,170	1,155
B7	CO1/14	-39,71	10,85	1,90	1,319	1,311	1,308	1,300
B7	CO1/15	-40,52	8,24	-1,92	1,225	1,217	1,216	1,207
B7	CO1/7	-11,47	5,25	2,38	0,746	0,736	0,740	0,730
B7	CO1/16	-10,47	-2,46	-0,45	0,428	0,425	0,424	0,422
B7	CO1/17	-15,82	1,12	-3,98	0,714	0,699	0,712	0,697
B7	CO1/18	-25,66	6,71	4,32	1,149	1,133	1,141	1,125
B11	CO1/19	-41,27	8,21	-2,33	1,265	1,255	1,255	1,246
B11	CO1/4	-33,28	-1,06	0,45	0,660	0,657	0,658	0,656
B11	CO1/3	-8,44	0,28	0,26	0,240	0,238	0,239	0,237
B11	CO1/20	-32,71	-0,50	0,86	0,656	0,651	0,655	0,651
B11	CO1/16	-10,48	-2,47	-0,48	0,432	0,429	0,428	0,425
B11	CO1/14	-40,92	10,78	-0,81	1,238	1,233	1,226	1,222
B11	CO1/8	-15,38	1,14	-4,01	0,711	0,696	0,709	0,694
B11	CO1/9	-27,08	6,67	4,02	1,145	1,130	1,138	1,122
B12	CO1/10	-42,5	7,82	-1,96	1,234	1,226	1,225	1,217
B12	CO1/13	-33,56	-1,03	0,42	0,658	0,656	0,657	0,654
B12	CO1/12	-6,56	0,28	0,27	0,209	0,208	0,209	0,207
B12	CO1/11	-4,52	0,27	0,27	0,172	0,171	0,172	0,170
B12	CO1/20	-29,57	-0,72	0,12	0,552	0,551	0,551	0,550
B12	CO1/7	-10,21	-2,49	-2,35	0,590	0,580	0,586	0,577
B12	CO1/5	-39,43	10,42	0,69	1,194	1,190	1,183	1,179
B12	CO1/17	-15,82	1,12	-3,98	0,714	0,699	0,712	0,697
B12	CO1/18	-25,04	6,41	4,28	1,125	1,109	1,118	1,102
MAX					1,319	1,311	1,308	1,300

Nb,rd	-75,91	1. výpočet	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^+}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$
My,rd +	23,73		
My,rd -	24,39		
Mz,rd +	15,22	2. výpočet	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^+}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$
Mz,rd -	16,10		
		3. výpočet	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^-}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^+}\right)^{0,8} \leq 1,0$
		4. výpočet	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}^-}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}^-}\right)^{0,8} \leq 1,0$

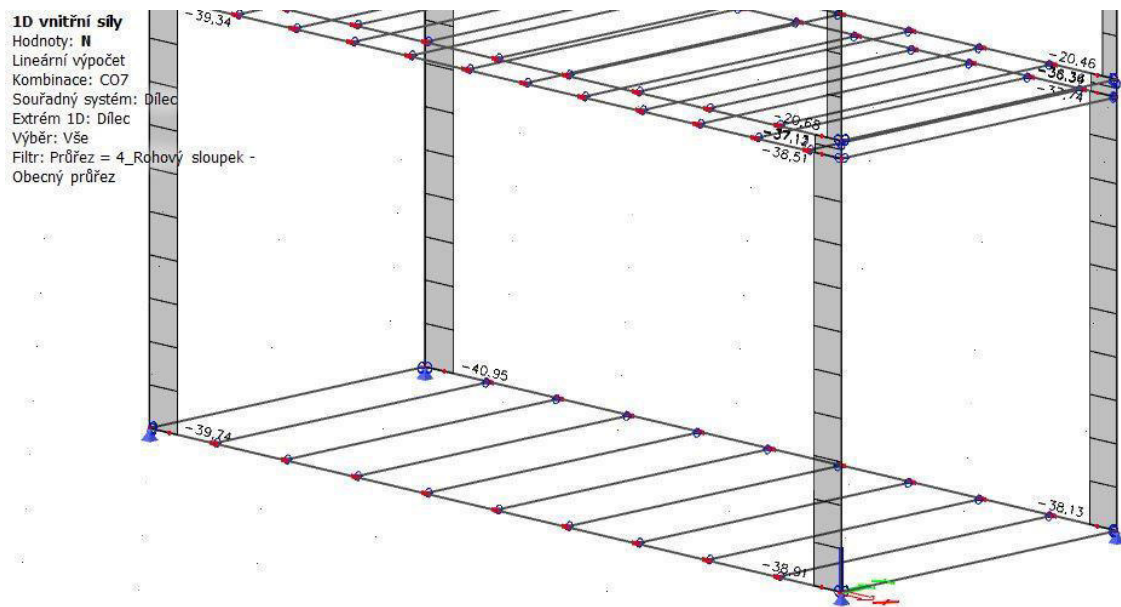
Kombinační klíče obálky CO1 (Soubor B) v Scia Engineer.

Jméno	Klíč kombinace
CO1/1	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.75*ZS4 + 0.90*ZS7
CO1/2	ZS1 + ZS2 + 1.50*ZS5
CO1/3	ZS1 + ZS2 + 1.50*ZS8
CO1/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS6
CO1/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.90*ZS7
CO1/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3 + 1.50*ZS7
CO1/7	ZS1 + ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS5
CO1/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS6
CO1/9	ZS1 + ZS2 + 1.05*ZS3 + 1.50*ZS8
CO1/10	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.75*ZS4 + 0.90*ZS8
CO1/11	ZS1 + ZS2 + 1.50*ZS6
CO1/12	ZS1 + ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS6
CO1/13	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3 + 1.50*ZS8
CO1/14	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.75*ZS4 + 0.90*ZS5
CO1/15	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.90*ZS8
CO1/16	ZS1 + ZS2 + 1.50*ZS7
CO1/17	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS8
CO1/18	ZS1 + ZS2 + 1.05*ZS3 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS6
CO1/19	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.50*ZS3 + 0.75*ZS4 + 0.90*ZS6
CO1/20	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.05*ZS3 + 0.75*ZS4 + 1.50*ZS5

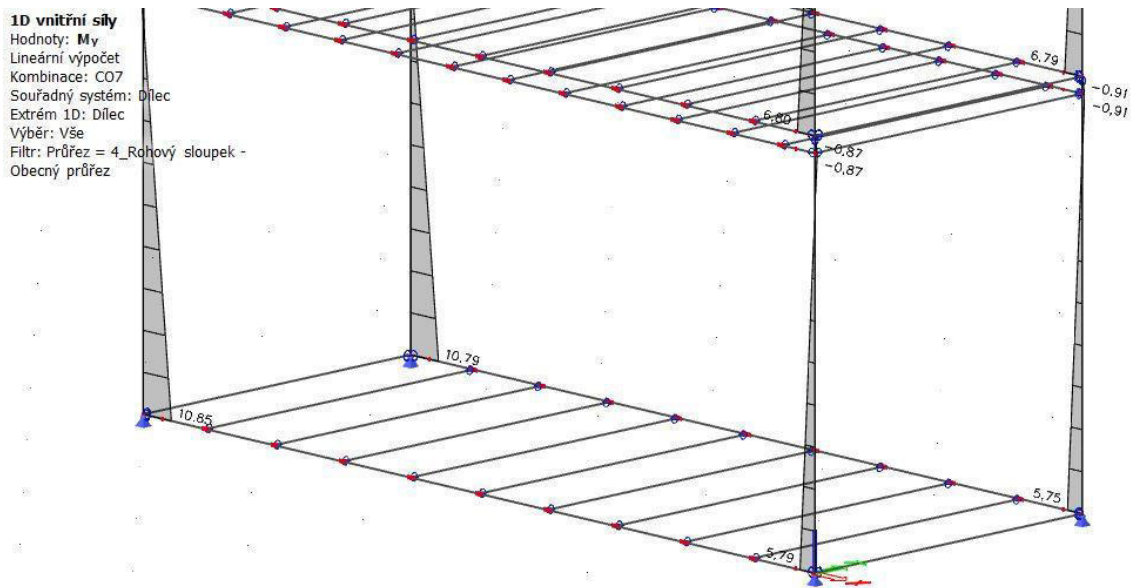
Podle maximálního čísla u všech čtyřech výpočtů je nejkritičtější kombinace CO1/14 na sloupku B7. Tato kombinace odpovídá zadané kombinaci číslo CO7.



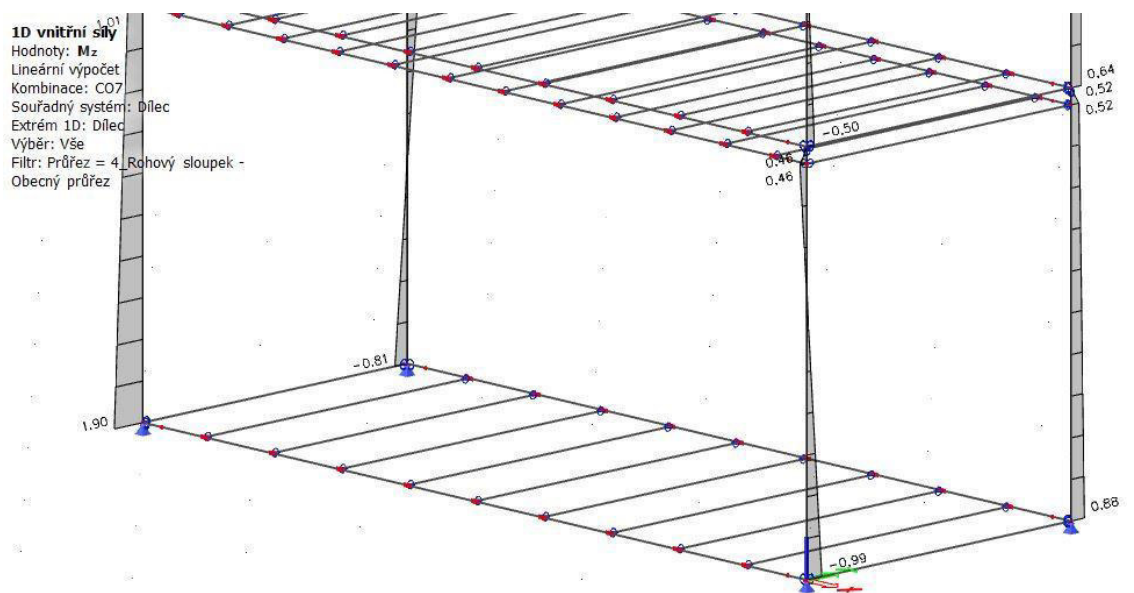
Obrázek 1- Rohový sloupek – popis



Obrázek 2- Rohový sloupek – C07 – N

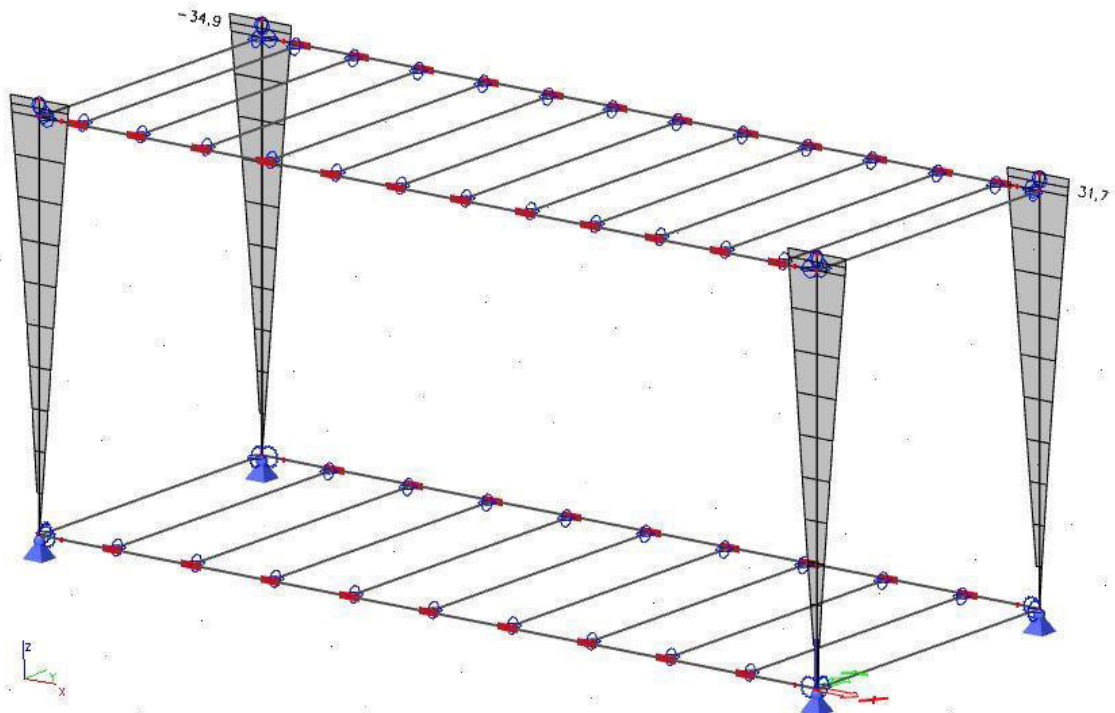


Obrázek 3- Rohový sloupek – CO7 – M_y

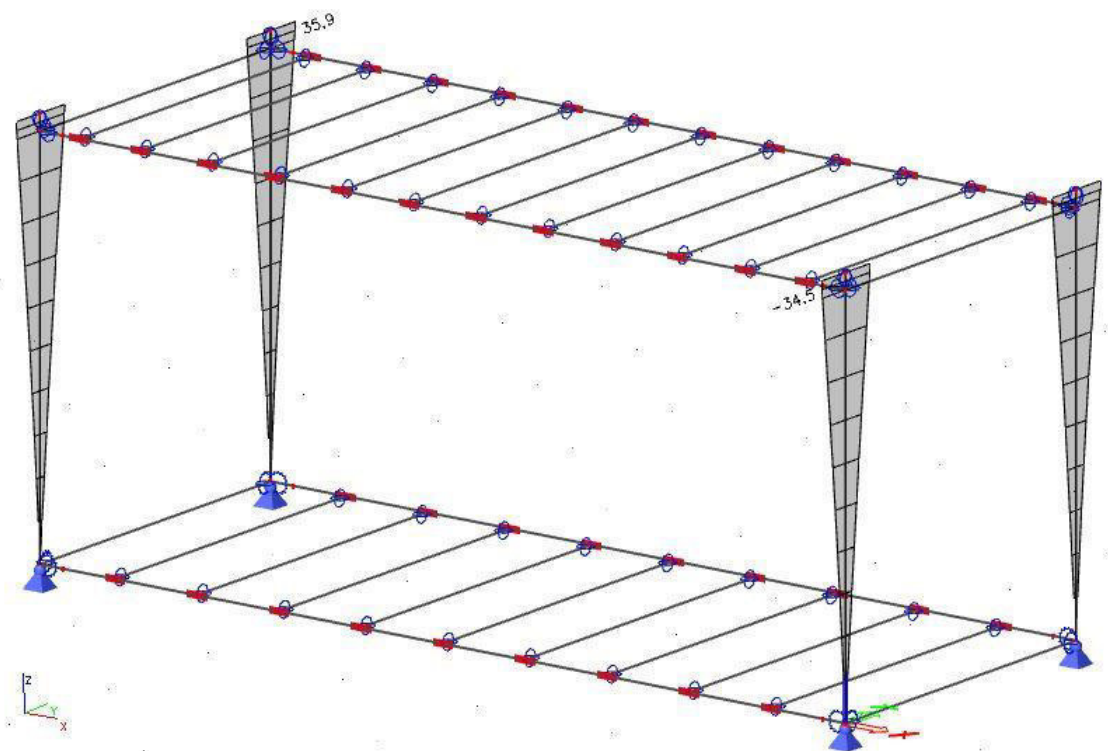


Obrázek 4- Rohový sloupek – CO7 – M_z

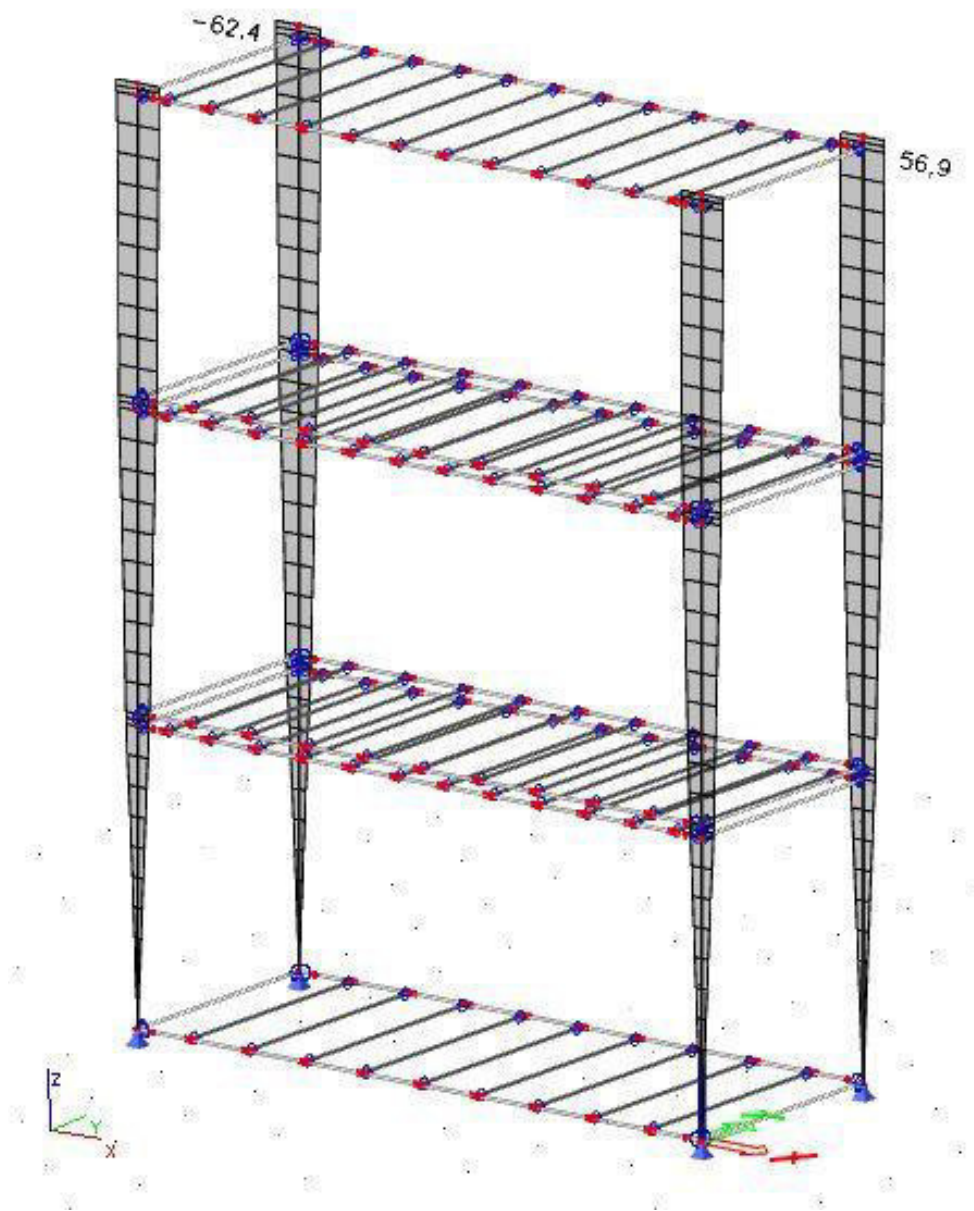
Příloha č. 2 - Vodorovné posuny rohového sloupku z programu Scia Engineer. Obálka MSP.



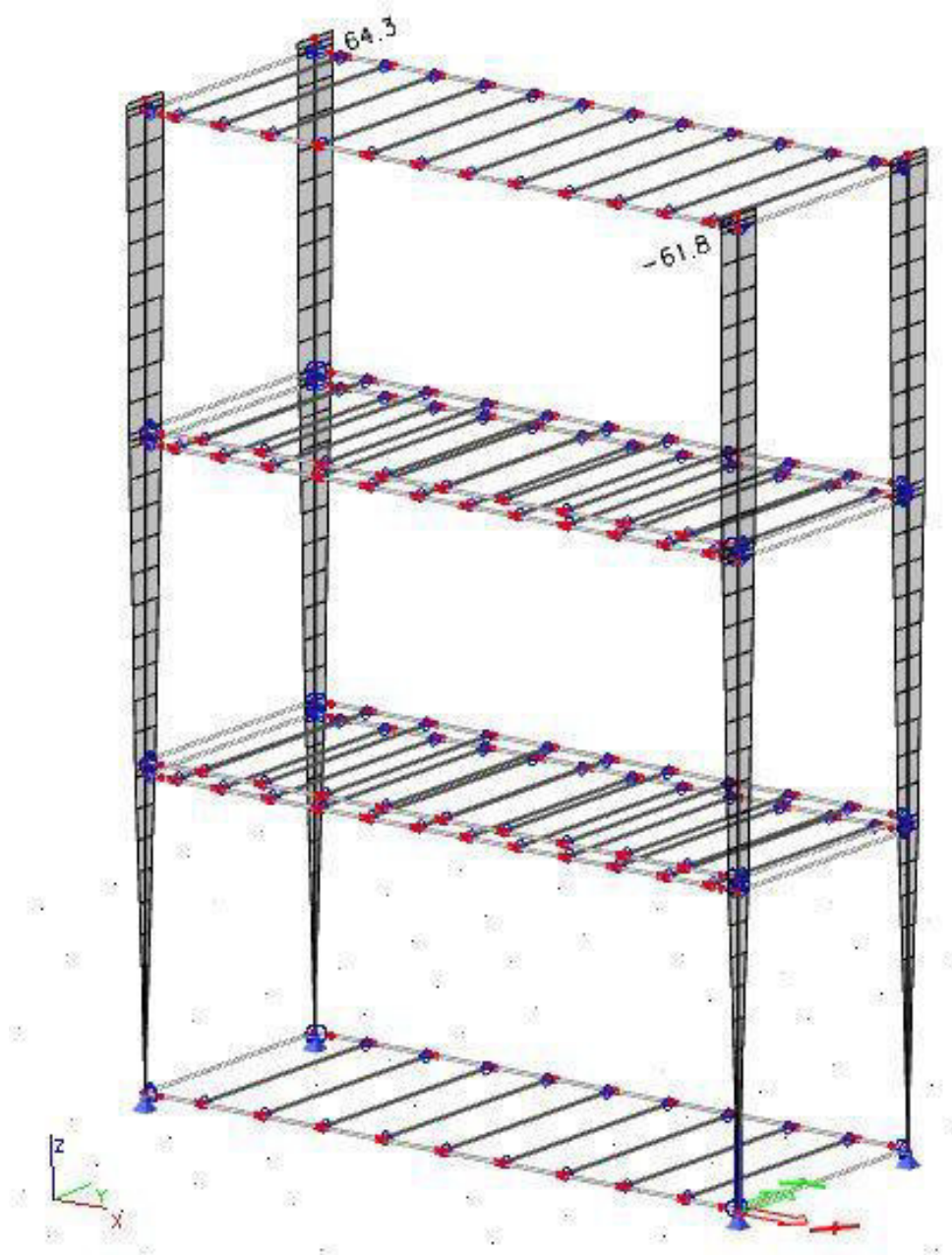
Obrázek 5- Posun u_x jednoho patra



Obrázek 6- Posun u_y jednoho patra

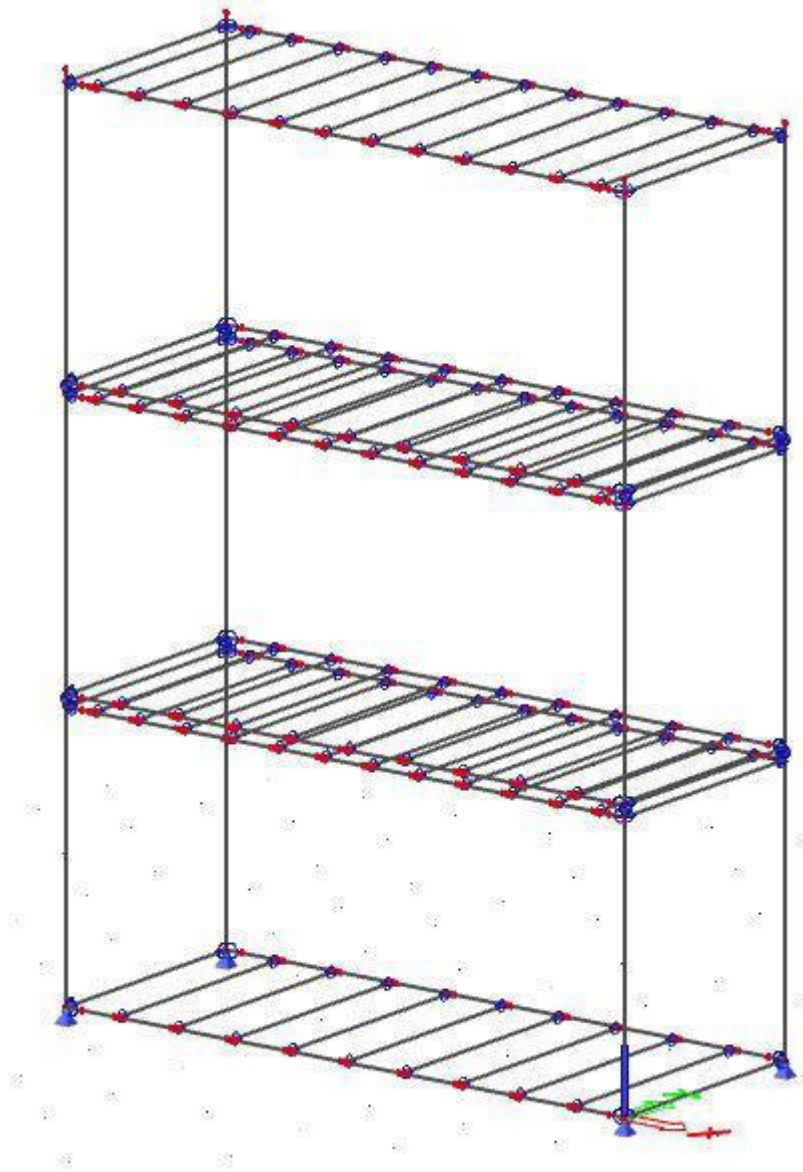


Obrázek 7- Posun u_x celé konstrukce



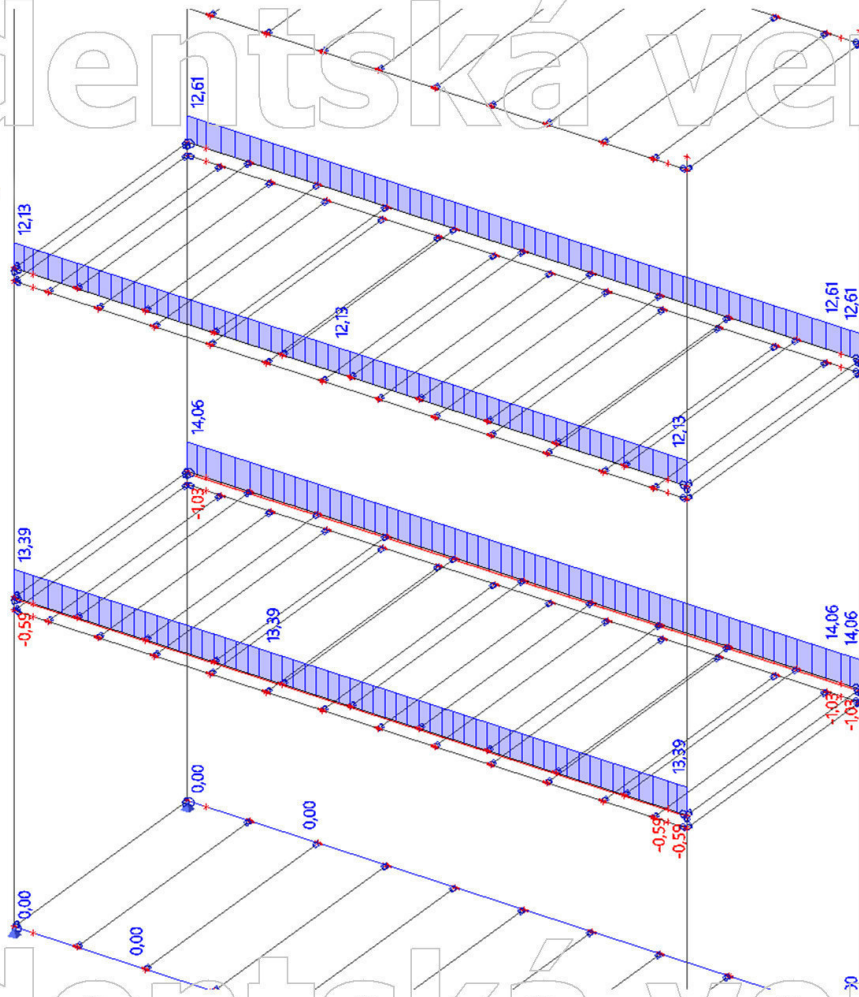
Obrázek 8- Posun u_y celé konstrukce

**Příloha č. 3 - Scia Engineer report, vnitřní síly, deformace –
prutový model**



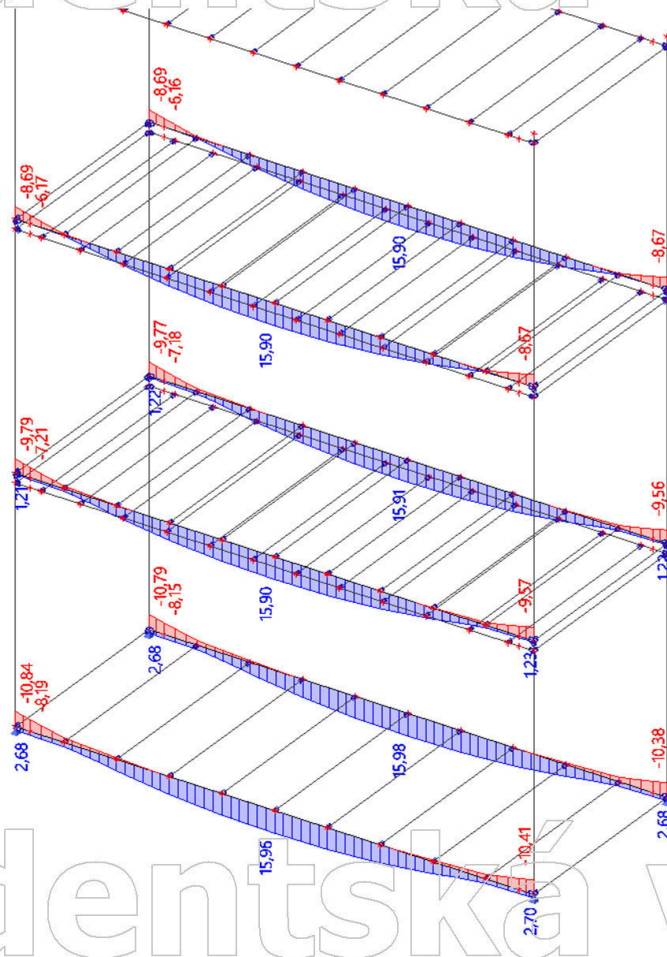
1. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



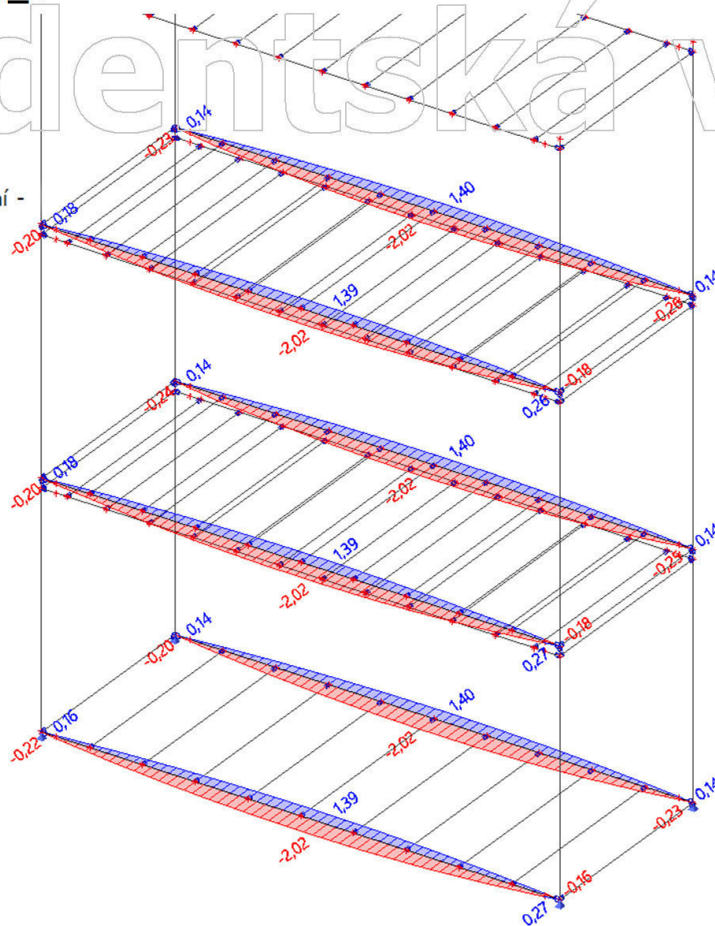
2. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



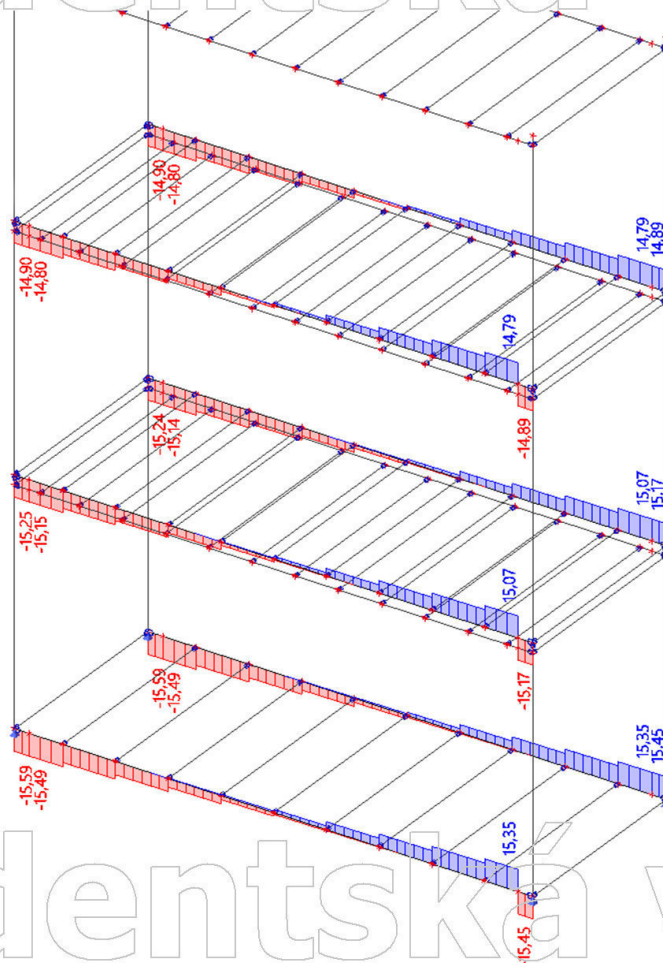
3. 1D vnitřní síly; M_z

Hodnoty: M_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



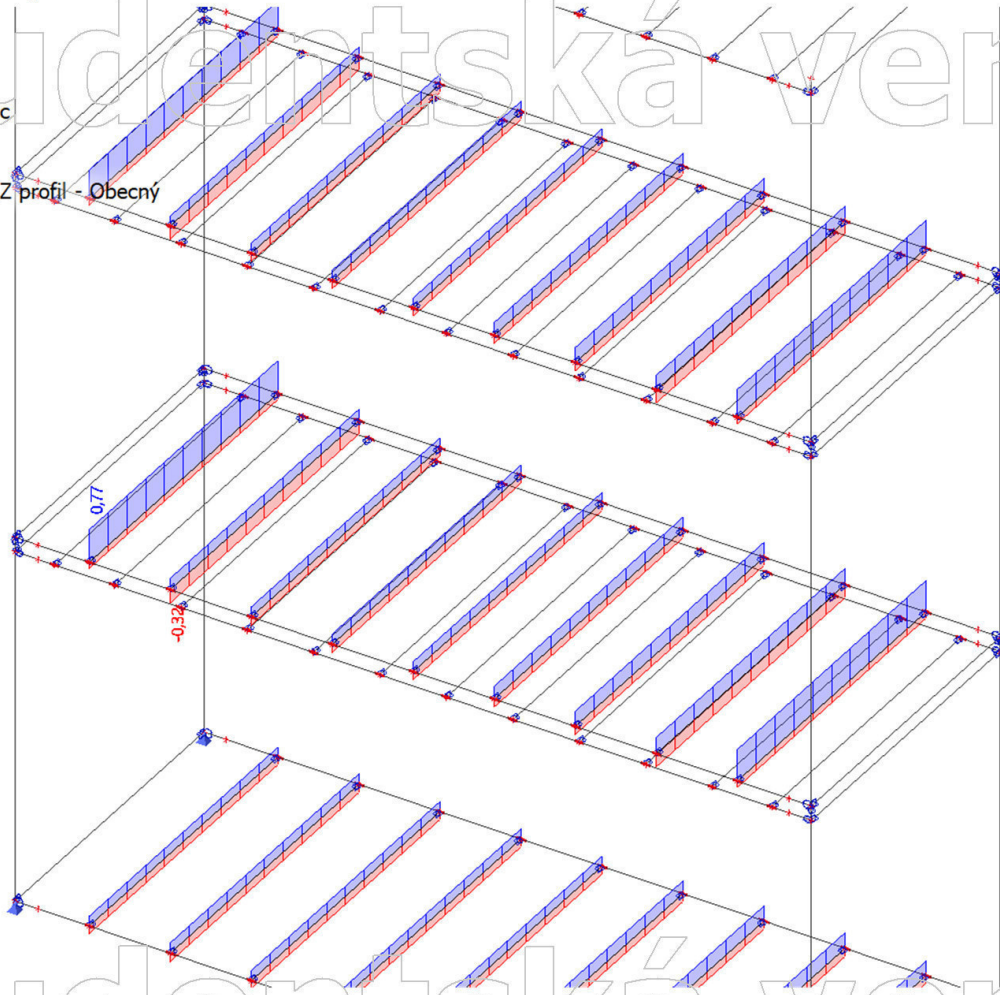
4. 1D vnitřní síly; V_z

Hodnoty: V_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



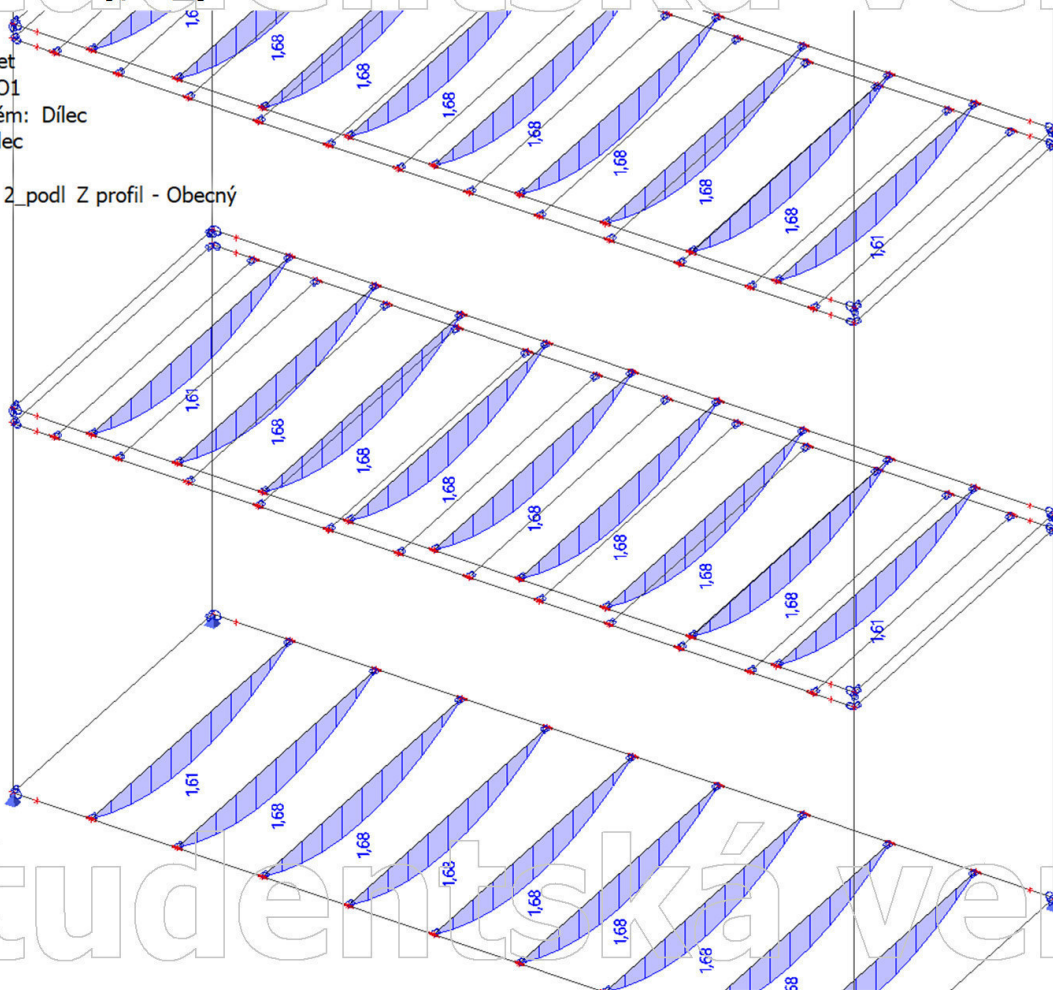
5. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 2_podl Z profil - Obecný průřez



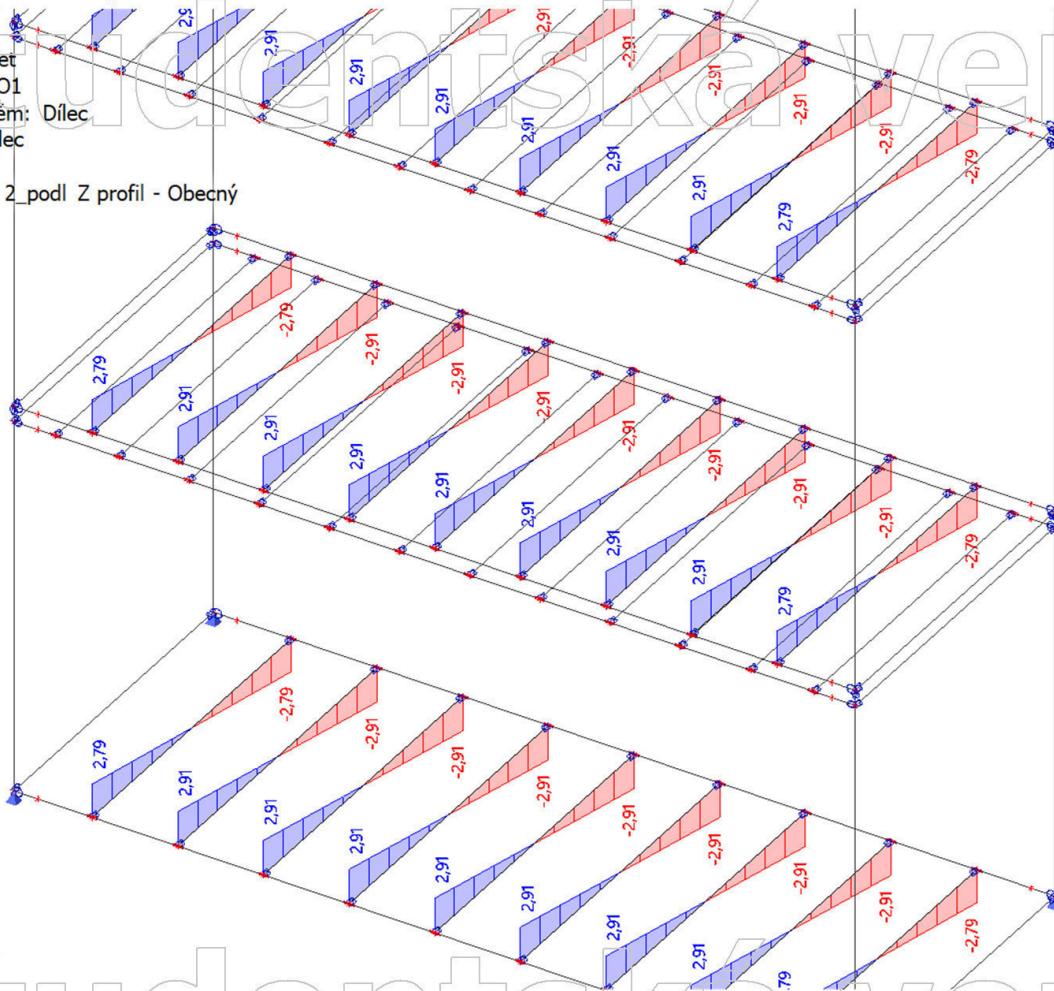
6. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 2_podl Z profil - Obecný průřez



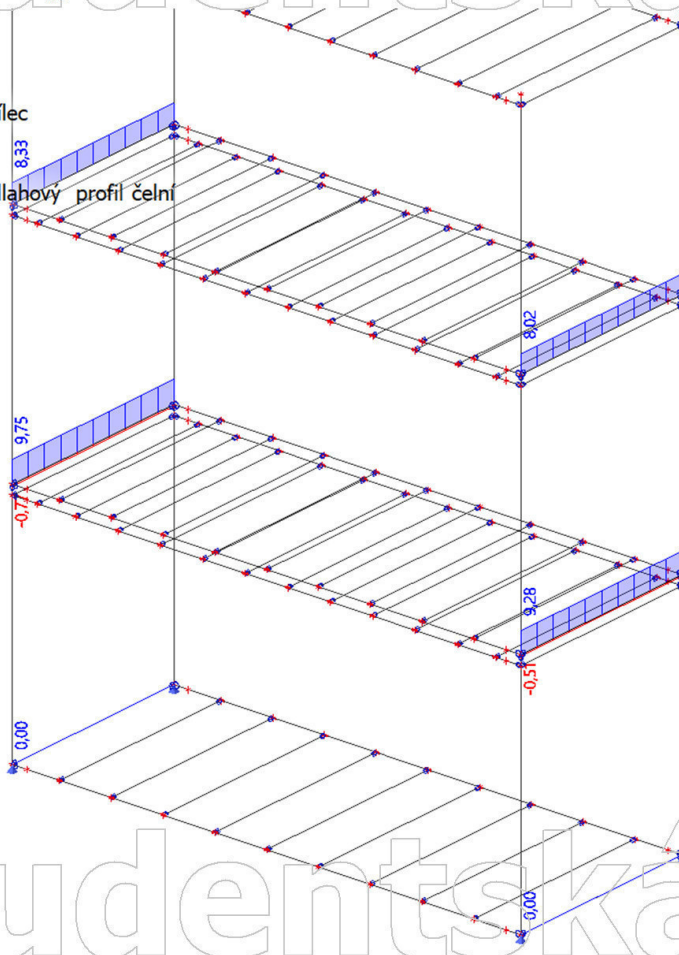
7. 1D vnitřní síly; V_z

Hodnoty: V_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 2_podl Z profil - Obecný průřez



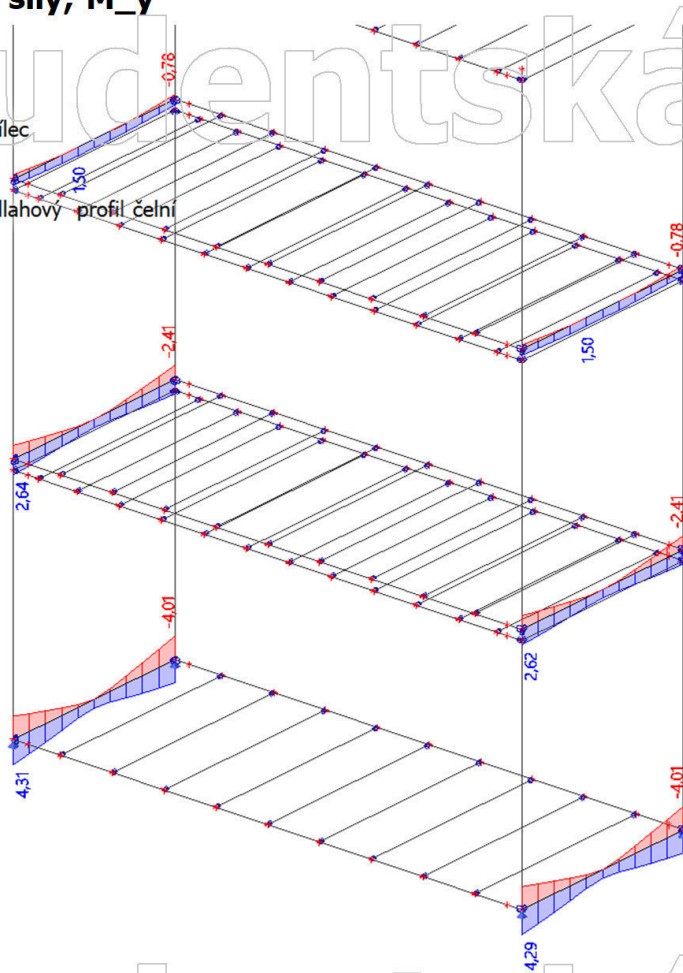
8. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 3_Podlahový profil čelní - Obecný průřez



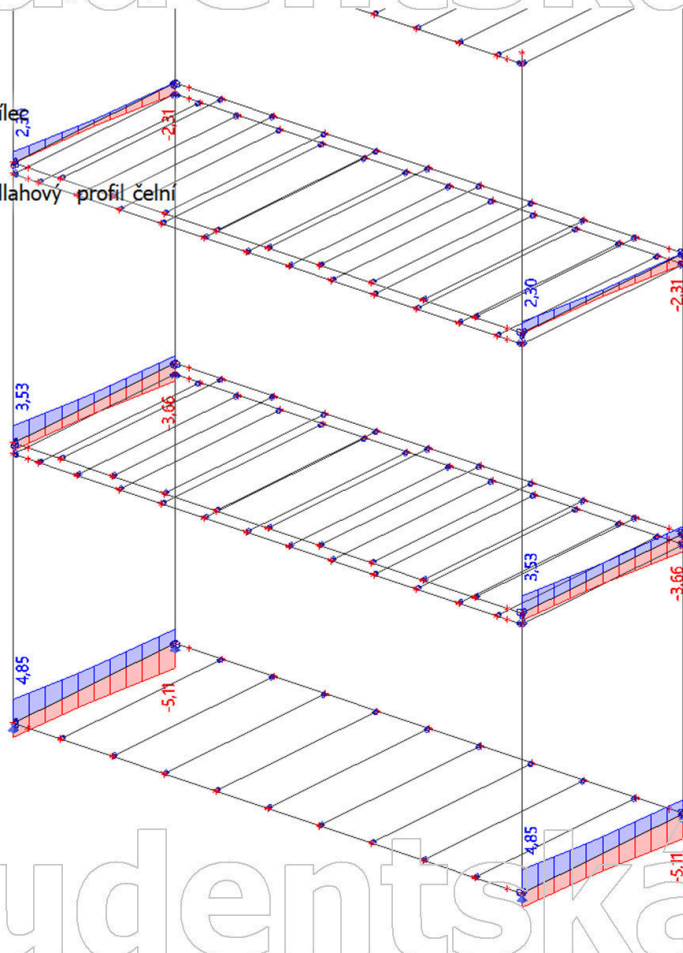
9. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 3_Podlahový profil čelní
- Obecný průřez



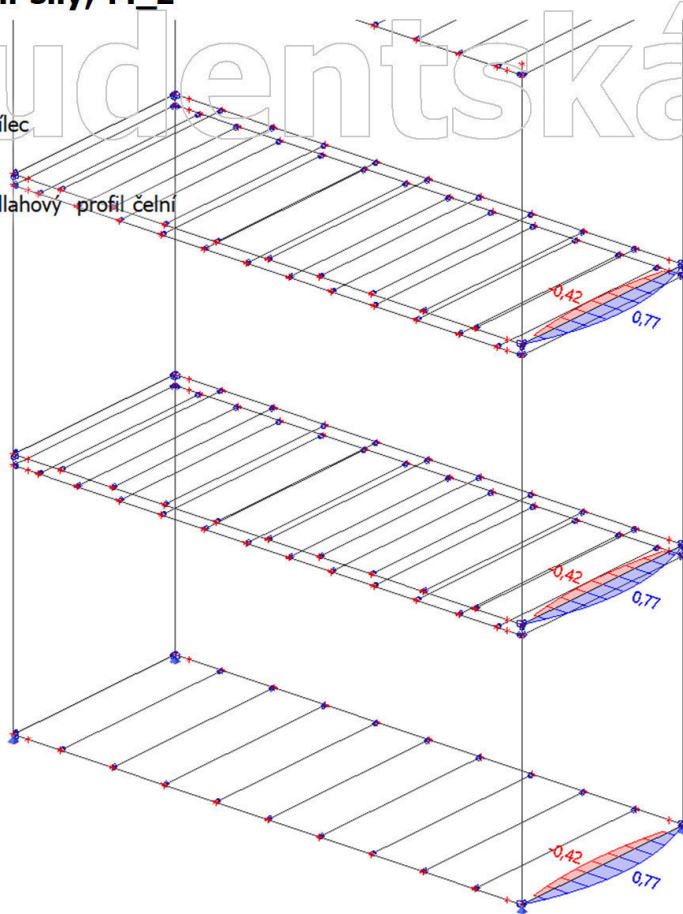
10. 1D vnitřní síly; V_z

Hodnoty: V_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 3_Podlahový profil čelní
- Obecný průřez



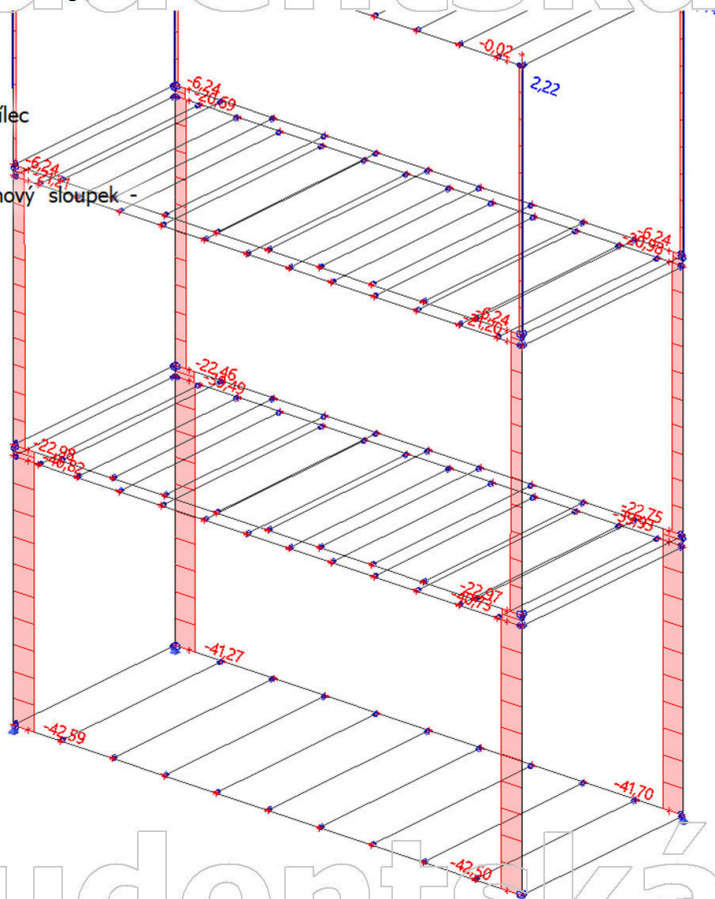
11. 1D vnitřní síly; M_z

Hodnoty: M_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 3_Podlahový profil čelní
- Obecný průřez



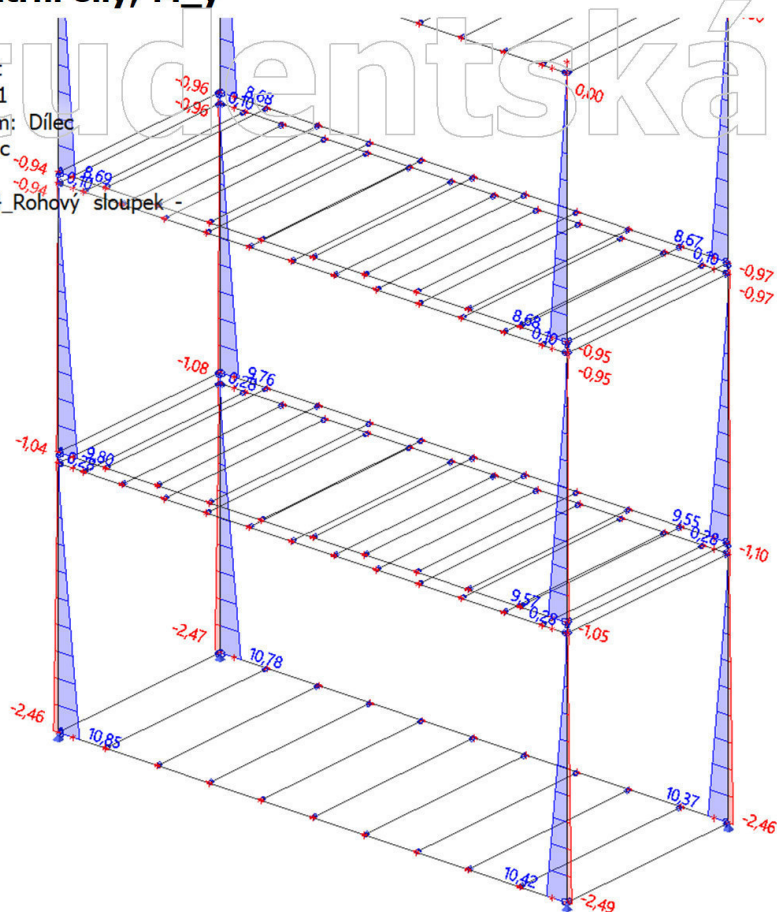
12. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



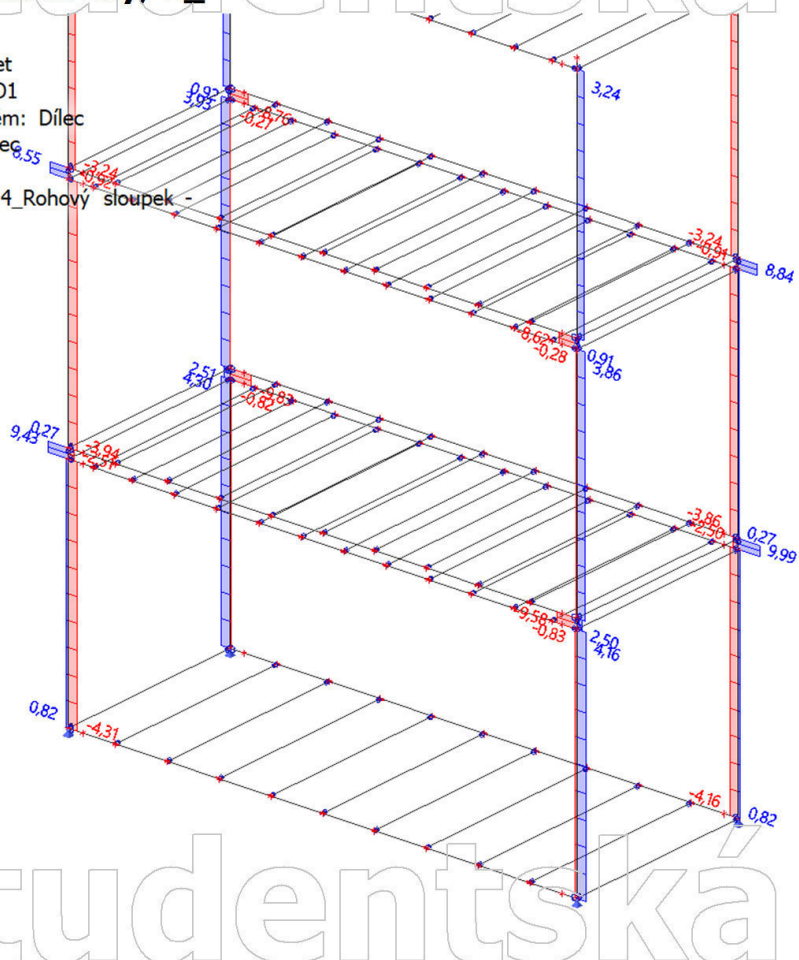
13. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



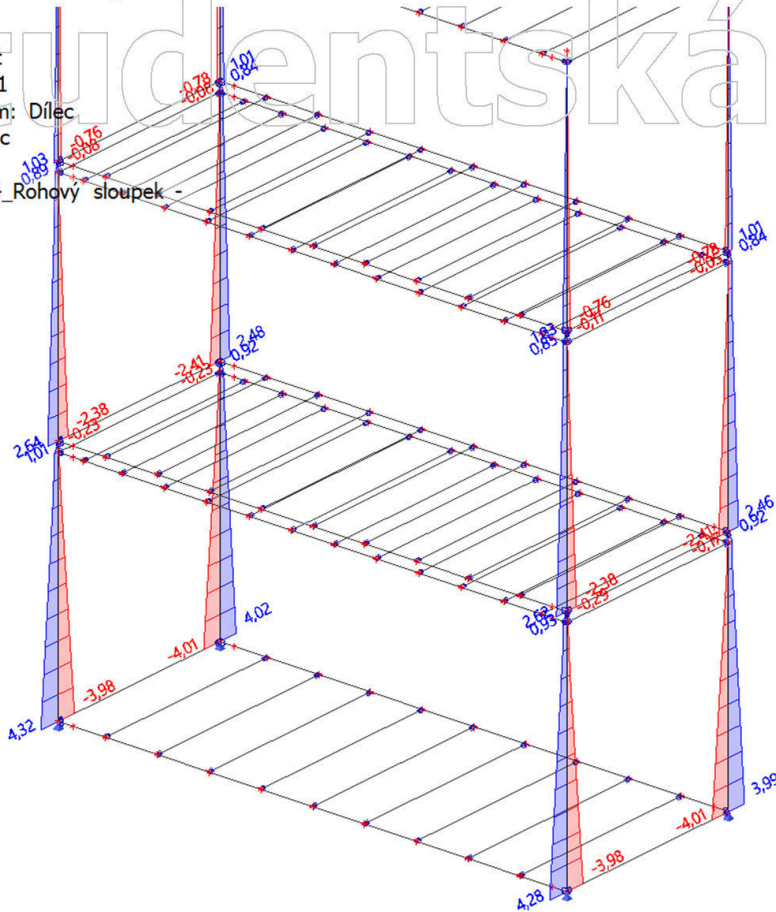
14. 1D vnitřní síly; V_z

Hodnoty: V_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



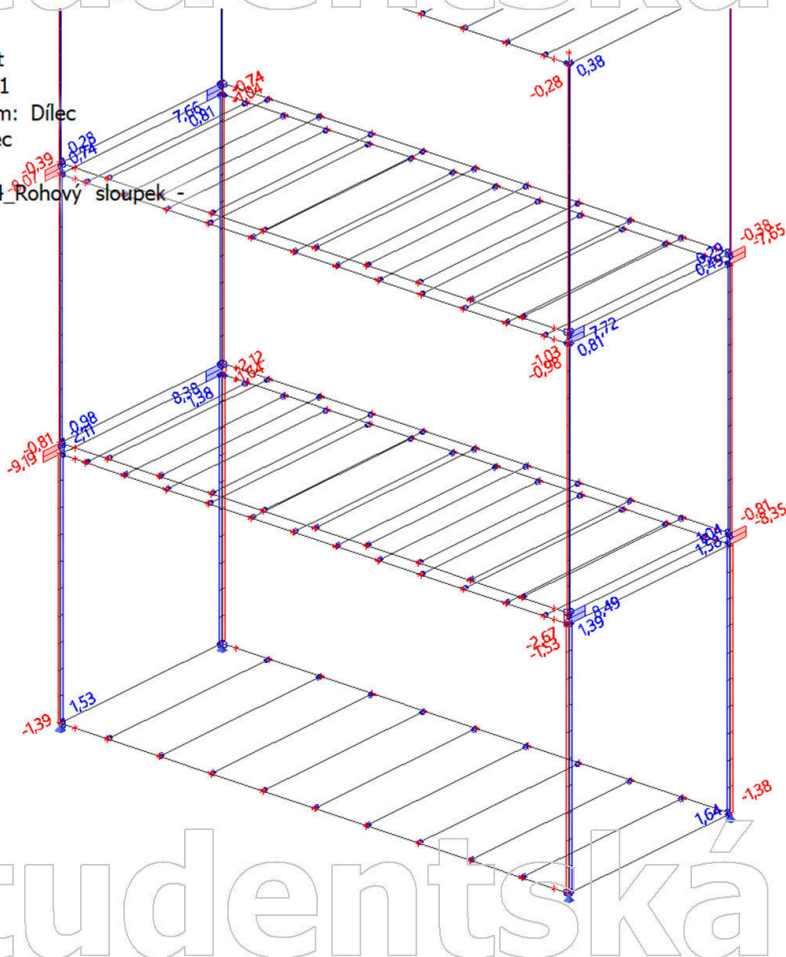
15. 1D vnitřní síly; M_z

Hodnoty: M_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



16. 1D vnitřní síly; V_y

Hodnoty: V_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



17. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

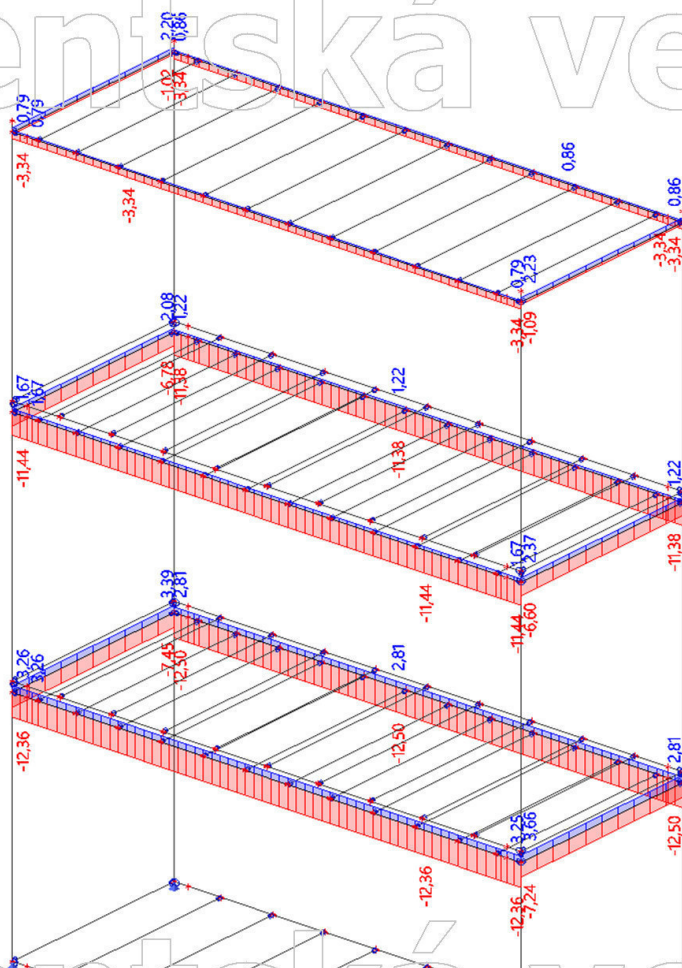
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -

Obecný průřez



18. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

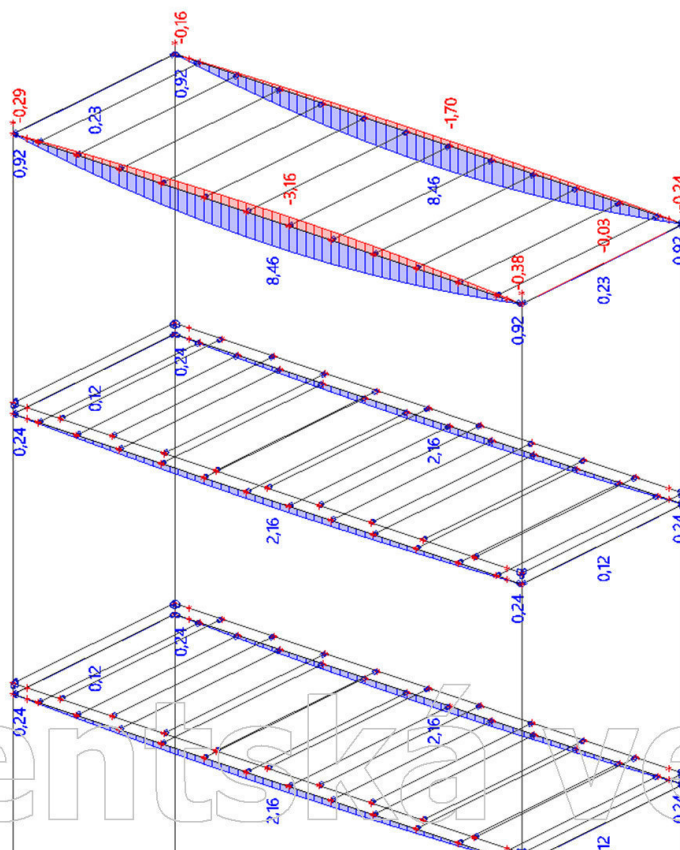
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -

Obecný průřez



19. 1D vnitřní síly; V_z

Hodnoty: V_z

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

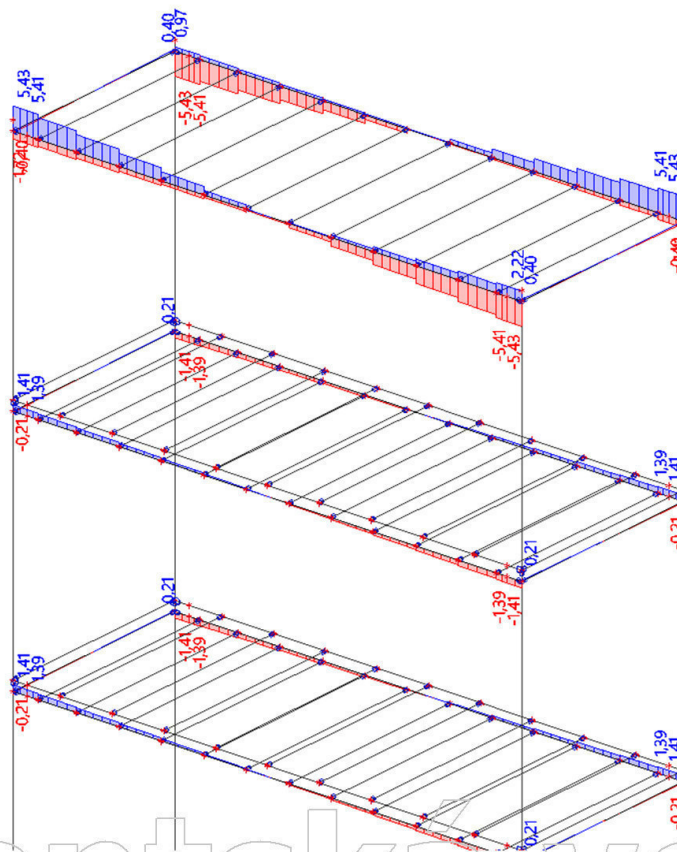
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -

Obecný průřez



20. 1D vnitřní síly; M_z

Hodnoty: M_z

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

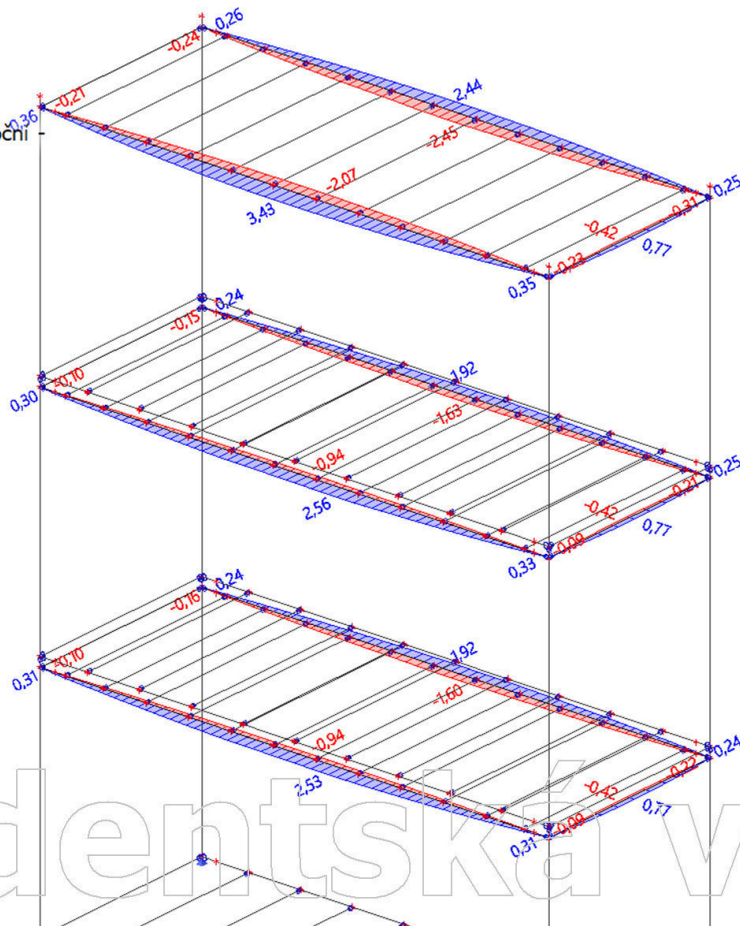
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -

Obecný průřez



21. 1D vnitřní síly; N

Hodnoty: N

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

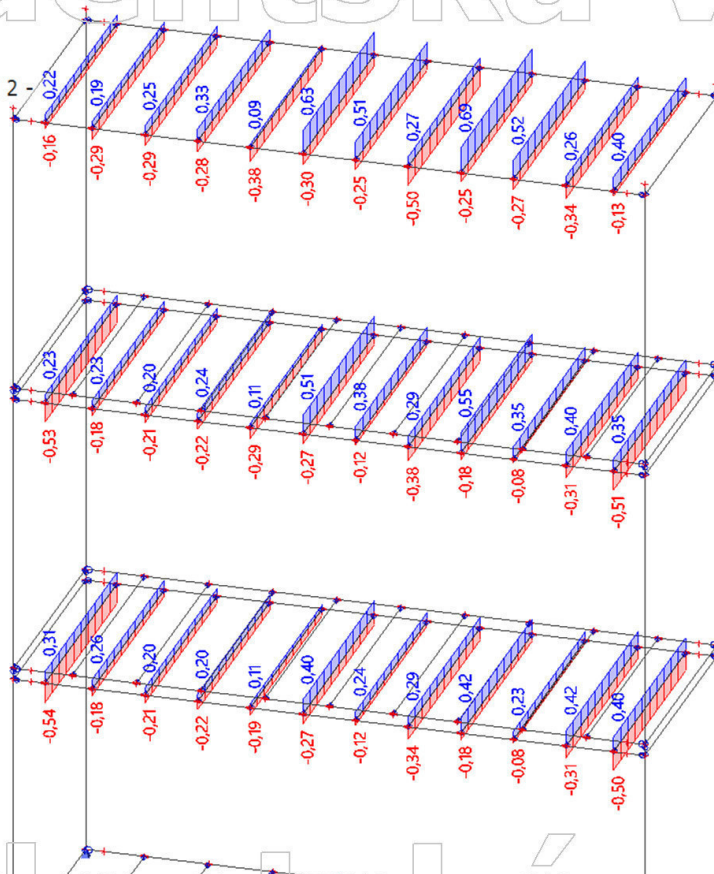
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = 6_Střešní "Z" profil 2 -

Obecný průřez



22. 1D vnitřní síly; M_y

Hodnoty: M_y

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

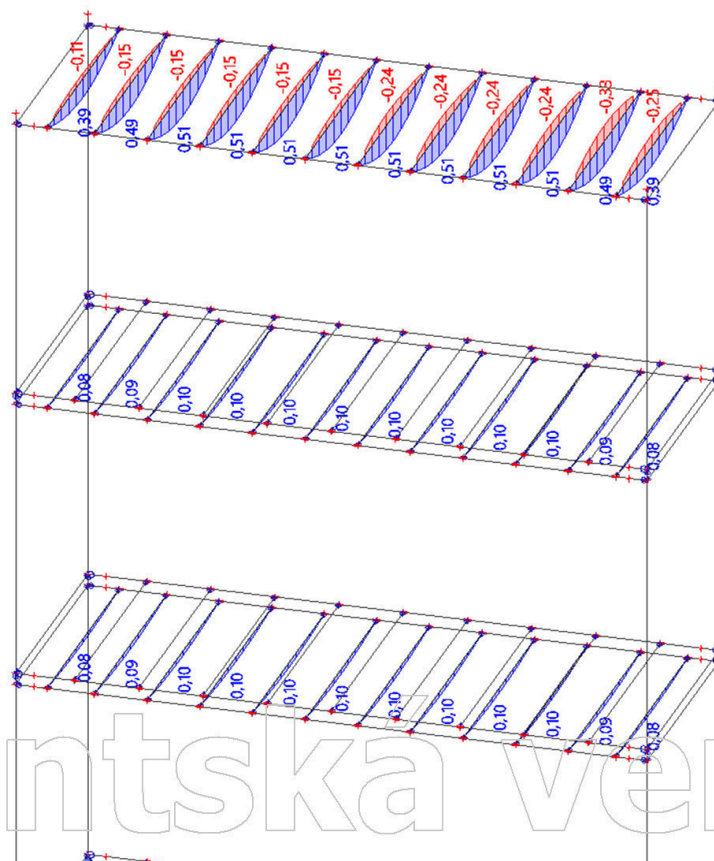
Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

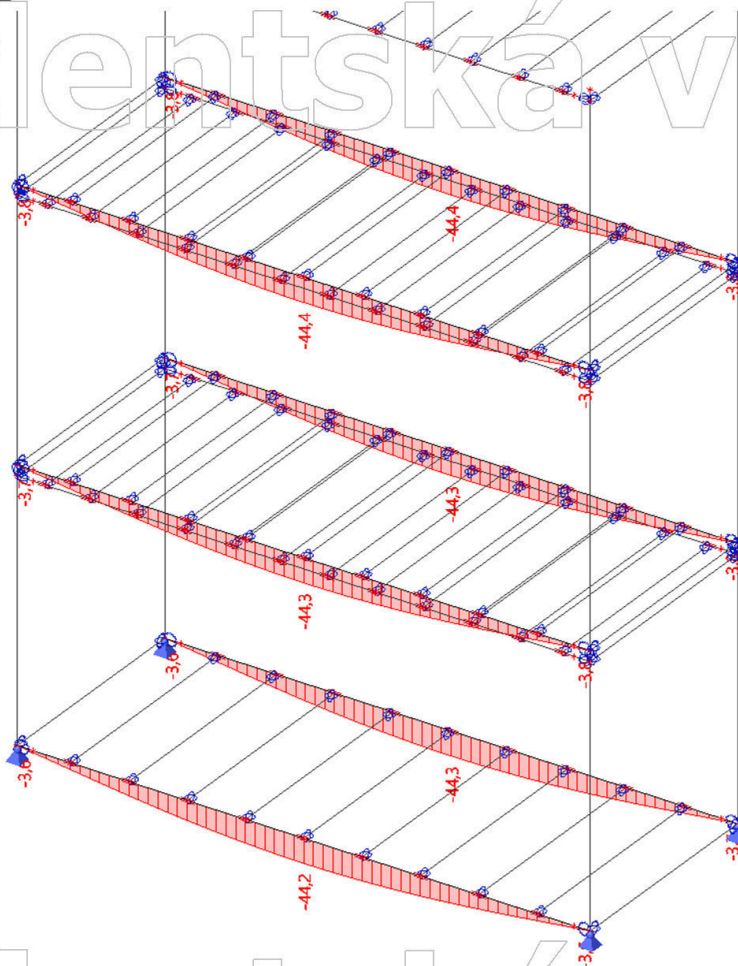
Filtr: Průřez = 6_Střešní "Z" profil 2 -

Obecný průřez



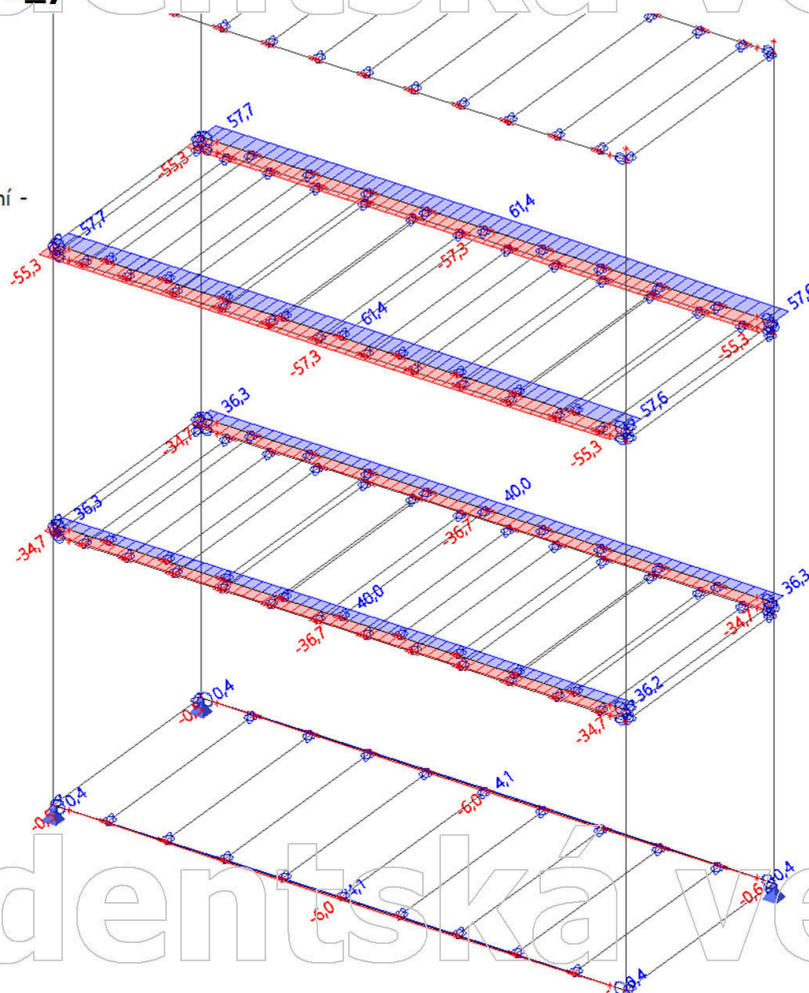
23. 1D deformace; u_z

Hodnoty: u_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



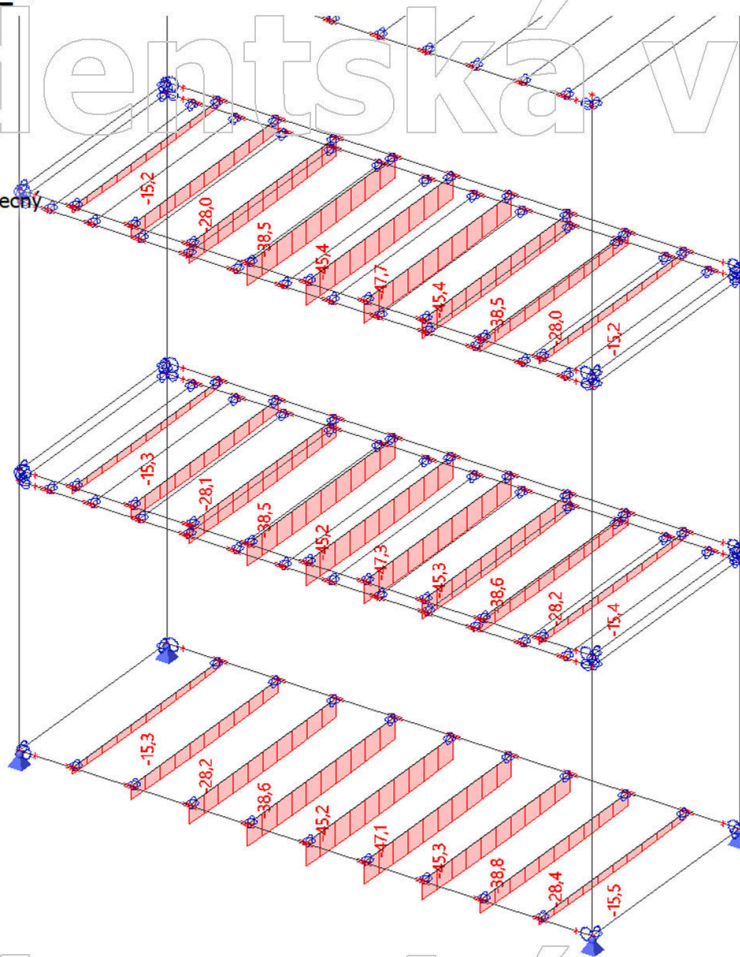
24. 1D deformace; u_y

Hodnoty: u_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 1_podl prof boční -
Obecný průřez



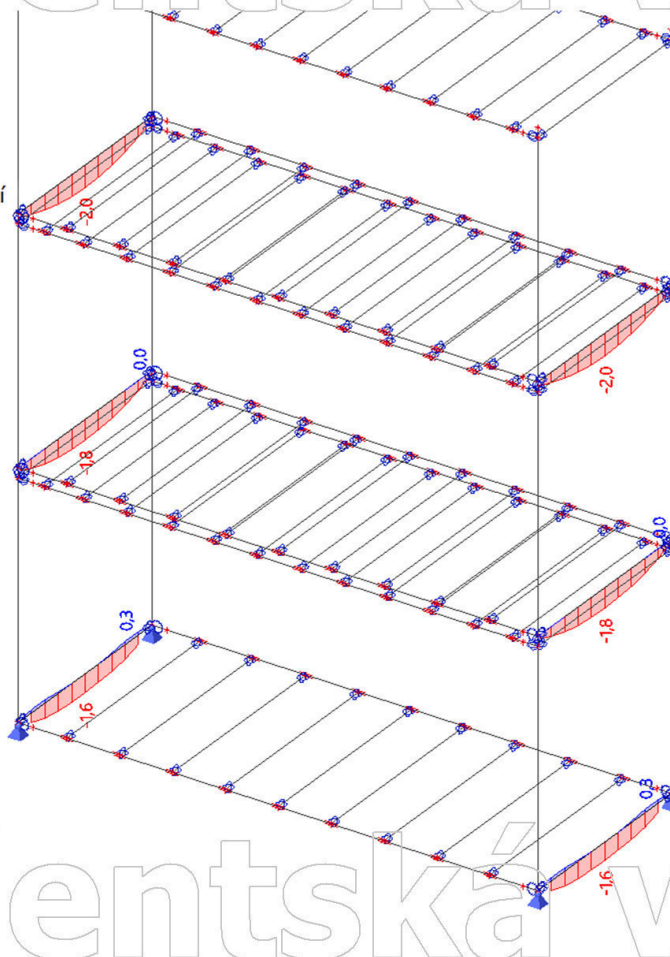
25. 1D deformace; u_z

Hodnoty: u_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 2_podl Z profil - Obecný průřez



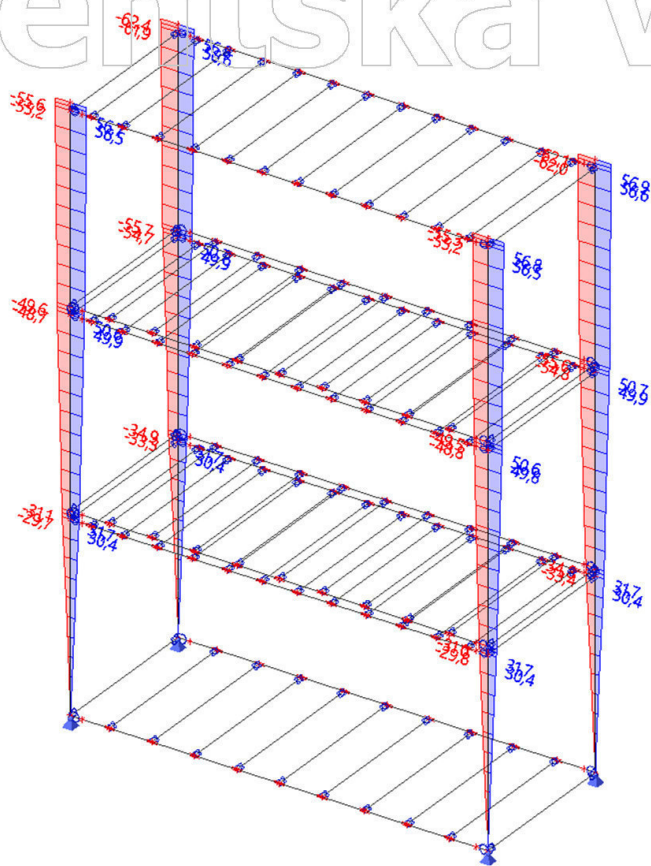
26. 1D deformace; u_z

Hodnoty: u_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 3_Podlahový profil čelní - Obecný průřez



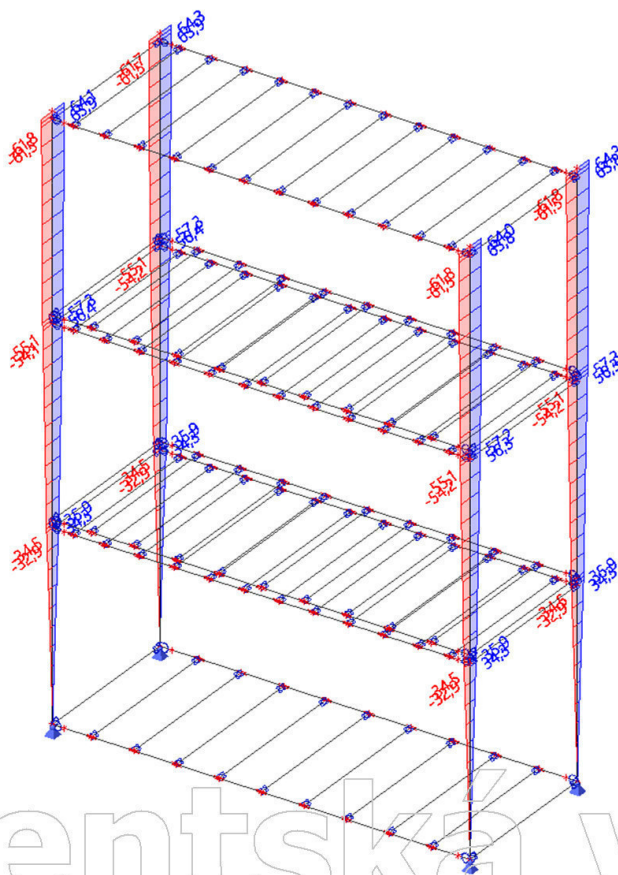
27. 1D deformace; u_x

Hodnoty: u_x
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



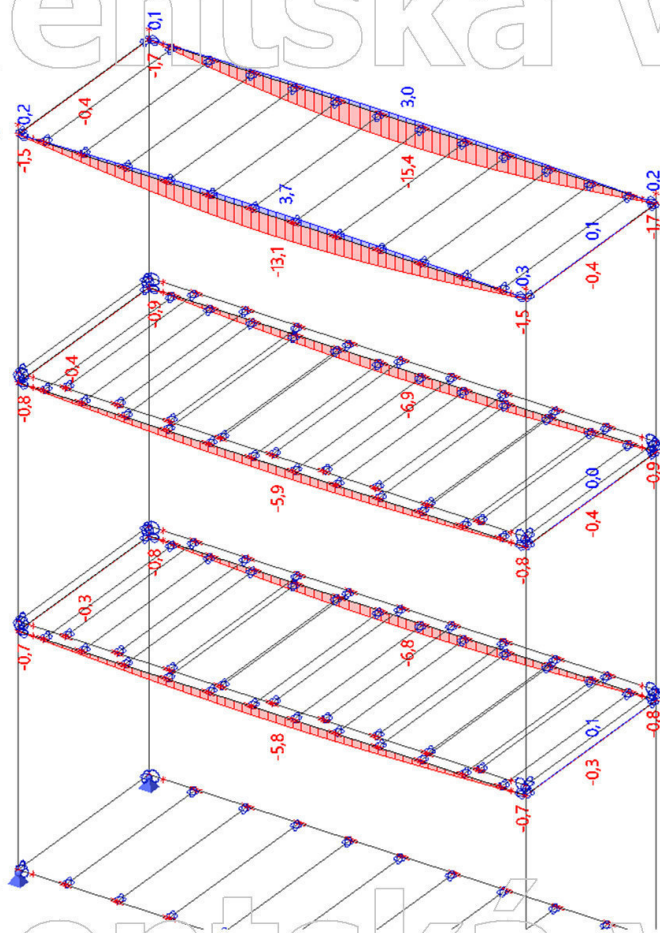
28. 1D deformace; u_y

Hodnoty: u_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 4_Rohový sloupek -
Obecný průřez



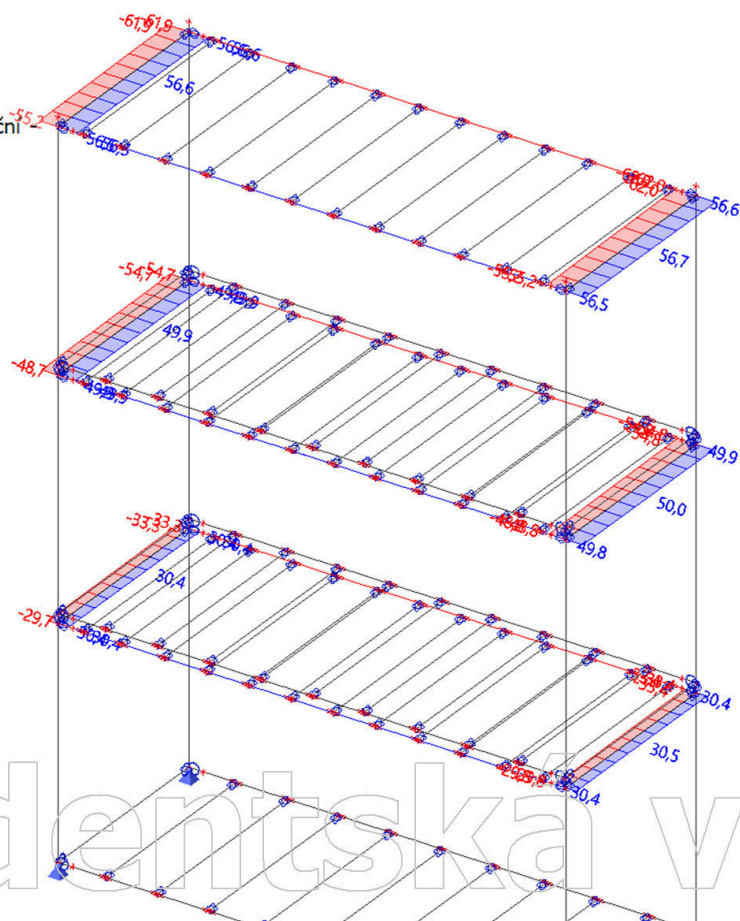
29. 1D deformace; u_z

Hodnoty: u_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -
Obecný průřez



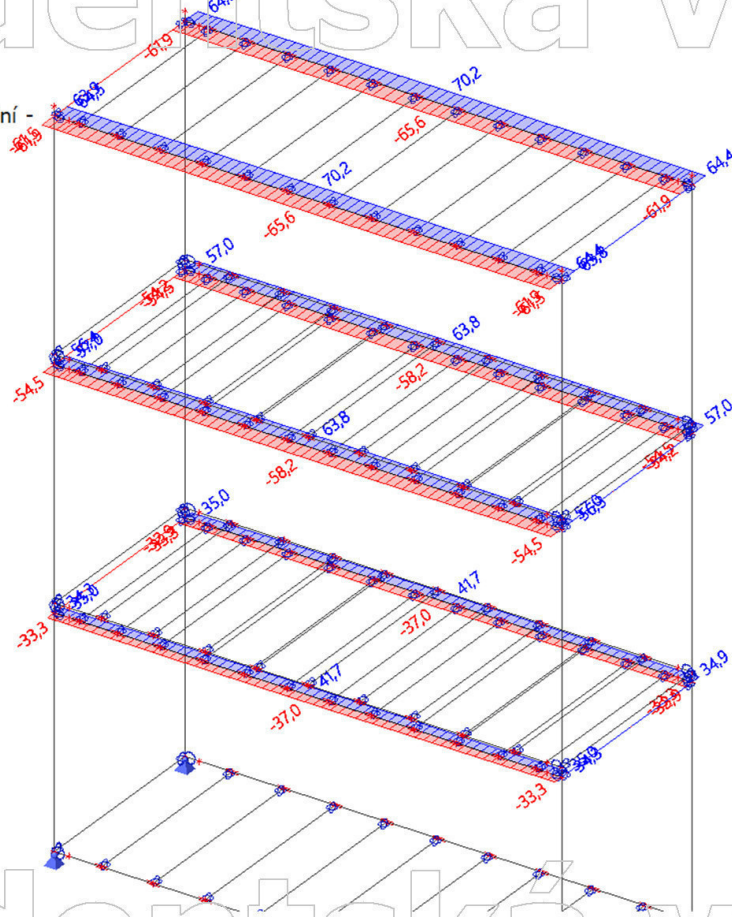
30. 1D deformace; u_x

Hodnoty: u_x
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -
Obecný průřez



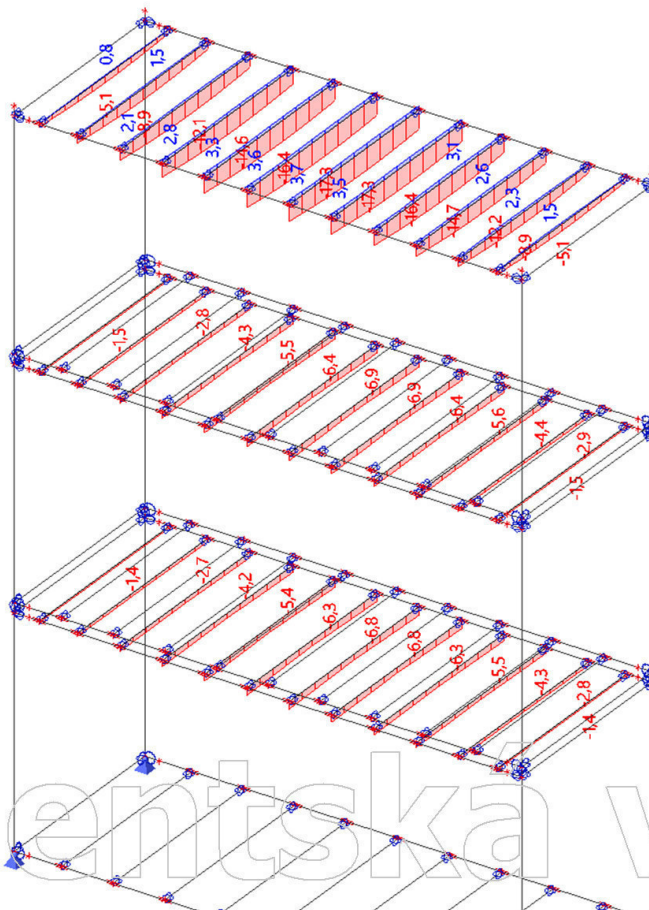
31. 1D deformace; u_y

Hodnoty: u_y
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 5_Střešní profil boční -
Obecný průřez

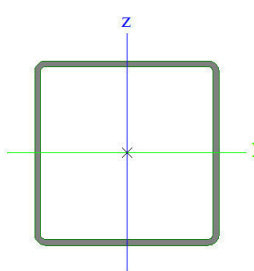


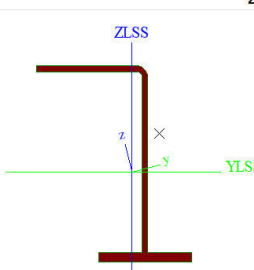
32. 1D deformace; u_z

Hodnoty: u_z
Lineární výpočet
Kombinace: CO2
Souřadný systém: Globální
Extrém 1D: Dílec
Výběr: Vše
Filtr: Průřez = 6_Střešní "Z" profil 2 -
Obecný průřez

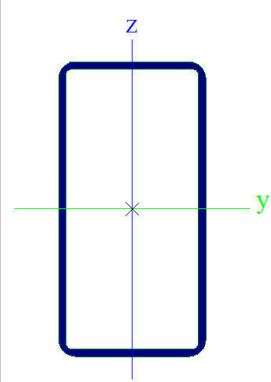


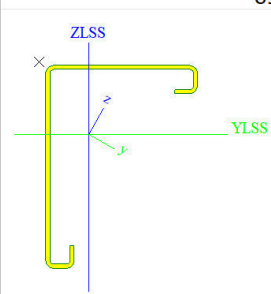
33. Průřezy

1 podl. prof. boční		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	obecný	
Barva	■	
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d
A [m ²]	1,8202e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	9,5565e-04	9,5565e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,6827e-01	9,1230e-01
c _{y.ucs} [mm], c _{z.ucs} [mm]	0	0
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	4,0433e-06	4,0433e-06
i _y [mm], i _z [mm]	47	47
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	6,7389e-05	6,7389e-05
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	7,8661e-05	7,8661e-05
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	1,85e+04	1,85e+04
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	1,85e+04	1,85e+04
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	6,2535e-06	0,0000e+00
β _y [mm], β _z [mm]	0	0
Obrázek		

2 podl. Z profil		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 355	
Výroba	obecný	
Barva	■	
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d
A [m ²]	7,1510e-04	
A _y [m ²], A _z [m ²]	5,2794e-04	3,5497e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,2012e-01	4,2012e-01
c _{y.ucs} [mm], c _{z.ucs} [mm]	10	-5
I _{y.LCS} [m ⁴], I _{z.LCS} [m ⁴]	1,2908e-06	2,1563e-07
I _{yz.LCS} [m ⁴]	-2,8584e-07	
α [deg]	14,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,3621e-06	1,4436e-07
i _y [mm], i _z [mm]	44	14
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	2,0066e-05	3,9344e-06
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	2,8436e-05	8,1870e-06
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	1,01e+04	1,01e+04
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	2,91e+03	2,91e+03
d _y [mm], d _z [mm]	19	17
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	3,3532e-09	3,4820e-10
β _y [mm], β _z [mm]	-21	-84
Obrázek		

3 Podlahový profil čelní		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	obecný	
Barva	■	
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d

vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z		
A [m ²]	1,0032e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	3,5325e-04	6,8121e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	3,4827e-01	6,8030e-01
c _{y.ucs} [mm], c _{z.ucs} [mm]	34	61
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,8496e-06	6,3451e-07
i _y [mm], i _z [mm]	43	25
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	3,0826e-05	2,1150e-05
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	3,8452e-05	2,3866e-05
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	9,04e+03	9,04e+03
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	5,61e+03	5,61e+03
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,5368e-06	1,1502e-10
β _y [mm], β _z [mm]	0	0
Obrázek		

4 Rohový sloupek		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 355	
Výroba	obecný	
Barva	■	
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d
A [m ²]	1,6675e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,3966e-03	1,0710e-03
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	8,4213e-01	8,4213e-01
c _{y.ucs} [mm], c _{z.ucs} [mm]	-3	50
I _{y.LCS} [m ⁴], I _{z.LCS} [m ⁴]	8,5920e-06	4,5731e-06
I _{yz.LCS} [m ⁴]	3,4812e-06	
α [deg]	-30,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	1,0602e-05	2,5630e-06
i _y [mm], i _z [mm]	80	39
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	7,9721e-05	3,6331e-05
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	1,1813e-04	5,6393e-05
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	4,19e+04	4,19e+04
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	2,00e+04	2,00e+04
d _y [mm], d _z [mm]	-77	37
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	8,6993e-09	2,7459e-09
β _y [mm], β _z [mm]	-89	261
Obrázek		

5 Střešní profil boční		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	obecný	
Barva	■	
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d

A [m ²]	1,4329e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,0963e-03	7,3953e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	1,0294e+00	1,0294e+00
c _{y,ucs} [mm], c _{z,ucs} [mm]	-12	18
I _{y,lcs} [m ⁴], I _{z,lcs} [m ⁴]	8,0665e-06	2,8758e-06
I _{yz,lcs} [m ⁴]	2,2855e-06	
α [deg]	-20,68	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	8,9295e-06	2,0129e-06
i _y [mm], i _z [mm]	79	37
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	6,4712e-05	3,0496e-05
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	9,6753e-05	4,6896e-05
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	2,27e+04	2,27e+04
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	1,10e+04	1,10e+04
d _y [mm], d _z [mm]	-64	19
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	3,6716e-09	9,3147e-09
β _y [mm], β _z [mm]	-62	190
Obrázek		

6 Střešní "Z" profil 2		
Typ	Obecný průřez	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	obecný	
Barva		
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	d	d
A [m ²]	4,0675e-04	
A _y [m ²], A _z [m ²]	3,5182e-04	2,7468e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,1083e-01	4,1083e-01
c _{y,ucs} [mm], c _{z,ucs} [mm]	0	0
I _{y,lcs} [m ⁴], I _{z,lcs} [m ⁴]	6,6284e-07	2,1002e-07
I _{yz,lcs} [m ⁴]	-2,8582e-07	
α [deg]	25,81	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	8,0106e-07	7,1797e-08
i _y [mm], i _z [mm]	44	13
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	1,1691e-05	2,5904e-06
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	1,6159e-05	4,6430e-06
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	3,80e+03	3,80e+03
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	1,09e+03	1,09e+03
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	5,2951e-10	3,0217e-10
β _y [mm], β _z [mm]	0	0
Obrázek		

Vysvětlivky symbolů	
A	Plocha
A _y	Smyková plocha ve směru hlavní osy y
A _z	Smyková plocha ve směru hlavní osy z
A _L	Obvodový povrch na jednotku délky
A _D	Vysychající povrch na jednotku délky
c _{y,ucs}	Souřadnice těžiště ve směru osy Y zadávacího systému
c _{z,ucs}	Souřadnice těžiště ve směru osy Z zadávacího systému
I _{y,lcs}	Moment setrvačnosti kolem osy YLSS
I _{z,lcs}	Moment setrvačnosti kolem osy ZLSS
I _{yz,lcs}	Moment setrvačnosti I _{yz} v LSS
α	Úhel pootočení hlavní osy
I _y	Moment setrvačnosti kolem hlavní osy y
I _z	Moment setrvačnosti kolem hlavní osy z
i _y	Poloměr setrvačnosti kolem hlavní osy y
i _z	Poloměr setrvačnosti kolem hlavní osy z

Vysvětlivky symbolů	
W _{el,y}	Pružný modul průřezu k hlavní ose y
W _{el,z}	Pružný modul průřezu k hlavní ose z
W _{pl,y}	Plastický modul průřezu k hlavní ose y
W _{pl,z}	Plastický modul průřezu k hlavní ose z
M _{pl,y,+}	Plastický moment kolem hlavní osy y pro kladný moment M _y
M _{pl,y,-}	Plastický moment kolem hlavní osy y pro záporný moment M _y
M _{pl,z,+}	Plastický moment kolem hlavní osy z pro kladný moment M _z
M _{pl,z,-}	Plastický moment kolem hlavní osy z pro záporný moment M _z
d _y	Souřadnice středu smyku ve směru hlavní osy y měřená od těžiště
d _z	Souřadnice středu smyku ve směru hlavní osy z měřená od těžiště
I _t	Moment setrvačnosti v prostém kroucení
I _w	Výšečový moment setrvačnosti
β _y	Mono-symetrická konstanta kolem hlavní osy y
β _z	Mono-symetrická konstanta kolem hlavní osy z

34. Materiály

Ocel EC3

Jméno	ρ [kg/m ³]	E _{mod} [MPa]	μ	Dolní mez [mm]	Horní mez [mm]	F _y [MPa]	F _u [MPa]	Barva
		G _{mod} [MPa]						
S 235	7850,0	2,1000e+05	0,3	0	40	235,0	360,0	
		8,0769e+04	0,00	40	80	215,0	360,0	
S 355	7850,0	2,1000e+05	0,3	0	40	355,0	490,0	
		8,0769e+04	0,00	40	80	335,0	470,0	

35. Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídicí zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	SZ1	-Z		

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
ZS2	Stálé	Vlastní tíha Stálé Standard	SZ1			
ZS3	Užitné Standard	Proměnné Statické	SZ2 - užitné		Krátkodobé	Žádný
ZS4	Sníh Standard	Proměnné Statické	SZ3 - sníh		Krátkodobé	Žádný
ZS5	Vítr - směr X Standard	Proměnné Statické	SZ3 - vítr		Krátkodobé	Žádný
ZS6	Vítr - směr Y Standard	Proměnné Statické	SZ3 - vítr		Krátkodobé	Žádný
ZS7	Vítr - směr X_II Standard	Proměnné Statické	SZ3 - vítr		Krátkodobé	Žádný
ZS8	Vítr - směr Y_II Standard	Proměnné Statické	SZ3 - vítr		Krátkodobé	Žádný

36. Skupiny zatížení

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
SZ1	Stálé		
SZ2 - užitné	Proměnné	Standard	Kat B : kanceláře
SZ3 - sníh	Proměnné	Standard	Sníh
SZ3 - vítr	Proměnné	Výběrová	Vítr

37. Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1	MSÚ	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS3 - Užitné	1,00
			ZS4 - Sníh	1,00
			ZS5 - Vítr - směr X	1,00
			ZS6 - Vítr - směr Y	1,00
			ZS7 - Vítr - směr X_II	1,00
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	1,00
CO2	MSP	EN-MSP charakteristická	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS3 - Užitné	1,00
			ZS4 - Sníh	1,00
			ZS5 - Vítr - směr X	1,00
			ZS6 - Vítr - směr Y	1,00
			ZS7 - Vítr - směr X_II	1,00
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	1,00
CO3	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Užitné	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS5 - Vítr - směr X	0,90
CO4	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Užitné	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS6 - Vítr - směr Y	0,90
CO5	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Užitné	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS7 - Vítr - směr X_II	0,90
CO6	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Užitné	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	0,90
CO7	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užitné	1,50
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS5 - Vítr - směr X	0,90
CO8	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užitné	1,50
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS6 - Vítr - směr Y	0,90
			ZS6 - Vítr - směr Y	0,90

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [+]
CO9	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,50
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS7 - Vítr - směr X_II	0,90
CO10	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,50
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	0,90
CO11	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	1,50
			ZS5 - Vítr - směr X	0,90
CO12	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	1,50
			ZS6 - Vítr - směr Y	0,90
CO13	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	1,50
			ZS7 - Vítr - směr X_II	0,90
CO14	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	1,50
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	0,90
CO15	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS5 - Vítr - směr X	1,50
CO16	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS6 - Vítr - směr Y	1,50
CO17	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS7 - Vítr - směr X_II	1,50
CO18	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	0,75
			ZS8 - Vítr - směr Y_II	1,50
CO19	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS5 - Vítr - směr X	1,50
CO20	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS6 - Vítr - směr Y	1,50
CO21	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,05
			ZS4 - Sníh	1,50
CO22	Lin CO	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,15
			ZS2 - Stálé	1,15
			ZS3 - Užité	1,50
			ZS4 - Sníh	0,75

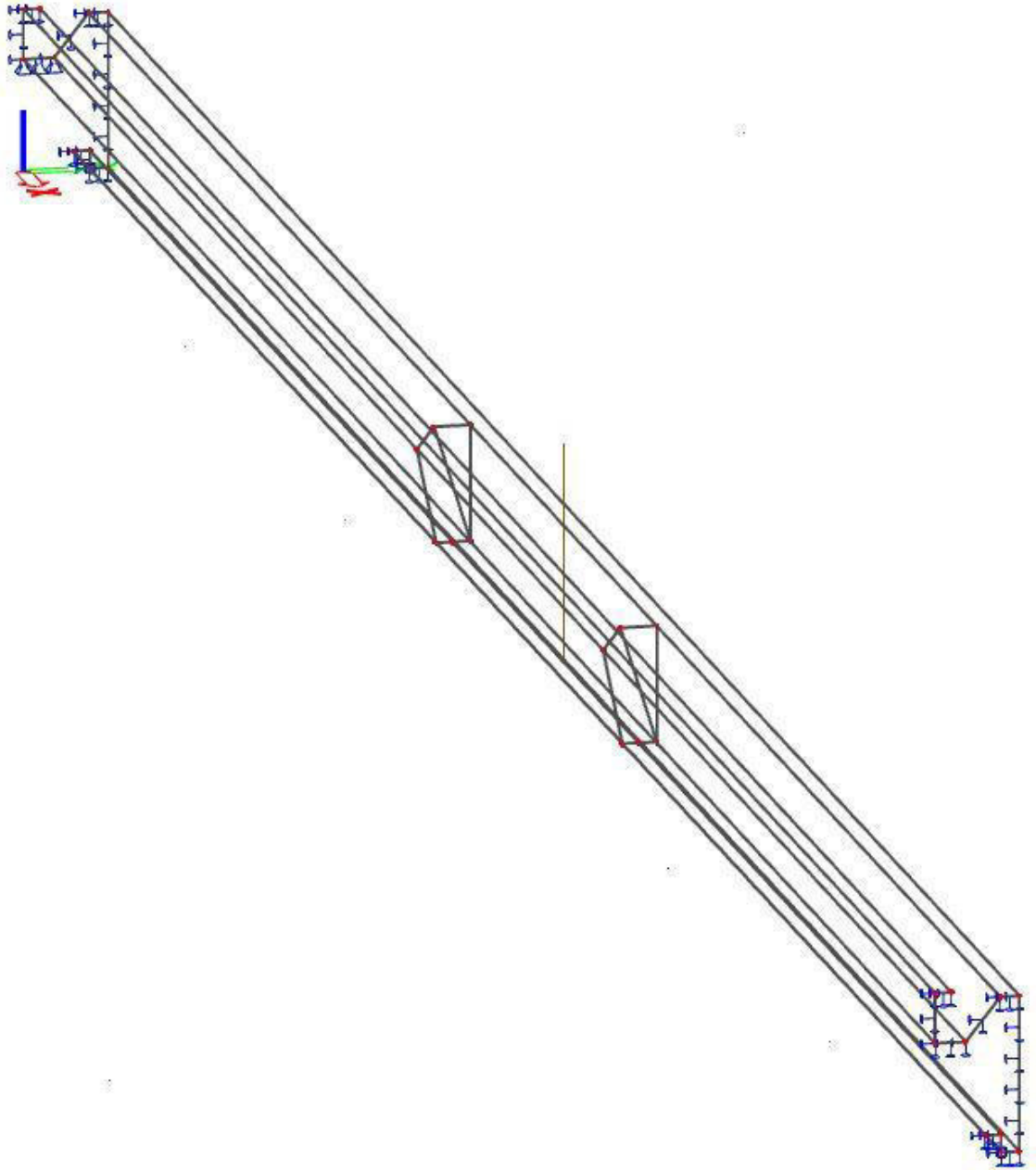
Studentská verze

Příloha č. 4 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního bočního profilu

Materiál: ocel S355MC

Délka profilu: 5655 mm

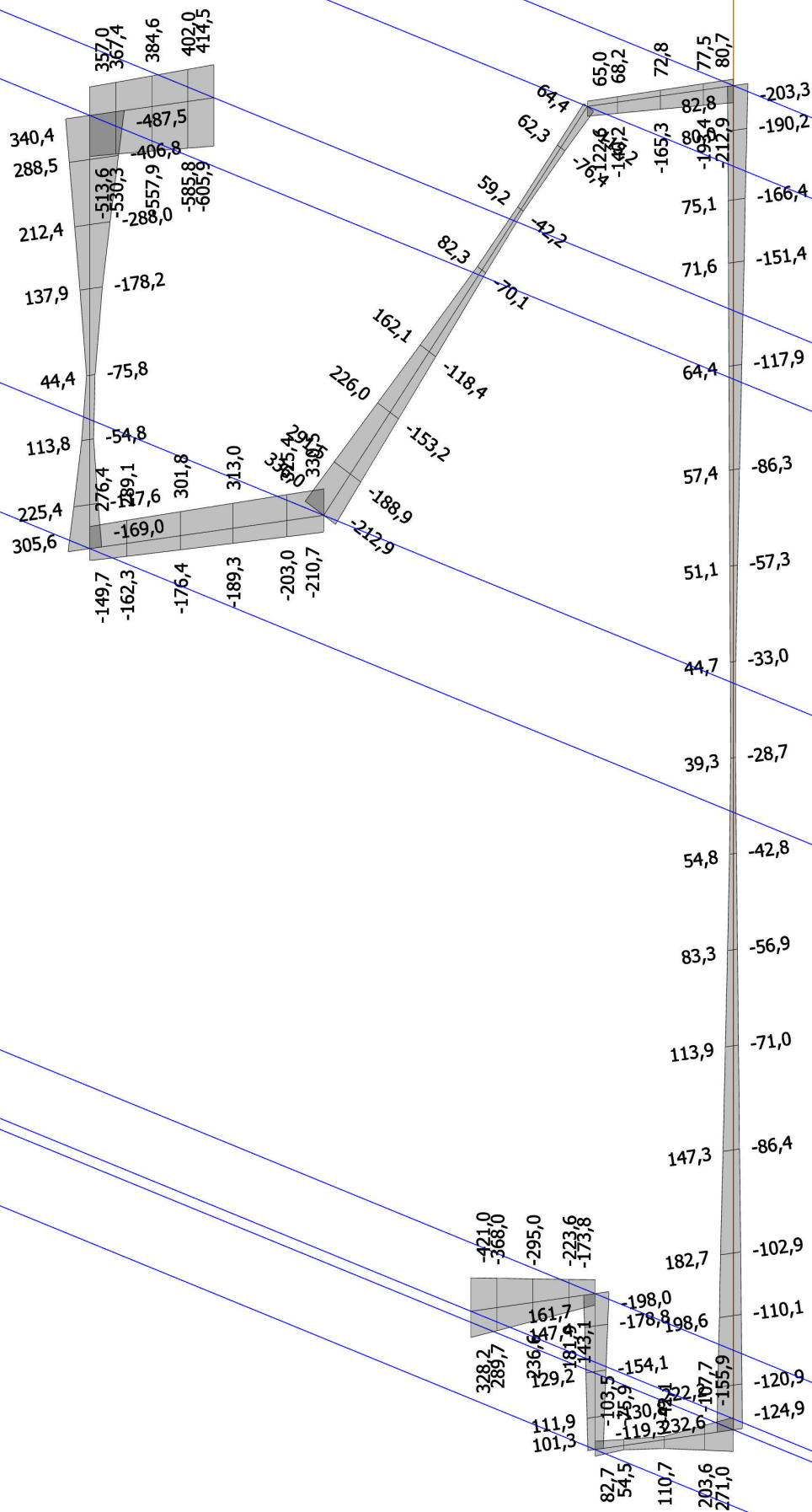
Tloušťka stěny: 2,8 mm



5_Štřeš prof boční_ nap sigma_X - CO1 (Scia_ soub B) - tl. stě 2,8 mm, s příd plech

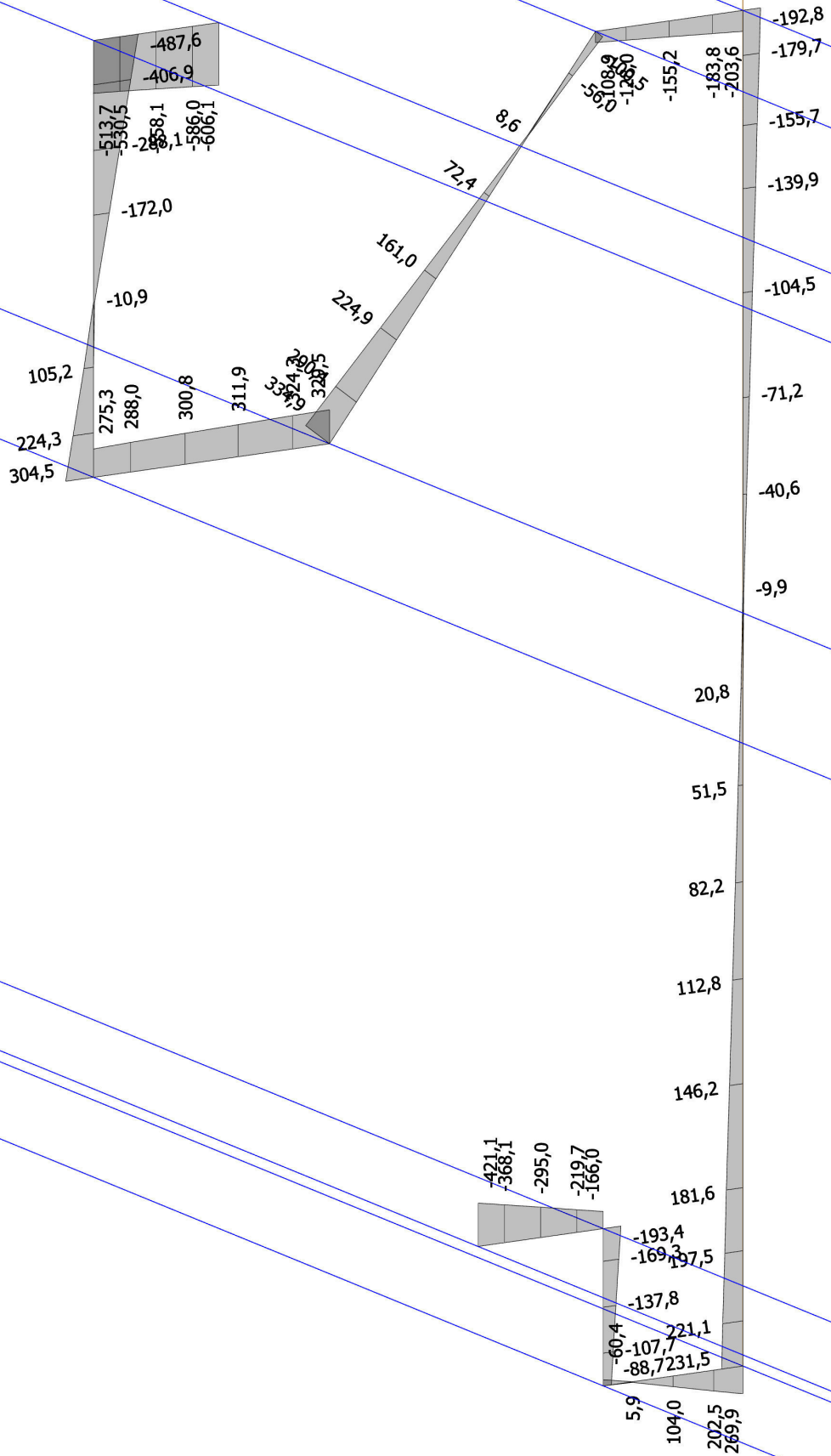
Studentská verze

Studentská verze



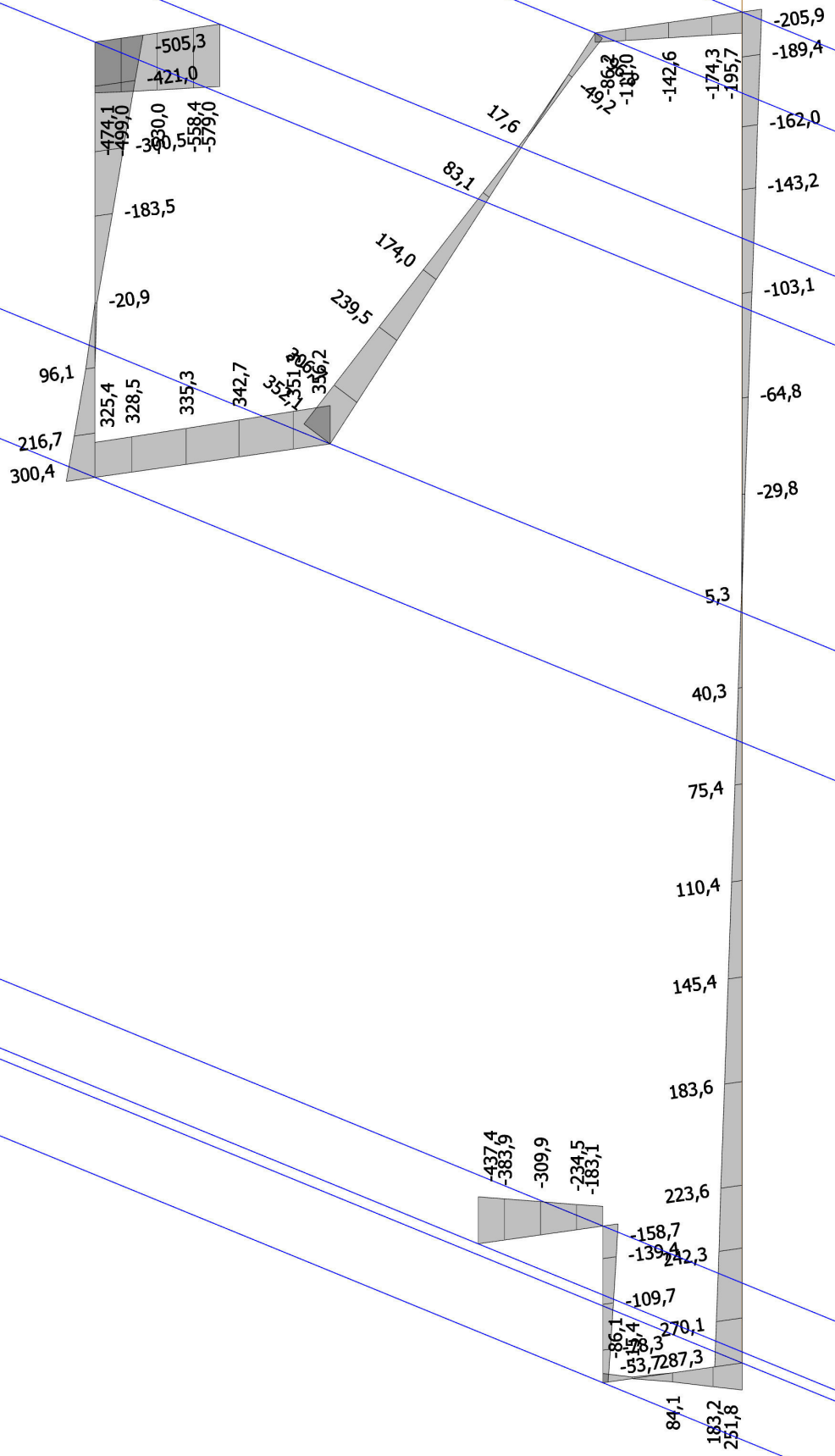
Studentská verze

Studentská verze



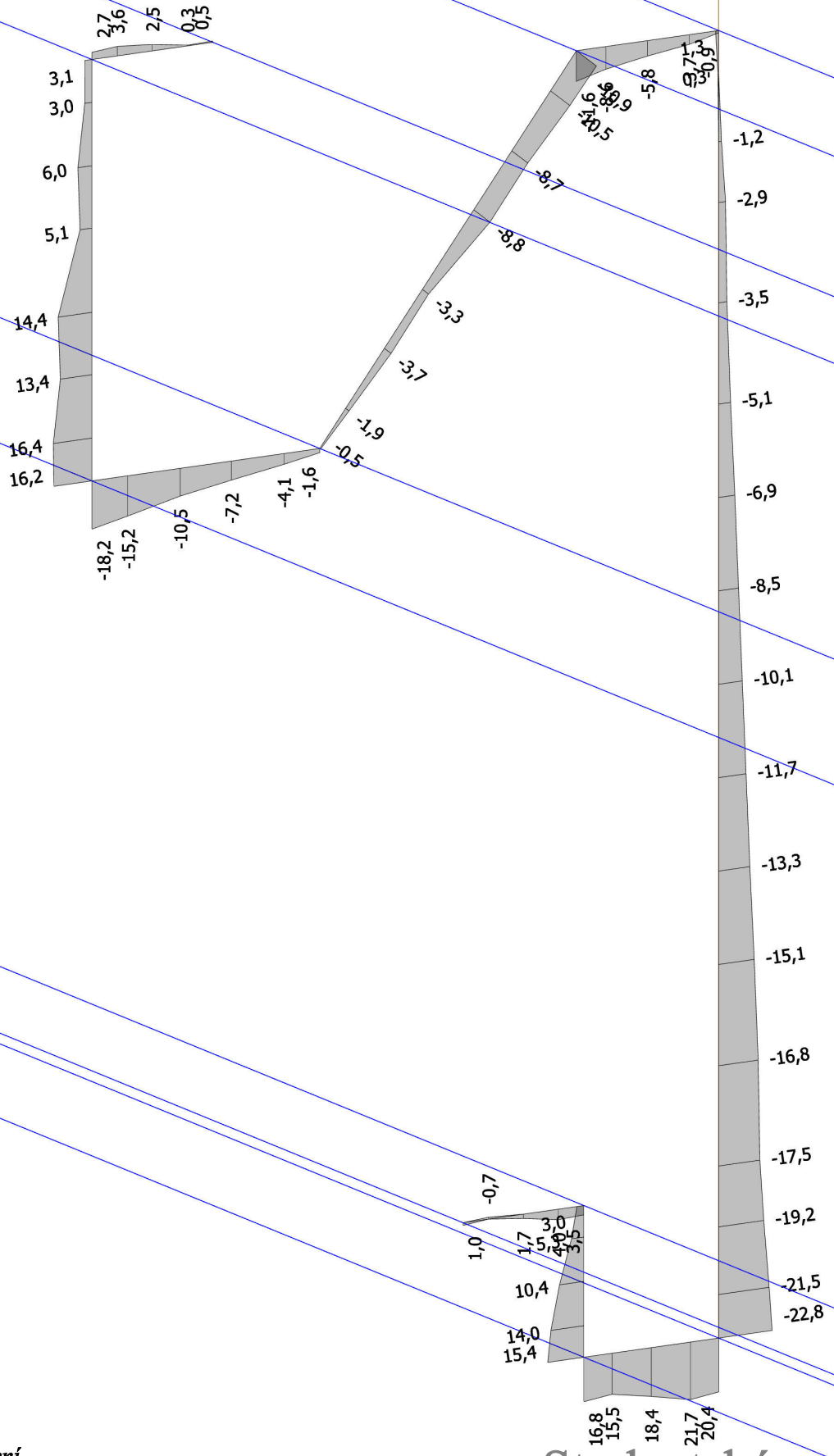
Studentská verze

Studentská verze



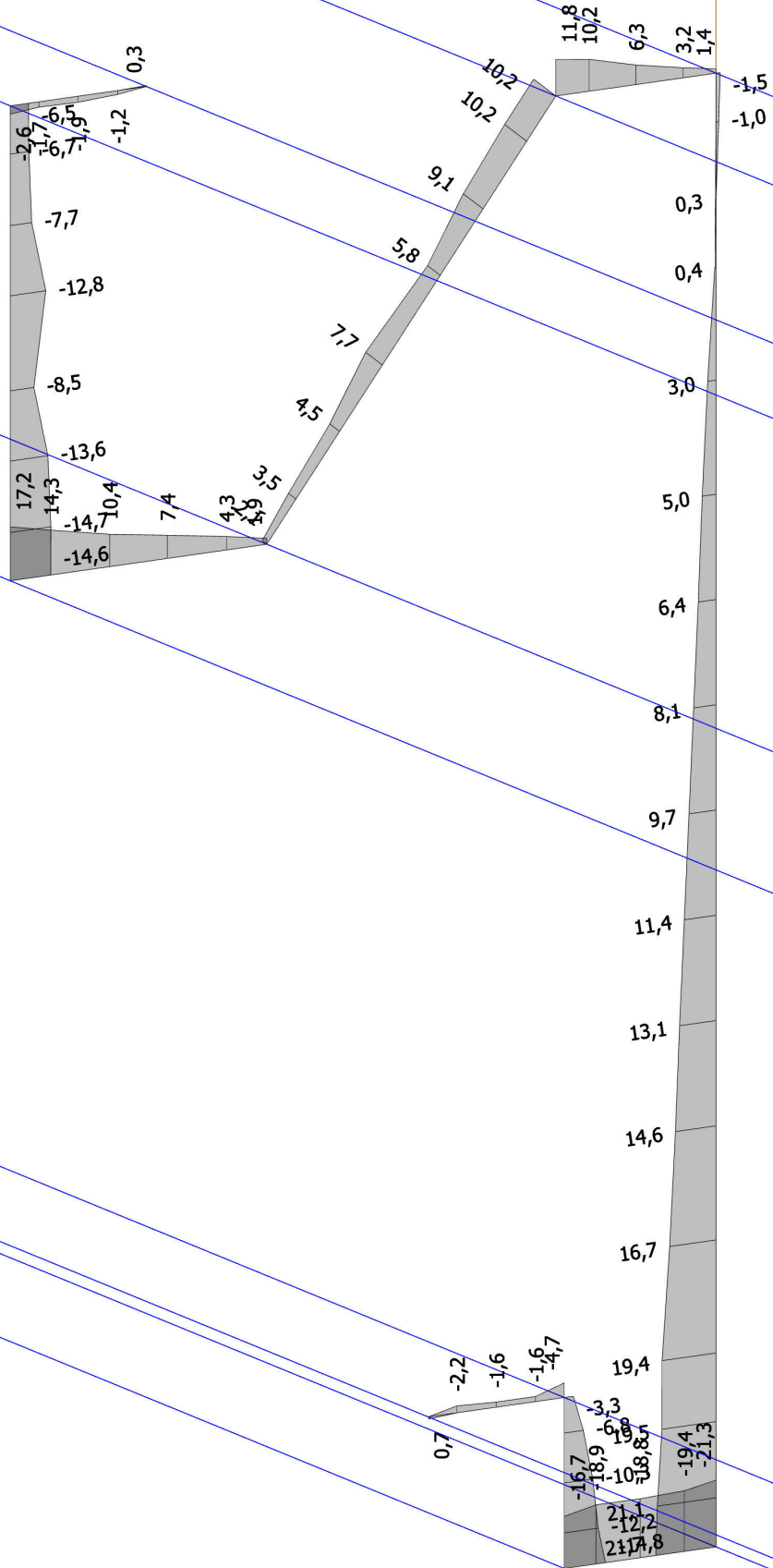
Studentská verze

Studentská verze



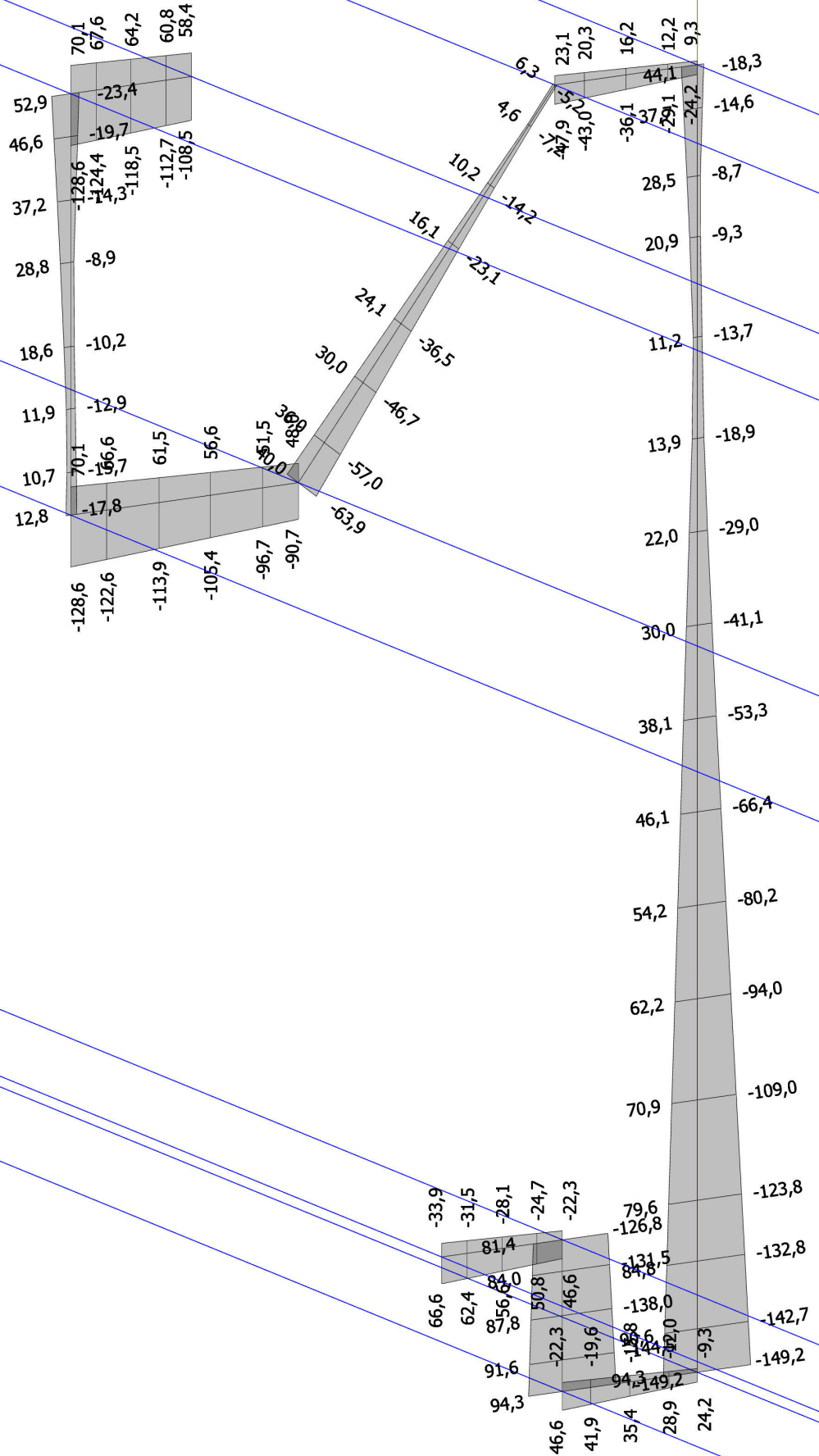
Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze

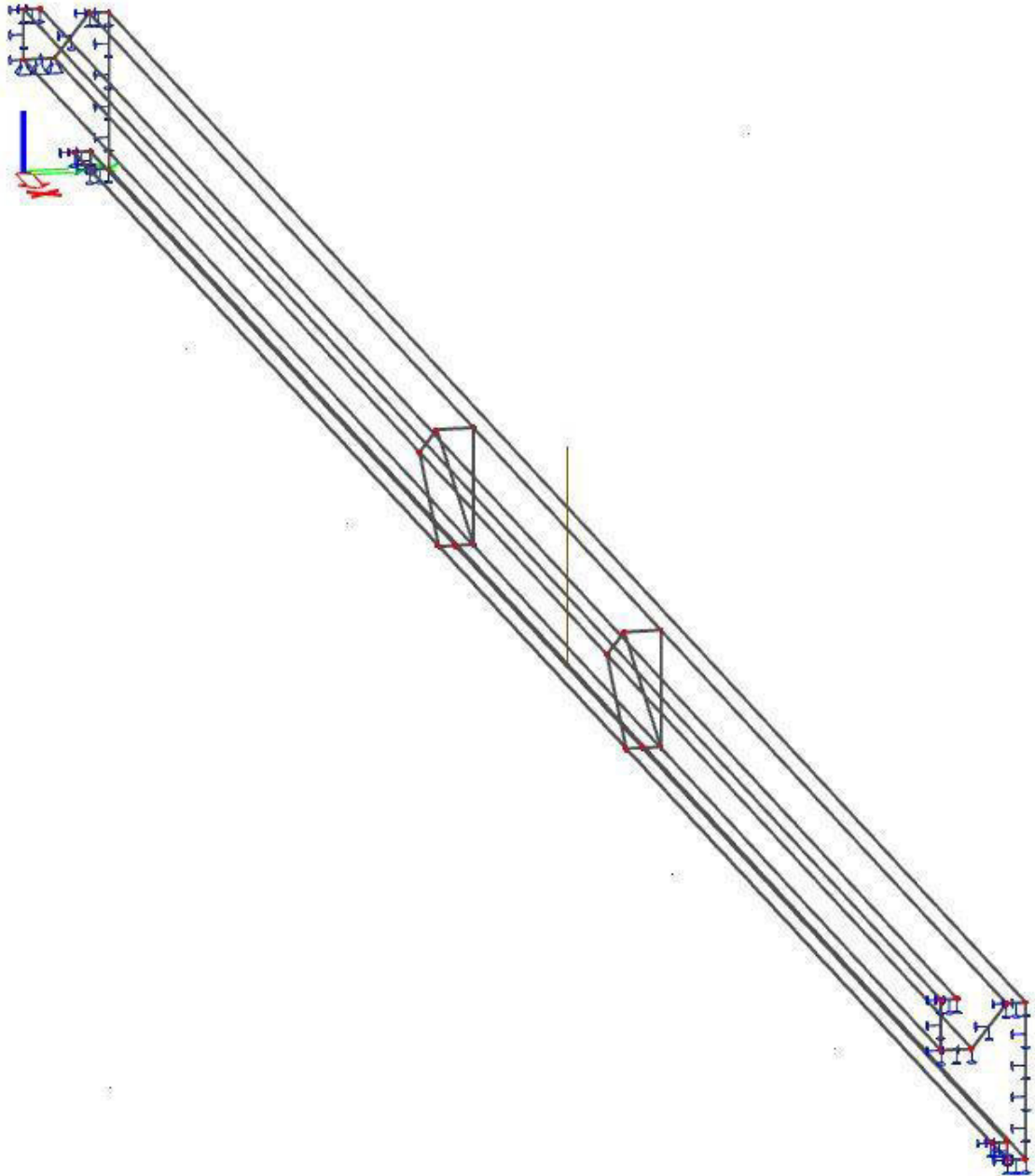
Studentská verze

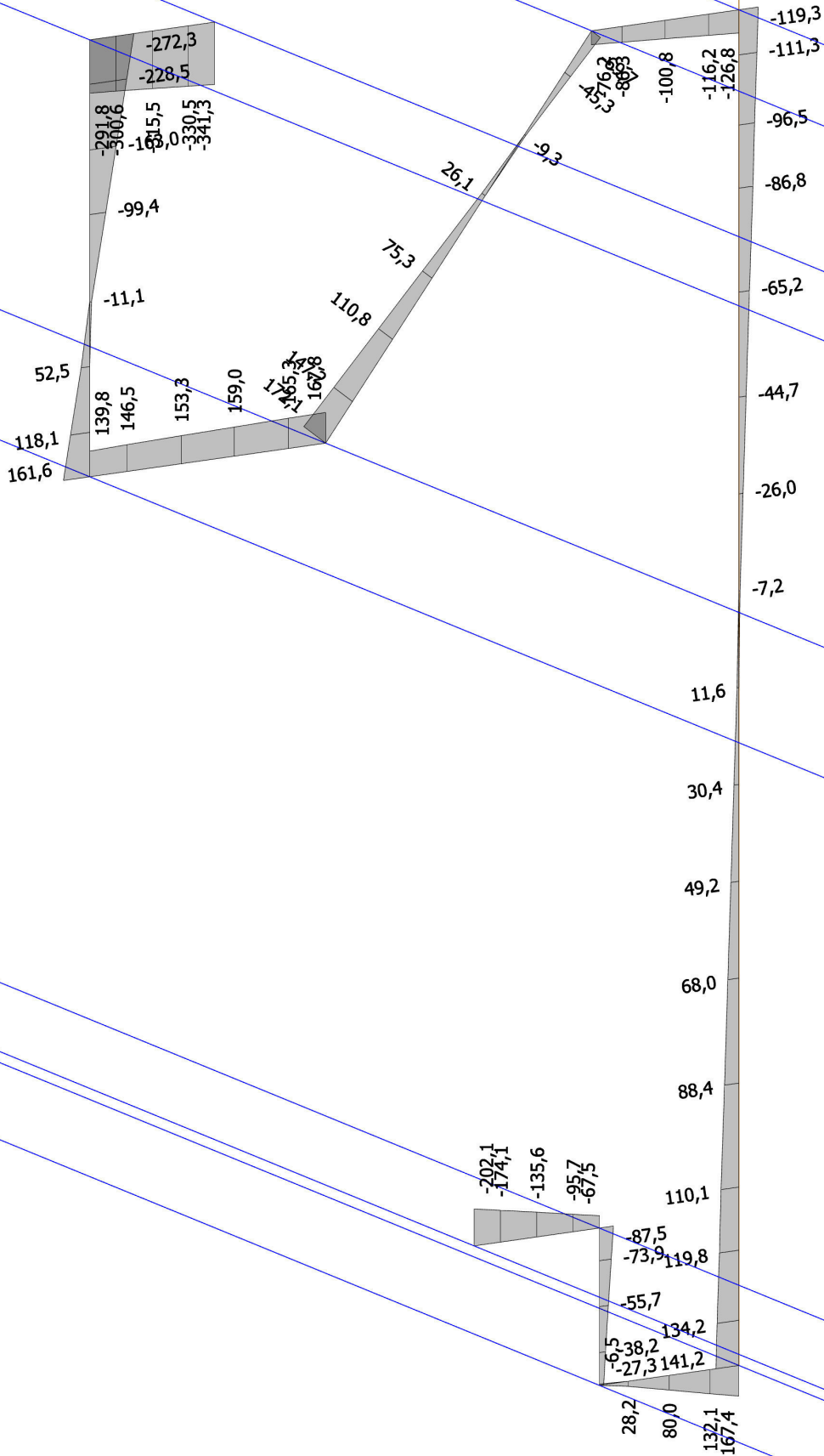
Příloha č. 5 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního bočního profilu - optimalizovaný

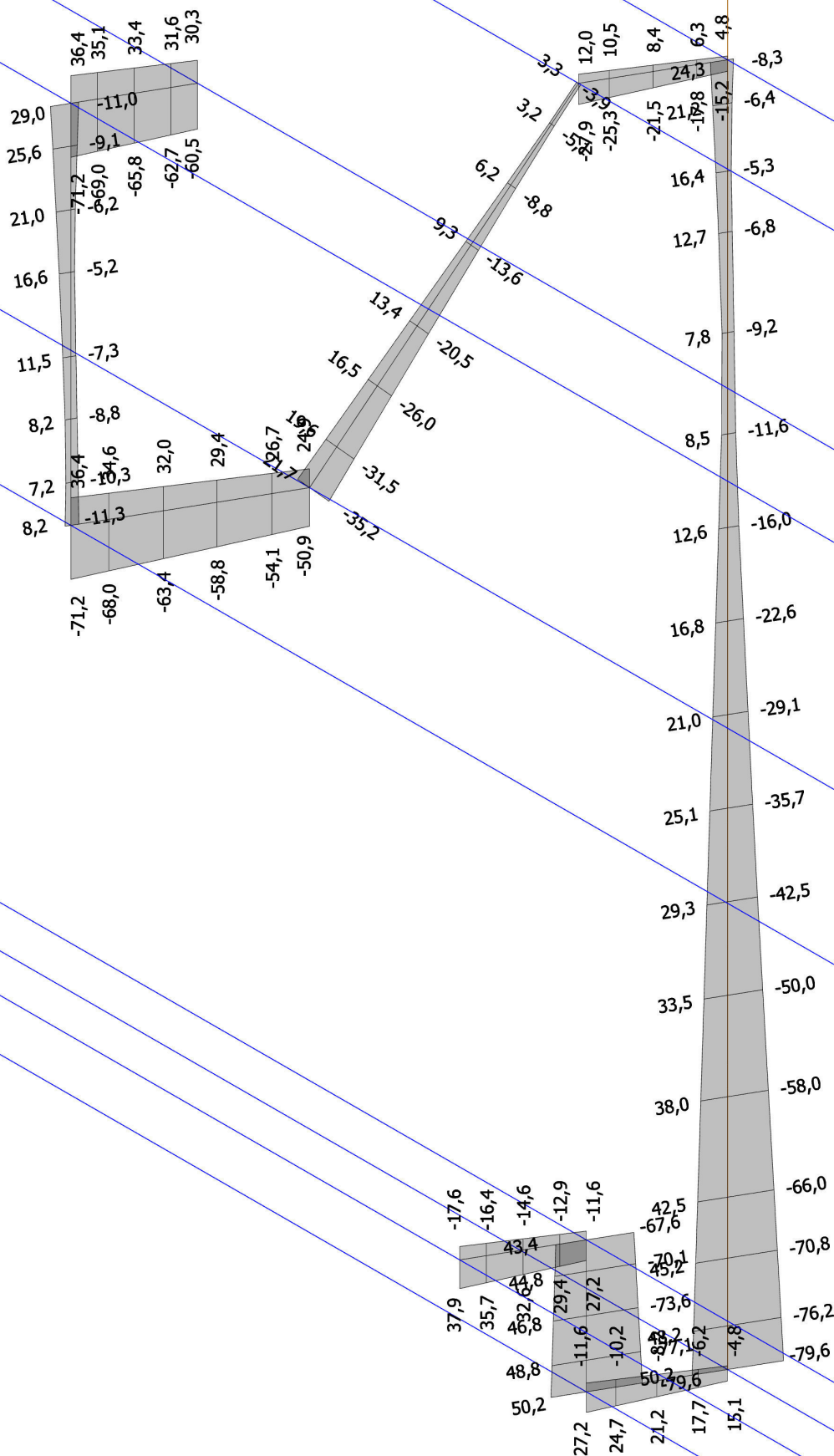
Materiál: ocel S355MC

Délka profilu: 5655 mm

Tloušťka stěny: 4,0 mm





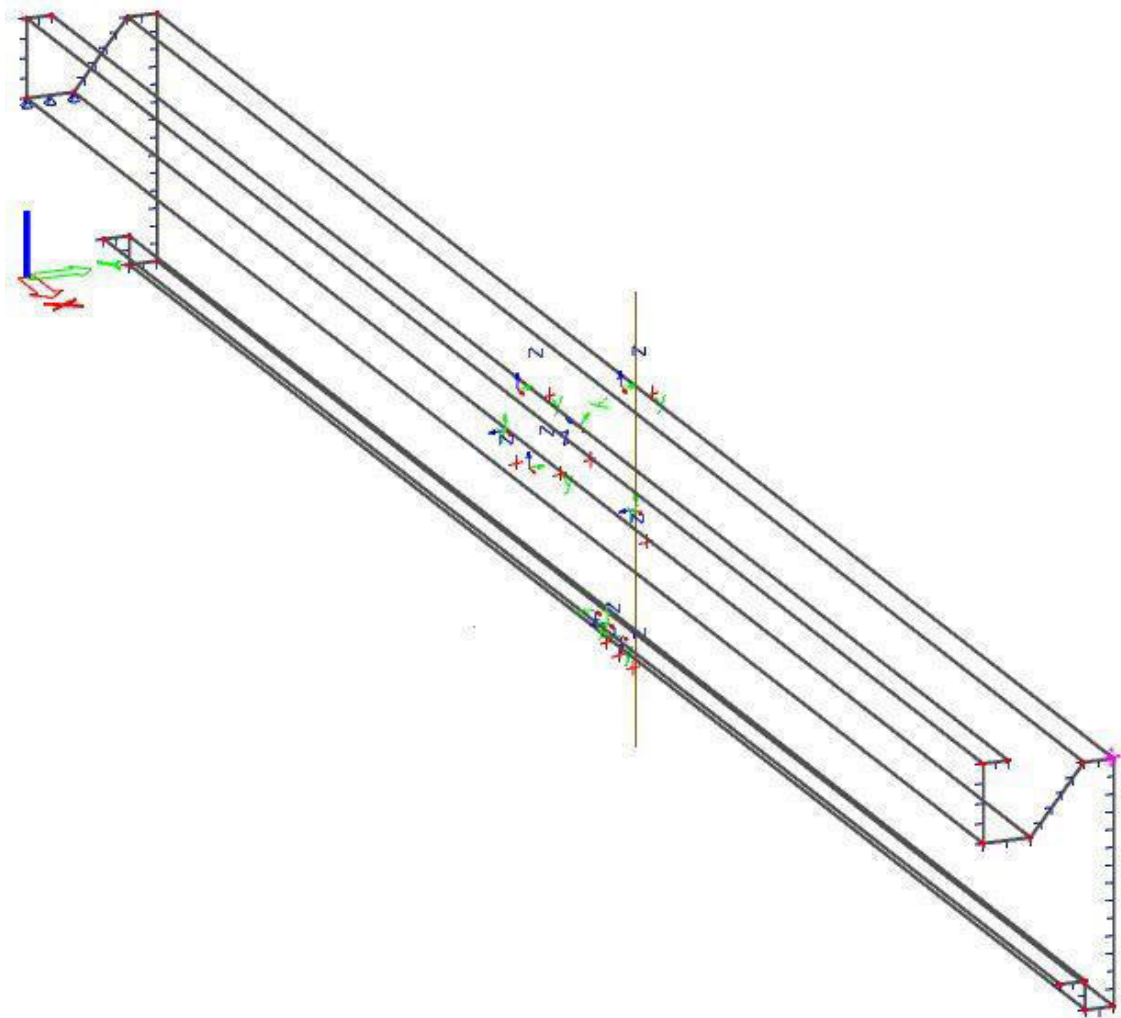


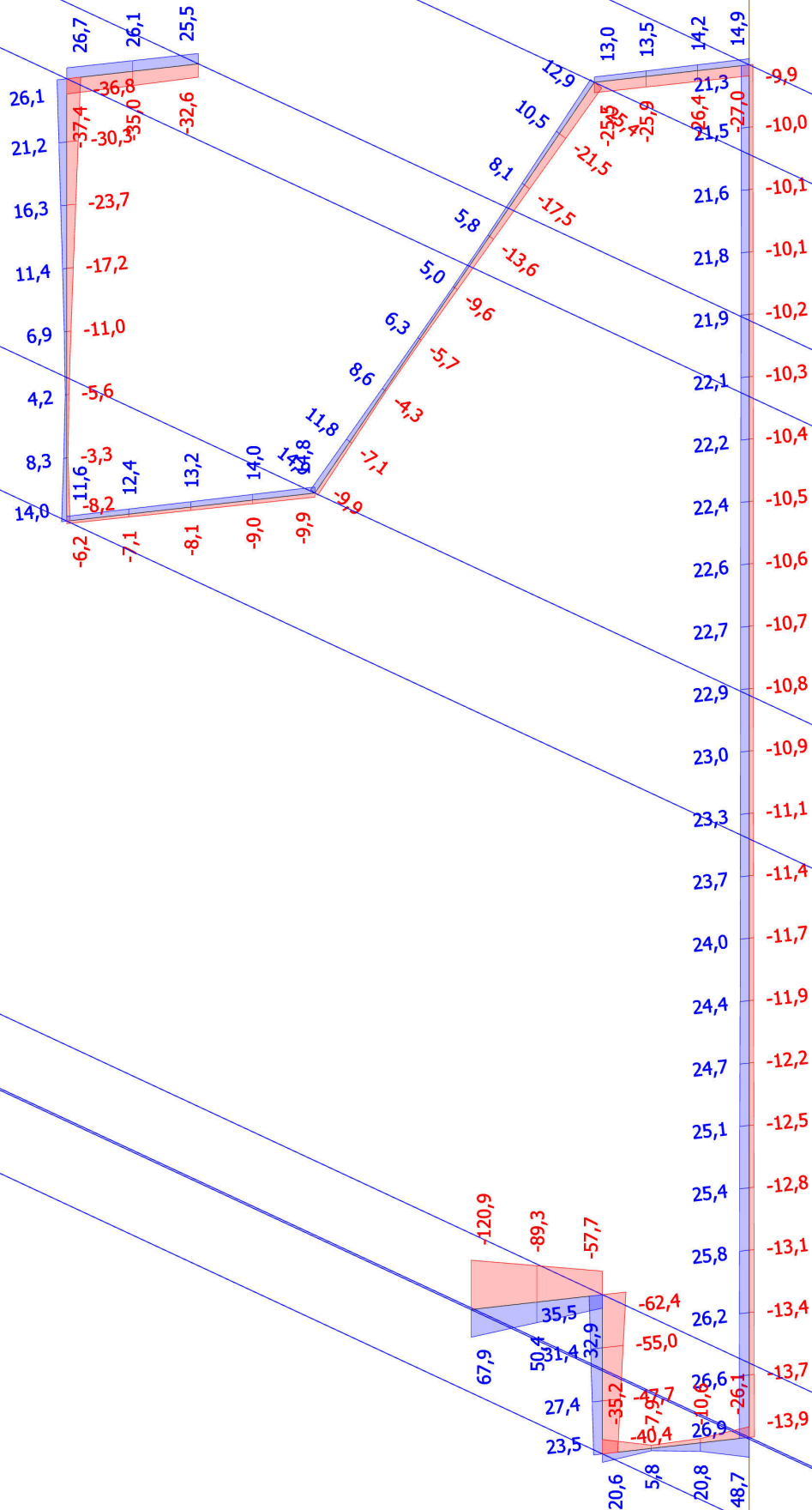
Příloha č. 6 - Scia Engineer report, napětí, deformace – deskostěnový model střešního čelní profilu

Materiál: ocel S355MC

Délka profilu: 2133 mm

Tloušťka stěny: 2,8 mm

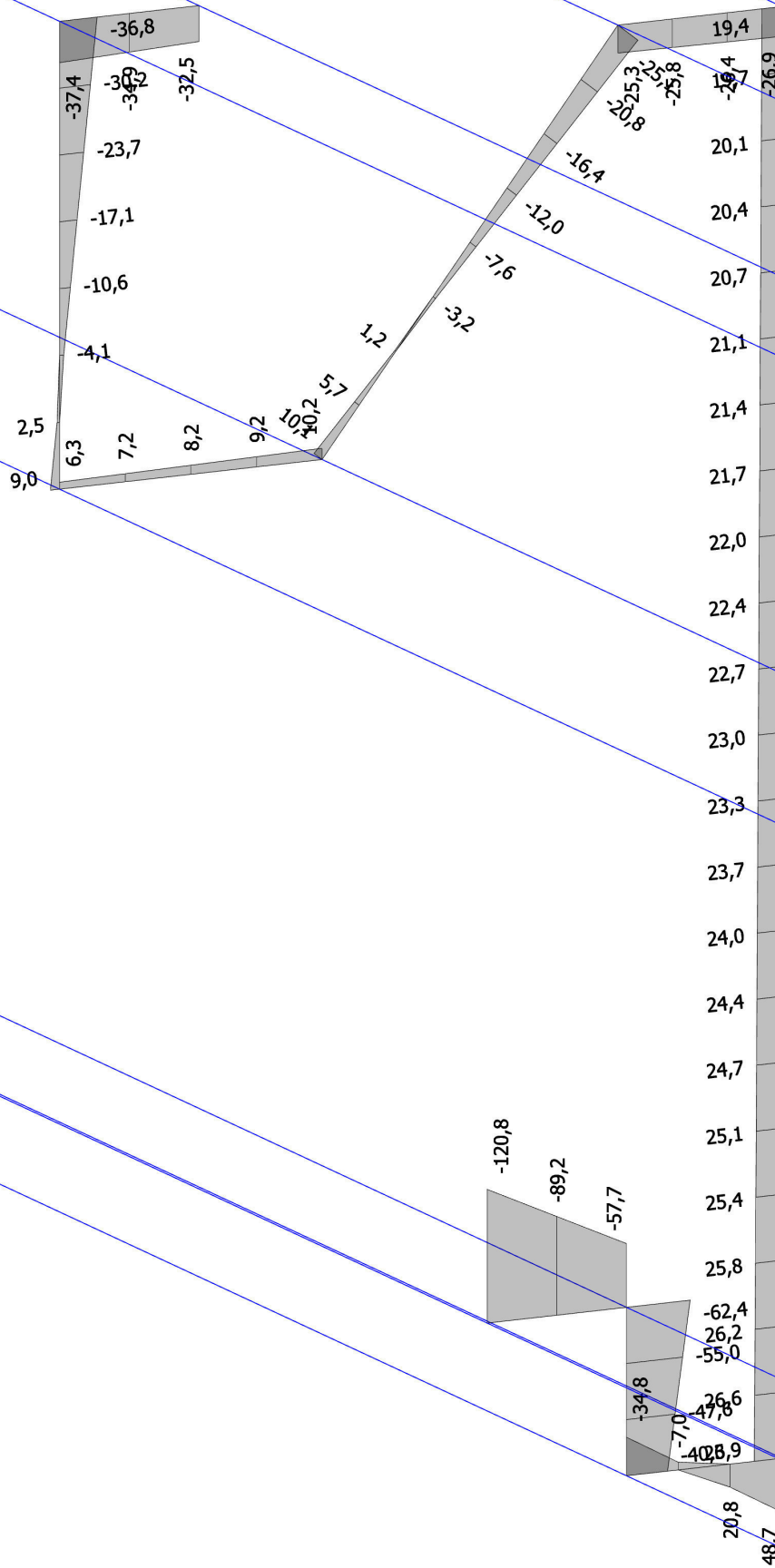




5_Střešní profil čelní_ napětí sigma_X - CO11 - tl. stěny 2,8 mm

Studentská verze

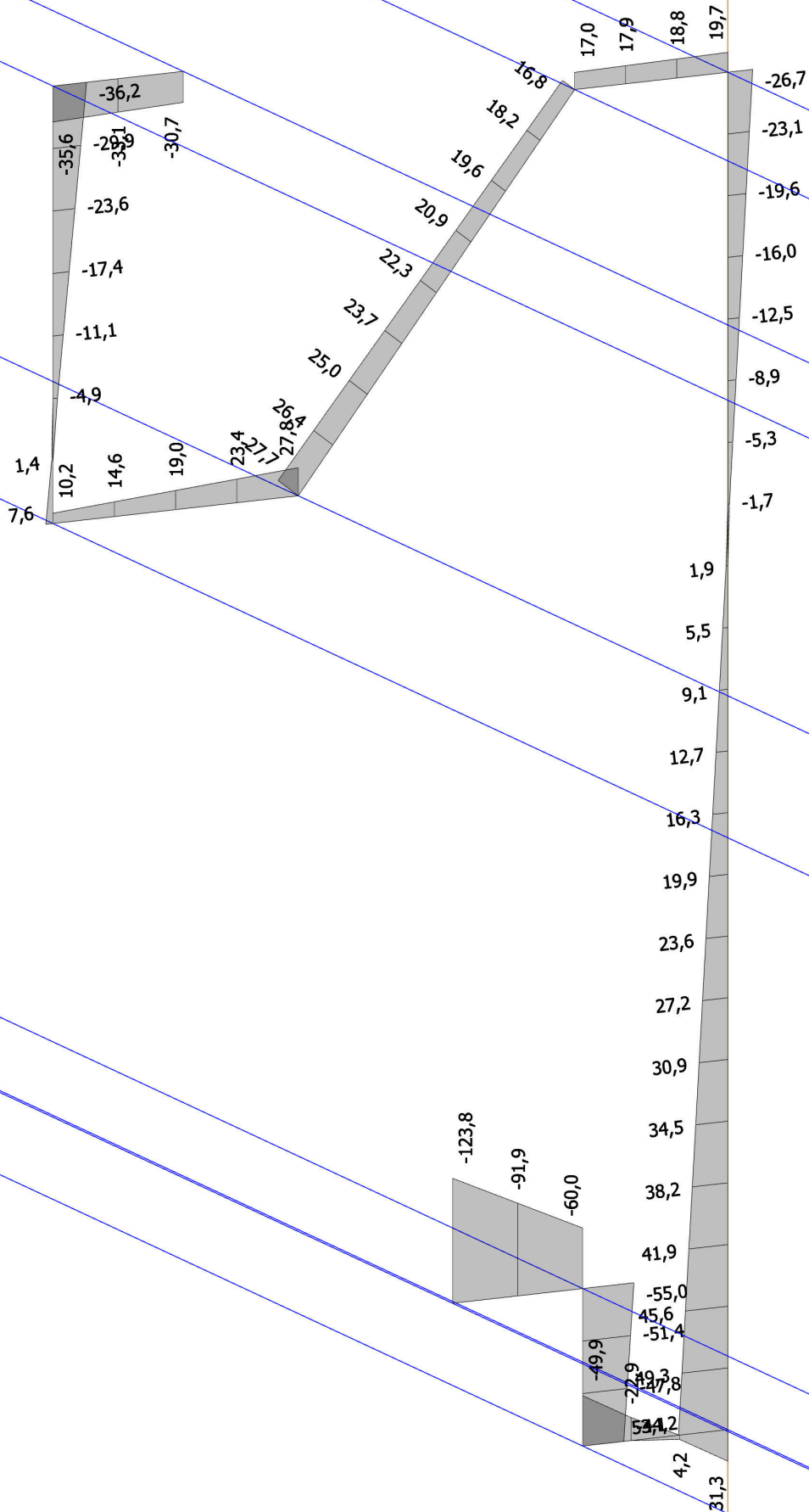
Studentská verze



5_ Střešní profil čelní_ napětí sigma_X- - CO11 - tl. stěny 2,8 mm

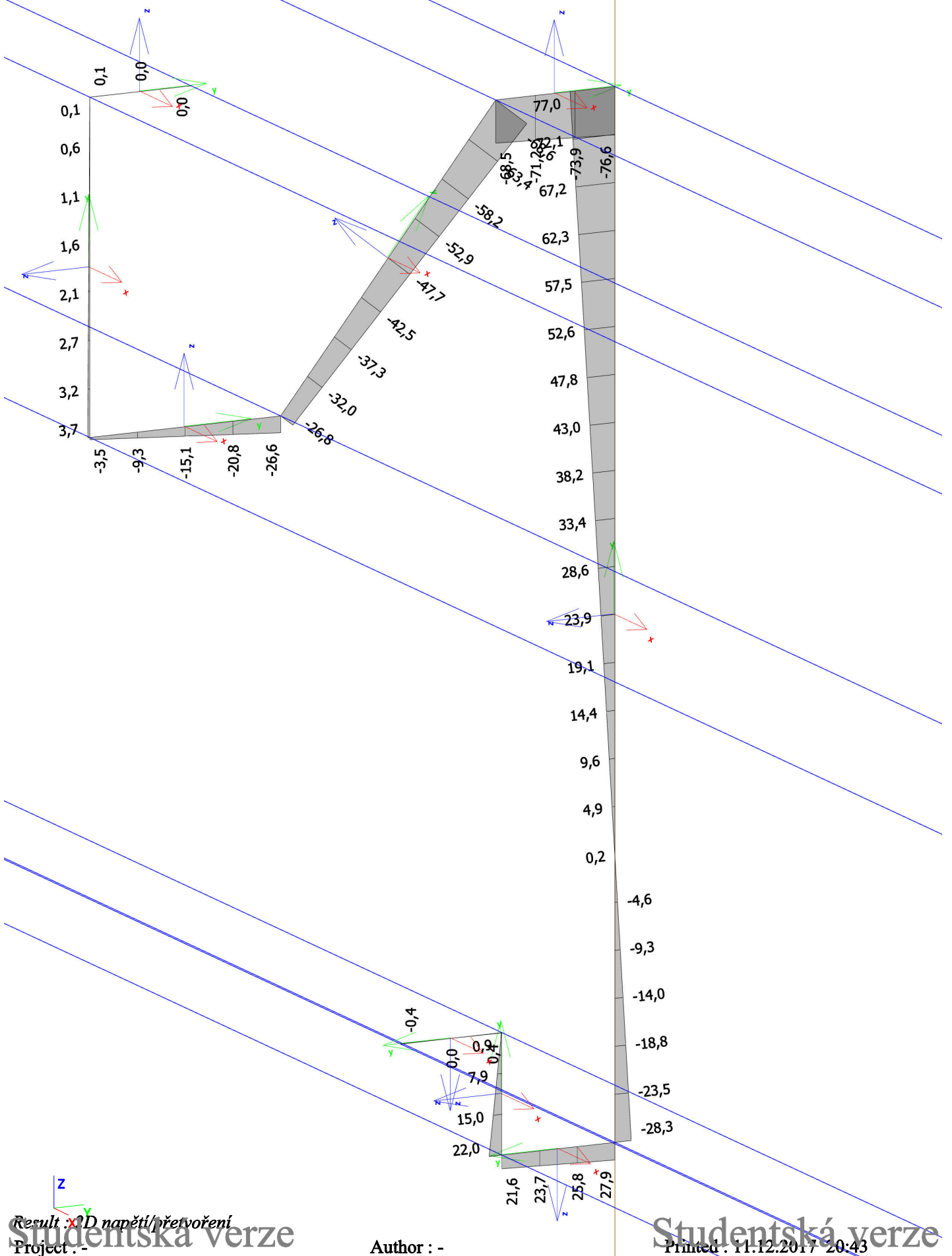
Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze

Studentská verze



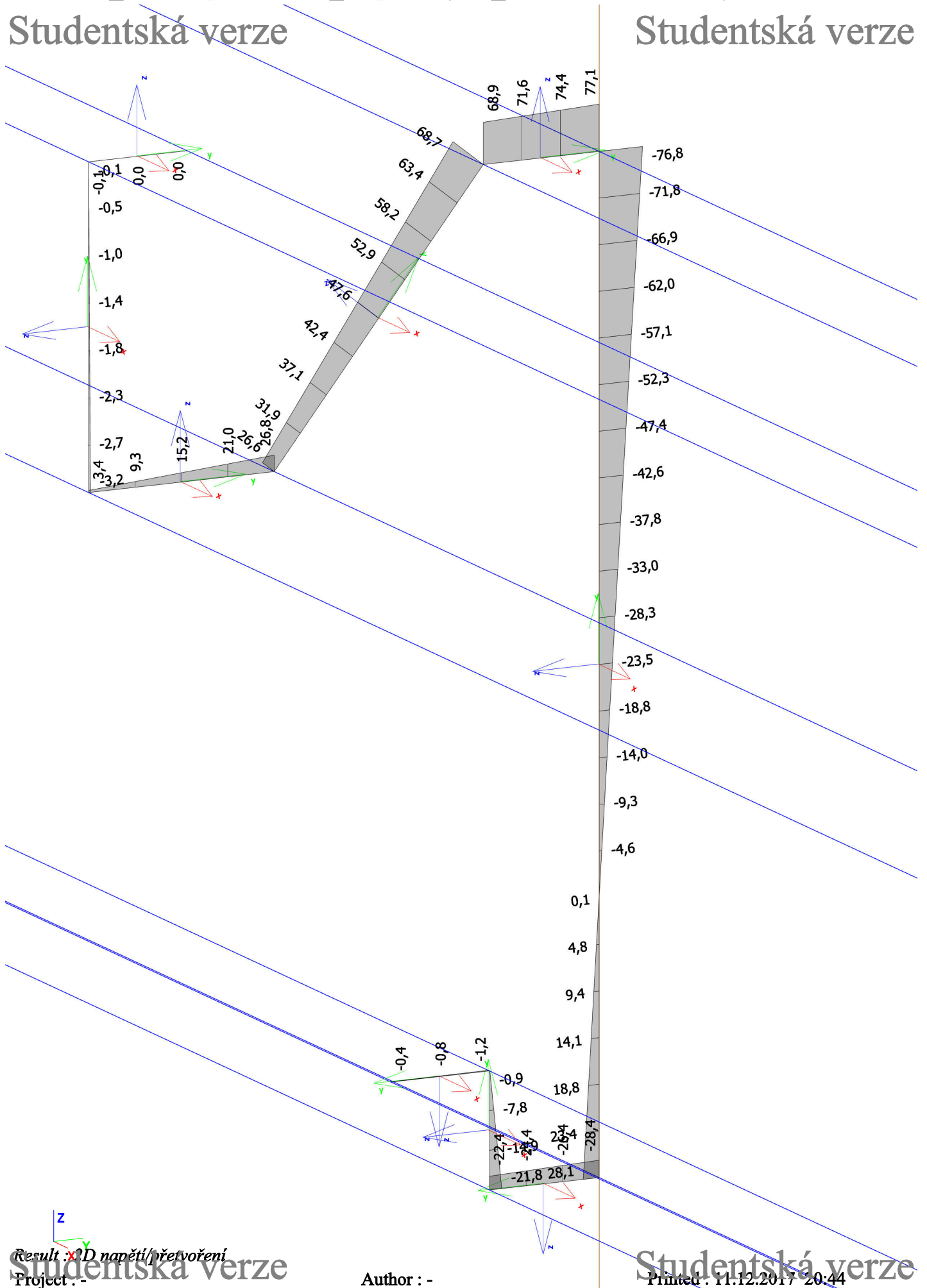
Studentská verze

Studentská verze

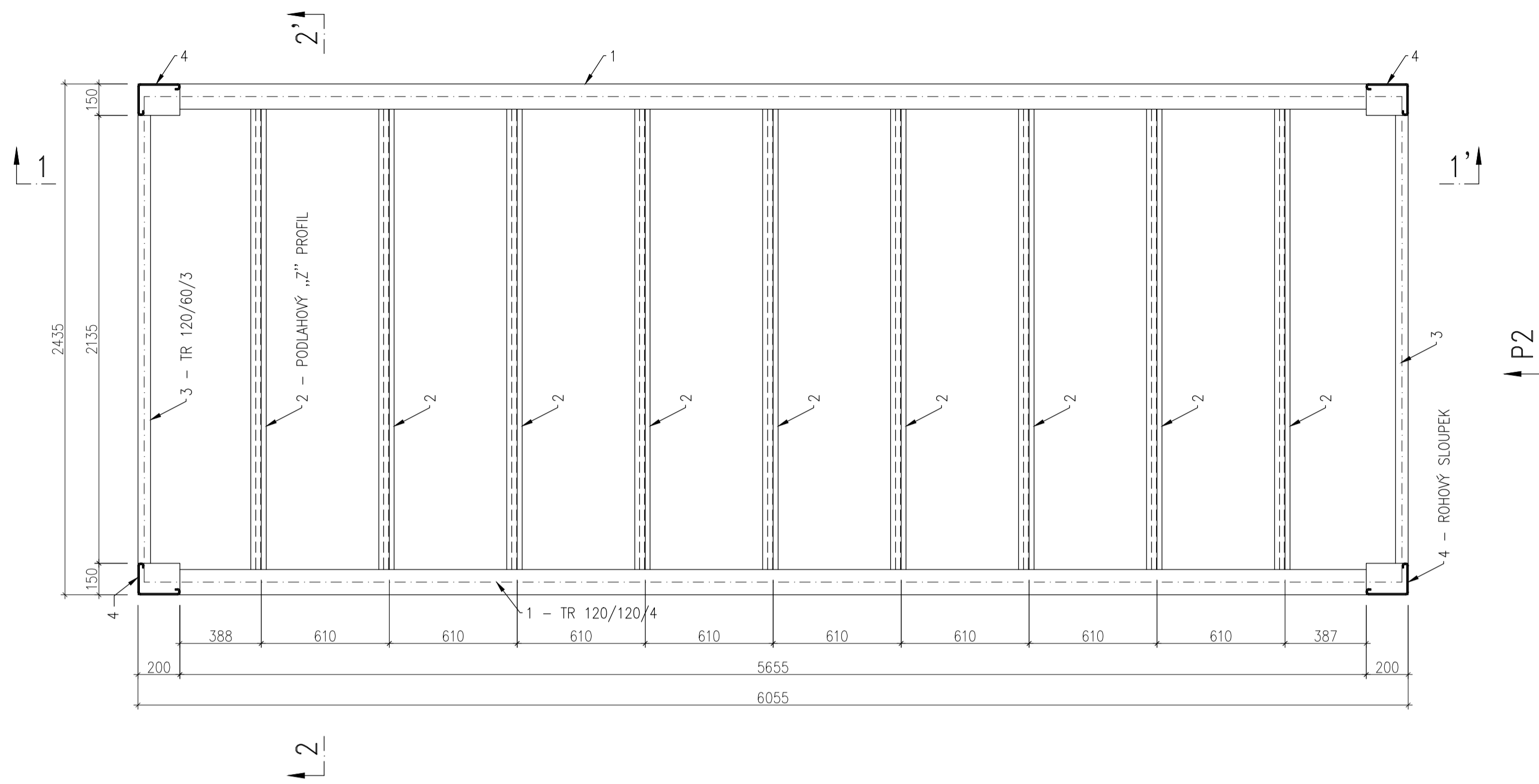
5_ Střešní profil čelní_ napětí sigma_Y - - CO11 - tl. stěny 2,8 mm

Studentská verze

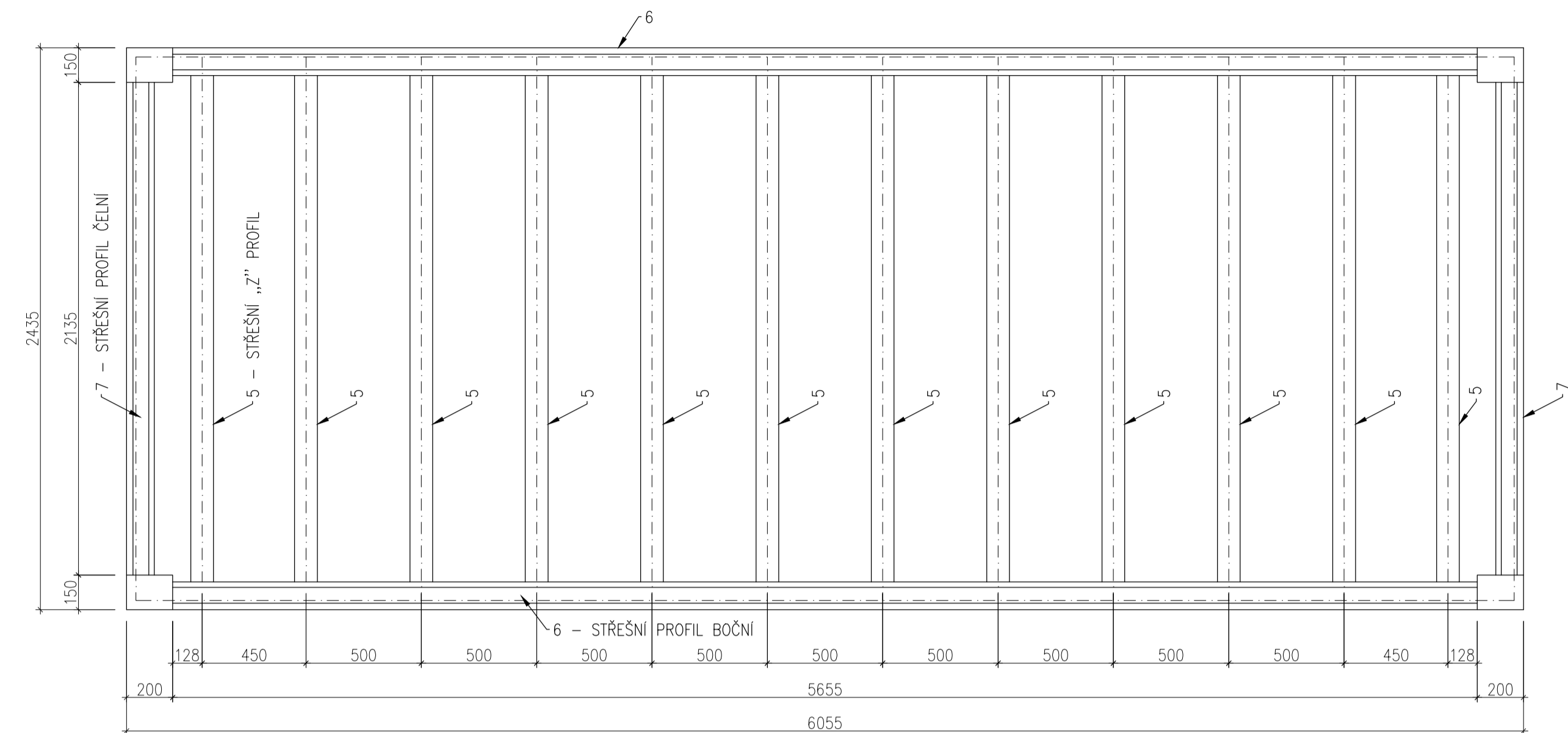
Studentská verze



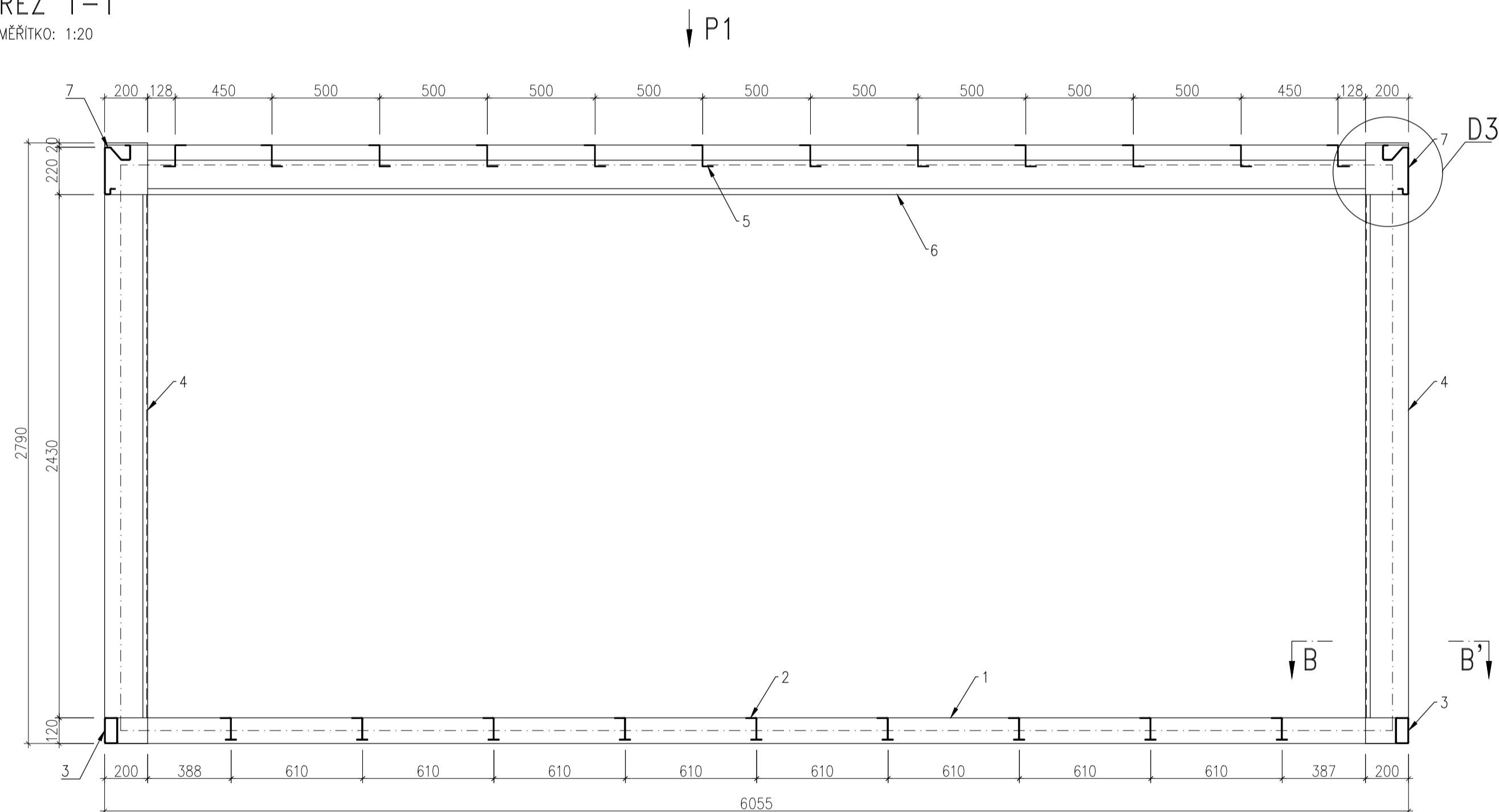
VÝKRES DISPOZICE
PŮDORYS – PODLAHOVÉ PATRO
MĚŘÍTKO: 1:20



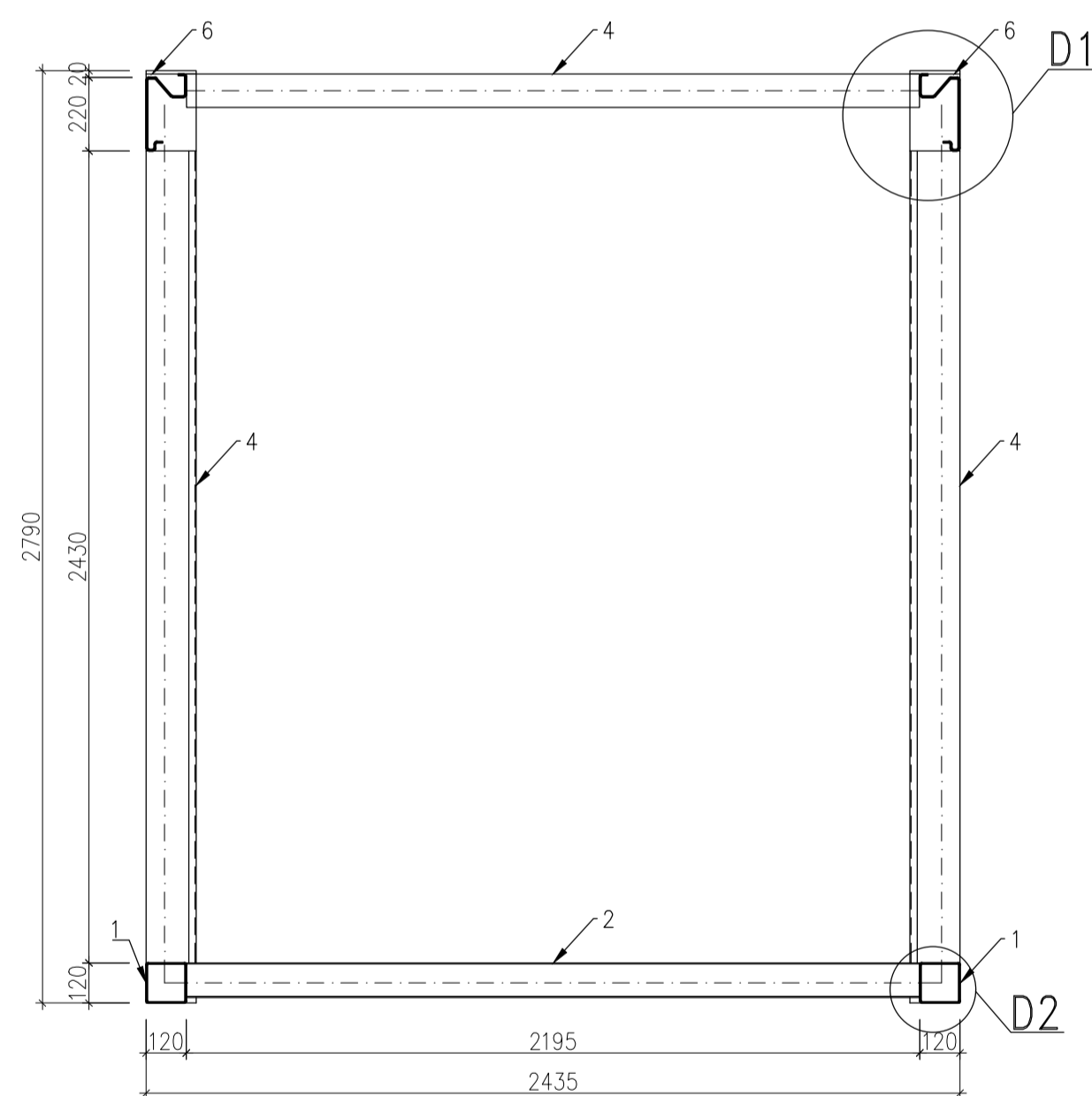
POHLED P1
MĚŘÍTKO: 1:20



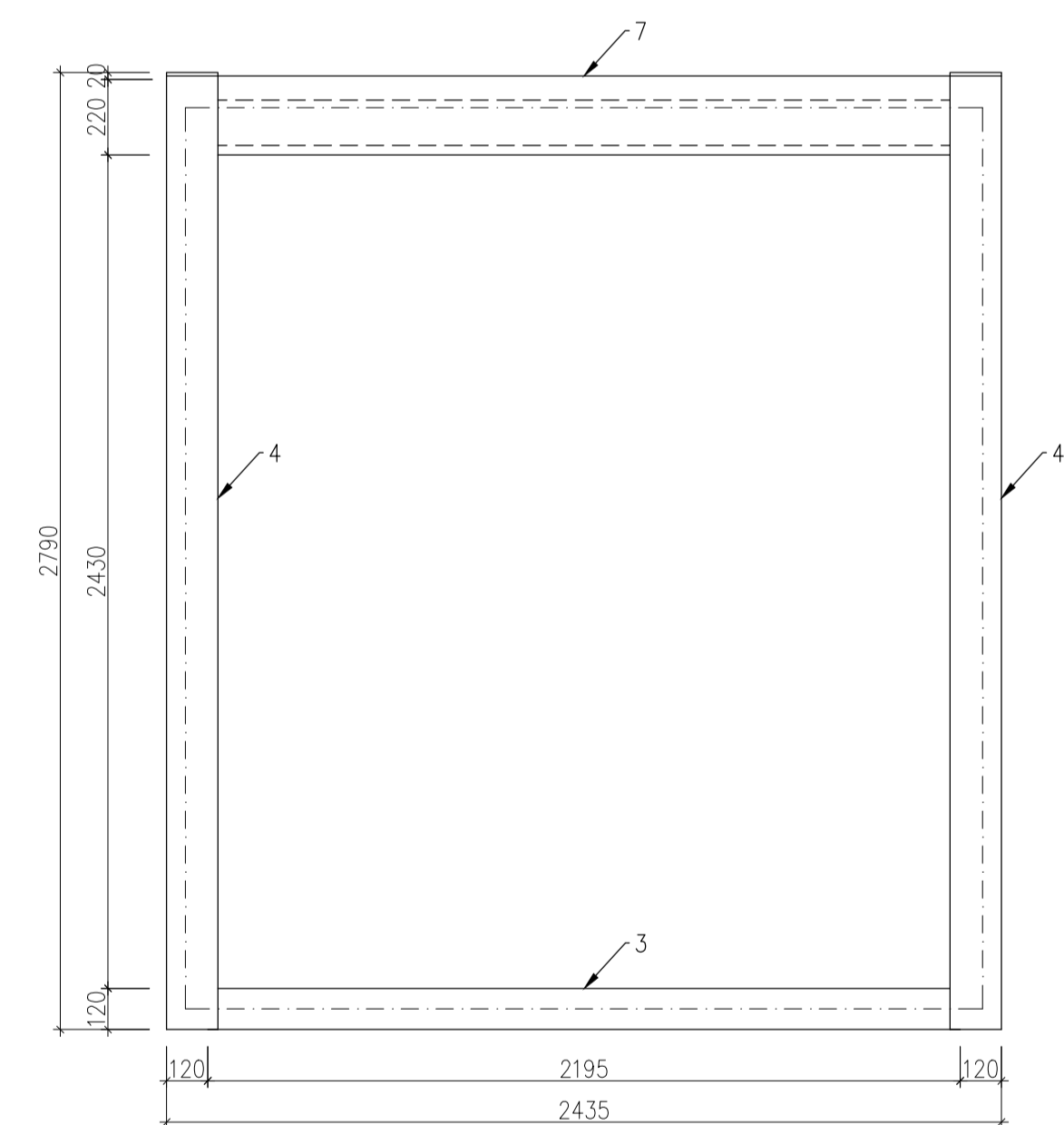
ŘEZ 1-1'
MĚŘÍTKO: 1:20



ŘEZ 2-2'
MĚŘÍTKO: 1:20

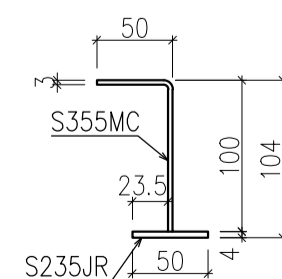


POHLED P2
MĚŘÍTKO: 1:20



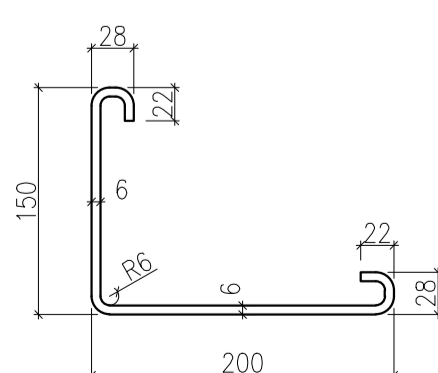
2 - PODLAHOVÝ „Z” PROFIL

MĚŘÍTKO: 1:5
S235JR, S355MC



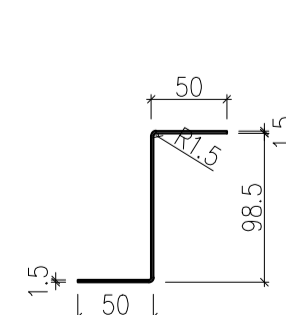
4 - ROHOVÝ SLOUPEK

MĚŘÍTKO: 1:5
S355MC



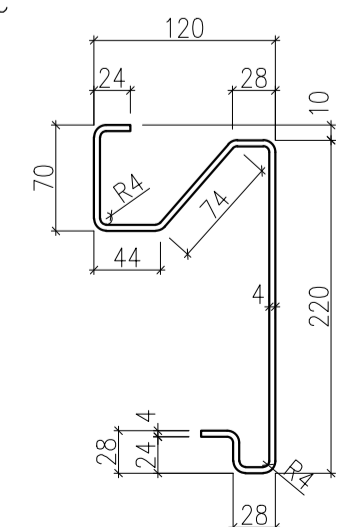
5 - STŘEŠNÍ „Z” PROFIL

MĚŘÍTKO: 1:5
S235JR



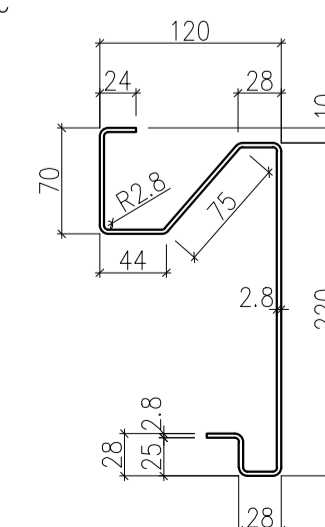
6 - STŘEŠNÍ PROFIL BOČNÍ

MĚŘÍTKO: 1:5
S355MC



7 - STŘEŠNÍ PROFIL ČELNÍ

MĚŘÍTKO: 1:5
S355MC

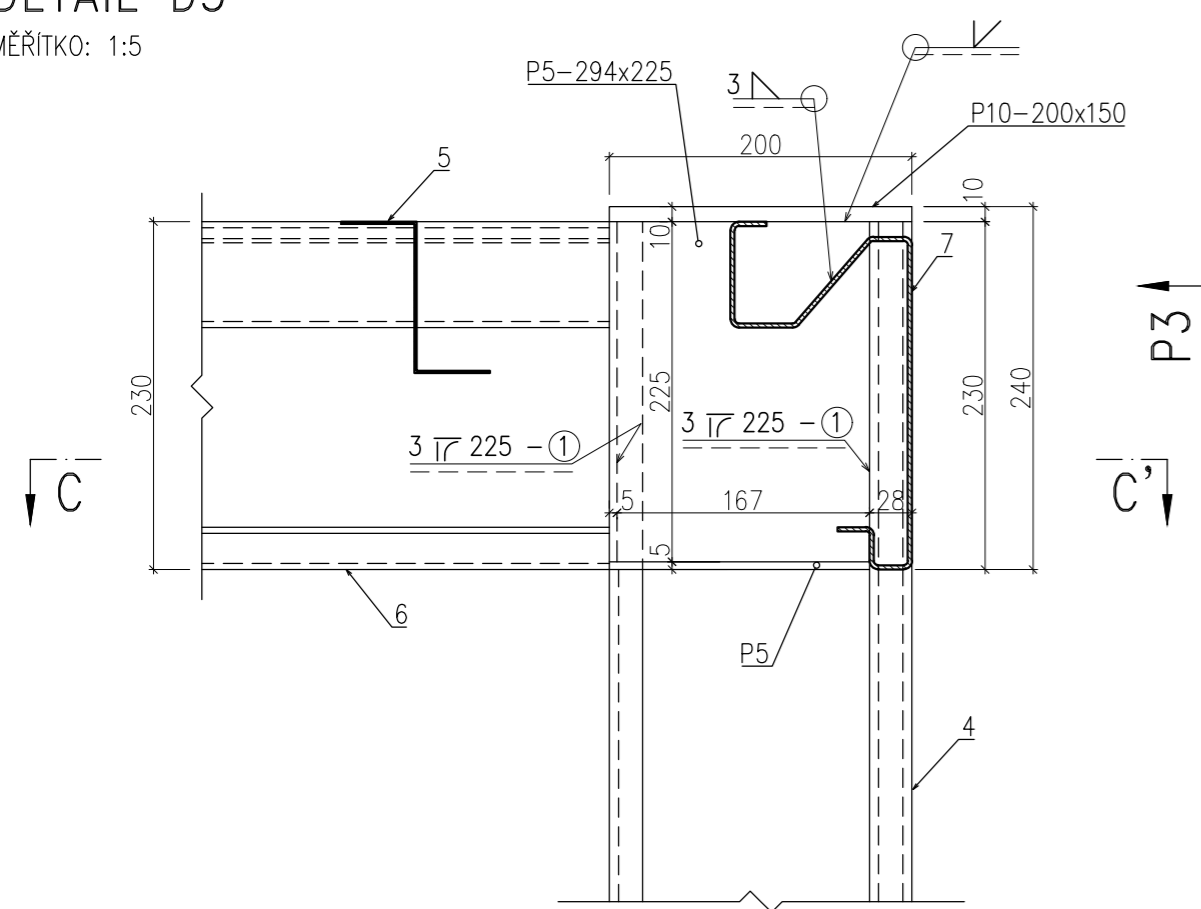


OZNAČENÍ PRVKU	PROFIL	TŘÍDA OCELI
1	TR 120/120/4	S235JR
2	PODLAHOVÝ „Z” PROFIL	S235JR; S355MC
3	TR 120/60/3	S235JR
4	ROHOVÝ SLOUPEK	S355MC
5	STŘEŠNÍ „Z” PROFIL	S235JR
6	STŘEŠNÍ PROFIL BOČNÍ	S355MC
7	STŘEŠNÍ PROFIL ČELNÍ	S355MC

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ VYPRACOVAL: Bc. Petr Janíček NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE: MODULOVÁ STAVBA Z TENKOSTĚNNÝCH OCELOVÝCH PROFILŮ NÁZEV: VÝKRES DISPOZICE	MĚŘÍTKO: 1:20 DATUM: 1/2018 FORMÁT: A1
---	---

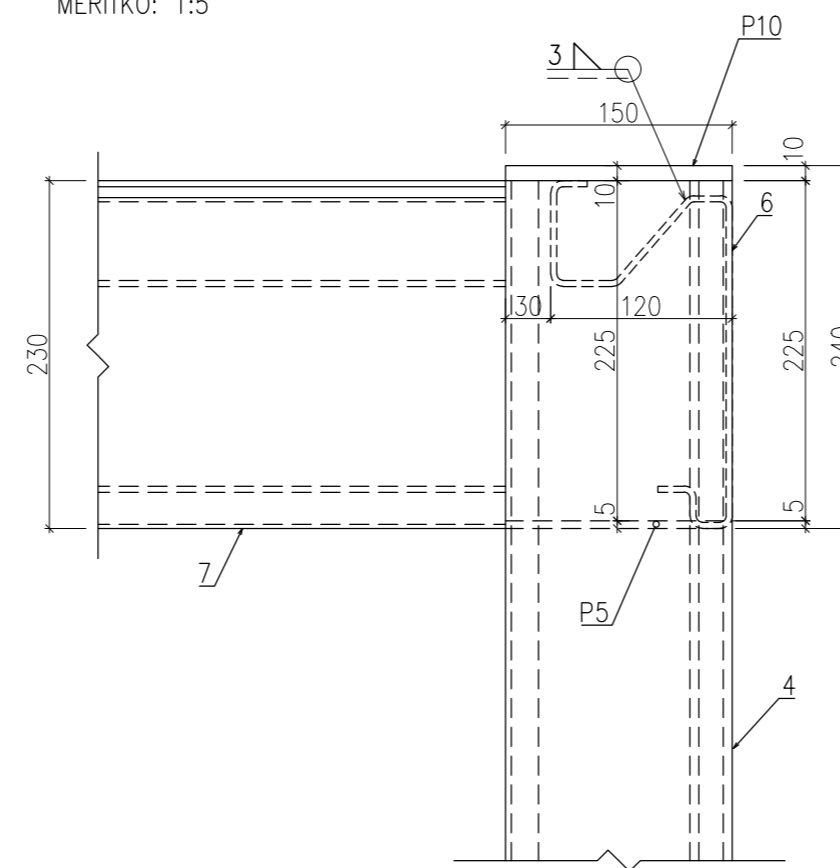
DETAIL D3

MĚŘÍTKO: 1:5



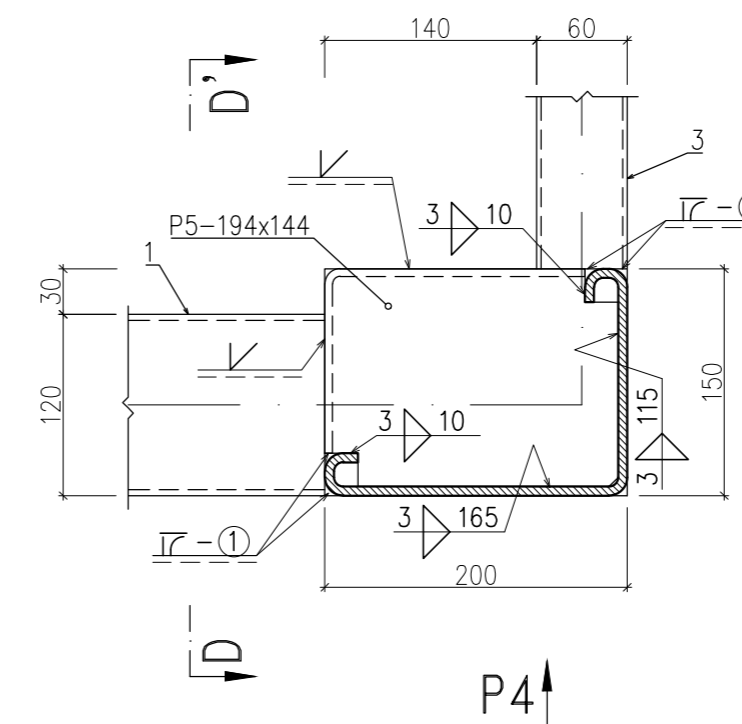
POHLED P3

MĚŘÍTKO: 1:5



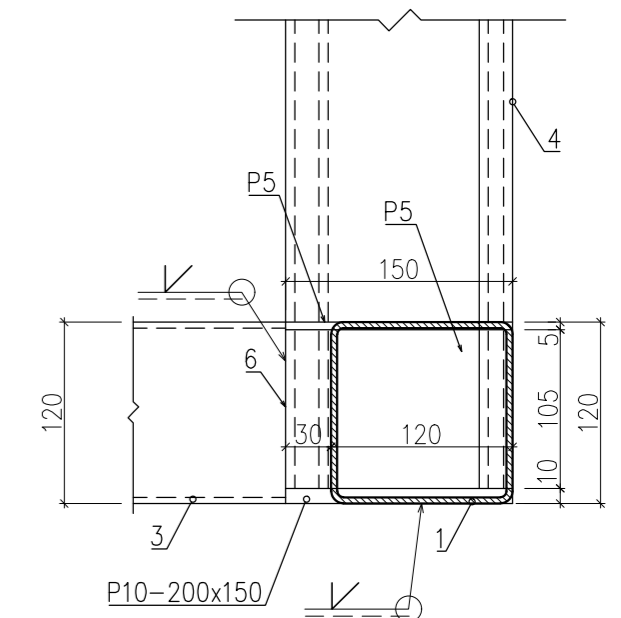
ŘEZ B-B'

MĚŘÍTKO: 1:5



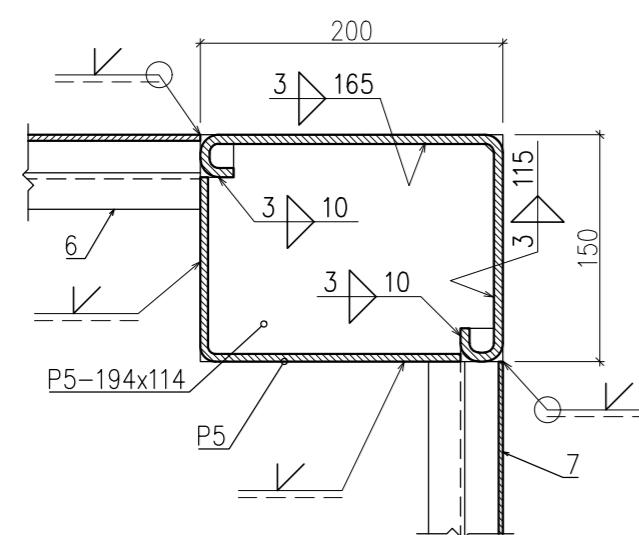
ŘEZ D-D'

MĚŘÍTKO: 1:5



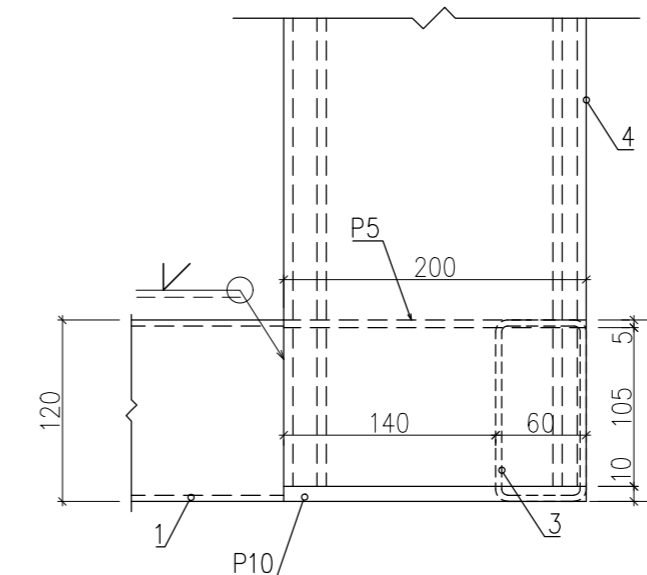
ŘEZ C-C'

MĚŘÍTKO: 1:5



POHLED P4

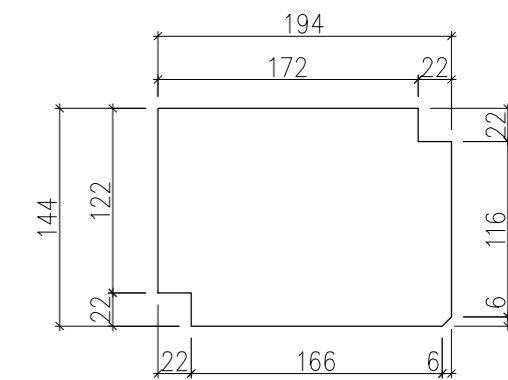
MĚŘÍTKO: 1:5



P5-294x225
S235JR

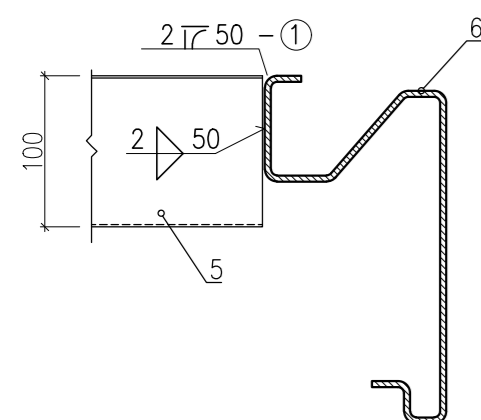


P5-194x144
S235JR



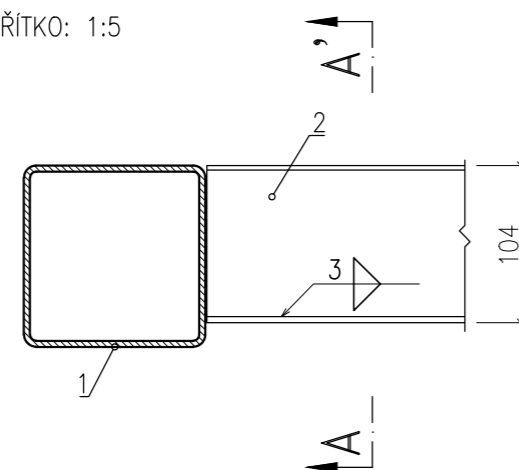
DETAIL D1

MĚŘÍTKO: 1:5



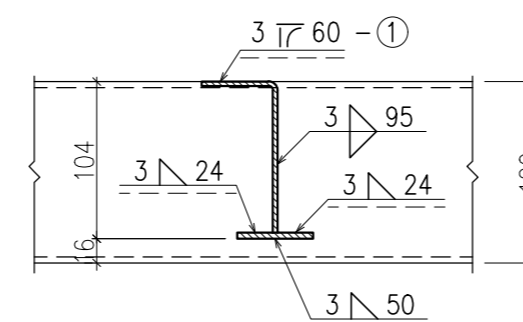
DETAIL D2

MĚŘÍTKO: 1:5



ŘEZ A-A'

MĚŘÍTKO: 1:5



OZNAČENÍ PRVKU	PROFIL	TŘÍDA OCELI
1	TR 120/120/4	S235JR
2	PODLAHOVÝ „Z“ PROFIL	S235JR; S355MC
3	TR 120/60/3	S235JR
4	ROHOVÝ SLOUPEK	S355MC
5	STŘEŠNÍ „Z“ PROFIL	S235JR
6	STŘEŠNÍ PROFIL BOČNÍ	S355MC
7	STŘEŠNÍ PROFIL ČELNÍ	S355MC

POZNÁMKA:

① - SVARY ZABROUSIT DO ROVINY

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
VYPRACOVAL: Bc. Petr Janíček	VEDOUČÍ PRÁCE: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	
NÁZEV DIPLOMOVÁ PRÁCE: MODULOVÁ STAVBA Z TENKOSTĚNNÝCH OCELOVÝCH PROFILŮ		MĚŘÍTKO: 1:5
		DATUM: 1/2018
NÁZEV: VÝKRES DETAILŮ	ČÍSLO VÝKRESU: 2	FORMÁT: A2