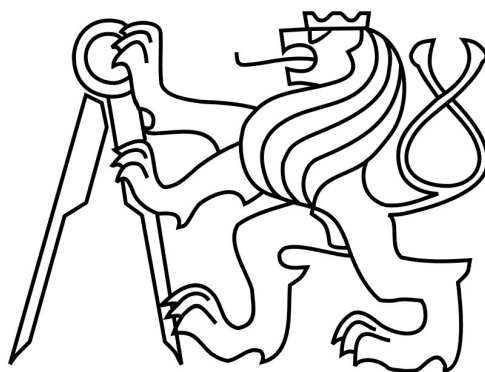


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Diplomová práce

Ocelová konstrukce průmyslového modulu

Steel structure of an industrial module building

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Machačová Jméno: Dominika Osobní číslo: 468454
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Ocelová konstrukce průmyslového modulu

Název diplomové práce anglicky: Steel structure of an industrial module building

Pokyny pro vypracování:

Návrh nosné ocelové konstrukce průmyslového modulu opláštěného sendvičovým panelem včetně vybraných detailů. Stručná technická zpráva. Výkresová dokumentace (dispozice a navržené detaily).

Seznam doporučené literatury:

Platné normy ČSN EN;

ECCS TWG 7.9 and CIB W056: European Recommendations on the Stabilization of Steel Structures by Sandwich Panels, 2014.

Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

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“.

24.9.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Dominika Macháčová

Název diplomové práce: Ocelová konstrukce průmyslového modulu

Základní část: Ocelové konstrukce podíl: 100 %

Formulace úkolů: viz pokyny

Podpis vedoucího DP: [podepsáno] Datum: 24.9.2021

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Poděkování

Tímto děkuji doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a sdílení zkušeností s danou problematikou. Dále také děkuji za trpělivost a ochotu při konzultacích této diplomové práce.

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá statickým a konstrukčním řešením ocelové konstrukce průmyslového modulu. Součástí této práce je statické posouzení ocelových a dřevěných prvků a jejich detailů. Hlavní nosné prvky jsou tvořeny z uzavřených a tenkostěnných profilů. Opláštění je navrženo ze stěnových sendvičových panelů. Součástí práce je také projektová dokumentace a technická zpráva. Projektová dokumentace zahrnuje dispoziční výkresy, výkresy detailů a výkresy dílenské.

Klíčová slova: *ocelová konstrukce, průmyslový modul, tenkostěnný profil, sendvičový panel*

Abstract:

This master thesis focuses on the static and structural design of the steel structure of an industrial module. The thesis includes a static assessment of the steel and timber elements and their details. The main supporting elements consist of rectangular hollow sections and thin-walled sections. The cladding is designed from wall sandwich panels. Project documentation and technical report are part of the thesis as well. The project documentation includes designs of layouts, details and manufacturing.

Keywords: *steel structure, industrial module, thin-walled section, sandwich panel*

OBSAH

I. TECHNICKÁ ZPRÁVA

II. STATICKÝ VÝPOČET

Příloha A – Protokol ze softwaru SCIA Engineer

Příloha B – Protokoly ze softwaru IDEA StatiCa

Příloha C – Protokol ze softwaru Hilti PROFIS Engineering

Příloha D – Vnitřní síly na prvcích se styčníky s nekonečnou tuhostí

Příloha E – Vnitřní síly na prvcích s polotuhými styčníky s tuhostí z ručního výpočtu

Příloha F – Vnitřní síly na prvcích s polotuhými styčníky s tuhostí z IDEA StatiCa

Příloha G – Deformace a posouzení montážního stavu modulu v softwaru SCIA Engineer

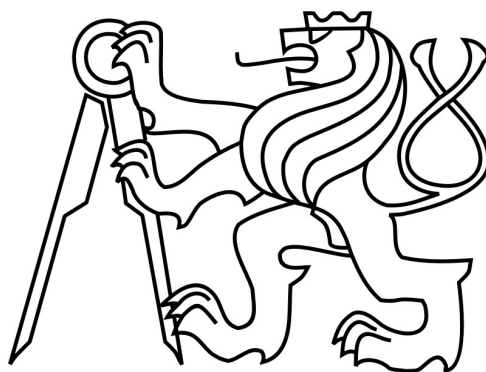
III. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- a) Dispoziční výkresy - M 1:50, 1:3**
- b) Detaily - M 1:10, 1:5**
- c) Dílenské výkresy – Dílec 1, 2, 5 - M 1:10, 1:5**
- d) Dílenské výkresy – Dílec 3, 4, 6 a 7 – M 1:10, 1:5, 1:3**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Technická zpráva

Obsah

1	Základní údaje o projektu.....	2
1.1	Obecné informace	2
1.2	Použité normy	2
1.3	Metody výpočtu.....	2
1.4	Posouzení konstrukce.....	3
2	Základní charakteristika konstrukčního řešení.....	3
2.1	Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby.....	3
2.2	Materiálové řešení portálového vstupu	3
3	Zatížení.....	4
4	Základové konstrukce.....	4
5	Nosný systém.....	4
5.1	Nosné konstrukce	4
5.2	Ztužení.....	5
6	Obalové konstrukce.....	5
6.1	Střešní a obvodový plášť	5
6.2	Podlaha	5
7	Výroba a montáž ocelové konstrukce.....	6
8	Protikorozní ochrana ocelové konstrukce.....	6
9	Požární ochrana ocelové konstrukce	7

1 Základní údaje o projektu

1.1 Obecné informace

Předmětem této diplomové práce je modul ocelové konstrukce pro průmyslové účely. Lokalita modulu není známa, proto bylo uvažováno s vyššími hodnotami zatížení od větru a sněhu, aby bylo zajištěno, že posouzení konstrukce je na straně bezpečnosti. Objekt se nachází ve sněhové oblasti III a ve větrné oblasti III s kategorií terénu II.

1.2 Použité normy

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1.4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1992-4 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 4: Navrhování kotvení do betonu
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.3: Obecná pravidla – Doplňující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.8: Navrhování styčníků
- prEN 1993-1-13 Eurocode 3: Steel beams with large web openings
- ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla – Společná pravidla pro pozemní stavby

1.3 Metody výpočtu

Pro výpočet vnitřních sil a posouzení ocelové konstrukce byl vytvořen 3D model v softwaru SCIA Engineer, kde byly vnitřní síly v prutech vypočítány metodou konečných prvků. Tyto

vnitřní síly byly ze softwaru převzaty a bylo s nimi dále počítáno v posudcích 1. mezního stavu (MSÚ). Ze softwaru byly také převzaty výpočty deformací pro posouzení 2. mezního stavu (MSP).

1.4 Posouzení konstrukce

Konstrukce byla posouzena na 1. a 2. mezní stav (MSÚ a MSP). Nosná konstrukce ocelového modulu je navržena tak, aby vyhověla na oba mezní stavy. Dále byly navrženy a posouzeny detaily konstrukce a dřevěné prvky. Návrhu a posouzení jednotlivých prvků a detailů se věnuje statický výpočet. Pro návrh a posouzení byl využit software SCIA Engineer, IDEA StatiCa a Hilti PROFIS Engineering.

2 Základní charakteristika konstrukčního řešení

2.1 Urbanistické, architektonické a dispoziční řešení stavby

Předmětem této práce je průmyslový modul ocelové konstrukce. Modul je tvořen čtyřmi sloupky a vodorovnými podlahovými a střešními nosníky. Vaznice v úrovni podlahy a střechy byly navrženy jako tenkostěnné. Nosníky jsou připojeny ke sloupům pružně s danou tuhostí polotuhého přípoje pomocí čelní desky. Přípoj vaznic k nosníkům je navrženy jako kloubový přes desku na stěně vaznice.

Konstrukce má výšku 3,5 m a celkovou délku 6,14 m. Šířka konstrukce je 2,53 m.

Zastřešení je tvořeno OSB deskami, tepelnou izolací a PVC fólií. Podlaha je navržena z OSB desek, tepelné izolace a PVC povrchu podlahy.

2.2 Materiálové řešení portálového vstupu

- Nosná konstrukce: ocel S235J2, třída provedení EXC2
- Základové konstrukce: beton C25/30–XC2–C10,1–Dmax22–S3
- Výztuž základových konstrukcí: ocel B500B
- Šrouby ocelových konstrukcí: 8.8
- Vrutky dřevěných konstrukcí: 4.8

3 Zatížení

Pro účely této práce je uvažováno s následujícími zatěžovacími stavy:

- *Vlastní tíha* - do výpočtu zahrnuta přímo softwarem SCIA Engineer.
- *Ostatní stálé zatížení* (tíha obvodového pláště, tíha podlahy a střechy).
- *Zatížení sněhem* – byly uvažován jeden zatěžovací stav.
- *Zatížení větrem* – byly uvažovány tři zatěžovací stavy.

Zatížení bylo rozděleno na příčný a podélný směr působení větru. Podélný směr byl posouzen s vlivem sání a s vlivem tlaku.

- *Zatížení užité* – byla uvažována kategorie užité zatížení B.

Hodnoty jednotlivých zatížení jsou uvedeny ve statickém výpočtu.

4 Základové konstrukce

Konstrukce je založena na železobetonových patkách o půdorysných rozměrech 750x750 mm s výškou 850 mm.

Patky sloupů jsou navrženy kloubové s nosným kotvením dodatečně osazeným – lepené kotvy HILTI HIT-HY 200-A se závitovou tyčí HAS-U 8.8 o velikosti M16 s délkou kotvení 80 mm. Pro každou patku byly navrženy tři kotvy, které přenáší také smykové síly do železobetonového základu.

Patní plech o rozměrech 220x220 mm tloušťky 15 mm je osazen na podlité s výškou 25 mm.

5 Nosný systém

5.1 Nosné konstrukce

Ocelová konstrukce je tvořena svislými prvky z HRT profilů 90x90x7.1 s délkou 3,5 m.

Vodorovné podlahové prvky jsou navrženy z HRT profilů 160x90x7.1 o délkách 5,93 m a 2,32 m. Vaznice v podlahové rovině jsou tvořeny tenkostěnnými Z profily s výškou 100 mm.

Vodorovné střešní nosníky jsou navrženy z HRT profilů 160x90x4.5 s délkami 5,93 m a 2,32 m. Vaznice ve střešní rovině jsou navrženy z tenkostěnných Z profilů výšky 70 mm.

Nosníky jsou ke sloupům připojeny přes čelní desku. Přípoje vaznic ke střešním i podlahovým nosníkům jsou řešeny pomocí desky na stěnách vaznic. Pro přípoj střešní vaznice k nosníku je navržen jeden šroub M16 pevnosti 8.8. Je potřeba matici šroubu tohoto přípoje zalepit. Podlahové vaznice jsou k nosníkům připojeny pomocí dvou šroubů M12 s pevností 8.8.

5.2 Ztužení

Ztužení modulu bylo provedeno pomocí OSB desek ve střešní i podlahové rovině. V podélném směru bylo využito rámového působení ke ztužení konstrukce. Dále bylo uvažováno se ztužením od stěnových sendvičových panelů. V příčném směru nebylo ztužení od stěnových panelů zahrnuto do výpočtu kvůli překročení limitu zkosení pro sendvičové panely a kvůli nedostatečné únosnosti. Tudíž v tomto směru bylo počítáno pouze se ztužením od rámového působení modulu.

Stěnové sendvičové panely jsou součástí nosné konstrukce. Jejich demontáž vyžaduje statický posudek.

6 Obalové konstrukce

6.1 Střešní a obvodový plášť

Střešní plášť je realizován pomocí OSB desek tloušťky 18 mm uchycených na tenkostěnných Z profilech, tepelné izolace a PVC hydroizolační fólie. Součástí střešní konstrukce je i SDK podhled tloušťky 12,5 mm.

Obvodový plášť je navržen ze sendvičových stěnových panelů KINGSPAN KS1000 a KS1200 tloušťky 100 mm.

6.2 Podlaha

Podlahová konstrukce je navržena z pozinkovaného plechu tloušťky 0,55 mm, OSB desek tloušťky 22 mm uchycených na tenkostěnných Z profilech, tepelné izolace a PVC povrchu.

7 Výroba a montáž ocelové konstrukce

Nejprve budou osazeny sloupky ocelové konstrukce z HRT profilů, na kterých budou zabudovány nýtovací matice pro snadnou montáž přípojů nosníků. Střešní i podlahové nosníky délek 5,93 m a 2,32 m budou na sloupky délky 3,5 m osazeny pomocí šroubového přípoje přes čelní desku. Čelní deska již bude přivařena k nosníkům. Pro montáž šroubů jsou navrženy ve stěnách nosníků otvory o rozměrech 100x60 mm.

Tenkostěnné vaznice budou osazeny na nosníky pomocí šroubů přes desku, která bude navařena na podlahových i stěnových nosnicích. Svislé a vodorovné prvky modulu budou na místo stavby dovezeny v celku.

Poté dojde k montáži OSB desek v podlahové i střešní rovině a k instalaci celé konstrukce střechy a podlahy. Dále bude instalován obvodový plášť.

Nejdelším prvkem konstrukce jsou vodorovné podlahové a střešní dílce s délkou 5,93 m.

Montáž konstrukce je umožněna dvěma způsoby. Pomocí jeřábu zavěšením za oka ve víčku sloupu nebo pomocí vysokozdvížného vozíku. Pro tento způsob montáže byly do podlahového nosníku navrženy dva otvory pro transport modulu. Posouzení nosníku s otvory a víčka sloupu na namáhání od zavěšení konstrukce je součástí statického výpočtu. Při posouzení bylo uvažováno s vlastní tíhou konstrukce a ostatním stálým zatížením. Montáž tedy musí probíhat bez dalších zatížení.

Třída provedení konstrukce je zaříděna jako EXC2.

8 Protikorozi ochrana ocelové konstrukce

Konstrukce bude chráněna proti korozi. Všechny prvky jsou vystaveny agresivnímu a vlhkému prostředí, jelikož se nachází v exteriéru. Protikorozi ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998). Stupeň korozi agresivity dosahuje úrovně C4 (venkovní prostory v průmyslovém prostředí). Očekávaná životnost konstrukce je vysoká (H) tj. více než 15 let. Příprava povrchu pro nanesení protikorozi ochrany je navržena Sa 2 ½ – otryskávání (odstranění rzi, okují, nátěrů a cizích látek). Ochrana proti korozi bude řešena nátěrovým systémem ISO 12944-5/A2.02. Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru činí 200 µm. Ocelové prvky budou natřeny dílensky 2x základním nátěrem a 2-3x vrchním nátěrem. Alternativní ochrana proti korozi k nátěrovému systému je žárové zinkování.

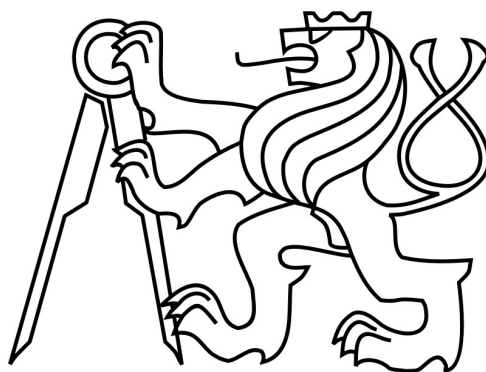
9 Požární ochrana ocelové konstrukce

V rámci diplomové práce nebyla požární ochrana řešena. Bylo by nutné posoudit ocelové prvky na požární odolnost a poté navrhnout dostatečnou ochranu proti požáru.

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Statický výpočet

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	4
1 Úvod.....	7
1.1 Základní informace	7
1.2 Schématický půdorys podlahového patra pro 1 modul	8
1.3 Schématický půdorys střešního patra pro 1 modul	9
1.4 Schématický podélný řez A-A pro 1 modul.....	10
1.5 Schématický příčný řez B-B pro 1 modul.....	10
2 Zatížení pro 2 moduly uložené na sobě	11
2.1 Stálé zatížení – skladby	11
2.1.1 Střecha.....	11
2.1.2 Podlaha	11
2.2 Proměnná zatížení	11
2.2.1 Užité zatížení.....	11
2.2.2 Zatížení sněhem.....	11
2.2.3 Zatížení větrem.....	12
2.2.3.1 Příčný vítr	12
2.2.3.2 Podélný vítr	14
3 Zatížení pro 1 modul	18
3.1 Stálé zatížení – skladby	18
3.1.1 Střecha.....	18
3.1.2 Podlaha	18
3.2 Proměnná zatížení	18
3.2.1 Užité zatížení.....	18
3.2.2 Zatížení sněhem.....	18
3.2.3 Zatížení větrem.....	18
3.2.3.1 Příčný vítr	19
3.2.3.2 Podélný vítr	20
4 Výpočetní model	24
4.1 Náhrada plošných prvků prutem	24
4.1.1 Sendvičový stěnový panel.....	24
4.1.2 OSB desky.....	26
4.2 Nelineární globální analýza rámové konstrukce	27
4.2.1 Výpočet náklonu pro 2 moduly.....	27
4.2.2 Výpočet náklonu pro 1 modul.....	27
5 Předběžné posouzení konstrukce.....	28
5.1 Deformace pro 2 moduly.....	28
5.2 Deformace pro 1 modul.....	30

5.3	Posouzení ocelových prvků na MSÚ pro 1 modul.....	33
6	Podrobné posouzení konstrukce	35
6.1	Materiálové charakteristiky a součinitelé spolehlivosti	35
6.2	Posouzení OSB desek.....	35
6.2.1	Střecha.....	35
6.2.2	Podlaha.....	38
6.2.3	Návrh a posouzení spojovacích prostředků.....	41
6.3	Posouzení sloupu.....	46
6.3.1	MSÚ	47
6.3.2	MSP.....	57
6.3.3	Návrh a posouzení víčka sloupu.....	59
6.4	Posouzení podlahového nosníku	61
6.4.1	MSÚ	62
6.4.2	MSP.....	69
6.4.3	Otvory v nosníku.....	69
6.4.3.1	Montážní stav	70
6.4.3.2	Provozní stav	75
6.5	Posouzení střešního nosníku	79
6.5.1	MSÚ	80
6.5.2	MSP.....	91
6.6	Posouzení tenkostěnné střešní vaznice.....	92
6.6.1	MSÚ	93
6.6.2	MSP.....	102
6.7	Posouzení tenkostěnné podlahové vaznice	103
6.7.1	MSÚ	104
6.7.2	MSP.....	114
6.8	Posouzení nové tenkostěnné podlahové vaznice.....	115
6.8.1	MSÚ	116
6.8.2	MSP.....	127
7	Návrh a posouzení detailů	129
7.1	Přípoj střešního nosníku - šroubovaný styčník s čelní deskou.....	129
7.1.1	Návrh svarů	132
7.1.2	Únosnosti řad šroubů v tahu.....	132
7.1.2.1	Únosnost první řady šroubů	133
7.1.2.2	Únosnost druhé řady šroubů.....	135
7.1.2.3	Únosnost třetí řady šroubů	138
7.1.3	Únosnost tlačené oblasti.....	140
7.1.4	Stěna sloupu ve smyku	142
7.1.5	Momentová únosnost	142
7.1.6	Smyková únosnost.....	143
7.1.7	Kombinace ohybového, osového a smykového namáhání.....	143
7.1.8	Tuhost přípoje (dle 6.3 v [10])	144
7.1.9	Posouzení styčníku v softwaru IDEA StatiCa.....	145
7.2	Přípoj podlahového nosníku - šroubovaný styčník s čelní deskou.....	146

7.2.1	Návrh svarů	149
7.2.2	Únosnosti řad šroubů v tahu	149
7.2.2.1	Únosnost první řady šroubů	149
7.2.2.2	Únosnost druhé řady šroubů	152
7.2.2.3	Únosnost třetí řady šroubů	154
7.2.3	Únosnost tlačené oblasti	157
7.2.4	Stěna sloupu ve smyku	158
7.2.5	Momentová únosnost	159
7.2.6	Smyková únosnost	159
7.2.7	Kombinace ohybového, osového a smykového namáhání	160
7.2.8	Tuhost přípoje (dle 6.3 v [10])	160
7.2.9	Posouzení styčnicku v softwaru IDEA StatiCa	162
7.3	Přípoj tenkostěnné vaznice k střešnímu nosníku	163
7.4	Přípoj tenkostěnné vaznice k podlahovému nosníku	168
7.5	Kloubová patka	173
7.5.1	Návrh kloubové patky	173
7.5.2	Posouzení v softwaru Hilti PROFISS Engineering	176
7.6	Kotvení sendvičového panelu ke střešnímu nosníku	178
8	Závěr	182
	Seznam zdrojů	183
	Seznam obrázků	184
	Seznam tabulek	188
	Seznam příloh	189

Seznam použitých symbolů

Posouzení konstrukce modulu

E	modul pružnosti v tlaku a tahu
G	modul pružnosti ve smyku
f_y	mez kluzu oceli
f_u	mez pevnosti oceli
h	výška
b	šířka
b_{eff}	efektivní šířka
t	tloušťka
A	průřezová plocha
A_{vy}	smyková plocha v ose y
A_{vz}	smyková plocha v ose z
I_y	moment setrvačnosti kolem osy y
I_z	moment setrvačnosti kolem osy z
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$	pružný průřezový modul kolem osy y
$W_{pl,y}$	plastický průřezový modul kolem osy y
$W_{el,z}$	pružný průřezový modul kolem osy z
$W_{pl,z}$	plastický průřezový modul kolem osy z
I_t	moment setrvačnosti ve volném kroucení
I_w	výsečový moment setrvačnosti
r	vnější poloměr
r_l	vnitřní poloměr
d	výška stěny průřezu mezi zaoblením (svařením)
c	šířka tlačené části průřezu
c_{eff}	efektivní šířka tlačené části průřezu
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
q_d	návrhová hodnota proměnného zatížení
δ_x	deformace ve směru osy x

δ_y	deformace ve směru osy y
δ_z	svislý průhyb
δ_{lim}	limitní průhyb
$M_{y;Ed}$	hodnota ohybového momentu okolo osy y od zatížení
$M_{y;Rd}$	hodnota návrhového ohybového momentu okolo osy y
$M_{z;Ed}$	hodnota ohybového momentu okolo osy z od zatížení
$M_{z;Rd}$	hodnota návrhového ohybového momentu okolo osy z
N_{Ed}	hodnota normálové síly od zatížení
N_{Rd}	hodnota návrhové normálové síly
$V_{y;Ed}$	hodnota posouvající síly v ose y od zatížení
$V_{y;Rd}$	hodnota návrhové posouvající síly v ose y
$V_{z;Ed}$	hodnota posouvající síly v ose y od zatížení
$V_{z;Rd}$	hodnota návrhové posouvající síly v ose y
L	délka
L_{cr}	kritická délka
k_y	součinitel vzpěru ve směru osy y
k_z	součinitel vzpěru ve směru osy z
λ	štíhlost
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_p$	poměrná štíhlost při boulení
χ	součinitel vzpěru
χ_{Lt}	součinitel klopení
c_{my}	součinitel ekvivalentního momentu pro vzpěr v ose y
c_{mz}	součinitel ekvivalentního momentu pro vzpěr v ose z
k_{mod}	modifikační součinitel
$k_{yy}, k_{zy}, k_{yz}, k_{zz}$	interakční součinitele
$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \gamma_{M5}, \gamma_M$	dílčí součinitelé spolehlivosti materiálu
γ_G, γ_Q	dílčí součinitelé spolehlivosti zatížení
k_σ	součinitel kritického napětí
ρ	součinitel boulení
ε	součinitel závisující na mezi kluzu
ϕ	náklon konstrukce, úhel
κ	tuhost

Posouzení detailů

d	poloměr
$F_{t,Rd}$	návrhová hodnota síly v tahu
$F_{b,Rd}$	návrhová hodnota síly v tlaku
$N_{t,Rd}$	hodnota normálové síly v tahu od zatížení
$N_{b,Rd}$	hodnota normálové síly v tlaku od zatížení
a_w	tloušťka svaru
b	šířka
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
σ	normálové napětí
τ	smykové napětí
$S_{j;ini}$	počáteční rotační tuhost
S_j	rotační tuhost
ω	redukční součinitel interakce se smykem
ρ	redukční součinitel ohybové únosnosti v důsledku smyku
β_w	korelační součinitel pro koutové svary
γ_c	bezpečnostní součinitel betonu

1 Úvod

Statický výpočet obsahuje podrobné posouzení modulové konstrukce a posouzení vybraných detailů. Byly posuzovány dvě varianty, a to konstrukce ze dvou modulů uložených na sobě a konstrukce tvořena pouze jedním modulem. Bylo stanoveno normové zatížení a poté provedeno předběžné statické posouzení obou variant. Výpočet byl proveden na 3D modelech s nekonečně tuhými přípoji pomocí softwaru Scia Engineer.

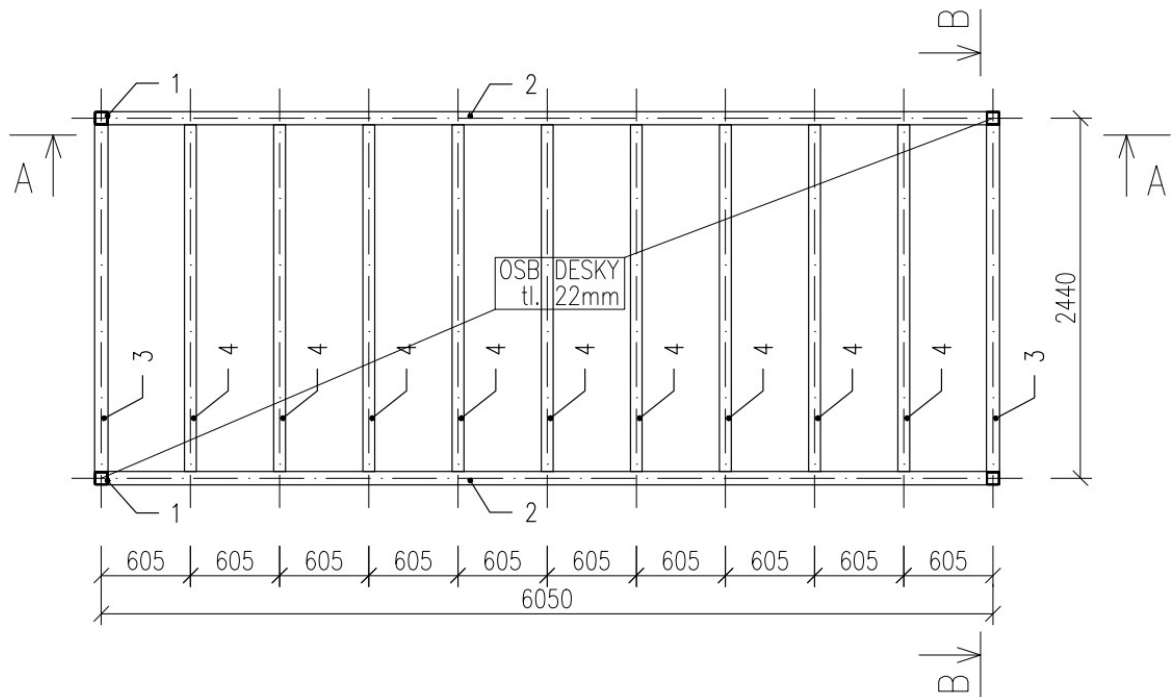
Dále byly navrženy a posouzeny jednotlivé detaily konstrukce. Některé vybrané detaily byly posouzeny v softwaru IDEA StatiCa a Hilti PROFIS Engineering. Jejich tuhost byla zpětně zohledněna ve výpočetních 3D modelech a konstrukce byla podrobně posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

1.1 Základní informace

Předmětem této diplomové práce je ocelová konstrukce modulu pro průmyslové účely. Lokalita modulu není známa, proto bylo uvažováno s vyššími hodnotami zatížení od větru a sněhu, aby bylo zajištěno, že posouzení konstrukce je na straně bezpečnosti. Objekt se nachází ve sněhové oblasti III (podle které bylo stanoveno charakteristické zatížení sněhem $1,5 \text{ kN/m}^2$), ve větrné oblasti III (podle které byla stanovena výchozí základní rychlost větru $27,5 \text{ m/s}$), s kategorií terénu II (krajina bez překážek s nízkou vegetací).

Modul je tvořen nosnými ocelovými prvky, stěnovými sendvičovými panely a OSB deskami ve střešní a podlahové rovině. Ve výpočetních 3D modelech byla tuhost plošných prvků zohledněna přepočtem na tuhost 1D prvků (viz kapitola 4.1).

1.2 Schématický půdorys podlahového patra pro 1 modul

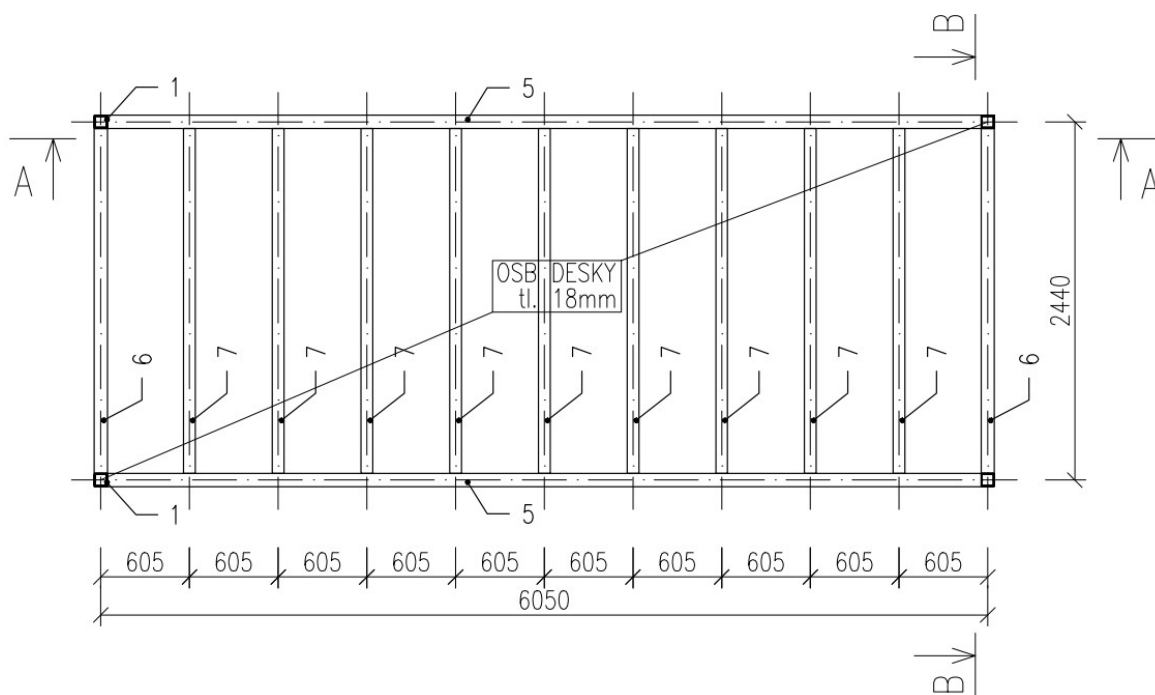


Obr. 1: Schématický půdorys podlahového patra modulu

Vysvětlivky:

1	HRT 90x90x7.1	3	HRT 160x90x7.1
2	HRT 160x90x7.1	4	tenkostěnné Z 100

1.3 Schématický půdorys střešního patra pro 1 modul

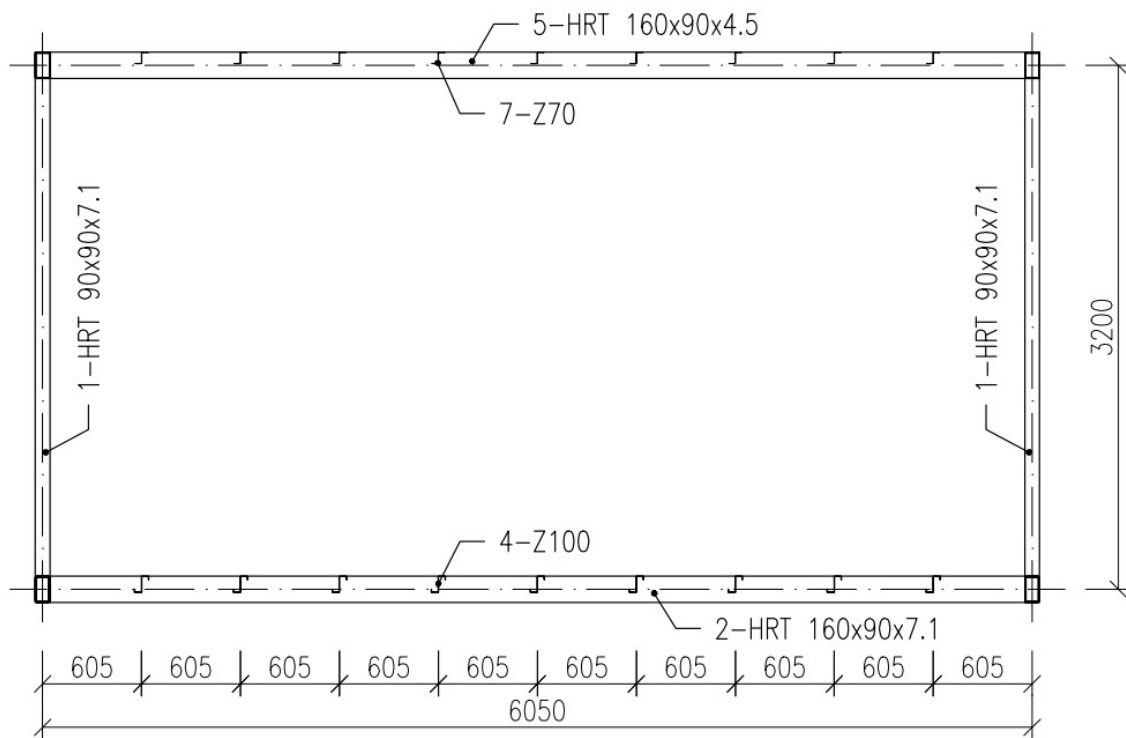


Obr. 2: Schématický půdorys střešního patra modulu

Vysvětlivky:

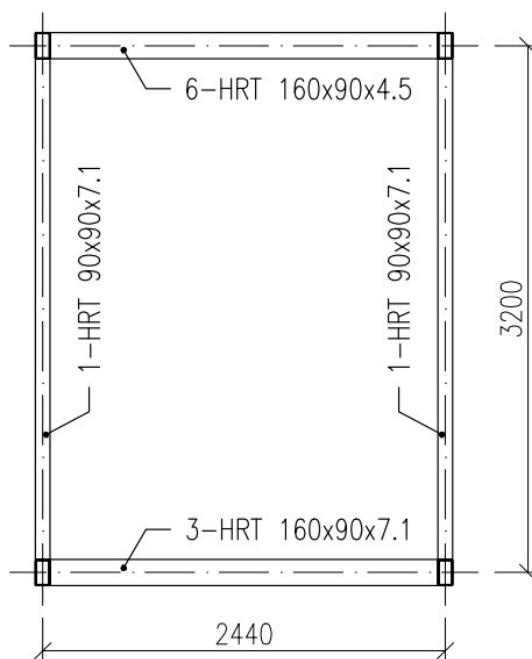
1	HRT 90x90x7.1	6	HRT 160x90x4.5
5	HRT 160x90x4.5	7	tenkostěnné Z 70

1.4 Schématický podélný řez A-A pro 1 modul



Obr. 3: Schématický podélný řez A-A modulu

1.5 Schématický příčný řez B-B pro 1 modul



Obr. 4: Schématický řez B-B modulu

2 Zatížení pro 2 moduly uložené na sobě

2.1 Stálé zatížení – skladby

2.1.1 Střecha

- SDK podhled tloušťky 12,5 mm - $g_{k;s1} = 0,094 \frac{kN}{m^2}$

- OSB deska tloušťky 18 mm - $g_{k;s2} = 0,108 \frac{kN}{m^2}$

- tepelná izolace z minerální vaty tloušťky 120 mm - $g_{k;s3} = 0,048 \frac{kN}{m^2}$

- PVC hydroizolační fólie tloušťky 1,5 mm - $g_{k;s4} = 0,01 \frac{kN}{m^2}$

$$g_{k;s} = g_{k;s1} + g_{k;s2} + g_{k;s3} + g_{k;s4} = 0,094 + 0,108 + 0,048 + 0,01 = 0,26 \frac{kN}{m^2}$$

2.1.2 Podlaha

- pozinkovaný plech tloušťky 0,55 mm - $g_{k;p1} = 0,044 \frac{kN}{m^2}$

- tepelná izolace z minerální vaty tloušťky 100 mm - $g_{k;p2} = 0,04 \frac{kN}{m^2}$

- OSB deska tloušťky 22 mm - $g_{k;p3} = 0,132 \frac{kN}{m^2}$

- PVC tloušťky 2 mm - $g_{k;p4} = 0,029 \frac{kN}{m^2}$

$$g_{k;p} = g_{k;p1} + g_{k;p2} + g_{k;p3} + g_{k;p4} = 0,044 + 0,04 + 0,132 + 0,029 = 0,245 \frac{kN}{m^2}$$

2.2 Proměnná zatížení

2.2.1 Užité zatížení

Konstrukce bude využívána pro průmyslové účely – kategorie zatížení B.

$$q_k = 3,0 \frac{kN}{m^2}$$

2.2.2 Zatížení sněhem

Při výpočtu zatížení sněhem byla uvažována sněhová oblast III. Konstrukce má plochou pultovou střechu a nachází se v normálním typu krajiny.

$$s_k = 1,5 \frac{kN}{m^2}, \mu_i = 0,8, C_t = 1,0, C_e = 1,0$$

$$s_{sn} = \mu_i \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \frac{kN}{m^2}$$

2.2.3 Zatížení větrem

Při výpočtu zatížení větrem byla uvažována větrná oblast III a kategorie terénu II.

$$v_{b;0} = 27,5 \frac{m}{s}, C_{dir} = 1,0, C_{season} = 1,0$$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b;0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5 \frac{m}{s}$$

$$\rho_v = 1,25 \frac{kg}{m^3} - \text{hustota vzduchu}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 0,473 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $h = 6,65 \text{ m} \rightarrow C_{e(h)} = 2,15$

$$q_{p;h} = C_{e(h)} \cdot q_b = 2,15 \cdot 0,473 = 1,016 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $b = 6,05 \text{ m} \rightarrow C_{e(b)} = 2,07$

$$q_{p;b} = C_{e(b)} \cdot q_b = 2,07 \cdot 0,473 = 0,978 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $z = 4,21 \text{ m} \rightarrow C_{e(z)} = 1,87$

$$q_{p;z} = C_{e(z)} \cdot q_b = 1,87 \cdot 0,473 = 0,884 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $d = 2,44 \text{ m} \rightarrow C_{e(d)} = 1,5$

$$q_{p;d} = C_{e(d)} \cdot q_b = 1,5 \cdot 0,473 = 0,71 \frac{kN}{m^2}$$

2.2.3.1 Příčný vítr

- stěny

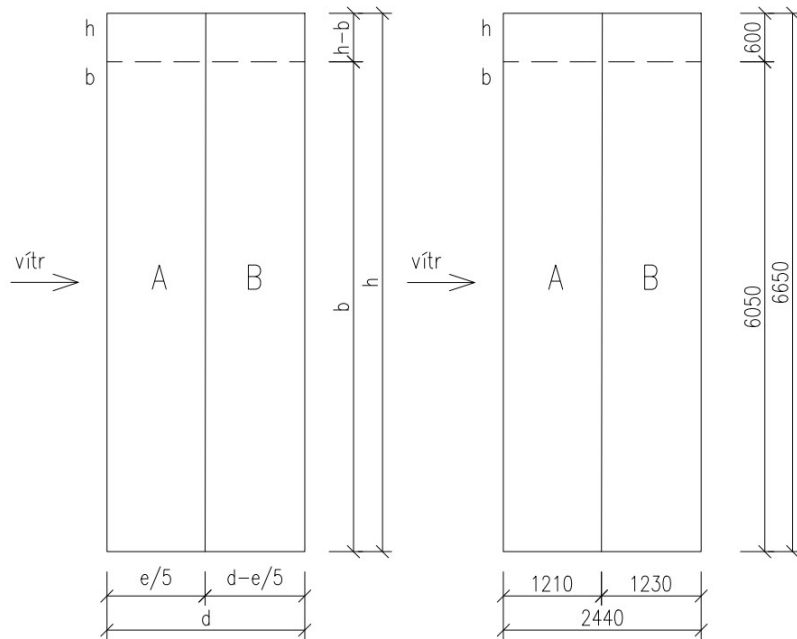
$b = 6,05 \text{ m}, h = 6,65 \text{ m}, d = 2,44 \text{ m} \rightarrow b < h \leq 2 \cdot b \rightarrow$ po výšce dvě oblasti

a) oblast do výšky $b = 6,05 \text{ m}$

b) oblast od výšky b do $h \rightarrow 6,05 \text{ m} - 6,65 \text{ m}$

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,05; 2 \cdot 6,65) = \min(6,05; 13,3) = 6,05 \text{ m}$

$e \geq d \rightarrow$ oblast A, B, D, E



Obr. 5: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení příčným větrem

$$\frac{h}{d} = \frac{6,65}{2,44} = 2,725$$

$$A = -1,2; B = -1,14; D = 0,8; E = -0,59$$

$$q_{A;b} = A \cdot q_{p;b} = -1,2 \cdot 0,978 = -1,174 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{A;h} = A \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 1,016 = -1,219 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;b} = B \cdot q_{p;b} = -1,14 \cdot 0,978 = -1,115 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;h} = B \cdot q_{p;h} = -1,14 \cdot 1,016 = -1,158 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;b} = D \cdot q_{p;b} = 0,8 \cdot 0,978 = 0,783 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;h} = D \cdot q_{p;h} = 0,8 \cdot 1,016 = 0,813 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{E;b} = E \cdot q_{p;b} = -0,59 \cdot 0,978 = -0,577 \frac{kN}{m^2}$$

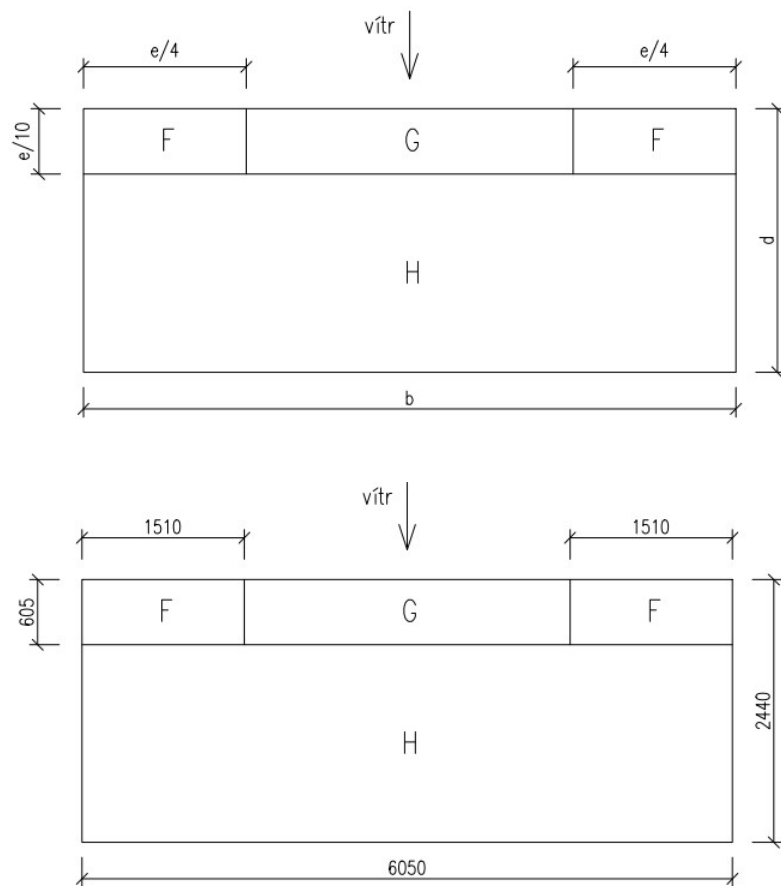
$$q_{E;h} = E \cdot q_{p;h} = -0,59 \cdot 1,016 = -0,6 \frac{kN}{m^2}$$

- střecha

$$b = 6,05 \text{ m}, h = 6,65 \text{ m}, d = 2,44 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,05; 2 \cdot 3,2) = \min(6,05; 6,4) = 6,05 \text{ m}$$

→ oblast F, G, H



Obr. 6: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení příčným větrem

$$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7$$

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 1,016 = -1,829 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 1,016 = -1,219 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 1,016 = -0,711 \frac{kN}{m^2}$$

2.2.3.2 Podélný vítr

- stěny

$$b = 2,44 \text{ m}, h = 6,65 \text{ m}, d = 6,05 \text{ m} \rightarrow h > 2 \cdot b \rightarrow \text{po výšce tři oblasti}$$

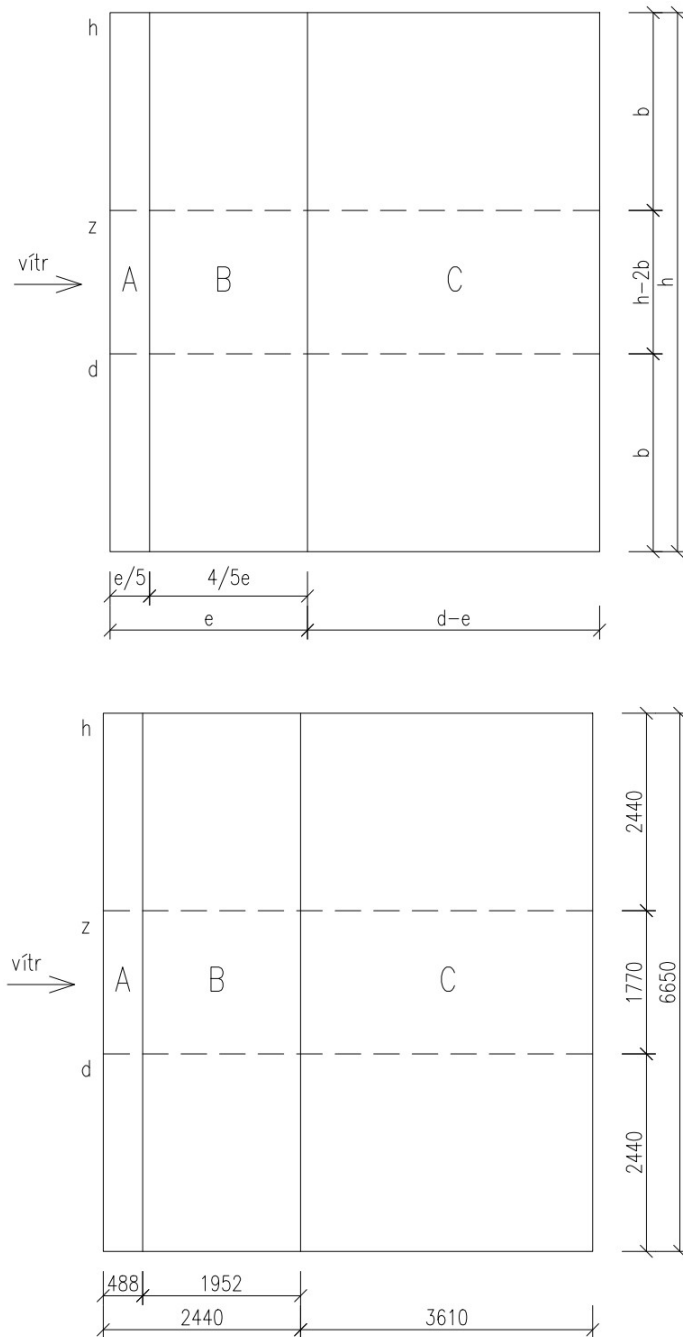
a) oblast do výšky $d = 2,44 \text{ m}$

b) oblast od výšky d do výšky $z \rightarrow 2,44 \text{ m} - 4,21 \text{ m}$

c) oblast od výšky z do $h \rightarrow 4,21 \text{ m} - 6,55 \text{ m}$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(2,44; 2 \cdot 6,65) = \min(2,44; 13,3) = 2,44 \text{ m}$$

$e < d \rightarrow$ oblast A, B, C, D, E



Obr. 7: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížením podélným větrem

$$\frac{h}{d} = \frac{6,55}{6,05} = 1,099$$

$$A = -1,2; B = -1,39; C = -0,5; D = 0,8; E = -0,5$$

$$q_{A;d} = A \cdot q_{p;d} = -1,2 \cdot 0,71 = -0,851 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{A;z} = A \cdot q_{p;z} = -1,2 \cdot 0,884 = -1,061 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{A;h} = A \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 1,016 = -1,219 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;d} = B \cdot q_{p;d} = -1,39 \cdot 0,71 = -0,985 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;z} = B \cdot q_{p;z} = -1,39 \cdot 0,884 = -1,229 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;h} = B \cdot q_{p;h} = -1,39 \cdot 1,016 = -1,413 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{C;d} = C \cdot q_{p;d} = -0,5 \cdot 0,71 = -0,354 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{C;z} = C \cdot q_{p;z} = -0,5 \cdot 0,884 = -0,442 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{C;h} = C \cdot q_{p;h} = -0,5 \cdot 1,016 = -0,508 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;d} = D \cdot q_{p;d} = 0,8 \cdot 0,71 = 0,567 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;z} = D \cdot q_{p;z} = 0,8 \cdot 0,884 = 0,707 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;h} = D \cdot q_{p;h} = 0,8 \cdot 1,016 = 0,813 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{E;d} = E \cdot q_{p;d} = -0,5 \cdot 0,71 = -0,354 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{E;z} = E \cdot q_{p;z} = -0,5 \cdot 0,884 = -0,442 \frac{kN}{m^2}$$

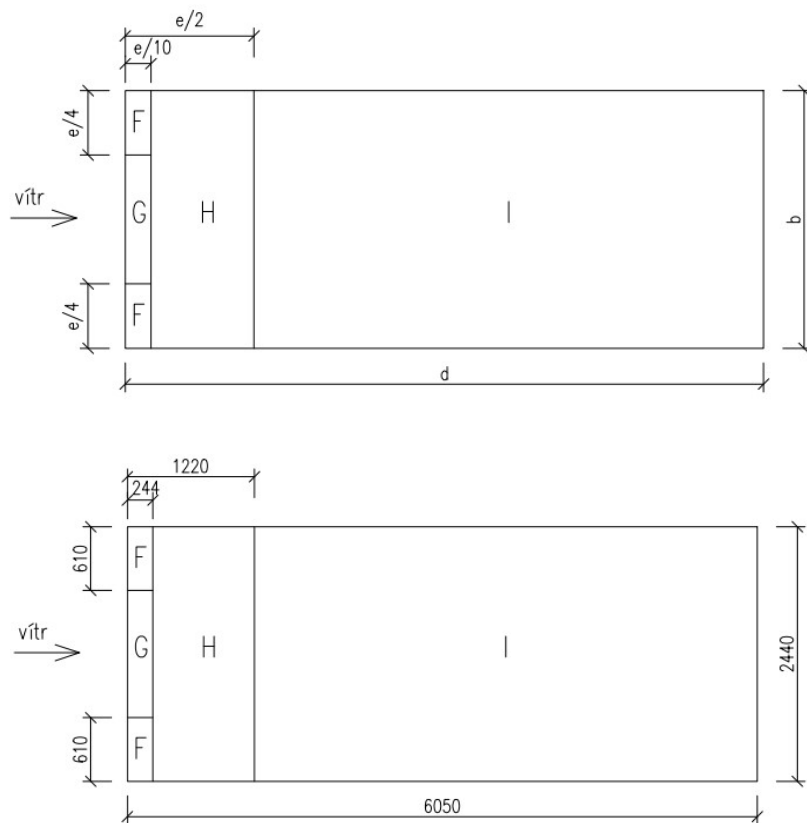
$$q_{E;h} = E \cdot q_{p;h} = -0,5 \cdot 1,016 = -0,508 \frac{kN}{m^2}$$

- střecha

$$b = 2,44 \text{ m}, h = 6,65 \text{ m}, d = 6,05 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(2,44; 2 \cdot 6,65) = \min(2,44; 13,3) = 2,44 \text{ m}$$

→ oblast F, G, H, I



Obr. 8: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení podélným větrem

$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7; I = -0,2$ – pro sání

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 1,016 = -1,829 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 1,016 = -1,219 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 1,016 = -0,711 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{I;h} = I \cdot q_{p;h} = -0,2 \cdot 1,016 = -0,203 \frac{kN}{m^2}$$

$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7; I = 0,2$ – pro tlak

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 1,016 = -1,829 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 1,016 = -1,219 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 1,016 = -0,711 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{I;h} = I \cdot q_{p;h} = 0,2 \cdot 1,016 = 0,203 \frac{kN}{m^2}$$

3 Zatížení pro 1 modul

3.1 Stálé zatížení – skladby

3.1.1 Střecha

- viz kapitola 2.1.1

3.1.2 Podlaha

- viz kapitola 2.1.2

3.2 Proměnná zatížení

3.2.1 Užité zatížení

- viz kapitola 2.2.1

3.2.2 Zatížení sněhem

- viz kapitola 2.2.2

3.2.3 Zatížení větrem

Při výpočtu zatížení větrem byla uvažována větrná oblast III a kategorie terénu II.

$$v_{b;0} = 27,5 \frac{m}{s}, C_{dir} = 1,0, C_{season} = 1,0$$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b;0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,5 \frac{m}{s}$$

$$\rho_v = 1,25 \frac{kg}{m^3} - \text{hustota vzduchu}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 0,473 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $h = 3,2 m \rightarrow C_{e(h)} = 1,6$

$$q_{p;h} = C_{e(h)} \cdot q_b = 1,6 \cdot 0,473 = 0,757 \frac{kN}{m^2}$$

- součinitel expozice pro výšku konstrukce $d = 2,44 m \rightarrow C_{e(z)} = 1,5$

$$q_{p;d} = C_{e(d)} \cdot q_b = 1,5 \cdot 0,473 = 0,71 \frac{kN}{m^2}$$

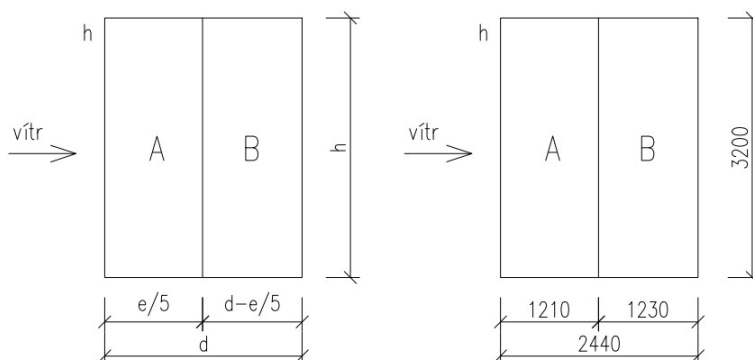
3.2.3.1 Příčný vítr

- stěny

$b = 6,05 \text{ m}, h = 3,2 \text{ m}, d = 2,44 \text{ m} \rightarrow h \leq b \rightarrow$ po výšce pouze jedna oblast

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,05; 2 \cdot 3,2) = \min(6,05; 6,4) = 6,05 \text{ m}$

$e \geq d \rightarrow$ oblast A, B, D, E



Obr. 9: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení příčným větrem

$$\frac{h}{d} = \frac{3,2}{2,44} = 1,311$$

$$A = -1,2; B = -1,35; D = 0,8; E = -0,52$$

$$q_{A;h} = A \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 0,757 = -0,908 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;h} = B \cdot q_{p;h} = -1,35 \cdot 0,757 = -1,021 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;h} = C \cdot q_{p;h} = 0,8 \cdot 0,757 = 0,605 \frac{kN}{m^2}$$

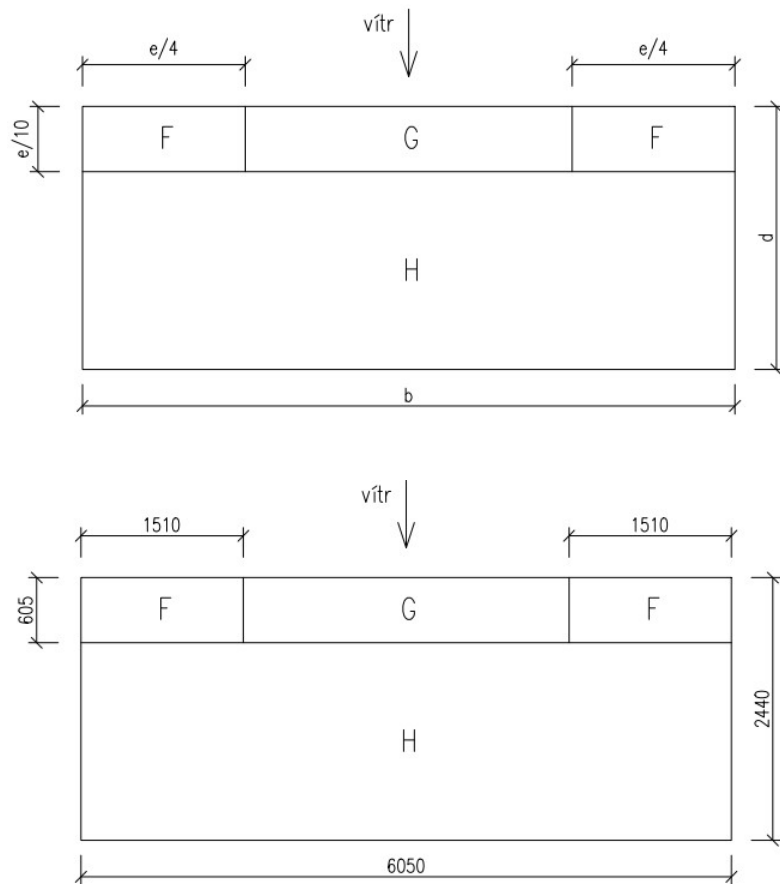
$$q_{E;h} = E \cdot q_{p;h} = -0,52 \cdot 0,757 = -0,393 \frac{kN}{m^2}$$

- střecha

$b = 6,05 \text{ m}, h = 3,2 \text{ m}, d = 2,44 \text{ m}$

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,05; 2 \cdot 3,2) = \min(6,05; 6,4) = 6,05 \text{ m}$

\rightarrow oblast F, G, H



Obr. 10: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížením příčným větrem

$$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7$$

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 0,757 = -1,361 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 0,757 = -0,908 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 0,757 = -0,529 \frac{kN}{m^2}$$

3.2.3.2 Podélný vítr

- stěny

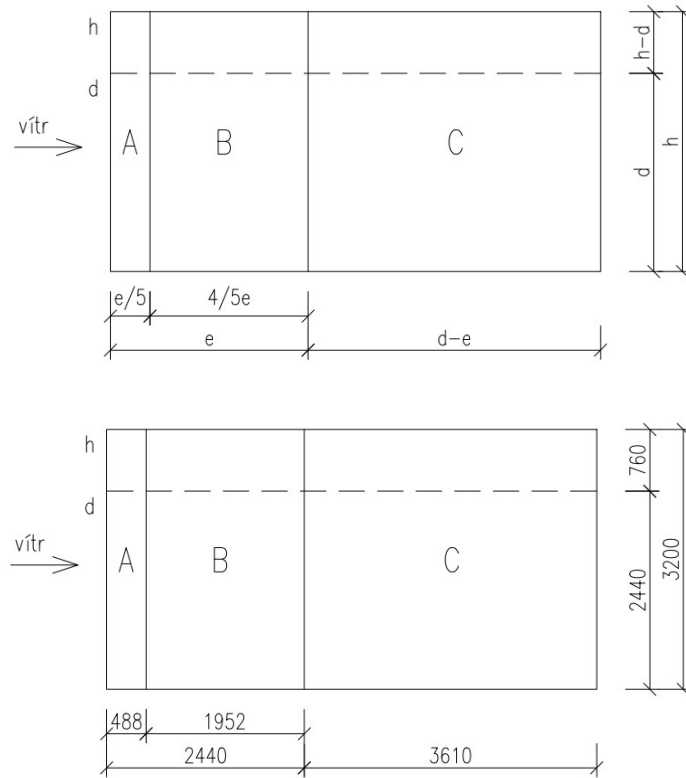
$$b = 2,44 \text{ m}, h = 3,2 \text{ m}, d = 6,05 \text{ m} \rightarrow b < h \leq 2 \cdot b \rightarrow \text{po výšce dvě oblasti}$$

a) oblast do výšky $d = 2,44 \text{ m}$

b) oblast od výšky d do $h \rightarrow 2,44 \text{ m} - 3,2 \text{ m}$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(2,44; 2 \cdot 3,2) = \min(2,44; 6,4) = 2,44 \text{ m}$$

$e < d \rightarrow$ oblast A, B, C, D, E



Obr. 11: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení podélným větrem

$$\frac{h}{d} = \frac{3,2}{6,05} = 0,529$$

$$A = -1,2; B = -1,02; C = -0,5; D = 0,74; E = -0,37$$

$$q_{A;d} = A \cdot q_{p;z} = -1,2 \cdot 0,71 = -0,851 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{A;h} = A \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 0,757 = -0,908 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;d} = B \cdot q_{p;d} = -1,02 \cdot 0,71 = -0,723 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{B;h} = B \cdot q_{p;h} = -1,02 \cdot 0,757 = -0,771 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{C;d} = C \cdot q_{p;d} = -0,5 \cdot 0,71 = -0,354 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{C;h} = C \cdot q_{p;h} = -0,5 \cdot 0,757 = -0,378 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;d} = D \cdot q_{p;d} = 0,74 \cdot 0,71 = 0,525 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{D;h} = D \cdot q_{p;h} = 0,74 \cdot 0,757 = 0,56 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{E;d} = E \cdot q_{p;d} = -0,37 \cdot 0,71 = -0,262 \frac{kN}{m^2}$$

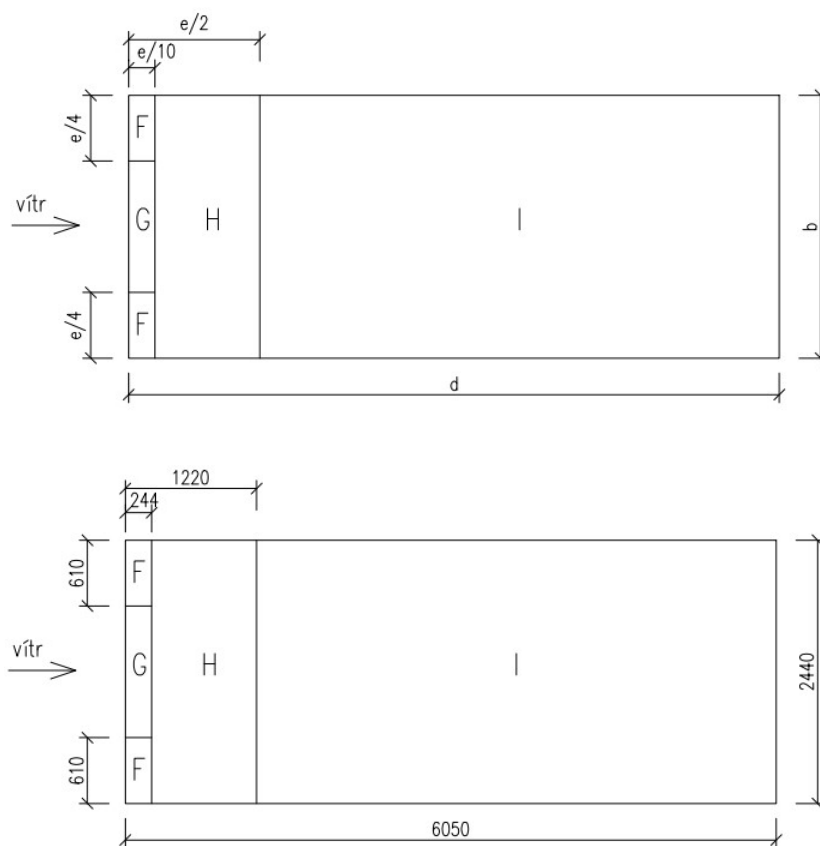
$$q_{E;h} = E \cdot q_{p;h} = -0,37 \cdot 0,757 = -0,28 \frac{kN}{m^2}$$

- střecha

$$b = 6,05 \text{ m}, h = 3,2 \text{ m}, d = 2,44 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(2,44; 2 \cdot 3,2) = \min(2,44; 6,4) = 2,44 \text{ m}$$

→ oblast F, G, H, I



Obr. 12: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení podélným větrem

$$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7; I = -0,2 \text{ – pro sání}$$

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 0,757 = -1,361 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 0,757 = -0,908 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 0,757 = -0,529 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{I;h} = I \cdot q_{p;h} = -0,2 \cdot 0,757 = -0,151 \frac{kN}{m^2}$$

$F = -1,8; G = -1,2; H = -0,7; I = 0,2$ – pro tlak

$$q_{F;h} = F \cdot q_{p;h} = -1,8 \cdot 0,757 = -1,361 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{G;h} = G \cdot q_{p;h} = -1,2 \cdot 0,757 = -0,908 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{H;h} = H \cdot q_{p;h} = -0,7 \cdot 0,757 = -0,529 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{I;h} = I \cdot q_{p;h} = 0,2 \cdot 0,757 = 0,151 \frac{kN}{m^2}$$

4 Výpočetní model

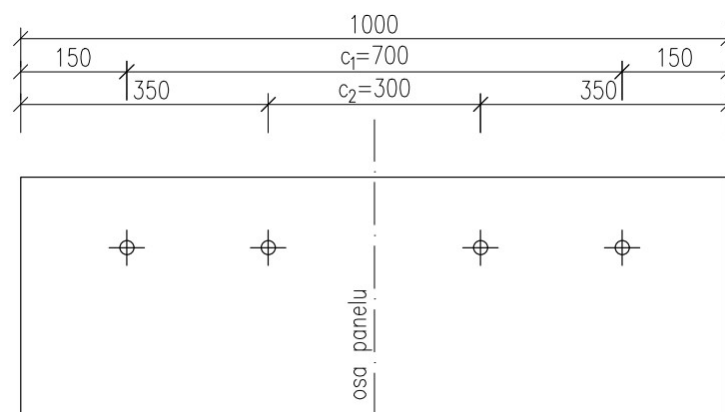
4.1 Náhrada plošných prvků prutem

4.1.1 Sendvičový stěnový panel

Pro náhradu stěnového panelu prutem si stanovíme smykovou tuhost sendvičového panelu. Vypočítáme si průřezovou plochu prutu, která bude potřeba k zajištění stejné smykové tuhosti a k přenosu zatížení jako nahrazený stěnový panel.

a) delší strana

Uvažuje se s rozmístěním kotvicích prvků dle schématu. Průměr kotevních prvků je 5,5 mm.



Obr. 13: Rozmístění kotevních prvků

- sendvičové panely šířky 1000 mm – 6 kusů

- výpočet smykové tuhosti:

$$c_1 = 700 \text{ mm}, c_2 = 300 \text{ mm}, n = 12$$

$$k_v = 2,3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} - \text{tuhost přípoje v závislosti na tloušťce a materiálu plechu}$$

$$h = 3,2 \text{ m}$$

$$S = n \cdot k_v \cdot \frac{1}{h} \cdot \frac{c_1^2 + c_2^2}{2} = 12 \cdot 2,3 \cdot \frac{1}{3200} \cdot \frac{700^2 + 300^2}{2} = 2501,25 \text{ kN}$$

- výpočet zatížení při maximálním zkosení:

$$F = \frac{S}{750} = \frac{2501,25}{750} = 3,335 \text{ kN}$$

F – síla potřebná k tomu, aby se panel zkosil o maximální dovolenou hodnotu $\frac{h}{750}$

$$F_N = \frac{F}{\cos(\alpha)} = \frac{3,335}{\cos(27,86^\circ)} = 3,772 \text{ kN}$$

$$\frac{h}{750} = \frac{3200}{750} = 4,267 \text{ mm} - \text{max. dovolená hodnota zkosení panelu}$$

- výpočet průřezové plochy prutu

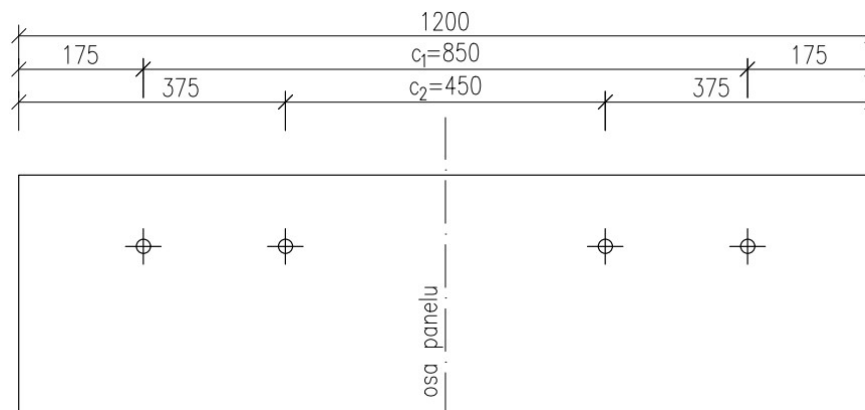
$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

$$\frac{F_N}{A} = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot E \rightarrow A = \frac{F_N \cdot l_0}{E \cdot (l - l_0)} = \frac{3,772 \cdot 6,844}{210 \cdot 10^6 \cdot (6,848 - 6,844)} = 32,799 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32,799}{\pi}} = 6,462 \text{ mm}$$

b) kratší strana

Uvažuje se s rozmístěním kotvicích prvků dle schématu. Průměr kotevních prvků je 5,5 mm.



Obr. 14: Rozmístění kotevních prvků

- sendvičové panely šířky 1200 mm – 1 kus

- výpočet smykové tuhosti:

$$c_1 = 850 \text{ mm}, c_2 = 450 \text{ mm}, n = 2$$

$$k_v = 2,3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} - \text{tuhost přípoje v závislosti na tloušťce a materiálu plechu}$$

$$h = 3,2 \text{ m}$$

$$S = n \cdot k_v \cdot \frac{1}{h} \cdot \frac{c_1^2 + c_2^2}{2} = 2 \cdot 2,3 \cdot \frac{1}{3200} \cdot \frac{850^2 + 450^2}{2} = 664,844 \text{ kN}$$

- výpočet zatížení při maximálním zkosení:

$$F = \frac{S}{750} = \frac{664,844}{750} = 0,886 \text{ kN}$$

F – síla potřebná k tomu, aby se panel zkosil o maximální dovolenou hodnotu $\frac{h}{750}$

$$F_N = \frac{F}{\cos(\alpha)} = \frac{0,886}{\cos(70,17^\circ)} = 2,613 \text{ kN}$$

$$\frac{h}{750} = \frac{3200}{750} = 4,267 \text{ mm} - \text{max. dovolená hodnota zkosení panelu}$$

- výpočet průřezové plochy prutu

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

$$\frac{F_N}{A} = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot E \rightarrow A = \frac{F_N \cdot l_0}{E \cdot (l - l_0)} = \frac{2,613 \cdot 3,400}{210 \cdot 10^6 \cdot (3,401 - 3,400)} = 29,272 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 29,272}{\pi}} = 6,105 \text{ mm}$$

4.1.2 OSB desky

a) střecha

$$t_{ekv} = 18 \text{ mm}, L_d = 2,514 \text{ m}, G_{18} = 130 \text{ MPa}, E = 11 \text{ GPa}, H = 2,44 \text{ m}, B = 0,605 \text{ m}$$

$$A_d = \frac{t_{ekv} \cdot G_{18} \cdot L_d^3}{E \cdot H \cdot B} = \frac{18 \cdot 130 \cdot 2514^3}{11 \cdot 10^3 \cdot 2440 \cdot 605} = 2290 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_d}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2290}{\pi}} = 53,99 \text{ mm}$$

b) podlaha

$$t_{ekv} = 22 \text{ mm}, L_d = 2,514 \text{ m}, G_{18} = 130 \text{ MPa}, E = 11 \text{ GPa}, H = 2,44 \text{ m}, B = 0,605 \text{ m}$$

$$A_d = \frac{t_{ekv} \cdot G_{18} \cdot L_d^3}{E \cdot H \cdot B} = \frac{22 \cdot 130 \cdot 2514^3}{11 \cdot 10^3 \cdot 2440 \cdot 605} = 2798 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_d}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2798}{\pi}} = 59,69 \text{ mm}$$

4.2 Nelineární globální analýza rámové konstrukce

Pro posouzení ocelové konstrukce byla do výpočtu zavedená nelineární globální analýza s uvažováním imperfekcí soustavy v globální analýze. Nelinearita byla zavedena pomocí náklonu konstrukce.

4.2.1 Výpočet náklonu pro 2 moduly

$h = 6,65 \text{ m}$ – výška konstrukce, $m = 2$ – počet sloupů

$$\phi_0 = \frac{1}{200}, \phi_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6,65}} = 0,776$$

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

$$\phi = \phi_0 \cdot \phi_h \cdot \phi_m = \frac{1}{200} \cdot 0,776 \cdot 0,866 = 0,003$$

4.2.2 Výpočet náklonu pro 1 modul

$h = 3,2 \text{ m}$ – výška konstrukce, $m = 2$ – počet sloupů

$$\phi_0 = \frac{1}{200}, \phi_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{3,2}} = 1,118 \rightarrow \phi_h = 1$$

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

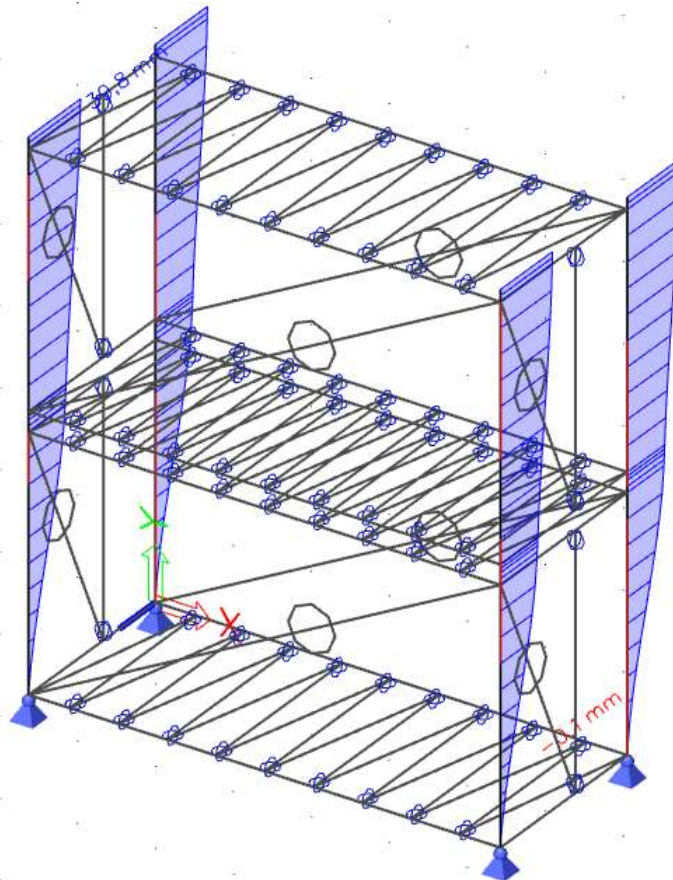
$$\phi = \phi_0 \cdot \phi_h \cdot \phi_m = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 0,866 = 0,004$$

5 Předběžné posouzení konstrukce

Konstrukce je posuzována s nekonečně tuhými přípoji a se zavedením nelineární globální analýzy.

5.1 Deformace pro 2 moduly

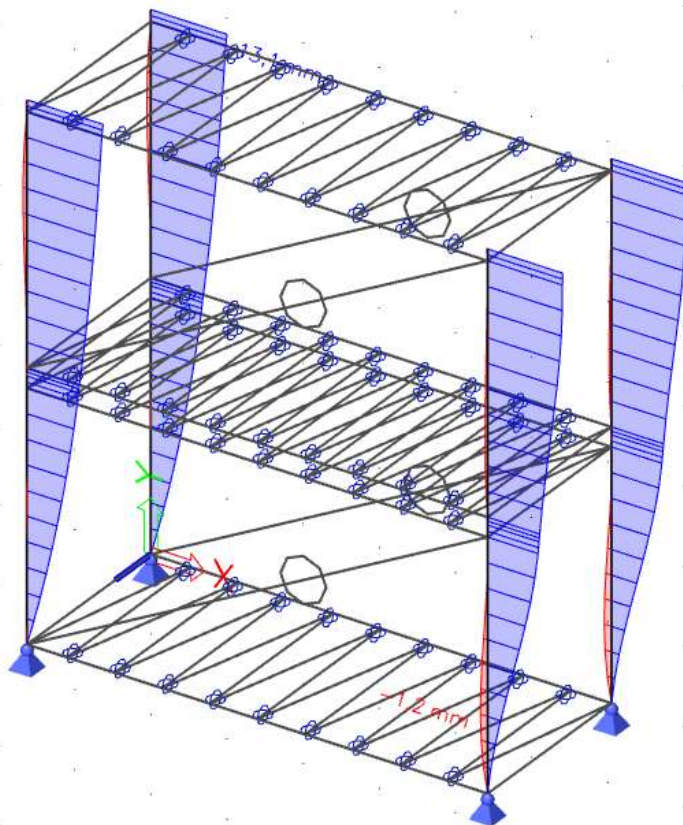
Nejprve byl vytvořen model konstrukce pro 2 moduly na sobě se zahrnutím tuhostí do výpočtu od sendvičového panelu jak v podélném, tak příčném směru.



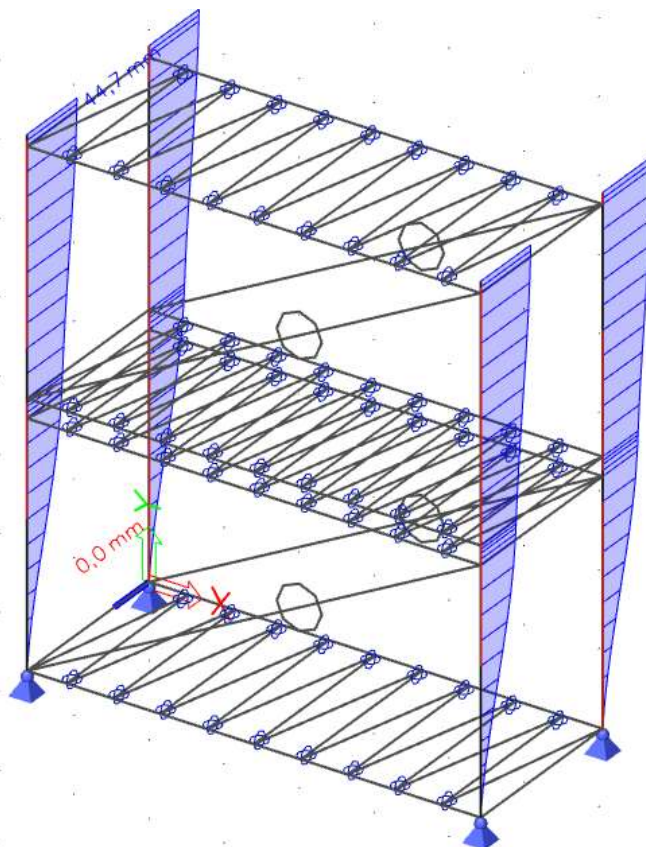
Obr. 15: Deformace v příčném směru

$$\delta_y = 39,8 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{750} = \frac{6800}{750} = 9,1 \text{ mm} \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Pro nevyhovující limitu deformace $h/750$ v příčném směru byl poté model upraven a tuhost sendvičového panelu byla zohledněna jen ve směru podélném.



Obr. 16: Deformace v podélném směru



Obr. 17: Deformace v příčném směru

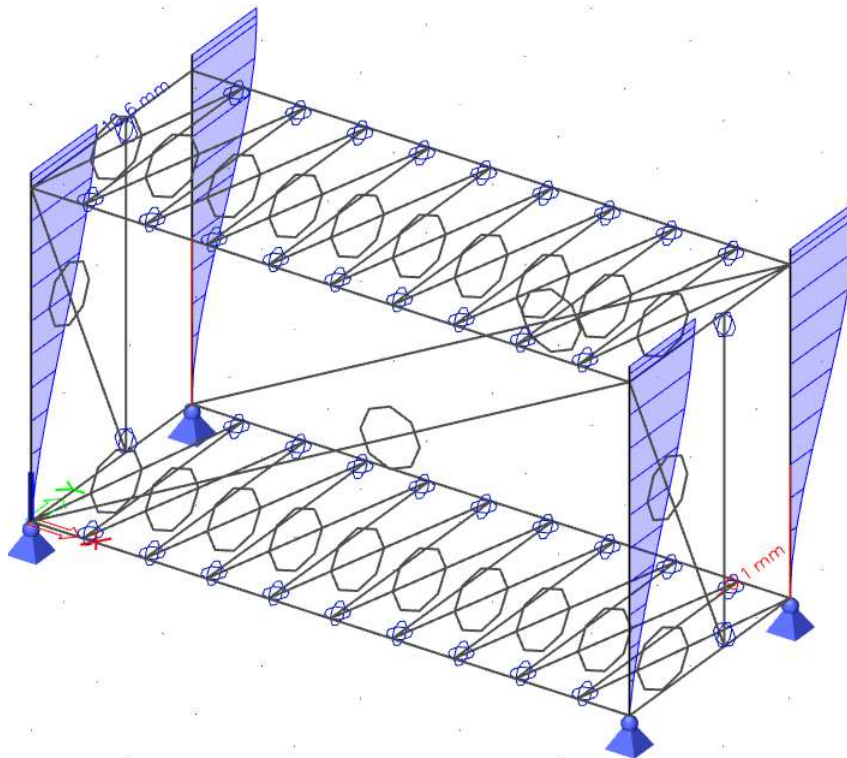
$$\delta_x = 13,1 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{750} = \frac{6800}{750} = 9,1 \text{ mm} \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

$$\delta_y = 44,7 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{6800}{150} = 45,3 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Další model konstrukce, pro 2 moduly na sobě se zohledněním tuhosti sendvičového panelu v podélném směru, se také ukázal jako nevyhovující, protože opět nebyla dodržena limita deformace na koncích sloupů $h/750$. Pro příčný směr byla zvolena limitní hodnota deformace $h/150$, která odpovídá limitní hodnotě pro rámy. Proto bylo rozhodnuto, že konstrukce bude tvořená pouze jedním modulem, aby byla dodržena hodnota maximálního zkosení pro sendvičové panely a bylo možné zkoumat vliv tuhosti panelu na chování konstrukce.

5.2 Deformace pro 1 modul

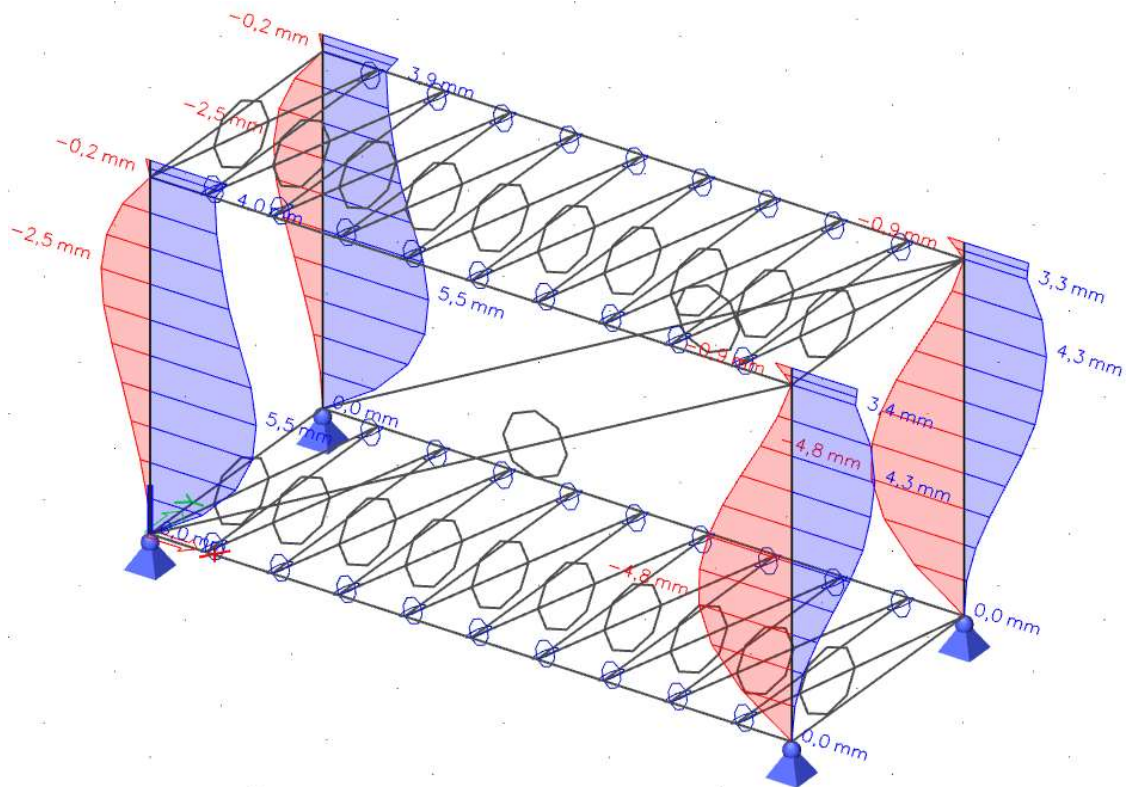
První model konstrukce byl vytvořen opět se zahrnutím tuhostí od sendvičového panelu jak pro podélný, tak pro příčný směr.



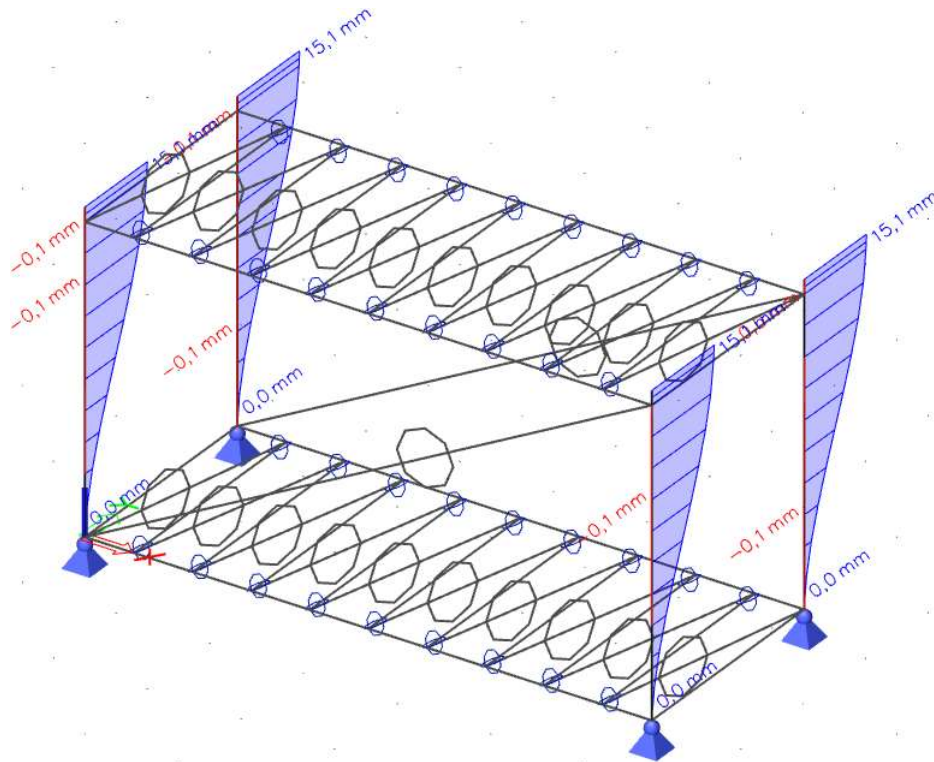
Obr. 18: Deformace v příčném směru

$$\delta_y = 10,6 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{750} = \frac{3350}{750} = 4,5 \text{ mm} \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Po zkontrolování hodnot deformací v příčném směru nebyla tuhost opět zahrnuta do výpočtu, protože hodnota limitního posunu $h/750$ na koncích sloupů nebyla dodržena. Proto byl vytvořen další model se zahrnutím tuhosti panelu pouze v podélném směru konstrukce. V příčném směru byla tuhost od panelu zanedbána a bylo počítáno pouze s rámovým ztužením konstrukce.



Obr. 19: Deformace v podélném směru

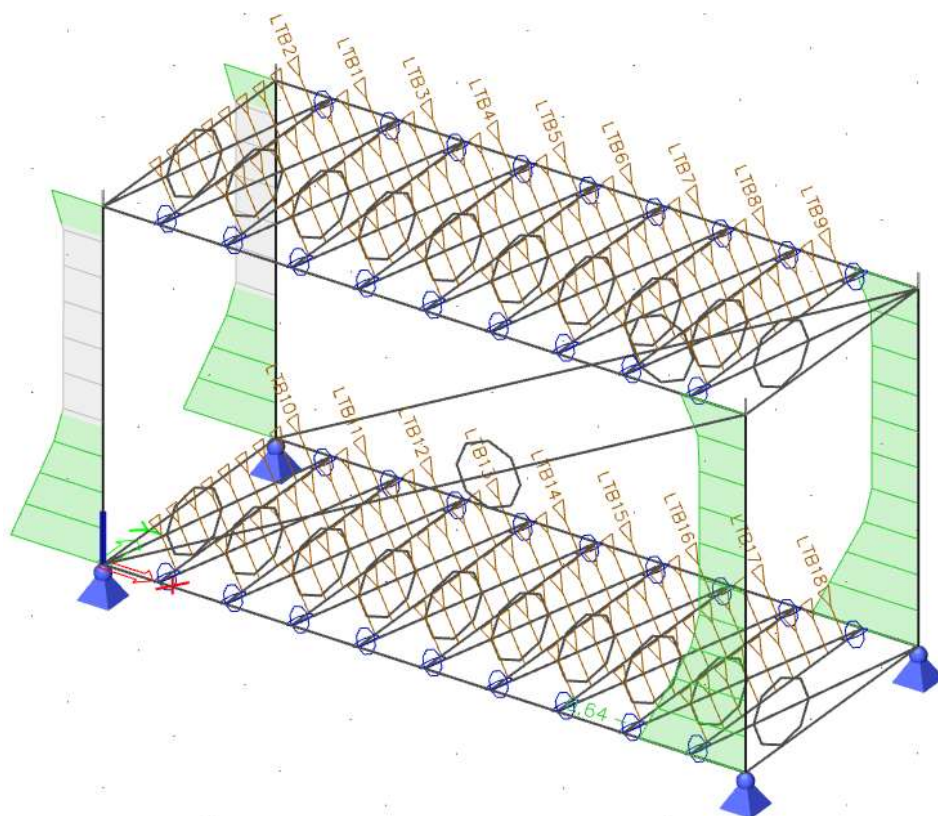


Obr. 20: Deformace v příčném směru

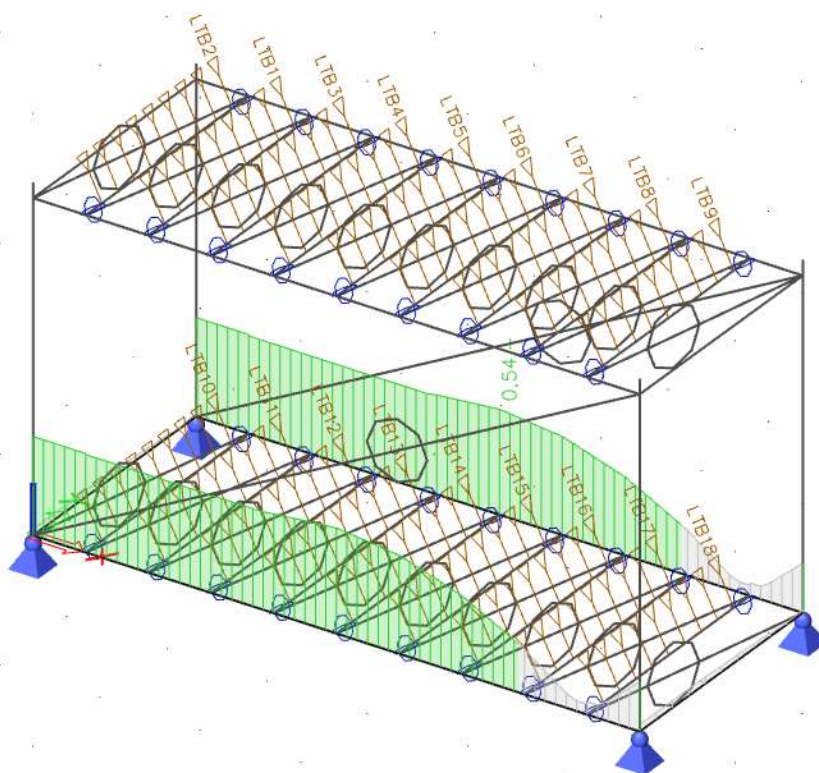
$$\delta_x = 4,0 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{750} = \frac{3350}{750} = 4,5 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\delta_y = 15,1 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{3350}{150} = 22,3 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

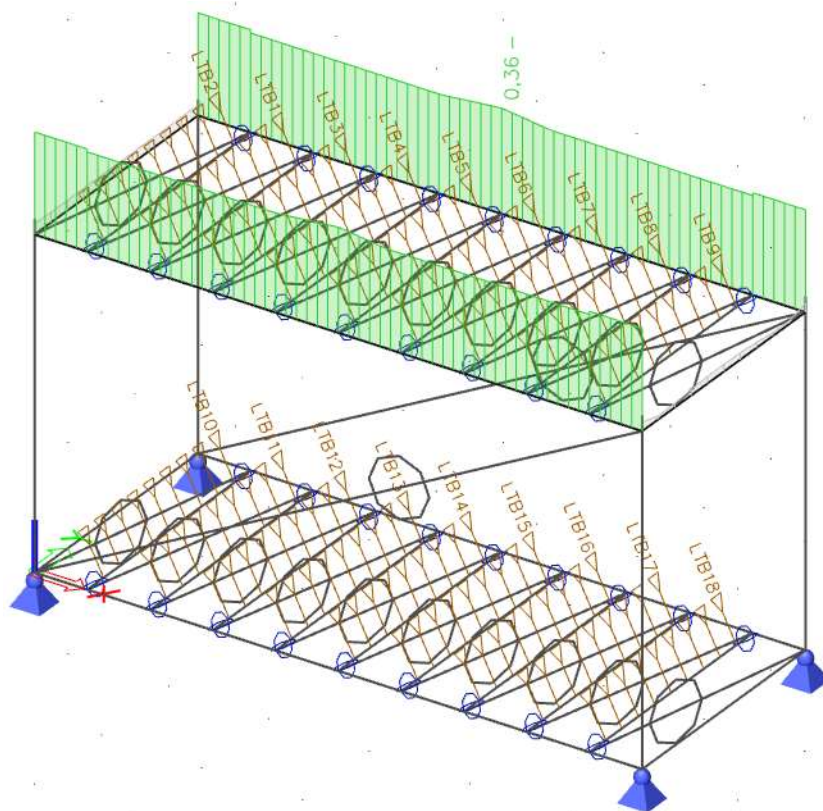
5.3 Posouzení ocelových prvků na MSÚ pro 1 modul



Obr. 21: Posouzení ocelového sloupu na MSÚ



Obr. 22: Posouzení podlahových nosníků na MSÚ



Obr. 23: Posouzení střešních nosníků na MSÚ

6 Podrobné posouzení konstrukce

Konstrukce je již posuzována se zavedením nelineární globální analýzy a s polotuhými přípoji, jejichž tuhost byla vypočtena na základě návrhu a posouzení styčnicků rámové konstrukce (viz kapitola 7).

Byly vytvořeny celkem 3 modely s různými tuhostmi polotuhých přípojů. V prvním modelu byly vytvořeny polotuhé přípoje s tuhostí dle ručního výpočtu. Druhý model byl vytvořen s tuhostí polotuhých přípojů dle výpočtu ze softwaru IDEA StatiCa a třetí model byl vytvořen s počátečními tuhostmi dle ručního výpočtu pro posouzení mezního stavu použitelnosti. Pro každý posudek jednotlivých prvků na mezní stav únosnosti byl vybrán model s nejnepříznivějšími výsledky vnitřních sil, aby bylo posouzení na straně bezpečnosti.

6.1 Materiálové charakteristiky a součinitelé spolehlivosti

Není-li uvedeno jinak, uvažuje se s následujícími materiálovými charakteristikami:

Tab. 1: Materiálové charakteristiky oceli

Ocel S235		Ocel S280GD+Z	
$E = 210 \text{ GPa}$	$f_y = 235 \text{ MPa}$	$E = 210 \text{ GPa}$	$f_y = 280 \text{ MPa}$
$G = 81 \text{ GPa}$	$f_u = 360 \text{ MPa}$	$G = 81 \text{ GPa}$	$f_u = 360 \text{ MPa}$

Tab. 2: Součinitelé spolehlivosti materiálu a zatížení

Součinitelé spolehlivosti			
$\gamma_{M0} = 1,0$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$\gamma_M = 1,2$ (OSB	$\gamma_G = 1,35$
$\gamma_{M1} = 1,0$	$\gamma_{M5} = 1,0$	desky)	$\gamma_Q = 1,5$

6.2 Posouzení OSB desek

OSB desky jsou posuzovány jako spojitý nosník o dvou polích s šířkou jednoho pole 605 mm.

6.2.1 Střecha

$f_{m;18} = 5,3 \text{ MPa}$ – pevnost v ohybu

$E_{18} = 4,1 \text{ GPa}$ – modul pružnosti v ohybu

Pro posouzení střešní OSB desky uvažujeme zatížení sněhem a ostatním stálým zatížením.

$$s_{sn;d} = s_{sn} \cdot \gamma_Q = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{k;s;d} = g_{k;s} \cdot \gamma_G = 0,26 \cdot 1,35 = 0,351 \frac{kN}{m^2}$$

$$f_{stř;lin;d} = s_{sn;d} + g_{k;s;d} = 1,8 + 0,351 = 2,151 \frac{kN}{m} \text{ – zatížení na 1 m}$$

- výpočet ohybového momentu od zatížení:

$$M_{y;stř} = \frac{1}{16} \cdot f_{stř;lin;d} \cdot L^2 = \frac{1}{16} \cdot 2,151 \cdot 0,605^2 = 0,049 kNm$$

$$b = 1 m, h = 18 mm$$

$$I_{y;stř} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,018^3 = 4,86 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$\sigma_{stř} = \frac{M_{y;stř}}{I_{y;stř}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{0,049}{4,86 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,018}{2} = 907,41 kPa$$

- posouzení:

$$\frac{\sigma_{stř}}{f_{m;18}} \leq 1$$

$$\frac{0,907}{5,3} = 0,172 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- průhyb:

$$f_{stř;lin} = s_{sn} + g_{k;s} = 1,2 + 0,26 = 1,46 \frac{kN}{m} \text{ – zatížení na 1 m}$$

$$\delta_{stř;1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_{stř;lin} \cdot L^4}{E_{18} \cdot I_{y;stř}} \text{ – pro zjednodušení uvažováno jako prostý nosník}$$

$$\delta_{stř;1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,605^4}{4,1 \cdot 10^6 \cdot 4,86 \cdot 10^{-7}} = 1,278 mm \text{ – zatížené jedno pole}$$

$$\delta_{stř;2} = \frac{1}{190} \cdot \frac{f_{stř;lin} \cdot L^4}{E_{18} \cdot I_{y;stř}}$$

$$\delta_{stř;2} = \frac{1}{190} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,605^4}{4,1 \cdot 10^6 \cdot 4,86 \cdot 10^{-7}} = 0,517 mm \text{ – zatížená obě pole}$$

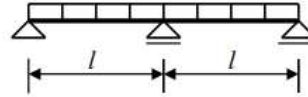
$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{605}{300} = 2,017 mm$$

$$\max(\delta_{stř;1}; \delta_{stř;2}) \leq \delta_{lim}$$

$$\max(1,278; 0,517) \text{ mm} \leq 2,017 \text{ mm}$$

$$1,287 \text{ mm} \leq 2,017 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- porovnání s tabulkou únosnosti od výrobce:



Tabulka 2a

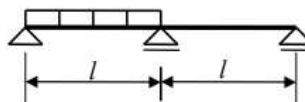
Rozpětí [mm]	Tloušťka OSB/3 Sterling [mm]					
	11	13	15	18	20,5	22
Největší normové plošné zatížení $v_{n,max}$ [kN/m ²]						
200	18,00	23,46	27,07	28,06	31,96	34,30
250	11,51	16,08	21,41	22,45	25,56	27,43
300	8,00	11,17	14,87	18,70	21,30	22,86
350	5,87	8,20	10,92	14,37	18,27	19,60
400	4,06	6,28	8,36	11,00	14,27	16,43
450	2,85	4,71	6,61	8,70	11,27	13,00
500	2,08	3,43	5,27	7,04	9,14	10,52
550	1,56	2,58	3,96	5,82	7,55	8,70
600	1,20	1,99	3,05	4,89	6,34	7,31
625	1,06	1,76	2,70	4,51	5,84	6,73
650	0,94	1,56	2,40	4,17	5,40	6,23
700	0,76	1,25	1,92	3,58	4,66	5,37
750	0,61	1,02	1,56	2,91	4,06	4,67
800	0,51	0,84	1,29	2,40	3,55	4,11
850	0,42	0,70	1,07	2,00	2,96	3,64
900	0,36	0,59	0,90	1,68	2,49	3,08
950	0,30	0,50	0,77	1,43	2,12	2,62
1000	0,26	0,43	0,66	1,23	1,81	2,24

Spojité nosník o dvou stejně dlouhých polích s rovnoměrným zatížením v jednom poli; mezní průhyb 1/300 rozpětí

Obr. 24: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na obou polích

$$f_{stř;d} = 2,151 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 4,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Tabulka 2b



Rozpětí [mm]	Tloušťka OSB/3 Sterling [mm]					
	11	13	15	18	20,5	22
Největší normové plošné zatížení $v_{n,max}$ [kN/m ²]						
200	18,00	25,13	30,08	31,18	35,51	38,10
250	9,39	15,50	21,41	24,94	28,40	30,48
300	5,43	8,97	13,78	19,57	23,67	25,40
350	3,42	5,65	8,68	14,37	18,64	21,77
400	2,29	3,78	5,81	10,84	14,27	17,13
450	1,61	2,66	4,08	7,61	11,25	13,54
500	1,17	1,93	2,97	5,55	8,20	10,13
550	0,88	1,45	2,23	4,17	6,16	7,61
600	0,68	1,12	1,72	3,21	4,74	5,86
625	0,60	0,99	1,52	2,84	4,20	5,19
650	0,53	0,88	1,35	2,53	3,73	4,61
700	0,42	0,70	1,08	2,02	2,99	3,69
750	0,34	0,57	0,88	1,64	2,43	3,00
800	0,28	0,47	0,72	1,35	2,00	2,47
850		0,39	0,60	1,13	1,67	2,06
900		0,33	0,51	0,95	1,40	1,73
950			0,43	0,81	1,19	1,48
1000			0,37	0,69	1,02	1,26

Obr. 25: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na jednom poli

$$f_{stř;d} = 2,151 \frac{kN}{m^2} \leq 2,84 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.2.2 Podlaha

$$f_{m;22} = 5,3 \text{ MPa} - \text{pevnost v ohybu}$$

$$E_{22} = 4,1 \text{ GPa} - \text{modul pružnosti v ohybu}$$

Pro posouzení střešní OSB desky uvažujeme zatížení užitným zatížením a ostatním stálým zatížením.

$$q_{k;d} = q_k \cdot \gamma_Q = 3,0 \cdot 1,5 = 4,5 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{k;p;d} = g_{k;p} \cdot \gamma_G = 0,245 \cdot 1,35 = 0,331 \frac{kN}{m^2}$$

$$f_{pod;lin;d} = s_{sn;d} + g_{k;s;d} = 4,5 + 0,331 = 4,831 \frac{kN}{m} - \text{zatížení na 1 m}$$

- výpočet ohybového momentu od zatížení:

$$M_{y;pod} = \frac{1}{16} \cdot f_{stř;pod;d} \cdot L^2 = \frac{1}{16} \cdot 4,831 \cdot 0,605^2 = 0,111 \text{ kNm}$$

$$b = 1 \text{ m}, h = 22 \text{ mm}$$

$$I_{y;pod} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,022^3 = 8,873 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{pod} = \frac{M_{y;pod}}{I_{y;pod}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{0,111}{8,873 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,022}{2} = 1,377 \text{ kPa}$$

- posouzení:

$$\frac{\sigma_{pod}}{f_{m;22}} \leq 1$$

$$\frac{1,377}{5,3} = 0,259 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- průhyb:

$$f_{pod;lin} = q_k + g_{k;p} = 3,0 + 0,245 = 3,245 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ – zatížení na 1 m}$$

$$\delta_{pod;1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_{pod;lin} \cdot L^4}{E_{22} \cdot I_{y;pod}} \text{ – pro zjednodušení uvažováno jako prostý nosník}$$

$$\delta_{pod;1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,245 \cdot 0,605^4}{4,1 \cdot 10^6 \cdot 8,873 \cdot 10^{-7}} = 1,556 \text{ mm – zatížené jedno pole}$$

$$\delta_{pod;2} = \frac{1}{190} \cdot \frac{f_{pod;lin} \cdot L^4}{E_{22} \cdot I_{y;pod}}$$

$$\delta_{stř;2} = \frac{1}{190} \cdot \frac{3,245 \cdot 0,605^4}{4,1 \cdot 10^6 \cdot 8,873 \cdot 10^{-7}} = 0,629 \text{ mm – zatížená obě pole}$$

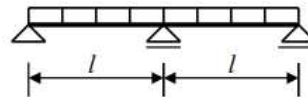
$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{605}{300} = 2,017 \text{ mm}$$

$$\max(\delta_{stř;1}; \delta_{stř;2}) \leq \delta_{lim}$$

$$\max(1,556; 0,629) \text{ mm} \leq 2,017 \text{ mm}$$

$$1,556 \text{ mm} \leq 2,017 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- porovnání s tabulkou únosnosti od výrobce:



Tabulka 2a

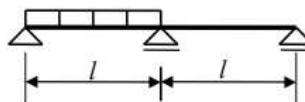
Rozpětí [mm]	Tloušťka OSB/3 Sterling [mm]					
	11	13	15	18	20,5	22
Největší normové plošné zatížení $v_{n,max}$ [kN/m ²]						
200	18,00	23,46	27,07	28,06	31,96	34,30
250	11,51	16,08	21,41	22,45	25,56	27,43
300	8,00	11,17	14,87	18,70	21,30	22,86
350	5,87	8,20	10,92	14,37	18,27	19,60
400	4,06	6,28	8,36	11,00	14,27	16,43
450	2,85	4,71	6,61	8,70	11,27	13,00
500	2,08	3,43	5,27	7,04	9,14	10,52
550	1,56	2,58	3,96	5,82	7,55	8,70
600	1,20	1,99	3,05	4,89	6,34	7,31
625	1,06	1,76	2,70	4,51	5,84	6,73
650	0,94	1,56	2,40	4,17	5,40	6,23
700	0,76	1,25	1,92	3,58	4,66	5,37
750	0,61	1,02	1,56	2,91	4,06	4,67
800	0,51	0,84	1,29	2,40	3,55	4,11
850	0,42	0,70	1,07	2,00	2,96	3,64
900	0,36	0,59	0,90	1,68	2,49	3,08
950	0,30	0,50	0,77	1,43	2,12	2,62
1000	0,26	0,43	0,66	1,23	1,81	2,24

Spojité nosník o dvou stejně dlouhých polích s rovnoměrným zatížením v jednom poli; mezní průhyb 1/300 rozpětí

Obr. 26: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na obou polích

$$f_{pod;d} = 4,831 \frac{kN}{m^2} \leq 6,73 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Tabulka 2b



Rozpětí [mm]	Tloušťka OSB/3 Sterling [mm]					
	11	13	15	18	20,5	22
Největší normové plošné zatížení $v_{n,max}$ [kN/m ²]						
200	18,00	25,13	30,08	31,18	35,51	38,10
250	9,39	15,50	21,41	24,94	28,40	30,48
300	5,43	8,97	13,78	19,57	23,67	25,40
350	3,42	5,65	8,68	14,37	18,64	21,77
400	2,29	3,78	5,81	10,84	14,27	17,13
450	1,61	2,66	4,08	7,61	11,25	13,54
500	1,17	1,93	2,97	5,55	8,20	10,13
550	0,88	1,45	2,23	4,17	6,16	7,61
600	0,68	1,12	1,72	3,21	4,74	5,86
625	0,60	0,99	1,52	2,84	4,20	5,19
650	0,53	0,88	1,35	2,53	3,73	4,61
700	0,42	0,70	1,08	2,02	2,99	3,69
750	0,34	0,57	0,88	1,64	2,43	3,00
800	0,28	0,47	0,72	1,35	2,00	2,47
850		0,39	0,60	1,13	1,67	2,06
900		0,33	0,51	0,95	1,40	1,73
950			0,43	0,81	1,19	1,48
1000			0,37	0,69	1,02	1,26

Obr. 27: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na jednom poli

$$f_{pod,d} = 4,831 \frac{kN}{m^2} \leq 5,19 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.2.3 Návrh a posouzení spojovacích prostředků

a) střecha

- spojovací prostředky jsou zatíženy jak osově od sání větru, tak příčně zejména od působení větru na stěnu modulu

- návrh: vruty SBS Rothoblass po 150 mm – průměr $d = 4,8 \text{ mm}$

– průměr hlavy $d_{hl} = 9,25 \text{ mm}$

– průměr jádra závitu $d_{jz} = 2,7 \text{ mm}$

- kontrola, zda nedochází k boulení desek smykem:

$b_{net} = 1170 \text{ mm}$ – volná šířka OSB desky

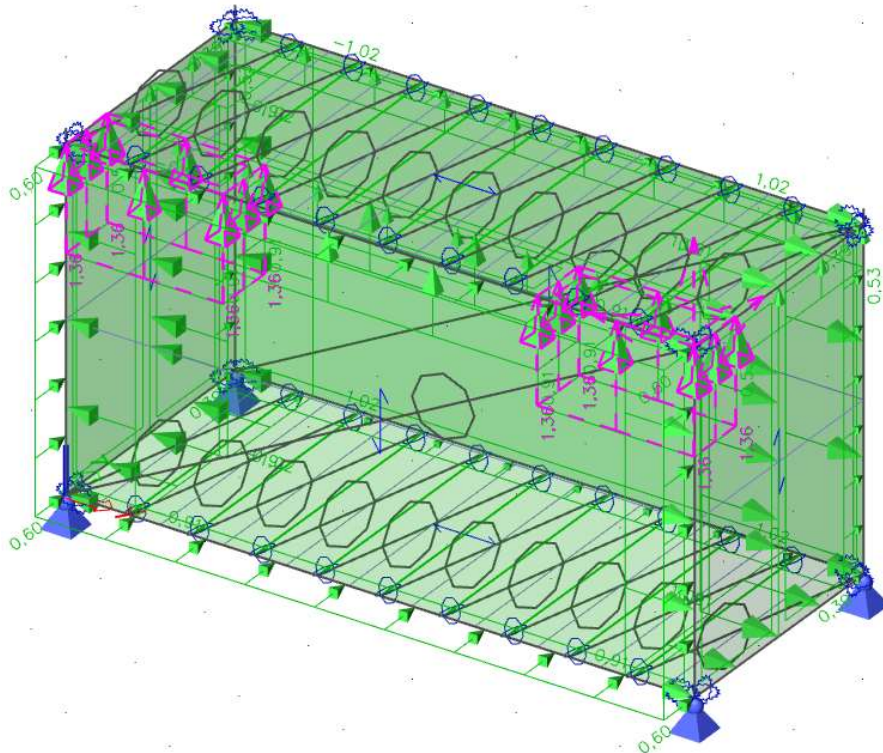
$t = 18 \text{ mm}$

$$\frac{b_{net}}{t} = \frac{1170}{18} = 65 < 100 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- osově zatížené vruty: (dle 8.7.2 v [13])

Uvažuje se s maximálním sáním od větru po celé délce vaznice. Výpočet je tak na straně bezpečnosti.

$$q_f = 1,361 \frac{kN}{m^2} - \text{zatížení od sání větru}$$



Obr. 28: Maximální zatížení od sání větru (oblast F)

$$q_{f;d} = q_f \cdot \gamma_Q = 1,361 \cdot 1,5 = 2,042 \frac{kN}{m^2}$$

$$N = q_{f;d} \cdot \frac{s}{2} \cdot l = 2,042 \cdot \frac{0,605}{2} \cdot 2,44 = 1,507 \text{ kN}$$

$$n = 1, n_{ef} = n^{0,9} = 1^{0,9} = 1, \alpha = 90^\circ$$

$$l_{ef} = 15,5 \text{ mm}, \rho_k = 550 \frac{kg}{m^3}$$

$$f_{ax;k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 550^{1,5} = 46,435 \text{ MPa}$$

$$f_{ax;\alpha;k} = \frac{f_{ax;k}}{\sin^2(\alpha) + 1,5 \cdot \cos^2(\alpha)} = \frac{46,435}{\sin^2(90^\circ) + 1,5 \cdot \cos^2(90^\circ)} = 46,435 \text{ MPa}$$

$$F_{ax;Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax;\alpha;k} = 1 \cdot (\pi \cdot 4,8 \cdot 15,5)^{0,8} \cdot 46,435 = 3,463 \text{ kN}$$

$n = 6 \rightarrow 6$ spojovacích prostředků do 1 metru

$k_{mod} = 0,9$, $\gamma_M = 1,2$ – pro OSB desky a pro krátkodobé zatížení

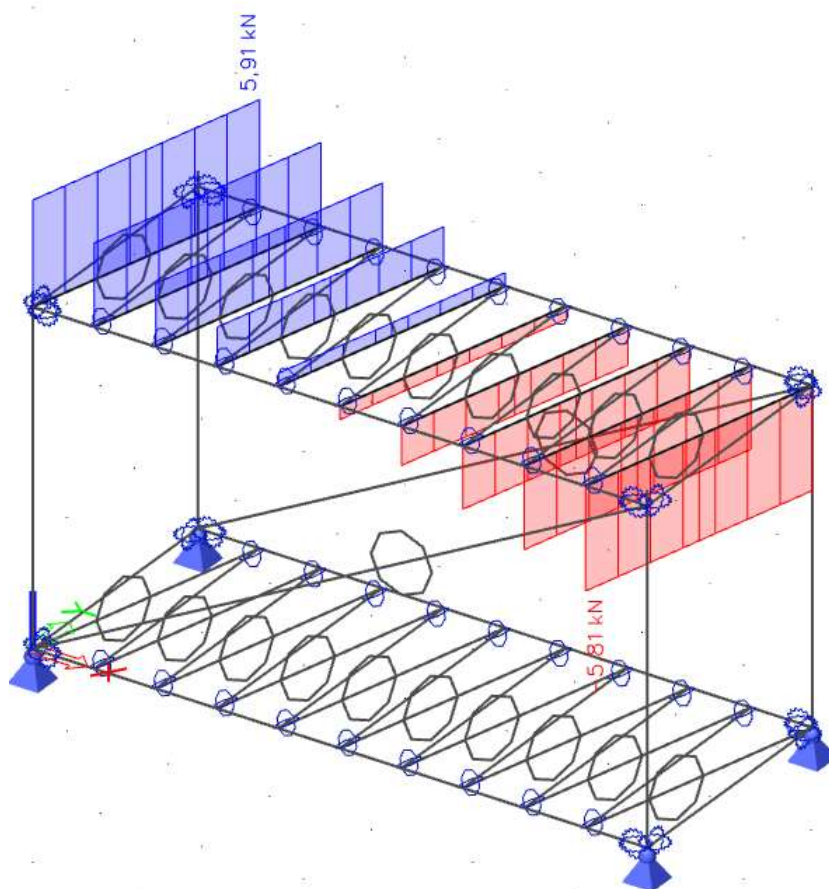
$$F_{ax;Rd} = n \cdot k_{mod} \cdot \frac{F_{ax;Rk}}{\gamma_M} = 6 \cdot 0,9 \cdot \frac{3,463}{1,2} = 15,584 \text{ kN}$$

- příčně zatížené vruty: (dle 8.7.1 v [13])

Vruty jsou zatíženy příčně od působení větru na stěnu modulu. Toto zatížení přenáší v modelu táhla jako prutová náhrada za OSB desky. Normálovou sílu v táhlech dle úhlu, který svírá táhlo a vaznice, přepočítáme na sílu, která by příčně zatěžovala vruty na vaznici.

- kombinace 70 – max. příčný vítr + min. sníh + min. užité zatížení

$$F_{Ed} = 5,91 \text{ kN}, \alpha = 13,93^\circ$$



Obr. 29: Průběh normálové síly na táhle – K70

$$F_{Ed;z} = F_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 5,91 \cdot \cos(13,93^\circ) = 5,74 \text{ kN}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}, d_{eff} = 1,1 \cdot d_{jz} = 1,1 \cdot 2,7 = 2,97 \text{ mm}, t = 18 \text{ mm}$$

$$M_{y;Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d_{eff}^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 2,97^{2,6} = 2,034 \text{ kNm}$$

$$f_{h;k} = 65 \cdot t^{0,1} \cdot d_{eff}^{-0,7} = 65 \cdot 18^{0,1} \cdot 2,97^{-0,7} = 40,505 \text{ MPa}$$

$$F_{v;Rk1} = 0,4 \cdot f_{h;k} \cdot t_{pen} \cdot d_{eff} = 0,4 \cdot 40,505 \cdot 10^3 \cdot 0,018 \cdot 0,00297 = 0,866 \text{ kN}$$

$$F_{v;Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y;Rk} \cdot f_{h;k} \cdot d_{eff}} + \frac{F_{ax;Rk}}{4}$$

$$F_{v;Rk2} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 2,034 \cdot 40,505 \cdot 10^3 \cdot 0,00297} + \frac{3,463}{4} = 1,67 \text{ kN}$$

$$F_{v;Rk} = \min(F_{v;Rk1}; F_{v;Rk2}) = \min(0,866; 1,67) = 0,866 \text{ kN}$$

$$b = 2,44 \text{ m}, h = 0,605 \text{ m}, s = 150 \text{ mm}$$

$$c = 1 \rightarrow \text{pro } b = 2440 \text{ mm} \geq \frac{h}{2} = \frac{605}{2} = 302,5 \text{ mm}$$

$$F_{1,v;Rk} = \frac{F_{v;Rk} \cdot b \cdot c}{s} = \frac{0,866 \cdot 2,44 \cdot 1}{0,605} = 14,09 \text{ kN}$$

$$F_{v;Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{1,v;Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{14,09}{1,2} = 10,57 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\left(\frac{F_{Ed;z}}{F_{v;Rd}}\right)^2 + \left(\frac{N}{F_{ax;Rd}}\right)^2 = \left(\frac{5,74}{10,57}\right)^2 + \left(\frac{1,507}{15,584}\right)^2 = 0,304 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) podlaha

- spojovací prostředky jsou zatíženy příčně zejména od působení větru

- návrh: vruty SBS Rothoblass po 150 mm – průměr $d = 4,8 \text{ mm}$

– průměr hlavy $d_{hl} = 9,25 \text{ mm}$

– průměr jádra závitů $d_{jz} = 2,7 \text{ mm}$

- kontrola, zda nedochází k boulení desek smykem:

$b_{net} = 1160 \text{ mm}$ – volná šířka OSB desky

$t = 22 \text{ mm}$

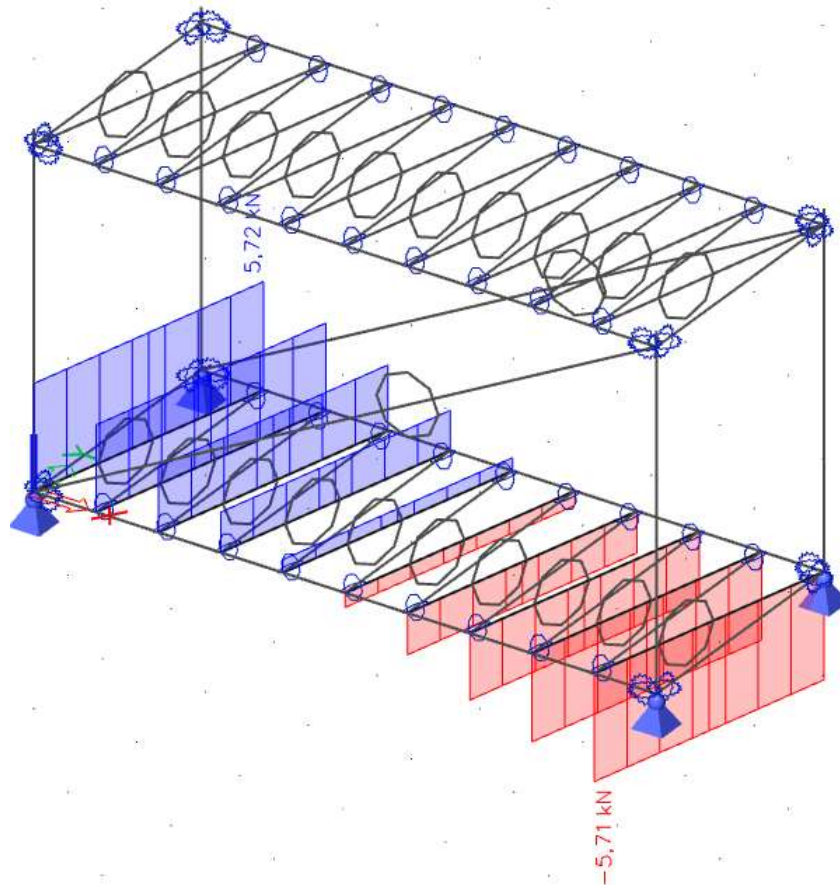
$$\frac{b_{net}}{t} = \frac{1160}{22} = 53 < 100 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- příčně zatížené vruty: (dle 8.7.1 v [13])

Vruty jsou zatíženy příčně od působení větru na stěnu modulu. Toto zatížení přenáší v modelu táhla jako prutová náhrada za OSB desky. Normálovou sílu v táhlech dle úhlu, který svírá táhlo a vaznice, přepočítáme na sílu, která by příčně zatěžovala vruty na vaznici.

- kombinace 82 – max. příčný vítr + min. sníh + min. užité zatížení

$$F_{Ed} = 5,72 \text{ kN}, \alpha = 13,93^\circ$$



Obr. 30: Průběh normálové síly na táhle – K82

$$F_{Ed;z} = F_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 5,72 \cdot \cos(13,93^\circ) = 5,55 \text{ kN}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}, d_{eff} = 1,1 \cdot d_{jz} = 1,1 \cdot 2,7 = 2,97 \text{ mm}, t = 22 \text{ mm}$$

$$M_{y;Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d_{eff}^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 2,97^{2,6} = 2,034 \text{ kNm}$$

$$f_{h;k} = 65 \cdot t^{0,1} \cdot d_{eff}^{-0,7} = 65 \cdot 22^{0,1} \cdot 2,97^{-0,7} = 41,33 \text{ MPa}$$

$$F_{v;Rk1} = 0,4 \cdot f_{h;k} \cdot t_{pen} \cdot d_{eff} = 0,4 \cdot 41,33 \cdot 10^3 \cdot 0,022 \cdot 0,00297 = 1,08 \text{ kN}$$

$$F_{v;Rk2} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y;Rk} \cdot f_{h;k} \cdot d_{eff}}$$

$$F_{v;Rk2} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 2,034 \cdot 41,33 \cdot 10^3 \cdot 0,00297} = 0,813 \text{ kN}$$

$$F_{v;Rk} = \min(F_{v;Rk} ; F_{v;Rk2}) = \min(1,08; 0,813) = 0,813 \text{ kN}$$

$$b = 2,44 \text{ m}, h = 0,605 \text{ m}, s = 150 \text{ mm}$$

$$c = 1 \rightarrow \text{pro } b = 2440 \text{ mm} \geq \frac{h}{2} = \frac{605}{2} = 302,5 \text{ mm}$$

$$F_{1;v;Rk} = \frac{F_{v;Rk} \cdot b \cdot c}{s} = \frac{0,813 \cdot 2,44 \cdot 1}{0,605} = 13,22 \text{ kN}$$

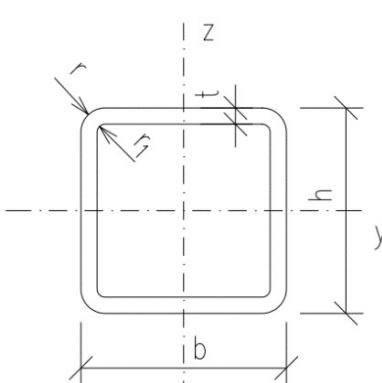
$$F_{v;Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{1;v;Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{13,22}{1,2} = 9,92 \text{ kN}$$

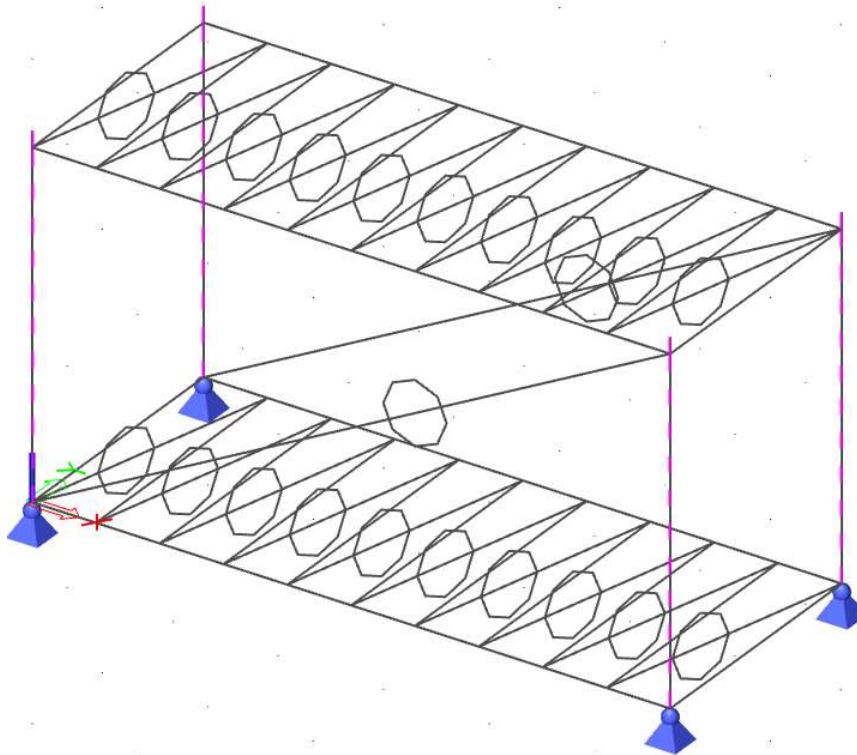
- posouzení:

$$\frac{F_{Ed;z}}{F_{v;Rd}} = \frac{5,55}{9,92} = 0,56 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3 Posouzení sloupu

Tab. 3: Průřezové charakteristiky a geometrie sloupu

HRT 90x90x7.1		
$A = 2,300 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$h = 90,00 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 1,133 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 90,00 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 1,133 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t = 7,10 \text{ mm}$	
$I_y = 2,600 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_y = 33,62 \text{ mm}$	
$I_z = 2,600 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_z = 33,62 \text{ mm}$	
$I_w = 3,494 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$	$r = 10,65 \text{ mm}$	
$I_t = 4,190 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$r_1 = 3,55 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 7,080 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 7,080 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 5,770 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 5,770 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		



Obr. 31: Vyznačení sloupů v modelu

6.3.1 MSÚ

Sloup bude posuzován na tlak se vzpěrem, na ohyb, na šikmý ohyb, na kombinaci tlak + ohyb a na smyk. Uvažujeme, že sloup není náchylný na klopení. Jelikož se jedná o uzavřený profil.

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina + pásnice – namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{75,8}{7,1} \leq 33$$

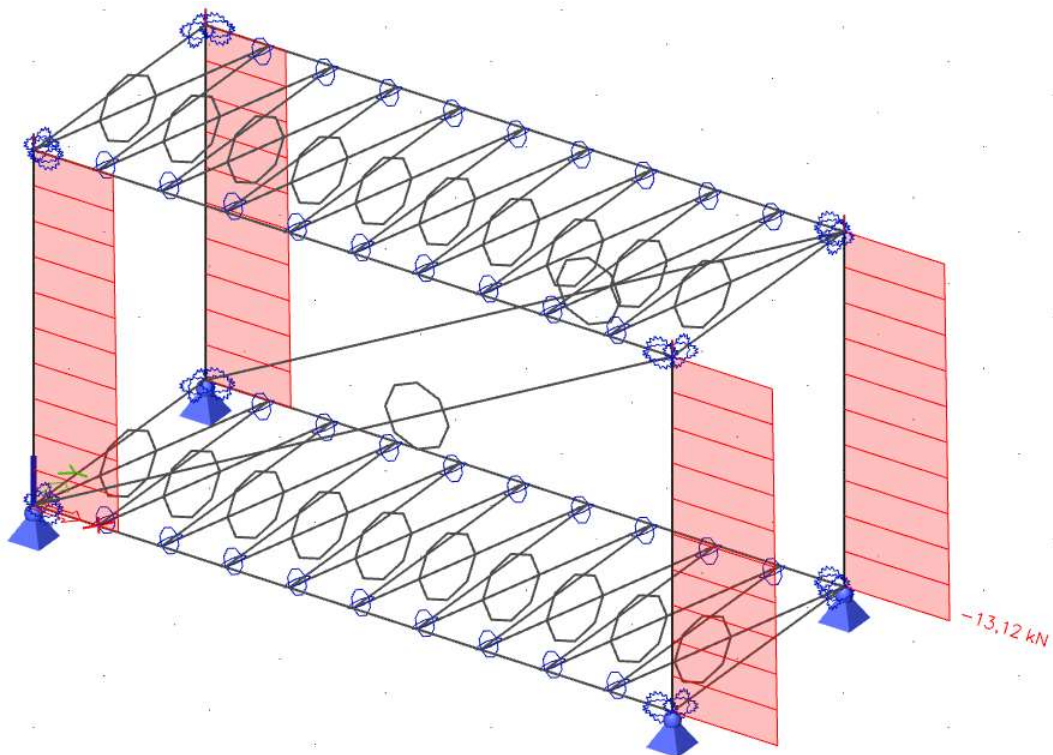
10,7 ≤ 33 → *vyhovuje – stojina a pásnice je třídy 1*

Průřez je zaříděn do třídy 1.

Tlak se vzpěrem

- kombinace 42 – stálé zatížení + max. sníh + min. podélný vítr

$$N_{Ed} = 13,12 \text{ kN}$$



Obr. 32: Průběh normálové síly na sloupu – K42

- vzpěrné délky:

a) v rovině sloupu $L_{Cr,y} = k_y \cdot L = 0,75 \cdot 3,2 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině sloupu uvažujeme délku sloupu L , což je vzdálenost mezi podporami, tj. od kloubového uložení k připojení střešního bočního profilu.

b) z roviny oblouku $L_{Cr,z} = k_z \cdot L = 0,57 \cdot 3,2 \text{ m} = 1,824 \text{ m}$

Součinitel k_z byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině sloupu uvažujeme délku sloupu L , což je vzdálenost mezi podporami, tj. od kloubového uložení k připojení střešního bočního profilu.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{2400}{33,62} = 71,386$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{1824}{33,62} = 54,253$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

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

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{71,386}{93,9} = 0,76$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{54,253}{93,9} = 0,578$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_y = 0,687$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,797$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 540,5 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M0}} \geq N_{Ed}$$

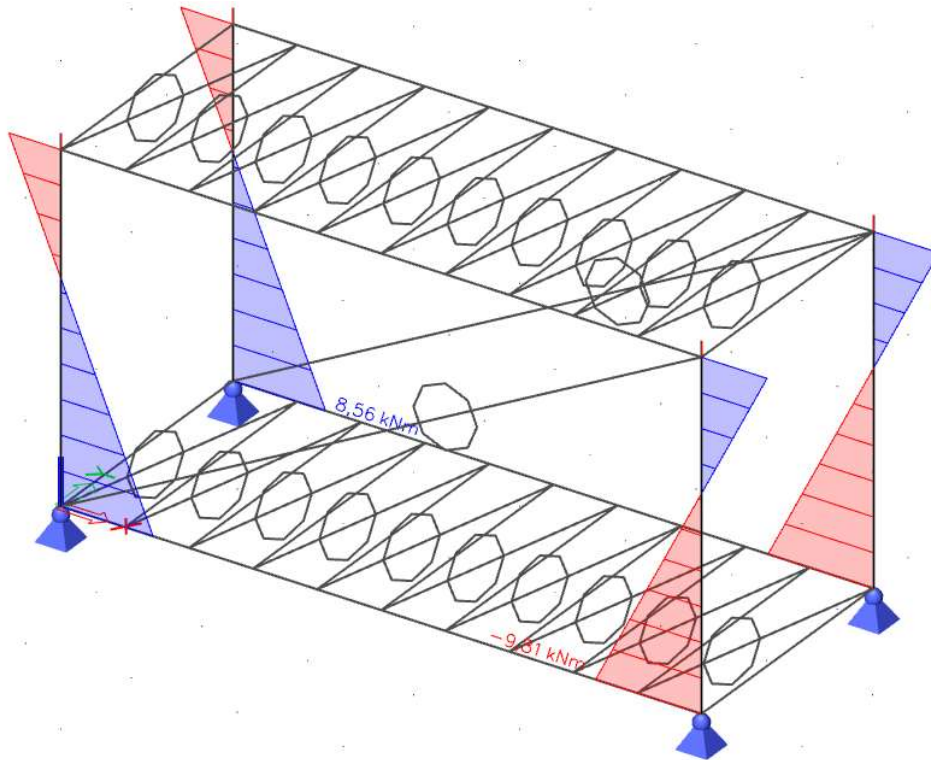
$$N_{Rd} = \frac{0,687 \cdot 540,5}{1} = 371,324 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{13,12}{371,324} = 0,035 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb okolo osy y

- kombinace 91 – min. stálé zatížení + min. sních a vítr + max. užiténé zatížení

$$M_{Ed,y} = 9,81 \text{ kNm}$$



Obr. 33: Průběh ohybového momentu kolem osy y na sloupu – K91

$$M_{Rd;y} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed;y}$$

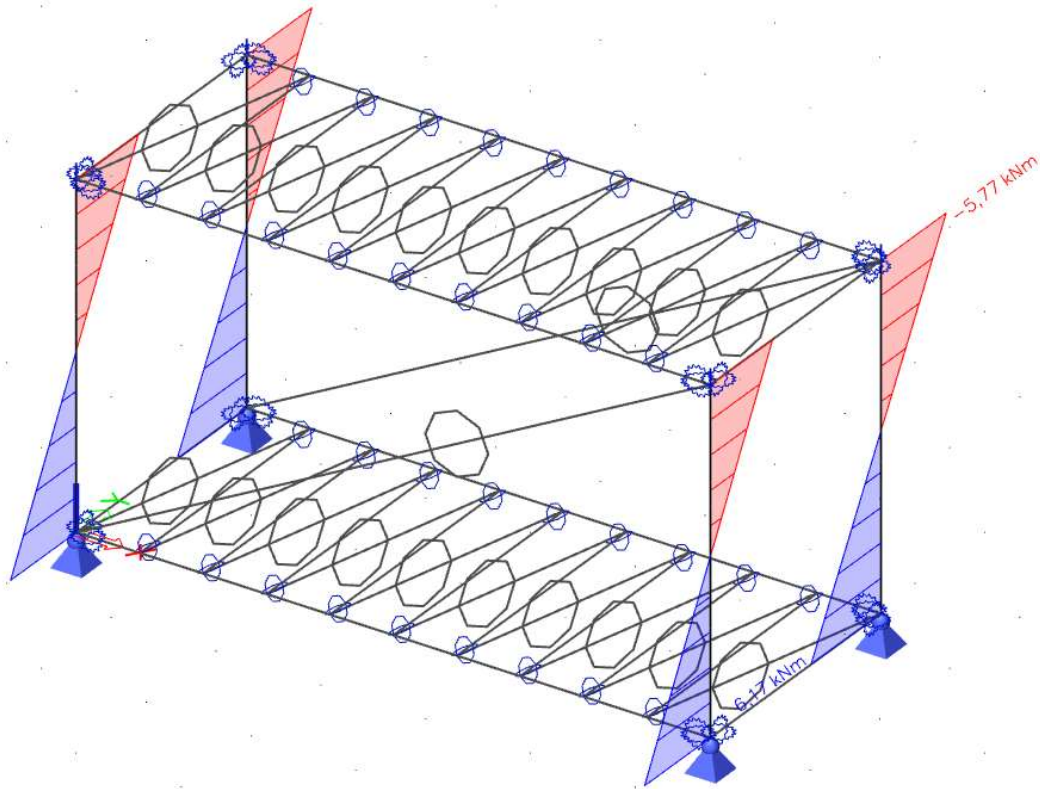
$$M_{Rd;y} = \frac{7,08 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 16,638 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed;y}}{M_{Rd;y}} = \frac{9,81}{16,638} = 0,59 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb okolo osy z

- kombinace 70 – min. stálé zatížení + min. sníh + max. příčný vítr

$$M_{Ed;z} = 6,17 \text{ kNm}$$



Obr. 34: Průběh ohybového momentu okolo osy z na sloupu – K70

$$M_{Rd;z} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed;z}$$

$$M_{Rd;z} = \frac{7,08 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 16,638 \text{ kNm}$$

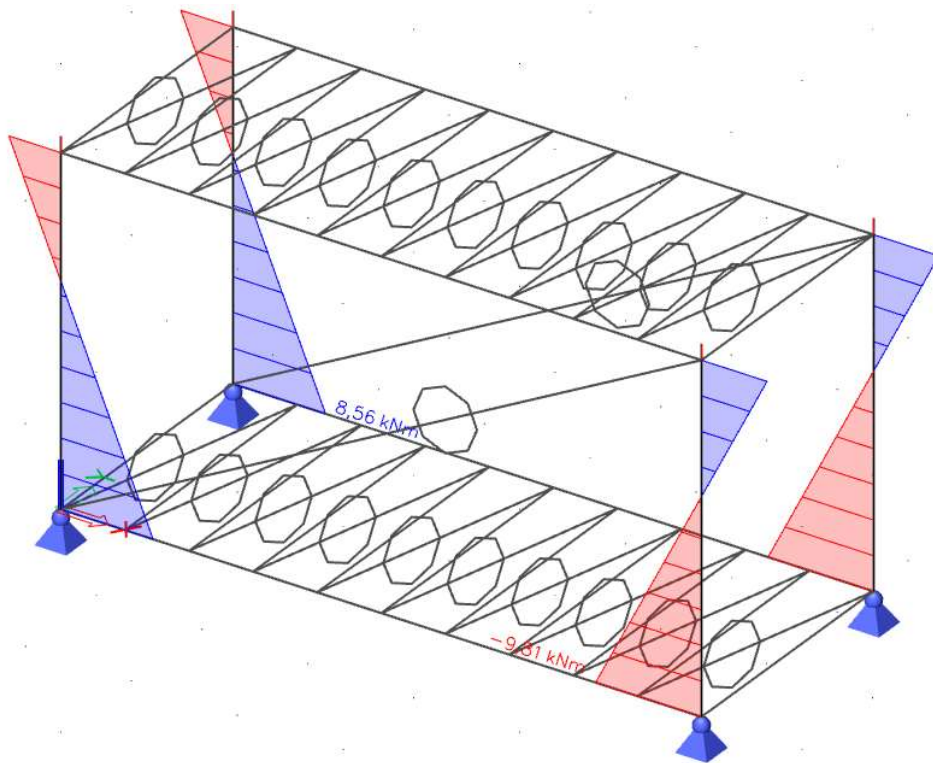
$$\frac{M_{Ed;z}}{M_{Rd;z}} = \frac{6,17}{16,638} = 0,371 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kombinace tlaku a ohybu

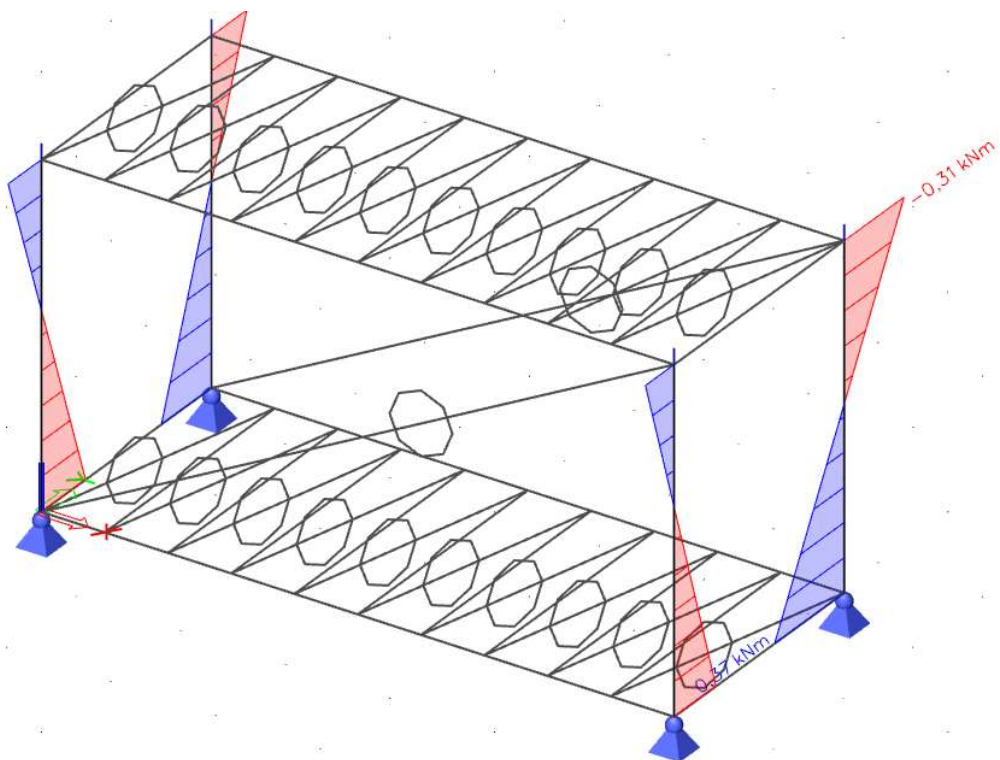
Kombinace tlaku a ohybu je posuzována v místě největšího momentového namáhání s odpovídající normálovou silou.

- kombinace 91 – min. stálé zatížení + min. sníh a vítr + max. užité zatížení

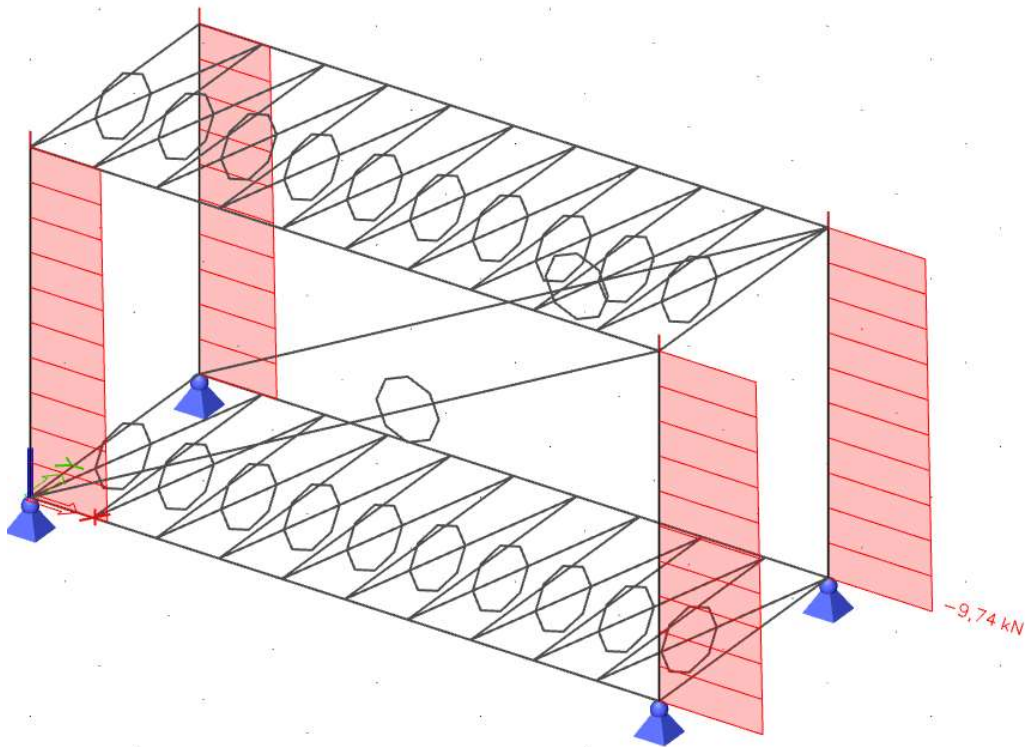
$$M_{Ed,y} = 9,81 \text{ kNm} + M_{Ed;z} = 0,37 \text{ kNm} + N_{Ed} = 9,74 \text{ kN}$$



Obr. 35: Průběh ohybového momentu kolem osy y na sloupu - K91



Obr. 36: Průběh ohybového momentu kolem osy z na sloupu - K91



Obr. 37: Průběh normálové síly na sloupu – K91

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} a c_{mz} (dle tab. B.3 v [9]):

$$\Psi = \frac{6,07}{-9,81} = -0,619$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot -0,619 = 0,352 \rightarrow c_{my} = 0,4$$

$$\Psi = \frac{-0,31}{0,37} = -0,838$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot -0,838 = 0,265 \rightarrow c_{mz} = 0,4$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 540,5 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left[1 + (0,76 - 0,2) \cdot \frac{9,74}{\frac{0,687 \cdot 540,5}{1}} \right] \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{9,74}{\frac{0,687 \cdot 540,5}{1}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,406 \\ 0,408 \end{array} \right) \rightarrow k_{yy} = 0,406$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,406 = 0,244$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} c_{mz} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left[1 + (0,578 - 0,2) \cdot \frac{9,74}{\frac{0,797 \cdot 540,5}{1}} \right] \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{9,74}{\frac{0,797 \cdot 540,5}{1}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} 0,403 \\ 0,407 \end{array} \right) \rightarrow k_{zz} = 0,403$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,403 = 0,242$$

- posouzení:

$$M_{Rk;y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 7,08 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3 = 16,638 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk;z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 7,08 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3 = 16,638 \text{ kNm}$$

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

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

$$\frac{9,74}{\frac{0,687 \cdot 540,5}{1}} + 0,406 \cdot \frac{9,81}{\frac{1 \cdot 16,638}{1}} + 0,242 \cdot \frac{0,37}{\frac{1 \cdot 16,638}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,74}{0,797 \cdot 540,5} + 0,244 \cdot \frac{9,81}{1 \cdot 16,638} + 0,403 \cdot \frac{0,37}{1 \cdot 16,638} \leq 1,0$$

$$0,27 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,18 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň šikmý ohyb:

$$n = \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{N_{Rk}}{1}} = \frac{9,74}{540,5} = 0,018$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t}{A} = \frac{2,3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 90 \cdot 7,1}{2,3 \cdot 10^3} = 0,444$$

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{2,3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 90 \cdot 7,1}{2,3 \cdot 10^3} = 0,444$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{M_{Rk;y}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} \leq M_{Rd;y}$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{16,638}{1} \cdot \frac{1 - 0,018}{1 - 0,5 \cdot 0,444} \leq 16,638 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;y} = 21,005 \text{ kNm} \leq 16,638 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;y} = 16,638 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{M_{Rk;z}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_f} \leq M_{Rd;z}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{16,638}{1} \cdot \frac{1 - 0,018}{1 - 0,5 \cdot 0,444} \leq 16,638 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = 21,005 \text{ kNm} \leq 16,638 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;z} = 16,638 \text{ kNm}$$

$$\alpha = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,018^2} = 1,661$$

$$\beta = \alpha = 1,661$$

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

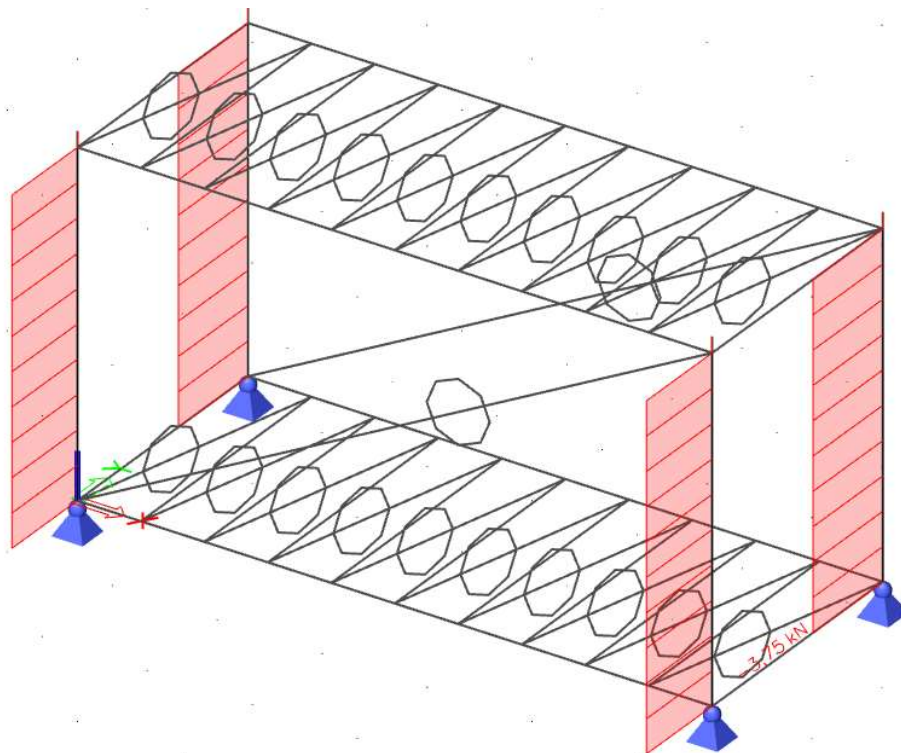
$$\left(\frac{9,81}{16,638} \right)^{1,661} + \left(\frac{0,37}{16,638} \right)^{1,661} \leq 1,0$$

$$0,42 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose y

- kombinace 70 – min. stálé zatížení + min. snůh + max. příčný vítr

$$V_{Ed;y} = 3,75 \text{ kN}$$



Obr. 38: Průběh posouvající síly v ose y na sloupu – K70

$$V_{pl,Rd;y} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;y}$$

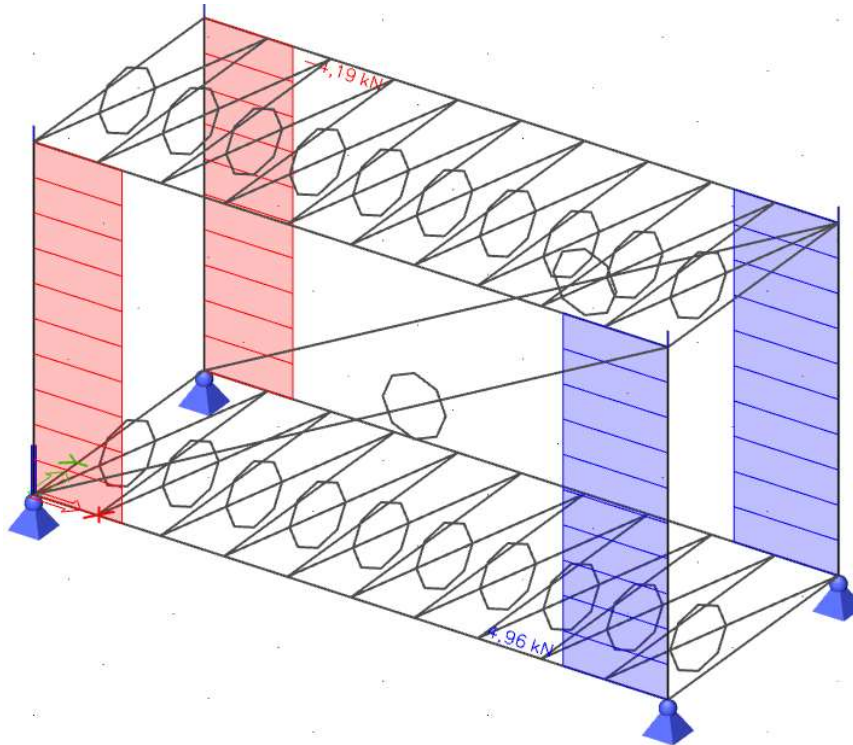
$$V_{pl,Rd;y} = \frac{1,133 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 153,72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed;y}}{V_{pl,Rd;y}} = \frac{3,75}{153,72} = 0,024 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose z

- kombinace 91 - min. stálé zatížení + min. sníh a vítr + max. užité zatížení

$$V_{Ed;z} = 4,96 \text{ kN}$$



Obr. 39: Průběh posouvající síly v ose z na sloupu – K91

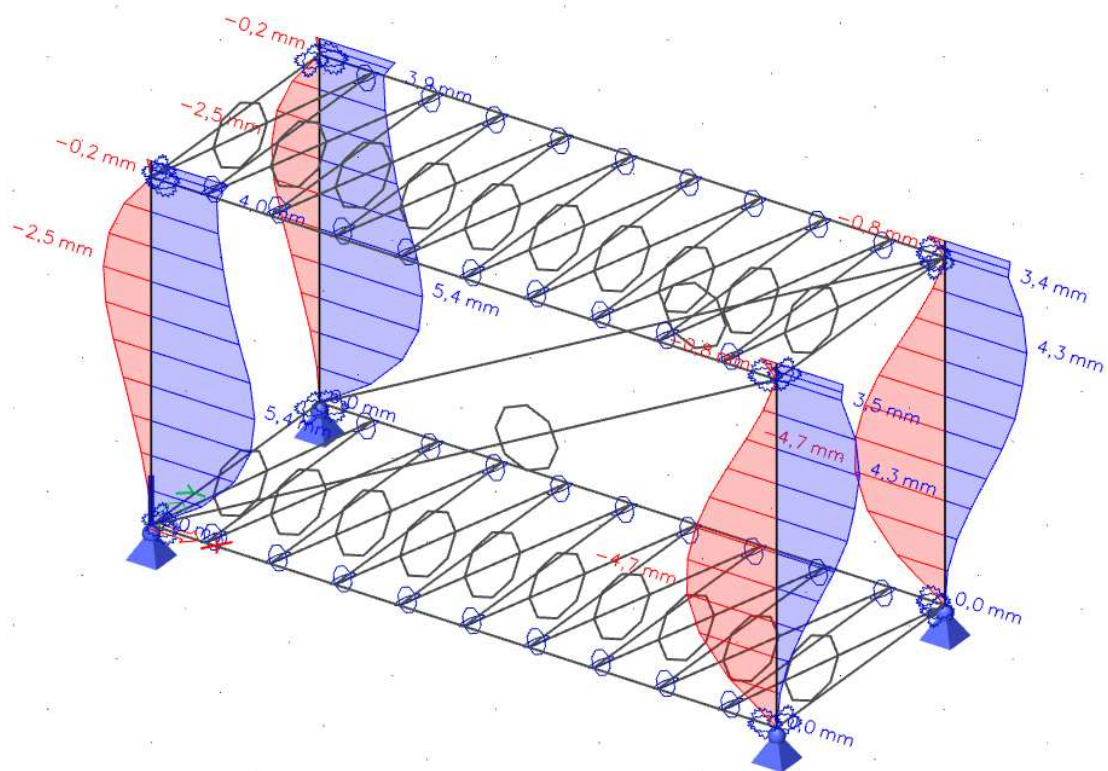
$$V_{pl,Rd;z} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;z}$$

$$V_{pl,Rd;z} = \frac{1,133 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 153,72 \text{ kN}$$

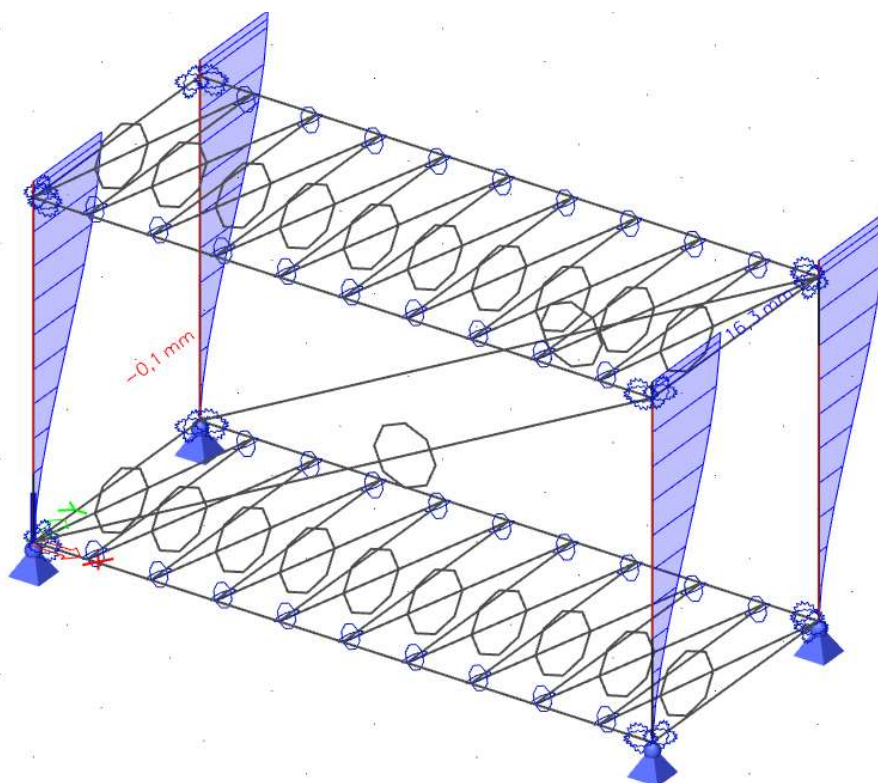
$$\frac{V_{Ed;z}}{V_{pl,Rd;z}} = \frac{4,96}{153,72} = 0,032 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3.2 MSP

Pro posouzení stavu MSP v podélném a příčném směru modulu jsou zvoleny jiné limitní hodnoty. V příčném směru je limitní hodnota $H/150$, která odpovídá normové hodnotě pro rámy. V podélném směru je limitní hodnota $H/750$, jelikož v tomto směru bylo počítáno s účinky ztužení od sendvičových panelů, tzn., že limitní hodnota deformace odpovídá maximální hodnotě zkosení pro sendvičové panely, aby bylo možné zohlednit jejich tuhost ve výpočtu. Hodnota deformace se odečítá ve vrcholu sloupu.



Obr. 40: Vodorovná deformace v podélném směru na sloupu



Obr. 41: Vodorovná deformace v příčném směru na sloupu

$$\delta_y \leq \delta_{y;lim} = \frac{H}{150}$$

$$16,3 \text{ mm} \leq \frac{3350}{150} = 22,3 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\delta_x \leq \delta_{x;lim} = \frac{H}{750}$$

$$4 \text{ mm} \leq \frac{3350}{750} = 4,5 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Sloup o profilu HRT 90x90x7,1 mm vyhovuje.

6.3.3 Návrh a posouzení víčka sloupu

- rozměry plechu:

$$t = 10 \text{ mm}, b = 80 \text{ mm}, h = 80 \text{ mm}$$

- ohyb plechu:

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

$$W_{el} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,08 \cdot 0,01^2 = 1,333 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el}}{\gamma_{M0}} \cdot f_y = \frac{1,333 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,313 \text{ kNm}$$

$$F_d = \frac{G_{ocel;d} + G_{pod;d} + G_{stř;d} + G_{stěn;d}}{4}$$

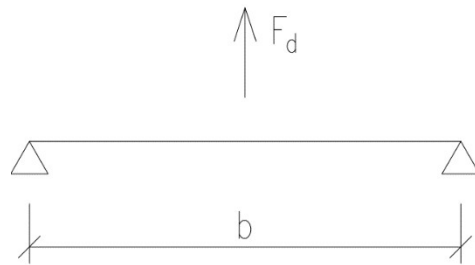
Tab. 4: Výpočet zatížení na víčko sloupu

Víčko		plošné zatížení	zat. plocha / šířka	zat. plocha/ šířka	charakt.	γ _f	návrhové
plech P10x80x80		charakt.	[m]	[m]	[kN]	[-]	[kN]
počet prvků:	4	[kN/m ²]	[m]	[m]	[kN]	[-]	[kN]
tíha oceli		/	/	/	11,122	1,35	15,012
skladba podlahy		0,245	6,05	2,44	3,617	1,35	4,883
skladba střechy		0,26	6,05	2,44	3,838	1,35	5,181
skladba stěny delší		2*0,22	6,05	3,2	8,518	1,35	11,500
skladba stěny kratší		2*0,22	2,44	3,2	3,436	1,35	4,638
Σ CELKEM							10,303

$$F_d = \frac{15,012 + 4,883 + 5,181 + 11,5 + 4,638}{4} = 10,303 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{b \cdot F_d}{4} = \frac{0,08 \cdot 10,303}{4} = 0,206 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,206}{0,313} = 0,658 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 42: Statické schéma posouzení plechu

- návrh a posouzení svaru:

$$a_w = 3 \text{ mm}, l_w = 2 \cdot b + 2 \cdot h = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 80 = 320 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_d}{a_w \cdot l_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{10,303}{0,003 \cdot 0,32} = 7,589 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{7,589^2 + 3 \cdot (7,589^2 + 0^2)} = 15,178 \text{ MPa}$$

$$15,178 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 7,589 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- posouzení kotvícího prvku na tah (velikost otvoru v plechu):

- návrh M16 8.8

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}, A_s = 157 \text{ mm}^2$$

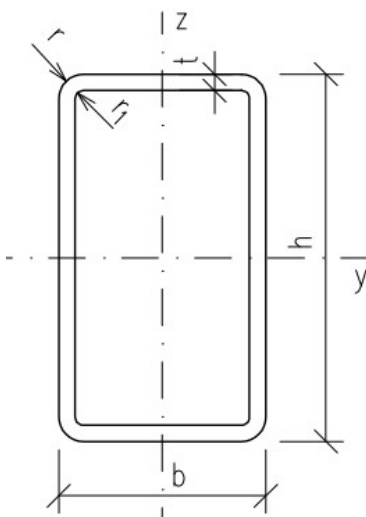
$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

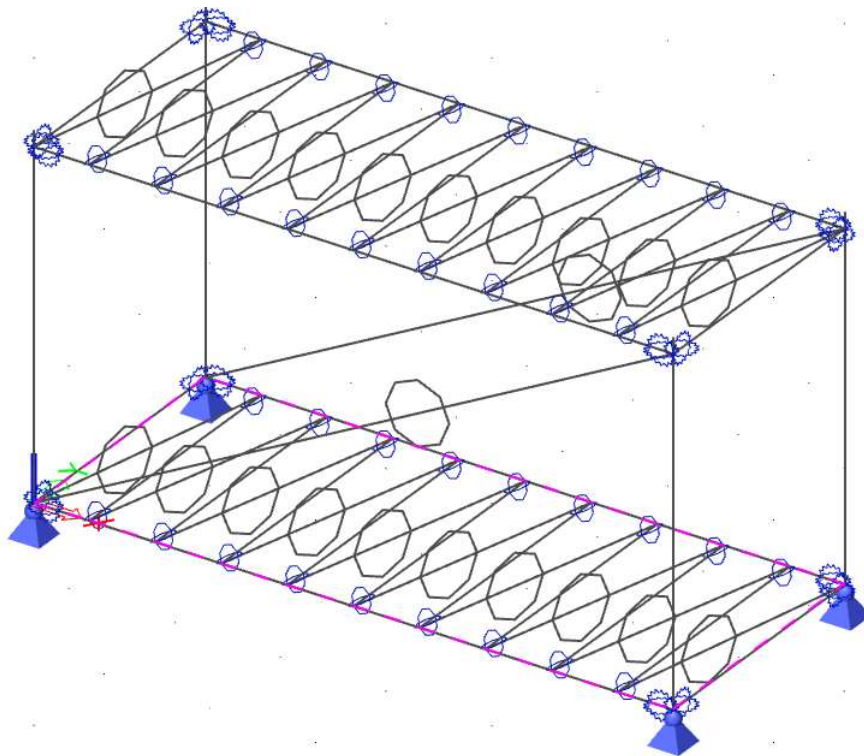
$$F_d = 10,303 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 90,432 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Víčko P10x80x80 mm vyhovuje. Velikost otvoru v plechu bude o průměru 16 mm.

6.4 Posouzení podlahového nosníku

Tab. 5: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahového nosníku

HRT 160x90x7.1		
$A = 3,290 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$h = 160,00 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 1,174 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$b = 90,00 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 2,087 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t = 7,10 \text{ mm}$	
$I_y = 1,080 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$i_y = 57,29 \text{ mm}$	
$I_z = 4,310 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_z = 36,19 \text{ mm}$	
$I_w = 1,534 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$	$r = 10,65 \text{ mm}$	
$I_t = 9,950 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$r_1 = 3,55 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 1,690 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 1,120 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 1,350 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 9,570 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		



Obr. 43: Vyznačení podlahových nosníků v modelu

6.4.1 MSÚ

Ocelový prvek bude posuzován na ohyb, šikmý ohyb a na smyk. Osová síla v nosníku je zanedbatelná. Uvažujeme, že nosník není náchylný na klopení. Jelikož se jedná o uzavřený profil.

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina – namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{145,8}{7,1} \leq 33$$

$$20,55 \leq 33 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 1}$$

pásnice – namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{75,8}{7,1} \leq 33$$

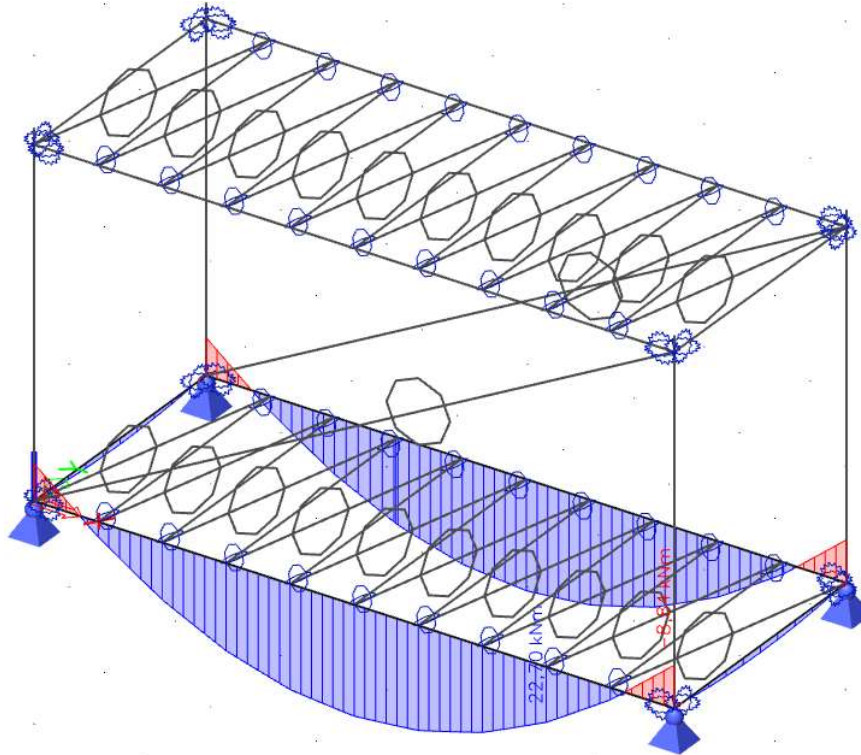
$$10,68 \leq 33 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

Průřez je zatříděn do třídy 1.

Ohyb okolo osy y

- kombinace 88 – min. stálé zatížení + min. podélný vítr + max. užitné zatížení

$$M_{Ed,y} = 22,7 \text{ kNm}$$



Obr. 44: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahovém nosníku – K88

$$M_{Rd;y} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed;y}$$

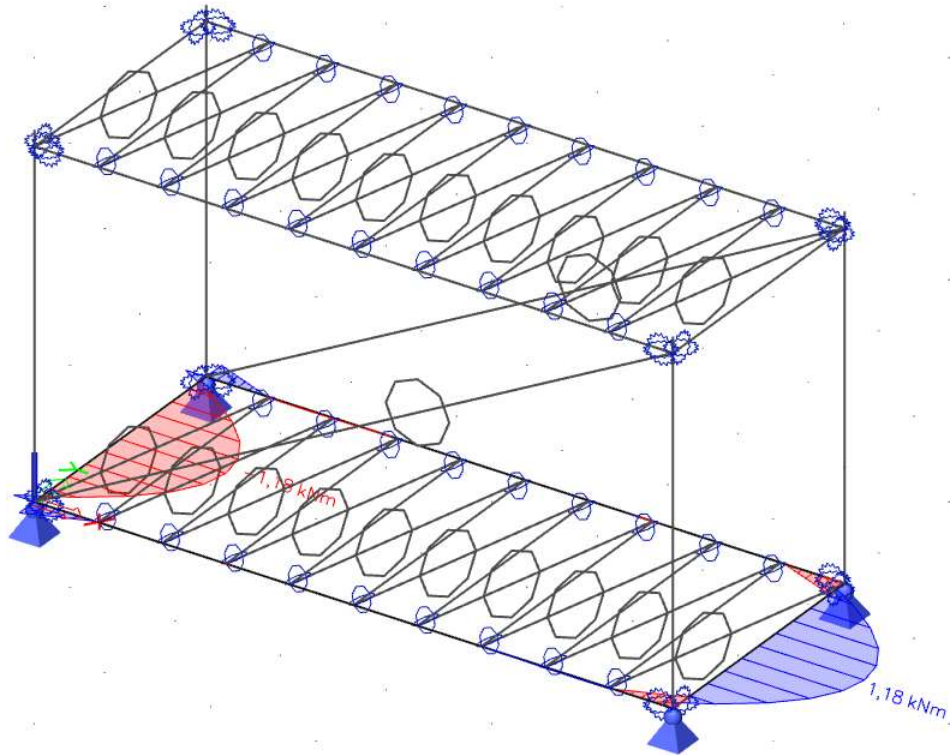
$$M_{Rd;y} = \frac{1,69 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 39,715 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed;y}}{M_{Rd;y}} = \frac{22,7}{39,715} = 0,572 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb okolo osy z

- kombinace 72 – min. stálé zatížení + max. podélný vítr

$$M_{Ed;z} = 1,18 \text{ kNm}$$



Obr. 45: Průběh ohybového momentu okolo osy z na podlahovém nosníku – K72

$$M_{Rd;z} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed;z}$$

$$M_{Rd;z} = 1,12 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 26,32 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed;z}}{M_{Rd;z}} = \frac{1,18}{26,32} = 0,045 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

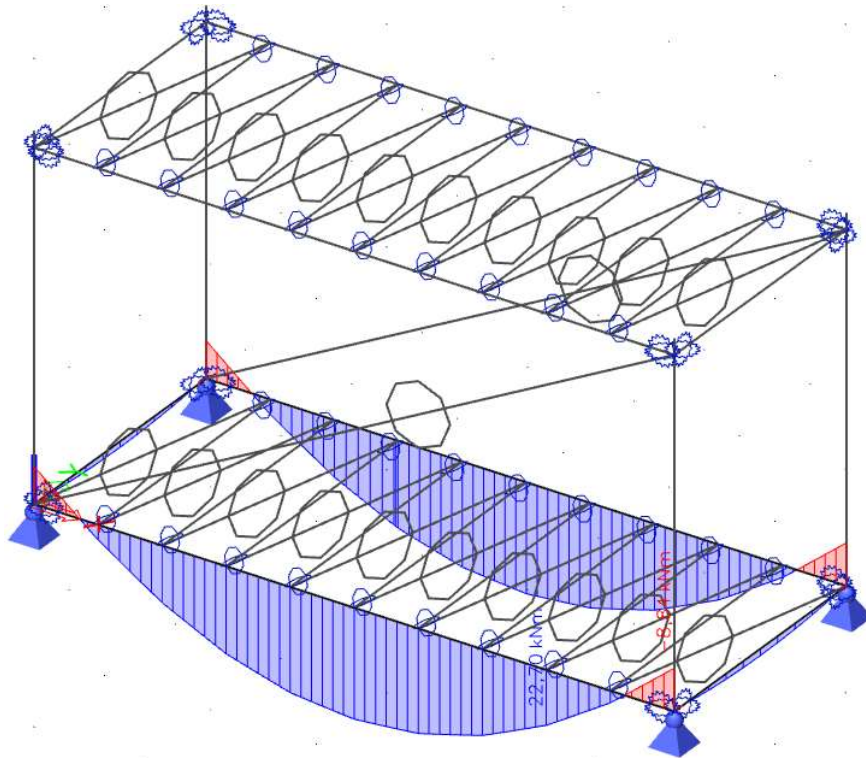
Šikmý ohyb:

- kombinace 88 - min. stálé zatížení + min. podélný vítr + max. užité zatížení

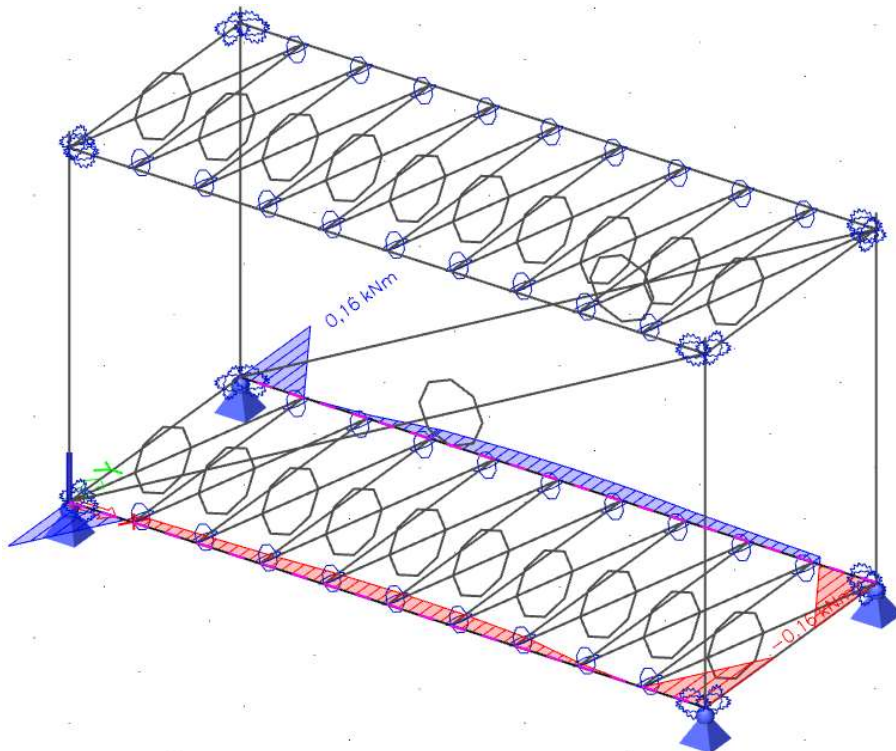
$$M_{Ed;y} = 22,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed;z} = 0,16 \text{ kNm}$$

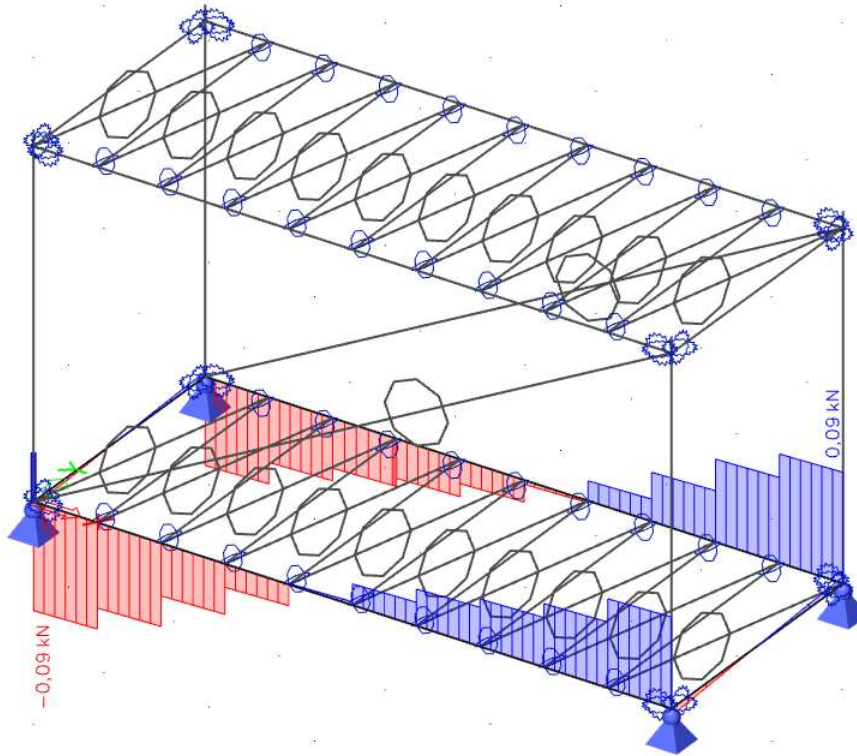
$$N_{Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$



Obr. 46: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahovém nosníku – K88



Obr. 47: Průběh ohybového momentu okolo osy z na podlahovém nosníku – K88



Obr. 48: Průběh normálové síly na podlahovém nosníku – K88

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,29 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 773,15 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{0,09}{\frac{773,15}{1}} = 0,0001$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t}{A} = \frac{3,29 \cdot 10^3 - 2 \cdot 160 \cdot 7,1}{3,29 \cdot 10^3} = 0,309$$

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{3,29 \cdot 10^3 - 2 \cdot 90 \cdot 7,1}{3,29 \cdot 10^3} = 0,612$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{M_{Rk;y}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} \leq M_{Rd;y}$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{39,715}{1} \cdot \frac{1 - 0,0001}{1 - 0,5 \cdot 0,309} \leq 39,715 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;y} = 46,968 \text{ kNm} \leq 39,715 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;y} = 39,715 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{M_{Rk;z}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_f} \leq M_{Rd;z}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{26,32}{1} \cdot \frac{1 - 0,0001}{1 - 0,5 \cdot 0,612} \leq 26,32 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = 37,908 \text{ kNm} \leq 26,32 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;z} = 26,32 \text{ kNm}$$

$$\alpha = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,0001^2} = 1,66$$

$$\beta = \alpha = 1,66$$

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

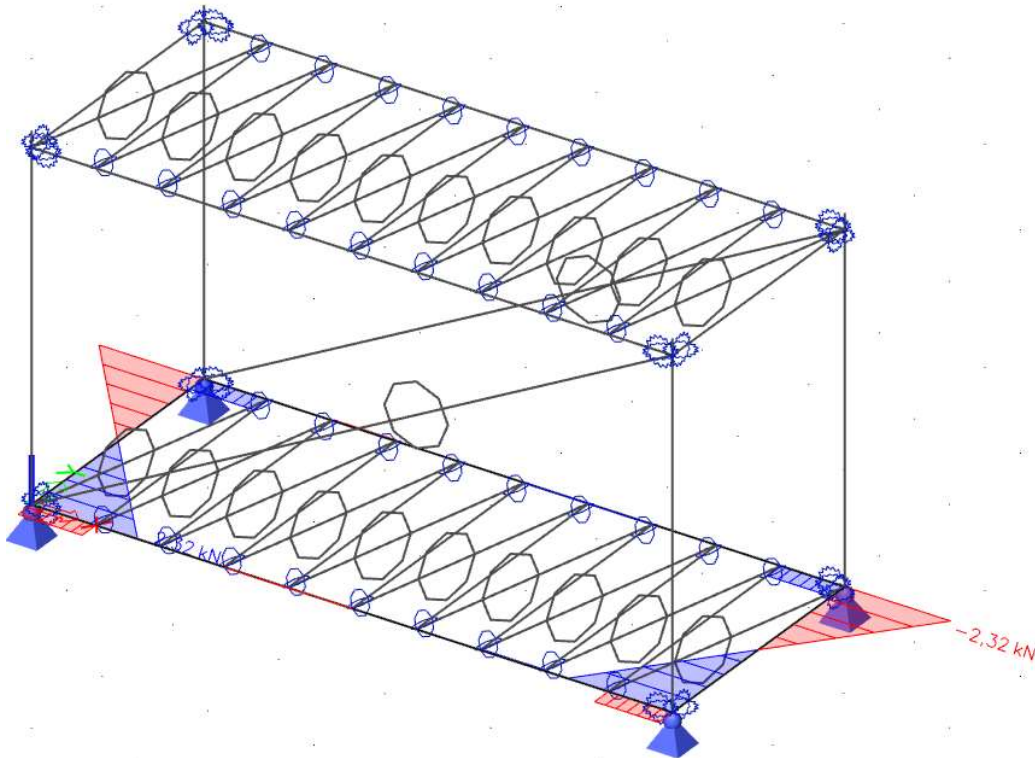
$$\left(\frac{22,7}{39,715} \right)^{1,66} + \left(\frac{0,16}{26,32} \right)^{1,66} \leq 1,0$$

$$0,395 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose y

- kombinace 80 – min. stálé zatížení + min. sníh + min. užité zatížení + max. podélný vítr

$$V_{Ed;y} = 2,32 \text{ kN}$$



Obr. 49: Průběh posouvající síly v ose y na podlahovém nosníku – K80

$$V_{pl,Rd;y} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;y}$$

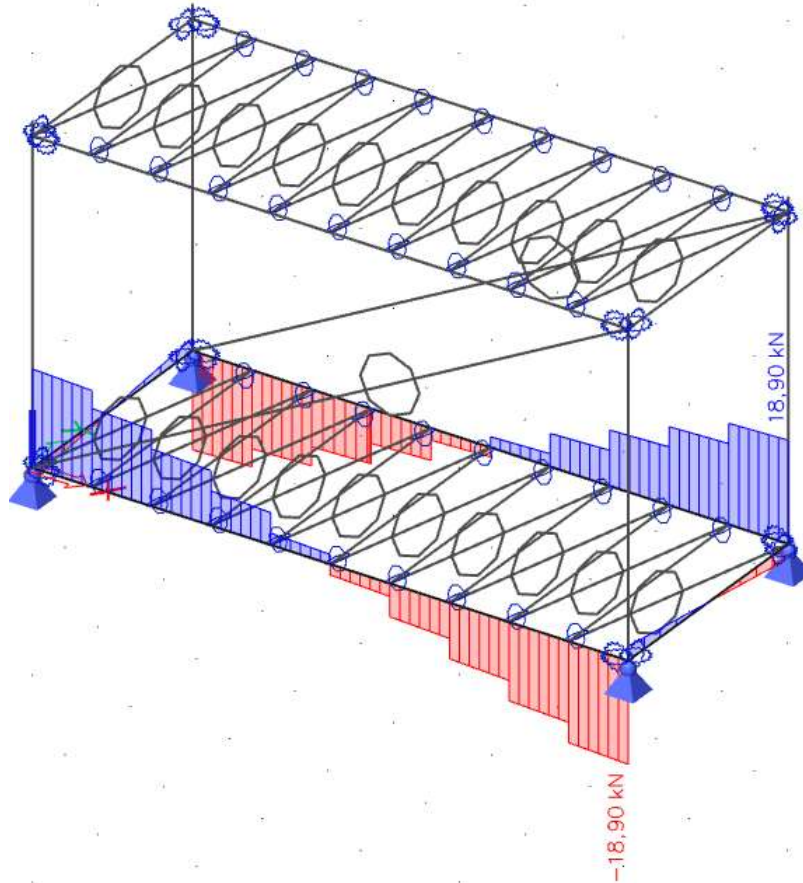
$$V_{pl,Rd;y} = \frac{1,174 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 159,29 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed;y}}{V_{pl,Rd;y}} = \frac{2,32}{159,29} = 0,015 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose z

- kombinace 91 - min. stálé zatížení + min. sníh a vítr + max. užité zatížení

$$V_{Ed;z} = 18,9 \text{ kN}$$



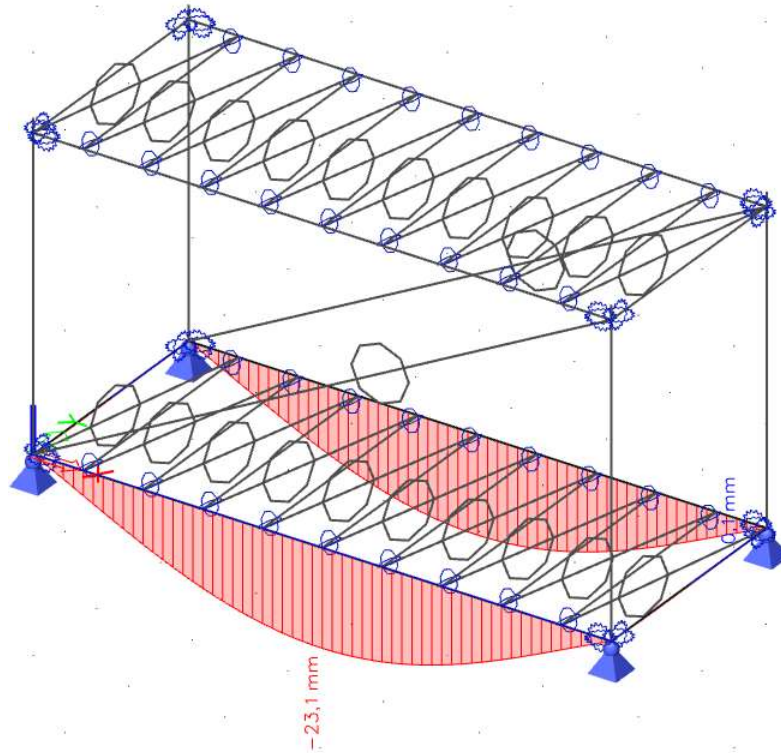
Obr. 50: Průběh posouvající síly v ose z na podlahovém nosníku – K91

$$V_{pl,Rd;z} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;z}$$

$$V_{pl,Rd;z} = \frac{2,087 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 283,16 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed;z}}{V_{pl,Rd;z}} = \frac{18,9}{283,16} = 0,067 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.4.2 MSP



Obr. 51: Svislý průhyb na podlahovém nosníku

$$\delta_z \leq \delta_{z,lim} = \frac{L}{250}$$

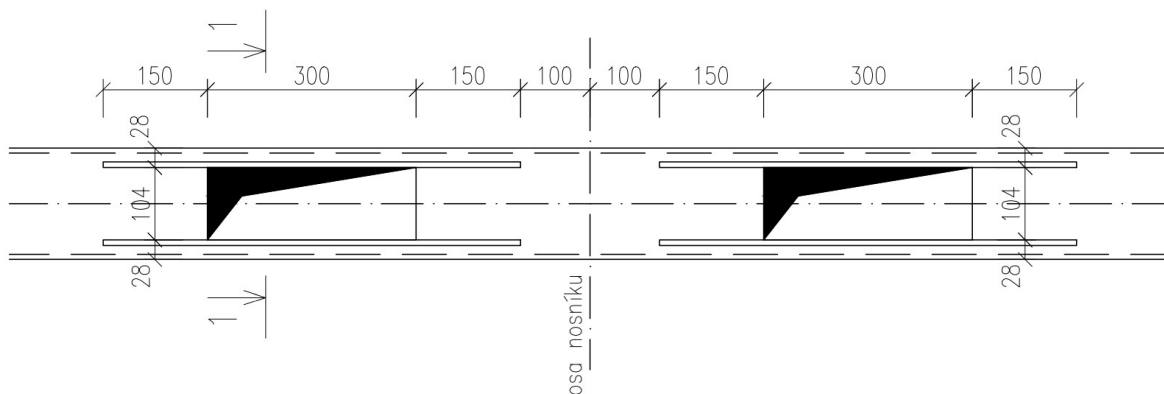
$$23,1 \text{ mm} \leq \frac{6050}{250} = 24,2 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník o profilu HRT 160x90x7,1 mm vyhovuje.

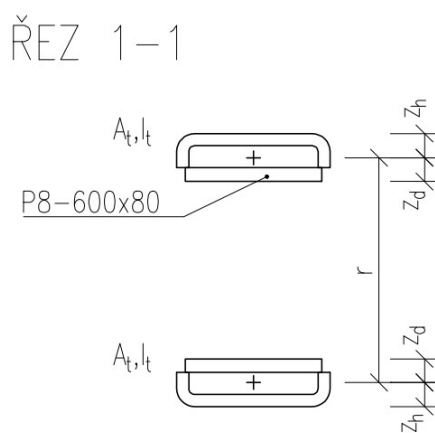
6.4.3 Otvory v nosníku

Do podlahového nosníku budou navrženy dva otvory pro vysokozdvizný vozík při montáži ocelové konstrukce.

Otvory budou mít rozměry 300x100 mm ve vzdálenosti 500 mm. Nosník s otvory se posoudí pro dva stavy. Pro stav montážní uvažujeme podepření v místě otvorů vysokozdvizným vozíkem. Pro stav provozní uvažujeme podepření modulu v místě sloupků.



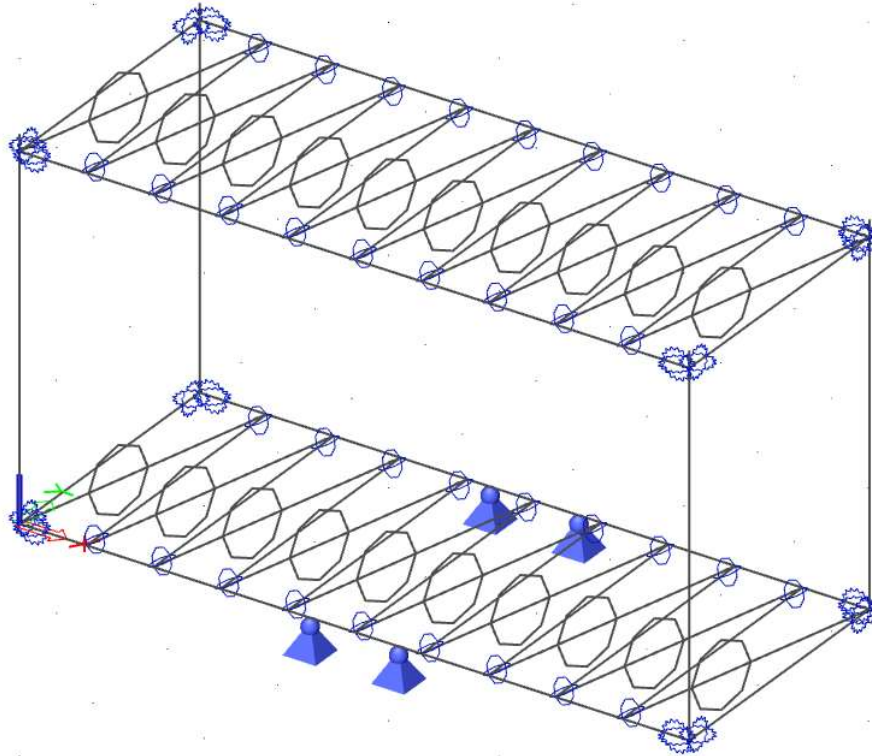
Obr. 52: Schéma montážních otvorů



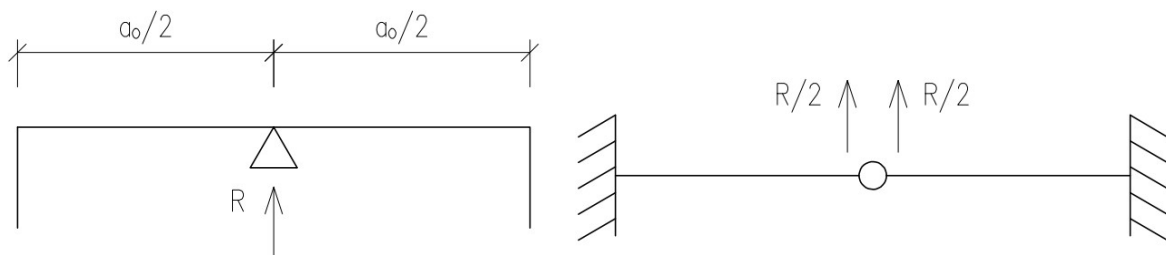
Obr. 53: Řez 1-1

6.4.3.1 Montážní stav

Pro montážní stav byl vytvořen další 3D model modulu s podporami v místě otvorů, tj. v místě podepření od vysokozdvizného vozíku. Tento model byl zatížen pouze vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením (skladba střechy, podlahy a stěn).



Obr. 54: Statické schéma modulu v montážním stavu



Obr. 55: Statické schéma otvoru při montážním stavu

Smyk

$$V_{pl;Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,087 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 283,091 \text{ kN}$$

- ověření boulení: (dle 5.1 (2) v [11])

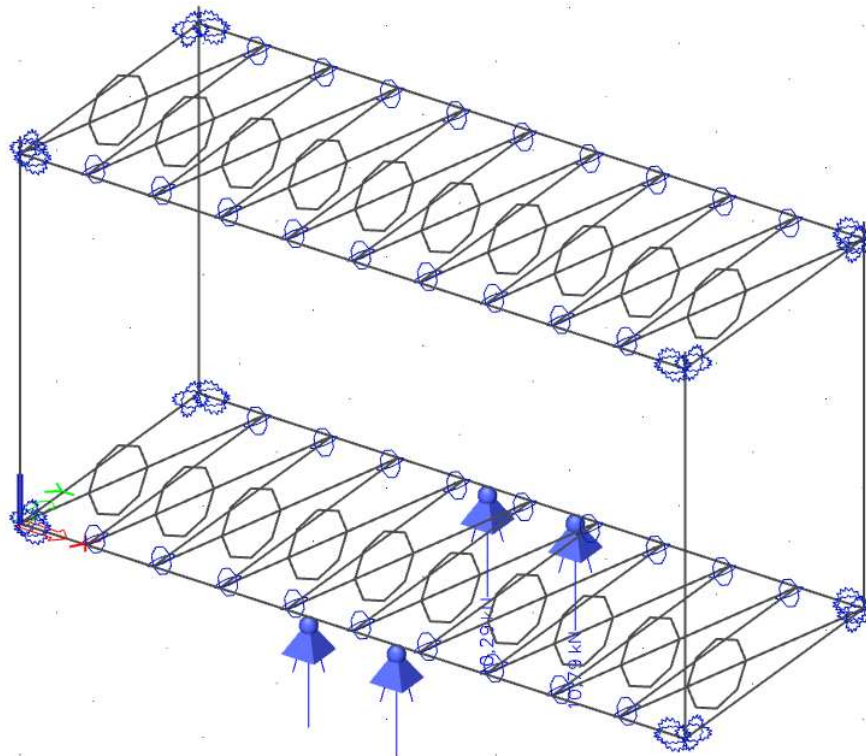
$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{145,8}{7,1} = 20,54 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60 \rightarrow \text{stěna neboulí}$$

$$V_{bw;Rd} = V_{pl;Rd} = 283,091 \text{ kN}$$

$$V_{o;pl;Rd} = V_{pl;Rd} - \frac{h_o \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 283,091 - \frac{0,1 \cdot 0,0071 \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 186,76 \text{ kN}$$

- kombinace 1 – max. vlastní tíha + max. ostatní stálé zatížení

$$R = 10,79 \text{ kN}$$



Obr. 56: Reakce v místě podepření při montáži – K1

- posouzení:

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \cdot V_{o;pl;Rd}} = \frac{10,79}{\frac{1}{2} \cdot 186,76} = 0,116 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ reakci od podepření přenáší jen horní část zbytku průřezu průřezu

$$R = 10,79 \text{ kN} \leq \frac{V_{o;pl;Rd}}{4} = \frac{186,76}{4} = 46,69 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Ohyb

$A_T = 1418,1 \text{ mm}^2$ – plocha jedné z částí zbytku průřezu

$I_T = 135770 \text{ mm}^4$ – moment setrvačnosti jedné z částí zbytku průřezu

$$r = h_N - 2 \cdot z = 160 - 2 \cdot 14,13 = 131,74 \text{ mm}$$

$$z_h = z = 14,13 \text{ mm}, z_d = 13,87 \text{ mm}$$

$$W_{el;T} = \frac{I_T}{z_h} = \frac{135770}{14,13} = 9609 \text{ mm}^3$$

$$M_{R;Rd} = W_{el;T} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 9609 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} = 2,258 \text{ kNm}$$

→ únosnost jedné z částí zbytku průřezu

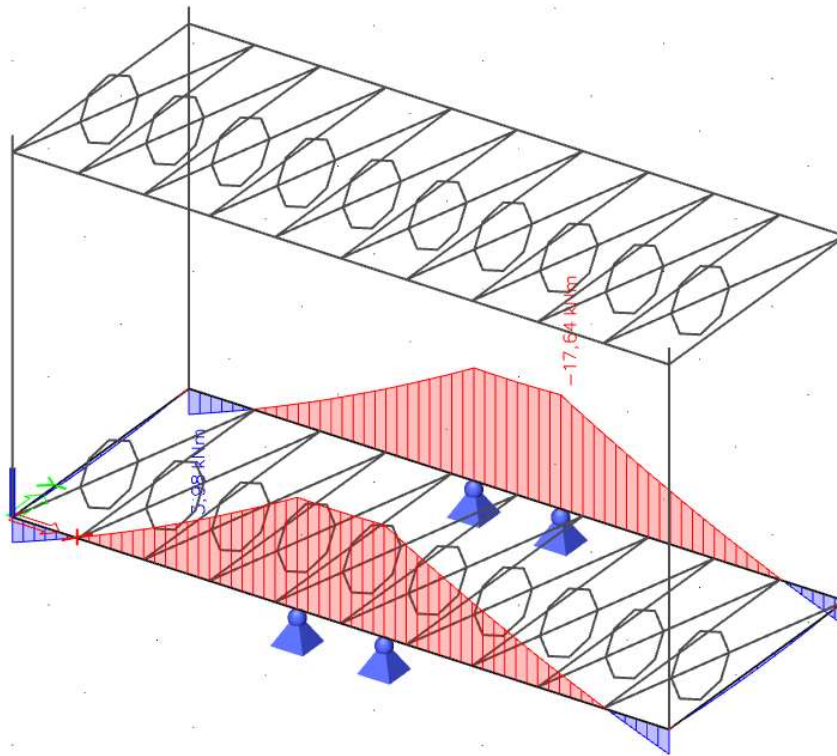
$$M_{R;Ed} = \frac{R}{2} \cdot \frac{a_o}{2} = \frac{10,79}{2} \cdot \frac{0,3}{2} = 0,809 \text{ kNm} \text{ – moment od reakce v podepření}$$

$$N_{O;Rd} = A_T \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} = 333,25 \text{ kN}$$

→ únosnost jedné části zbytku průřezu

- kombinace 1 – max. vlastní tíha + max. ostatní stálé zatížení

$$M_{Ed} = 17,64 \text{ kNm}$$



Obr. 57: Průběh ohybového momentu okolo osy y v místě podepření při montáži – K1

$$N_{T;Ed} = \frac{M_{Ed}}{r} = \frac{17,64}{0,1317} = 133,9 \text{ kN} \text{ – síla od momentu na nosníku}$$

- posouzení:

$$\frac{N_{T;Ed}}{N_{O;Rd}} + \frac{M_{R;Ed}}{M_{R;Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{133,9}{333,25} + \frac{0,809}{2,258} = 0,76 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vzpěr

$$M_{T;Ed} = N_{T;Ed} \cdot \frac{2 \cdot w_{vier}}{2} \quad (\text{dle 8.3.2 (2) v [14]})$$

$$w_{vier;max} = \frac{a_o}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ mm} \quad (\text{dle 9 (5) v [14]})$$

$$w_{vier;add} = \frac{R \cdot a_o^3}{12 \cdot E \cdot 2 \cdot I_T} \quad (\text{dle 9 (6) v [14]})$$

$$w_{vier;add} = \frac{10,79 \cdot 0,3^3}{12 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 135770 \cdot 10^{-12}} = 0,426 \text{ mm}$$

$$w_{vier} = \max(w_{vier;add}, w_{vier;max}) = \max(0,426; 1,5) = 1,5 \text{ mm}$$

$$M_{T;Ed} = 133,9 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,201 \text{ kNm}$$

$$M_{add;Ed} = \frac{R}{2} \cdot \frac{a_o}{2} = \frac{10,79}{2} \cdot \frac{0,3}{2} = 0,809 \text{ kNm}$$

- vzpěrná délka:

$$L_{cr;y} = \frac{1}{2} \cdot a_o = \frac{1}{2} \cdot 300 = 150 \text{ mm}$$

- poloměr setrvačnosti (jedné z částí zbytku průřezu):

$$i_y = \sqrt{\frac{I_T}{A_T}} = \sqrt{\frac{135770}{1418,1}} = 9,79 \text{ mm}$$

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr;y}}{i_y} = \frac{150}{9,79} = 15,32$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

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

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{15,32}{93,9} = 0,163$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

- pro vybočení kolmo k ose y-y $\rightarrow \chi_y = 1$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A_T \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 333,25 \text{ kN}$$

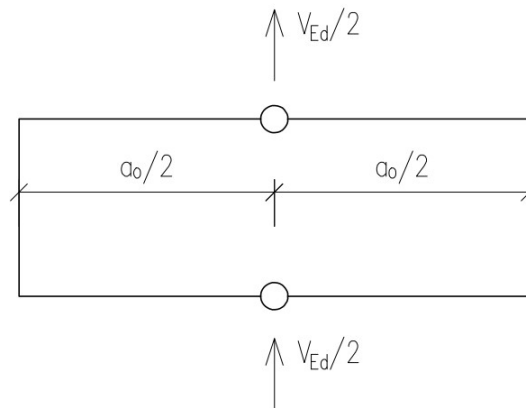
- posouzení:

$$M_{o,Rd} = A_T \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \cdot r = 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} \cdot 0,1317 = 43,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{T;Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{0,4 \cdot M_{T;Ed} + M_{add;Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,0 \text{ (dle 8.3.2 (2) v [14])}$$

$$\frac{133,9}{333,25} + \frac{0,4 \cdot 0,201 + 0,809}{43,9} = 0,422 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.4.3.2 Provozní stav



Obr. 58: Statické schéma otvoru při provozním stav

Smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,087 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 283,091 \text{ kN}$$

- ověření boulení: (dle 5.1 (2) v [11])

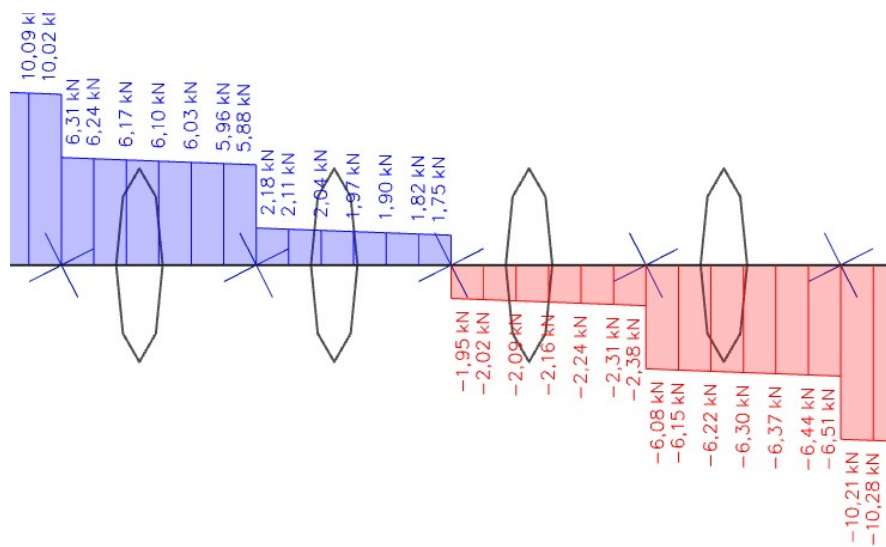
$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{145,8}{7,1} = 20,54 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60 \rightarrow \text{stěna neboulí}$$

$$V_{bw;Rd} = V_{pl;Rd} = 283,091 \text{ kN}$$

$$V_{o;pl;Rd} = V_{pl;Rd} - \frac{h_o \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 283,091 - \frac{0,1 \cdot 0,0071 \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 186,76 \text{ kN}$$

- kombinace 88 – min. podélný vítr + max. užité zátížení

$$V_{Ed} = 6,51 \text{ kN}$$



Obr. 59: Průběh posouvající síly v ose z v místě otvorů pro montáž – K88

- posouzení:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{o;pl;Rd}} = \frac{6,51}{186,76} = 0,035 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{Ed} = 6,51 \text{ kN} \leq \frac{V_{o;pl;Rd}}{2} = \frac{186,76}{2} = 93,38 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Ohyb

$$A_T = 1418,1 \text{ mm}^2 - \text{plocha jedné z částí zbytku průřezu}$$

$$I_T = 135770 \text{ mm}^4 - \text{moment setrvačnosti jedné z částí zbytku průřezu}$$

$$r = h_N - 2 \cdot z = 160 - 2 \cdot 14,13 = 131,74 \text{ mm}$$

$$z_h = z = 14,13 \text{ mm}, z_d = 13,87 \text{ mm}$$

$$W_{el;T} = \frac{I_T}{z_h} = \frac{135770}{14,13} = 9609 \text{ mm}^3$$

$$M_{V;Rd} = W_{el;T} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 9609 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} = 2,258 \text{ kNm}$$

→ únosnost jedné z částí zbytku průřezu

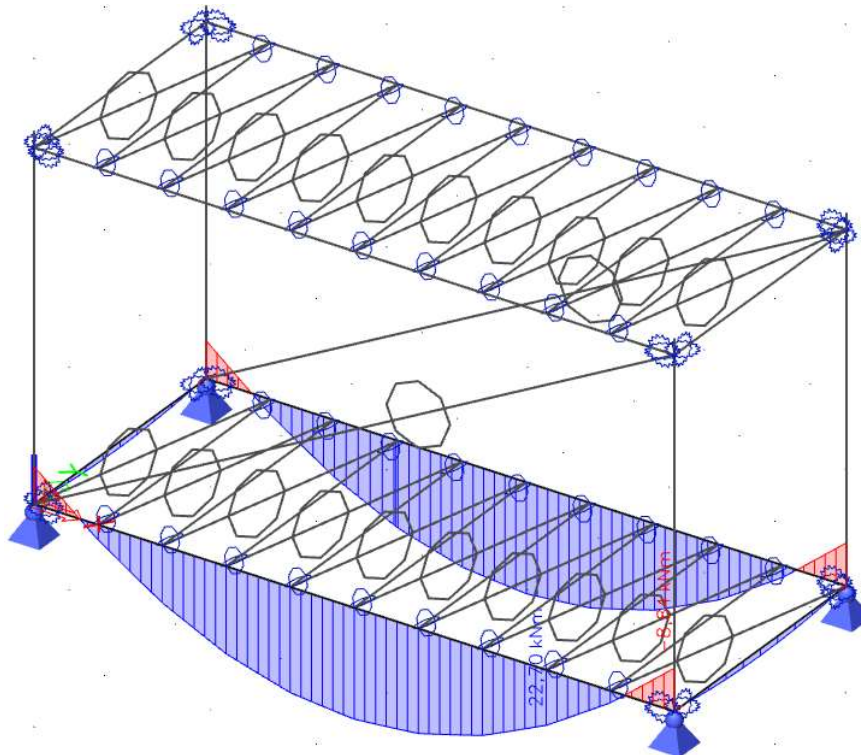
$$M_{V;Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} \cdot \frac{a_o}{2} = \frac{6,51}{2} \cdot \frac{0,3}{2} = 0,488 \text{ kNm} \text{ – moment od posouvající síly na nosníku}$$

$$N_{o;Rd} = A_T \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} = 333,25 \text{ kN}$$

→ únosnost jedné části zbytku průřezu

- kombinace 88 – min. podélný vítr + max. užité zatížení

$$M_{Ed} = 22,7 \text{ kNm}$$



Obr. 60: Průběh ohybového momentu okolo osy y v místě otvorů pro montáž – K88

$$N_{T;Ed} = \frac{M_{Ed}}{r} = \frac{22,7}{0,1317} = 172,36 \text{ kN} \text{ – síla od momentu na nosníku}$$

- posouzení:

$$\frac{N_{T;Ed}}{N_{o;Rd}} + \frac{M_{V;Ed}}{M_{V;Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{172,36}{333,25} + \frac{0,488}{2,258} = 0,733 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vzpěr

$$M_{T;Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{a_o}{4} + N_{T;Ed} \cdot \frac{2 \cdot w_{vier}}{2} \quad (\text{dle 8.3.2 (2) v [14]})$$

$$w_{vier;max} = \frac{a_o}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ mm} \quad (\text{dle 9 (5) v [14]})$$

$$w_{vier;add} = \frac{V_{Ed} \cdot a_o^3}{12 \cdot E \cdot 2 \cdot I_T} \quad (\text{dle 9 (6) v [14]})$$

$$w_{vier;add} = \frac{6,51 \cdot 0,3^3}{12 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 135770 \cdot 10^{-12}} = 0,257 \text{ mm}$$

$$w_{vier} = \max(w_{vier;add}, w_{vier;max}) = \max(0,257; 1,5) = 1,5 \text{ mm}$$

$$M_{T;Ed} = 6,51 \cdot \frac{0,3}{4} + 172,36 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,747 \text{ kNm}$$

- vzpěrná délka:

$$L_{cr;y} = \frac{1}{2} \cdot a_o = \frac{1}{2} \cdot 300 = 150 \text{ mm}$$

- poloměr setrvačnosti (jedné z částí zbytku průřezu):

$$i_y = \sqrt{\frac{I_T}{A_T}} = \sqrt{\frac{135770}{1418,1}} = 9,79 \text{ mm}$$

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr;y}}{i_y} = \frac{150}{9,79} = 15,32$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

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

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{15,32}{93,9} = 0,163$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

- pro vybočení kolmo k ose y-y $\rightarrow \chi_y = 1$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A_T \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 333,25 \text{ kN}$$

- posouzení:

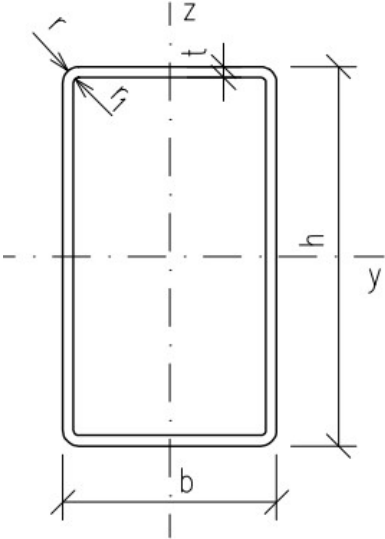
$$M_{o,Rd} = A_T \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \cdot r = 1418,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{235 \cdot 10^3}{1} \cdot 0,1317 = 43,9 \text{ kNm}$$

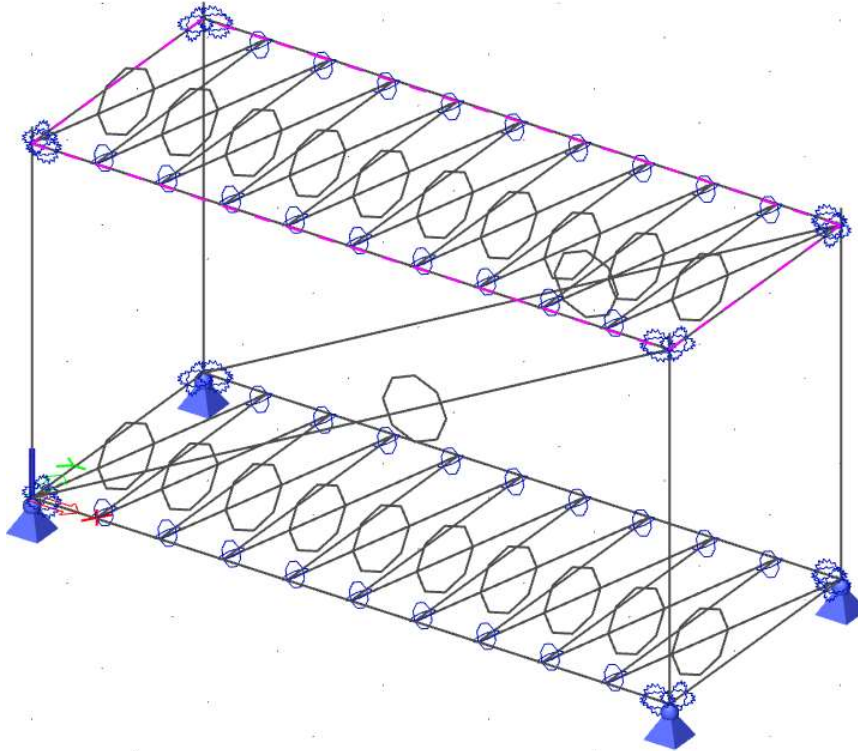
$$\frac{N_{T;Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{0,4 \cdot M_{T;Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,0 \text{ (dle 8.3.2 (2) v [14])}$$

$$\frac{172,36}{333,25} + \frac{0,4 \cdot 0,747}{43,9} = 0,524 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5 Posouzení střešního nosníku

Tab. 6: Průřezové charakteristiky a geometrie střešního nosníku

HRT 160x90x4.5		
$A = 2,150 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$h = 160,00 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 7,681 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$b = 90,00 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 1,366 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$t = 4,50 \text{ mm}$	
$I_y = 7,340 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_y = 58,43 \text{ mm}$	
$I_z = 2,990 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$i_z = 37,29 \text{ mm}$	
$I_w = 9,720 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$	$r = 6,75 \text{ mm}$	
$I_t = 6,720 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$r_1 = 2,25 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 1,130 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 7,530 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 9,170 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 6,640 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		



Obr. 61: Vyznačení střešního nosníku v modelu

6.5.1 MSÚ

Ocelový prvek bude posuzován na tlak se vzpěrem, na ohyb, na šikmý ohyb, na kombinaci tlak + ohyb a na smyk. Uvažujeme, že nosník není náchylný na klopení. Jelikož se jedná o uzavřený profil.

- zařídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina – namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{151}{4,5} \leq 38$$

$$33,56 \leq 38 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 2}$$

pásnice – namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{81}{4,5} \leq 33$$

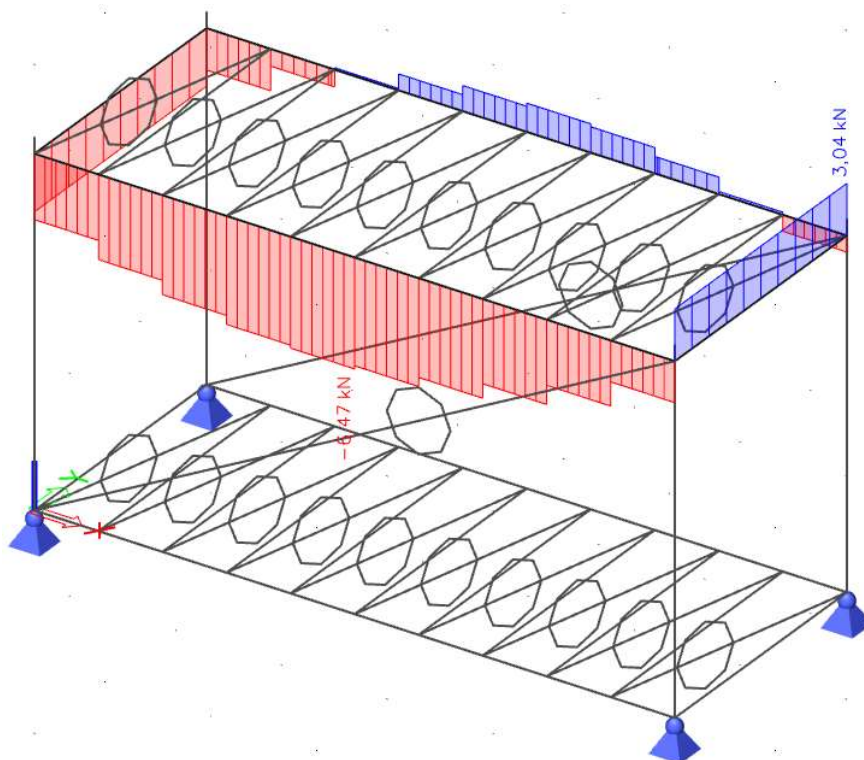
$18 \leq 33 \rightarrow$ vyhovuje – pásnice je třídy 1

Průřez je zaříděn do třídy 2.

Tlak se vzpěrem

- kombinace 70 – min. stálé zatížení + min. sníh + max. příčný vítr

$$N_{Ed} = 6,47 \text{ kN}$$



Obr. 62: Průběh normálové síly na střešním nosníku – K70

- vzpěrné délky:

a) v rovině sloupu $L_{Cr,y} = k_y \cdot L_y = 0,78 \cdot 6,05 \text{ m} = 4,719 \text{ m}$

Součinitel k_y byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině nosníku uvažujeme délku L_y , což je vzdálenost mezi podporami, tj. vzdálenost sloupů, na kterých je nosník uložen.

b) z roviny oblouku $L_{Cr,z} = k_z \cdot L_z = 1 \cdot 0,605 \text{ m} = 0,605 \text{ m}$

Součinitel k_z byl převzat ze softwaru SCIA Engineer, kde byla konstrukce posouzena na vzpěr.

Pro určení vzpěrné délky v rovině sloupu uvažujeme délku sloupu L_z , což je vzdálenost mezi podporami, tj. osová vzdálenost střešních tenkostěnných vaznic.

- štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{Cr,y}}{i_y} = \frac{4719}{58,43} = 80,763$$

$$\lambda_z = \frac{L_{Cr,z}}{i_z} = \frac{605}{37,29} = 16,224$$

- relativní štíhlost:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

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

- poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{80,763}{93,9} = 0,86$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{16,224}{93,9} = 0,173$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

a) pro vybočení kolmo k ose y-y...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_y = 0,694$

b) pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 1,0$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,15 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 505,25 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M0}} \geq N_{Ed}$$

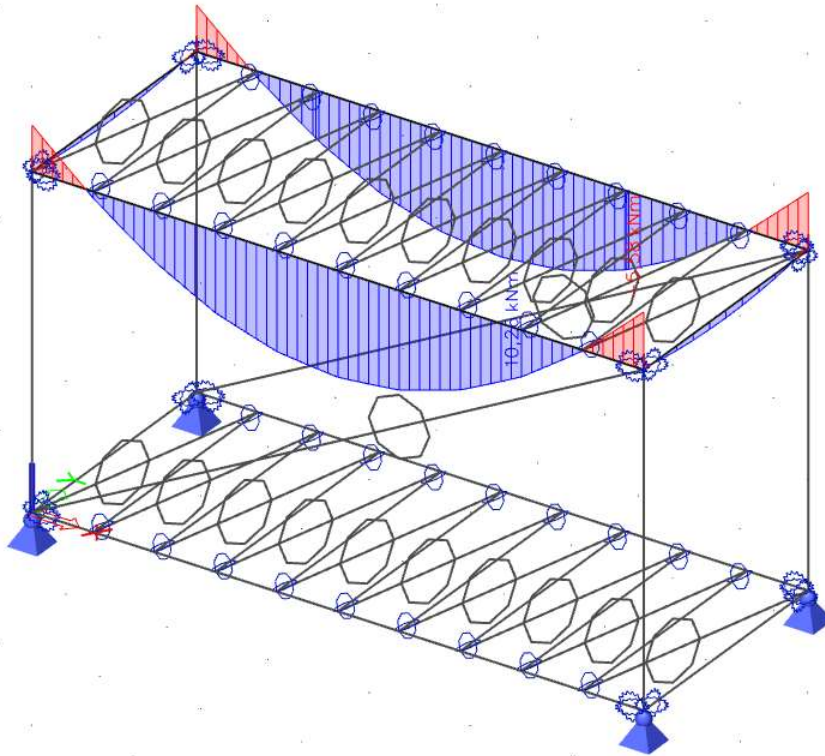
$$N_{Rd} = \frac{0,694 \cdot 505,25}{1} = 350,643 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{6,47}{350,643} = 0,018 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb okolo osy y

- kombinace 42 – min. stálé zatížení + min. podélný vítr + max. sníh

$$M_{Ed,y} = 10,26 \text{ kNm}$$



Obr. 63: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešním nosníku – K42

$$M_{Rd,y} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed,y}$$

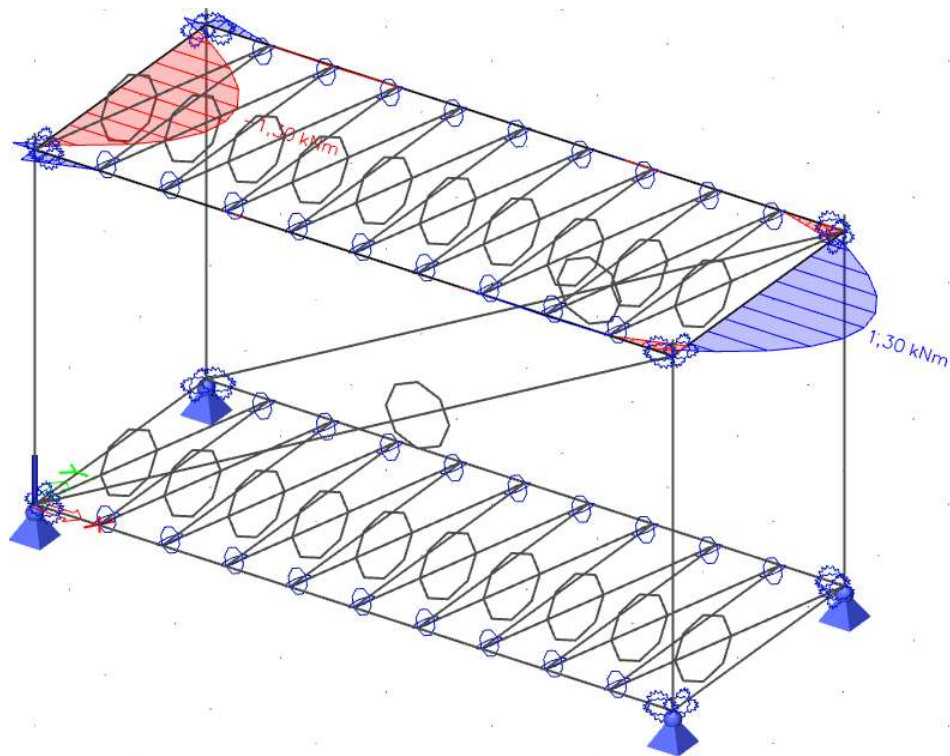
$$M_{Rd,y} = \frac{1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 26,555 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} = \frac{10,26}{26,555} = 0,386 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb okolo osy z

- kombinace 72 – min. stálé zatížení + max. podélný vítr

$$M_{Ed,z} = 1,3 \text{ kNm}$$



Obr. 64: Průběh ohybového momentu okolo osy z na střešním nosníku – K72

$$M_{Rd;z} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed;z}$$

$$M_{Rd;z} = \frac{7,53 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 17,696 \text{ kNm}$$

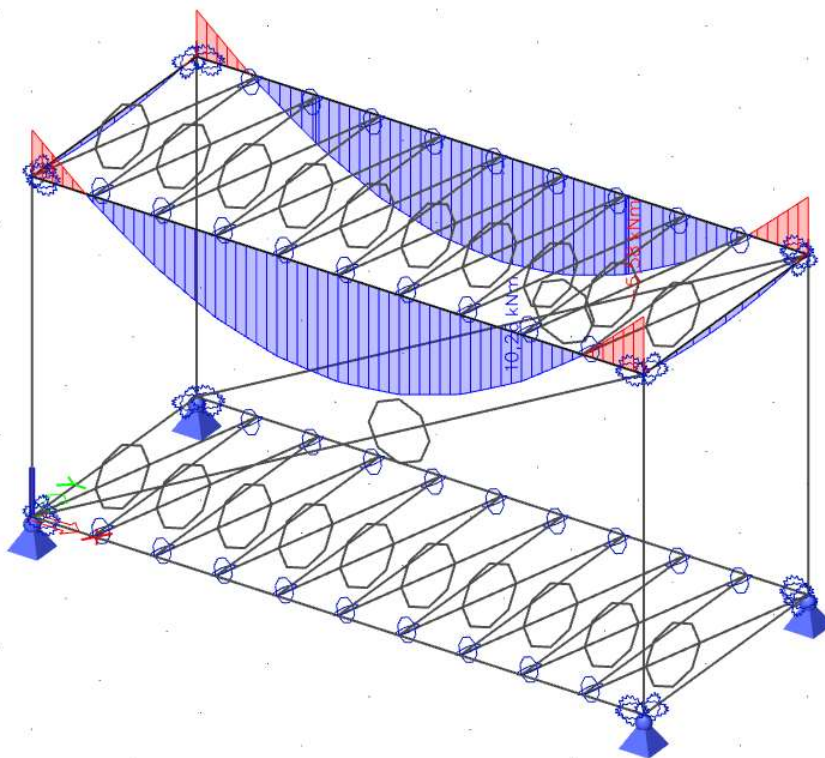
$$\frac{M_{Ed;z}}{M_{Rd;z}} = \frac{1,3}{17,696} = 0,073 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kombinace tlaku a ohybu

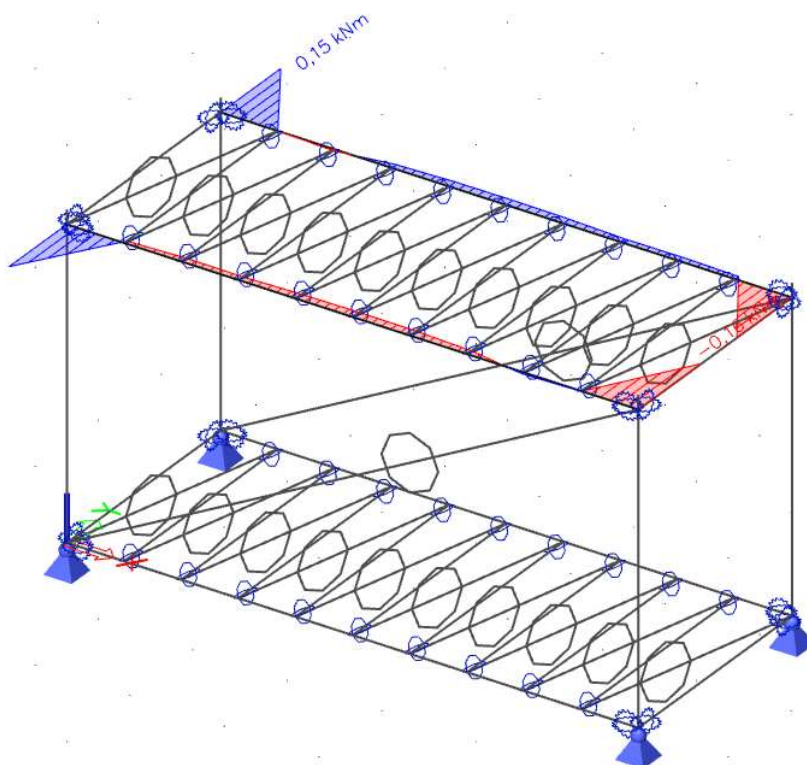
Kombinace tlaku a ohybu je posuzována v místě největšího momentového namáhání okolo osy y s odpovídající normálovou silou.

- kombinace 42 – min. stálé zatížení + min. podélný vítr + max. sníh

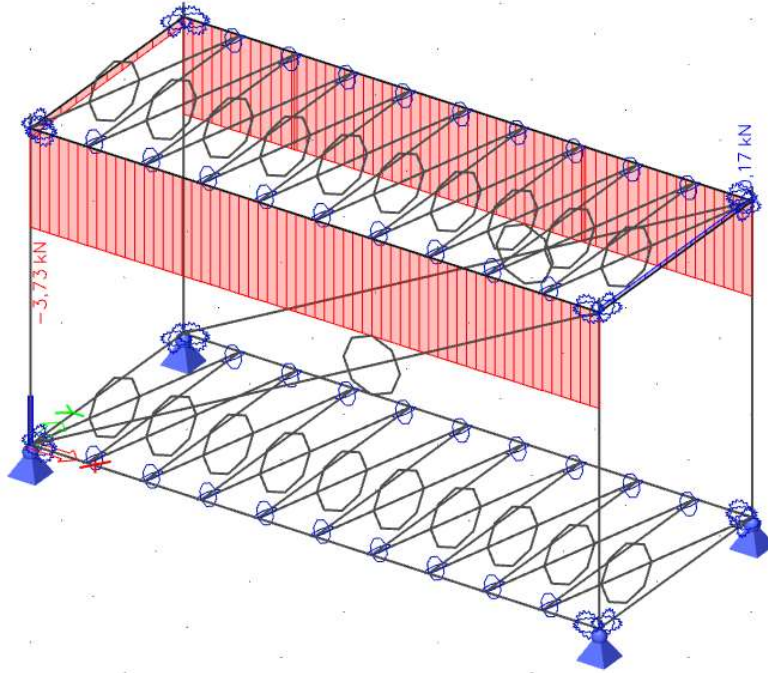
$$M_{Ed,y} = 10,26 \text{ kNm} + M_{Ed;z} = 0,16 \text{ kNm} + N_{Ed} = 3,73 \text{ kN}$$



Obr. 65: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešním nosníku – K42



Obr. 66: Průběh ohybového momentu okolo osy z na střešním nosníku – K42



Obr. 67: Průběh normálové síly na střešním nosníku – K42

- interakce tlaku a ohybu:

Určení součinitele c_{my} a c_{mz} (dle tab. B.3 v [9]):

$$M_s = 10,26 \text{ kNm}, M_h = -5,58 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_h}{M_s} = \frac{-5,58}{10,26} = -0,544$$

$$\Psi = \frac{4,49}{5,58} = 0,805$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,544) = 0,535$$

$$\Psi = 0$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,15 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 505,25 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \\ c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \end{array} \right) \cdot \gamma_{M1}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,535 \cdot \left[1 + (0,86 - 0,2) \cdot \frac{3,73}{\frac{0,694 \cdot 505,25}{1}} \right] \\ 0,535 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{3,73}{\frac{0,694 \cdot 505,25}{1}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} 0,539 \\ 0,540 \end{array} \right) \rightarrow k_{yy} = 0,539$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,539 = 0,323$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} c_{mz} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} 0,6 \cdot \left[1 + (0,173 - 0,2) \cdot \frac{3,73}{\frac{1 \cdot 505,25}{1}} \right] \\ 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{3,73}{\frac{1 \cdot 505,25}{1}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} 0,600 \\ 0,604 \end{array} \right) \rightarrow k_{zz} = 0,600$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,600 = 0,36$$

- posouzení:

$$M_{Rk;y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 26,555 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk;z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 7,53 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3 = 17,696 \text{ kNm}$$

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

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

$$\frac{3,73}{\frac{0,694 \cdot 505,25}{1}} + 0,539 \cdot \frac{10,26}{\frac{1 \cdot 26,5555}{1}} + 0,36 \cdot \frac{0,16}{\frac{1 \cdot 17,696}{1}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,73}{1 \cdot 505,25} + 0,323 \cdot \frac{10,26}{1 \cdot 26,555} + 0,6 \cdot \frac{0,16}{1 \cdot 17,696} \leq 1,0$$

$$0,244 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$0,153 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

A zároveň šikmý ohyb:

$$n = \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot N_{Rk}} = \frac{3,73}{1 \cdot 505,25} = 0,007$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t}{A} = \frac{2,15 \cdot 10^3 - 2 \cdot 160 \cdot 4,5}{2,15 \cdot 10^3} = 0,33$$

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{2,15 \cdot 10^3 - 2 \cdot 90 \cdot 4,5}{2,15 \cdot 10^3} = 0,623$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{M_{Rk;y}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} \leq M_{Rd;y}$$

$$M_{N;Rd;y} = \frac{26,555}{1} \cdot \frac{1 - 0,007}{1 - 0,5 \cdot 0,33} \leq 26,555 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;y} = 31,571 \text{ kNm} \leq 26,555 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;y} = 26,555 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{M_{Rk;z}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_f} \leq M_{Rd;z}$$

$$M_{N;Rd;z} = \frac{17,696}{1} \cdot \frac{1 - 0,007}{1 - 0,5 \cdot 0,623} \leq 17,696 \text{ kNm}$$

$$M_{N;Rd;z} = 25,516 \text{ kNm} \leq 17,696 \text{ kNm} \rightarrow M_{N;Rd;z} = 17,696 \text{ kNm}$$

$$\alpha = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,007^2} = 1,66$$

$$\beta = \alpha = 1,66$$

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

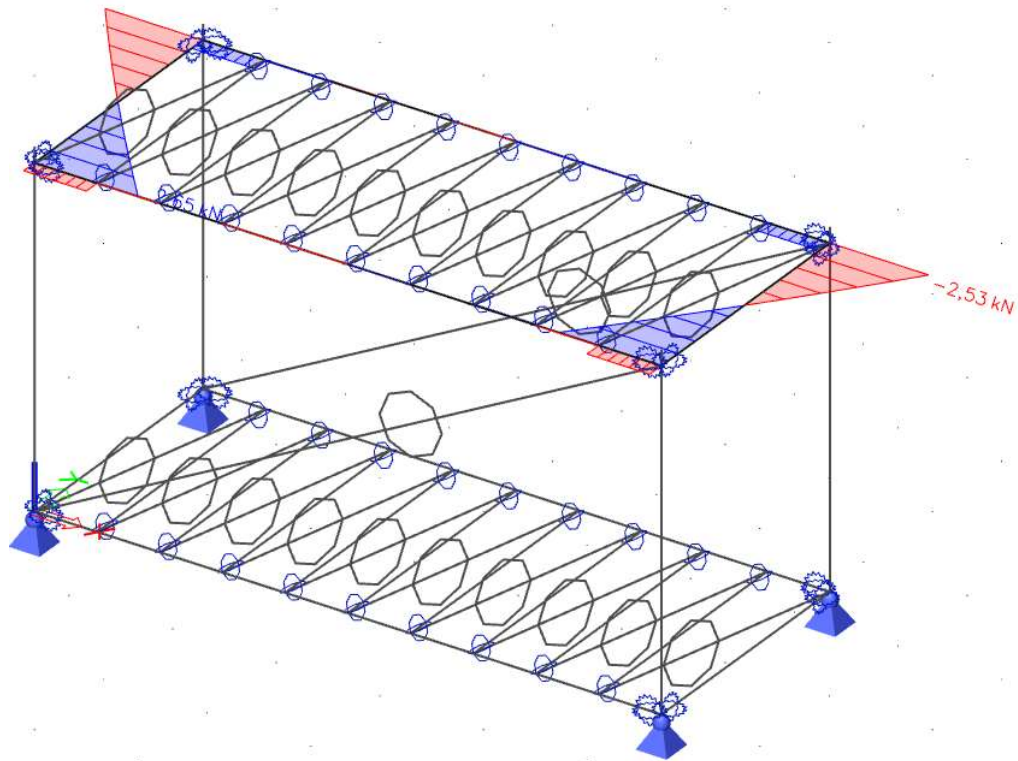
$$\left(\frac{10,26}{26,555} \right)^{1,66} + \left(\frac{0,16}{17,696} \right)^{1,66} \leq 1,0$$

$$0,207 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose y

- kombinace 68 – min. stálé zatížení + min. sních + min. užité zatížení + max. podélný vítr

$$V_{Ed;y} = 2,53 \text{ kN}$$



Obr. 68: Průběh posouvající síly v ose y na střešním nosníku – K68

$$V_{pl,Rd;y} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;y}$$

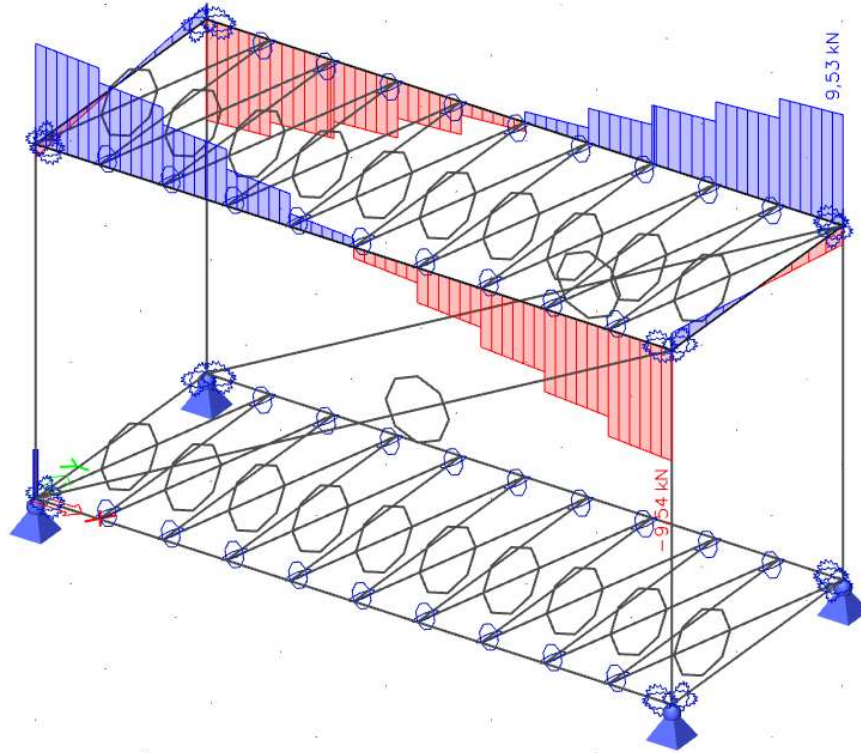
$$V_{pl,Rd;y} = \frac{7,681 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 104,21 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed;y}}{V_{pl,Rd;y}} = \frac{2,53}{104,21} = 0,024 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk v ose z

- kombinace 46 - min. stálé zatížení + min. užité zatížení + min. podélný vítr + max. sněh

$$V_{Ed;z} = 9,54 \text{ kN}$$



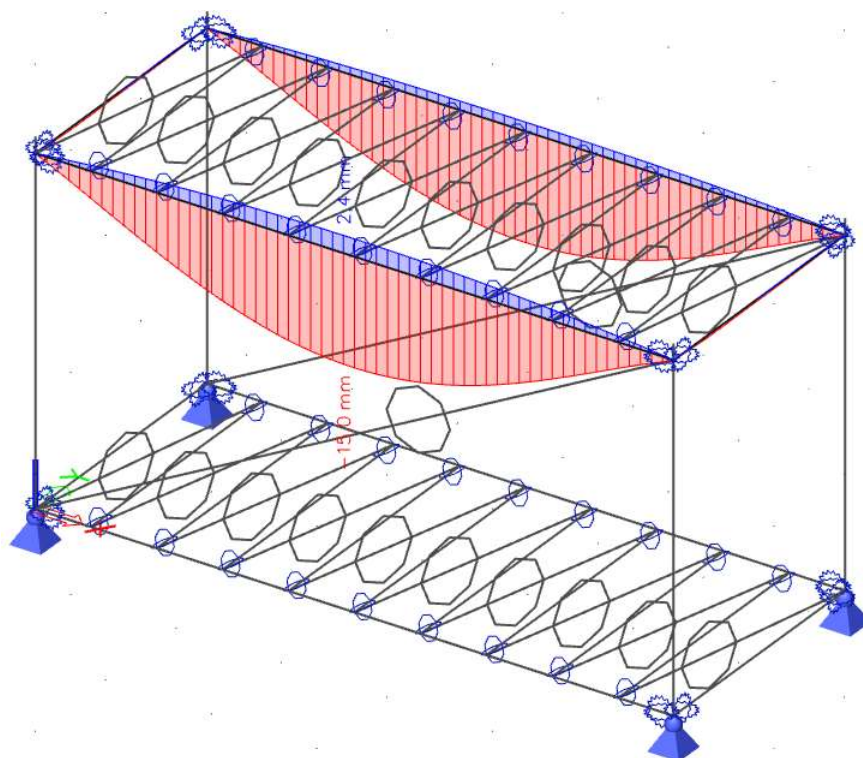
Obr. 69: Průběh posouvající síly v ose z na střešním nosníku – K46

$$V_{pl,Rd;z} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed;z}$$

$$V_{pl,Rd;z} = \frac{1,366 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 185,34 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed;z}}{V_{pl,Rd;z}} = \frac{9,54}{185,34} = 0,051 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5.2 MSP



Obr. 70: Svislý průhyb na střešním nosníku

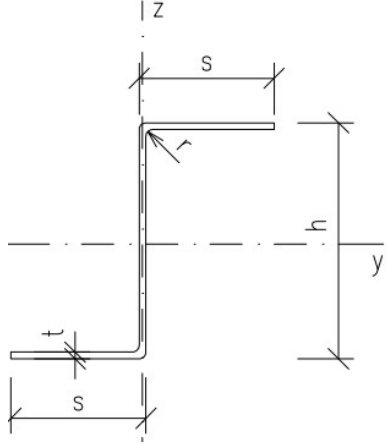
$$\delta_z \leq \delta_{z,lim} = \frac{L}{250}$$

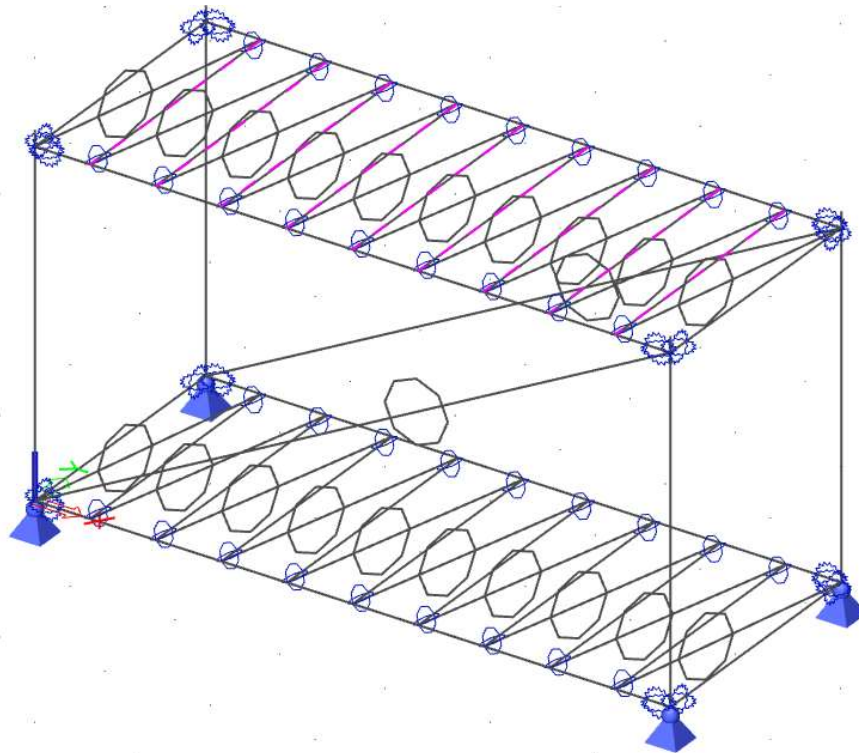
$$15 \text{ mm} \leq \frac{6050}{250} = 24,2 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník o profilu HRT 160x90x4,5 mm vyhovuje.

6.6 Posouzení tenkostěnné střešní vaznice

Tab. 7: Průřezové charakteristiky a geometrie střešní vaznice

za studena tvářený Z profil		
$A = 2,920 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$h = 70 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 2,520 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$s = 40 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 1,985 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$t = 2 \text{ mm}$	
$I_y = 2,327 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 28,23 \text{ mm}$	
$I_z = 7,914 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$i_z = 16,46 \text{ mm}$	
$I_w = 5,450 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$r = 2 \text{ mm}$	
$I_t = 3,948 \cdot 10^2 \text{ mm}^4$		
$W_{pl,y} = 8,170 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 2,418 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 5,836 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 1,353 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		



Obr. 71: Znáornění střešní vaznice v modelu

6.6.1 MSÚ

Střešní vaznice bude posuzována na ohyb, na tlak, kombinaci ohybu + tlaku a na smyk.

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{66}{2} \leq 38 \cdot 0,916$$

$$33 \leq 34,813 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 2}$$

pásnice - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 14 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{38}{2} \leq 14 \cdot 0,916$$

$$19 \leq 12,826 \rightarrow \text{nevyhovuje} - \text{pásnice je třídy 4}$$

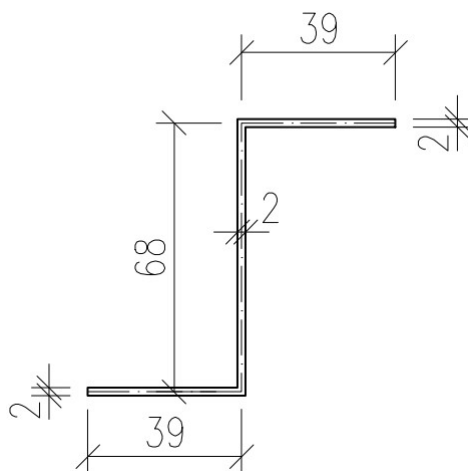
Průřez je zatříděn do třídy 4.

- vliv zaoblení: (dle 5.1 (3) v [12])

$$r = 2 \text{ mm} \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$r = 2 \text{ mm} \leq 0,1 \cdot b_p = 0,1 \cdot 39 = 3,9 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zaoblení lze zanedbat.



Obr. 72: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení

- smykové ochabnutí pásnic: (dle 3.1 (1) v [11])

$$\frac{L_e}{50} = \frac{2440}{50} = 48,8 \text{ mm} > b_0 = 38 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smykové ochabnutí pásnice neuvažujeme.

Boulení pásnice namáhané tlakem

$\psi = 1, k_\sigma = 0,43 \rightarrow$ přečnívající tlačené části (dle tab. 4.2 v [11])

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{s}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{39}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,143$$

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

$$\rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,143 - 0,188}{1,143^2} = 0,731 \text{ (dle 4.4 (2) v [11])}$$

$$s_{eff} = \rho \cdot s = 0,731 \cdot 39 = 28,51 \text{ mm}$$

Boulení stojiny namáhané tlakem

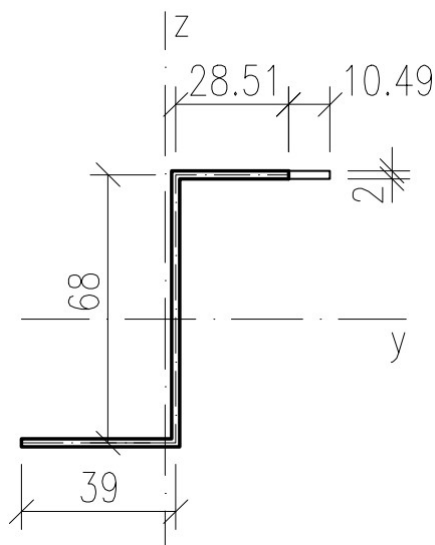
$\psi = 1, k_\sigma = 4 \rightarrow$ vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{68}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{4}} = 0,653$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$$

$\rightarrow \rho = 1$ (dle 4.4 (2) v [11])

$$h_{eff} = \rho \cdot h = 1 \cdot 68 = 68 \text{ mm}$$



Obr. 73: Účinný průřez Z profilu v tlaku

Boulení stojiny namáhané ohybem

$$b_t = 32,368 \text{ mm}, b_c = 37,632 \text{ mm}$$

$$\psi = \frac{b_t}{-b_c} = \frac{32,368}{-37,632} = -0,86$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,86) + 9,78 \cdot (-0,86)^2$$

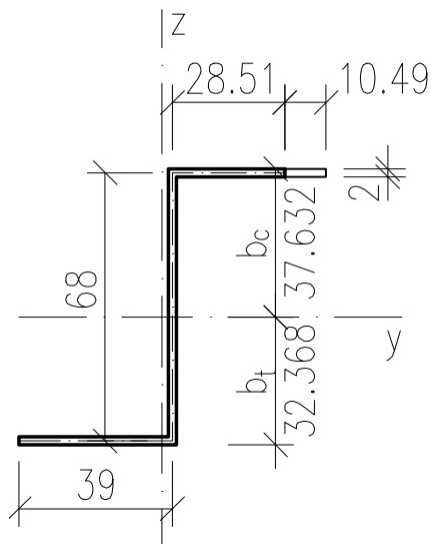
$$k_\sigma = 20,455 \rightarrow \text{vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{66}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{20,455}} = 0,29$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot (-0,86)} = 0,864$$

$$\rightarrow \rho = 1 \text{ (dle 4.4 (2) v [11])}$$

$$h_{eff} = \rho \cdot \frac{h}{1 - \psi} = 1 \cdot \frac{68}{1 - (-0,86)} = 36,557 \text{ mm}$$

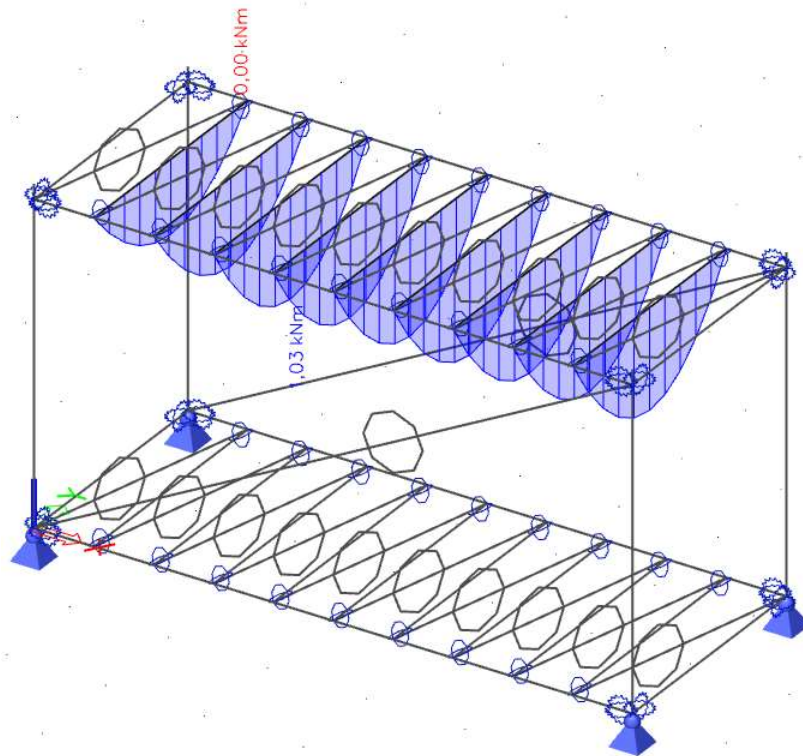


Obr. 74: Účinný průřez Z profilu za ohybu

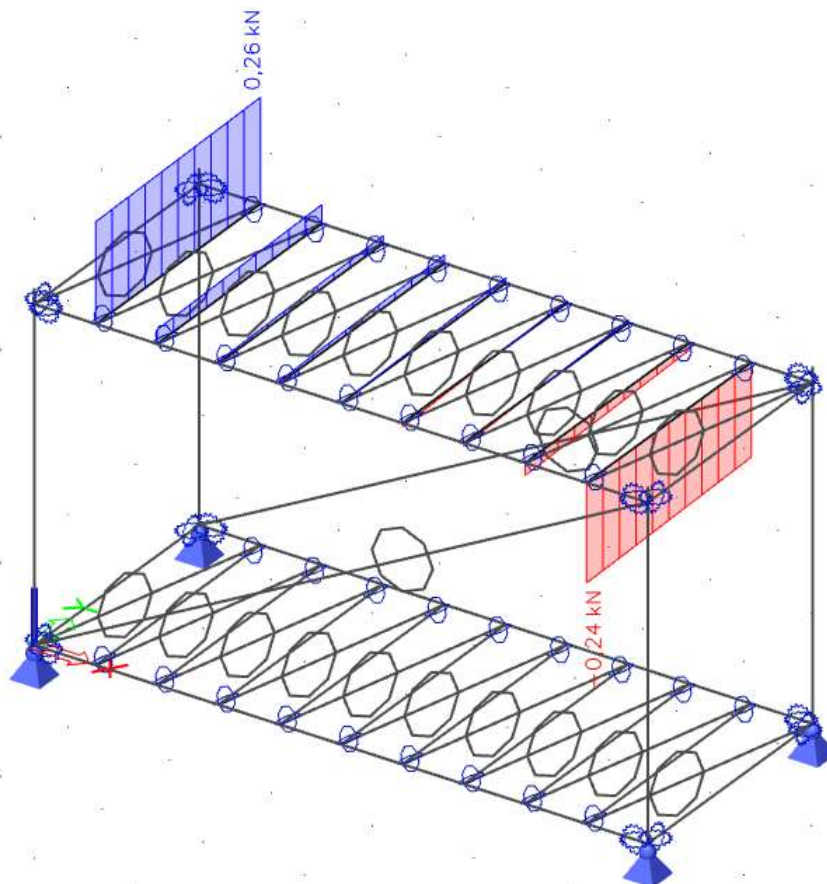
Ohyb

- kombinace 42 – max. sníh + min. podélný vítr

$$M_{Ed} = 1,03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Obr. 75: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešní vaznici – K42



Obr. 76: Průběh normálové síly na střešní vaznici – K42

$$I_{eff} = 206560 \text{ mm}^4, e = h_{eff} + t = 36,557 + 2 = 38,557 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{206560}{38,557} = 5357 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = W_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 5357 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{280 \cdot 10^3}{1} = 1,5 \text{ kNm}$$

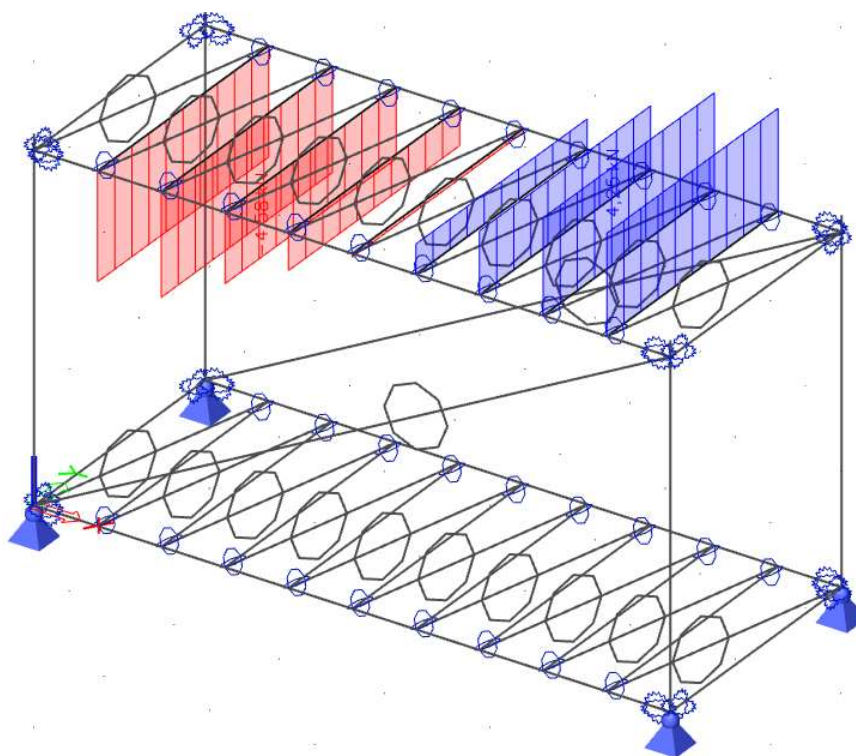
- posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,03}{1,5} = 0,687 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

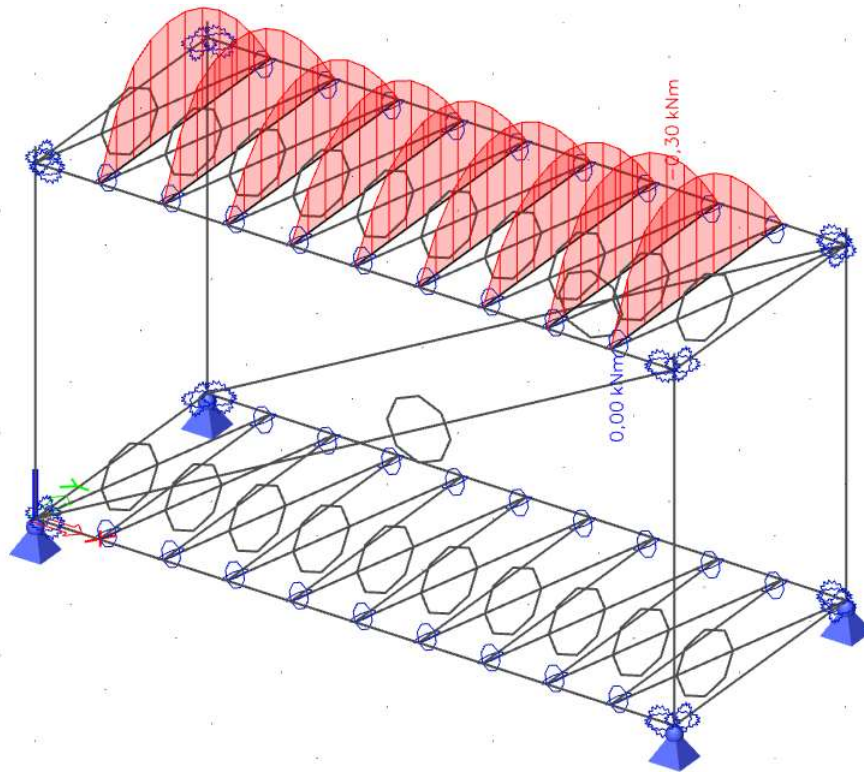
Tlak

- kombinace 73 – max. příčný vítr + min. vlastní tíha + min. ostatní stálé zatížení

$$N_{Ed} = 4,58 \text{ kN} \text{ – kombinace 73}$$



Obr. 77: Průběh normálové síly na střešní vaznici – K73



Obr. 78: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešní vaznici – K73

$$A = 292 \text{ mm}^2, A_{eff} = 271,02 \text{ mm}^2$$

$$L_{cr;z} = L = 2440 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr;z}}{i_z} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \frac{2440}{16,46} \cdot \sqrt{\frac{271,02}{292}} = 142,79$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,916 = 86,024$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{142,79}{86,024} = 1,66$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,268$

$$N_{Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,268 \cdot 271,02 \cdot 10^{-6} \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 20,337 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{4,65}{20,337} = 0,23 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb + tlak

a) kombinace 73

$$N_{Ed} = 4,58 \text{ kN}, M_{Ed} = 0,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{4,58}{20,337}\right)^{0,8} + \left(\frac{0,3}{1,5}\right)^{0,8} = 0,58 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) kombinace 42

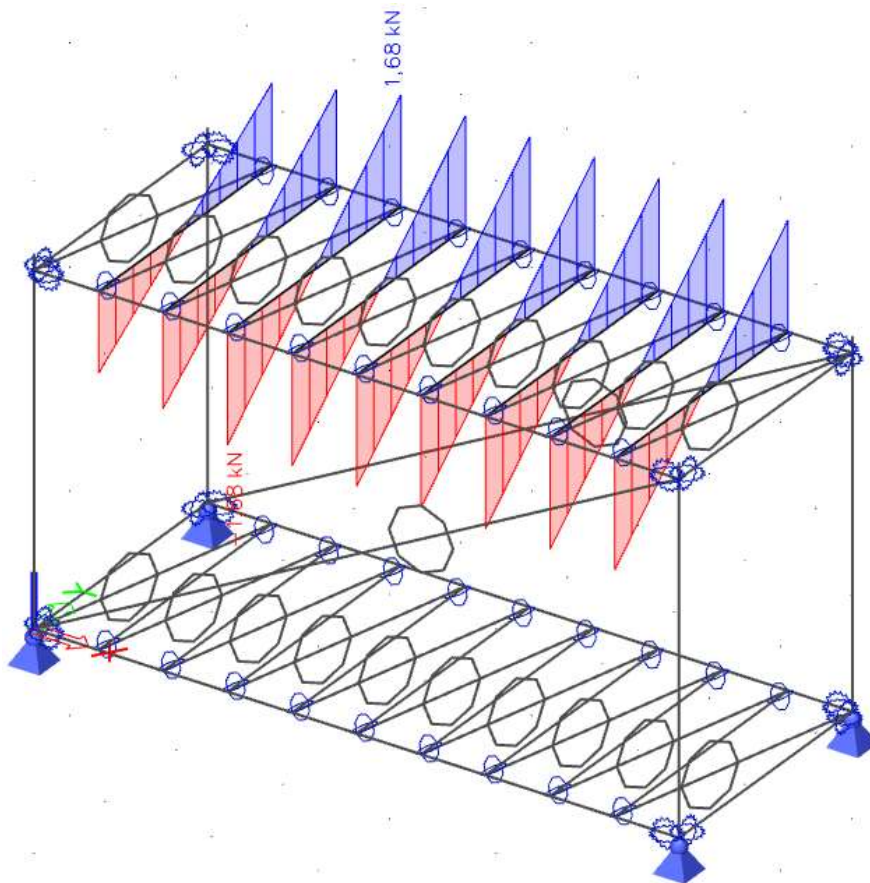
$$N_{Ed} = 0,26 \text{ kN}, M_{Ed} = 1,03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{0,26}{20,337}\right)^{0,8} + \left(\frac{1,03}{1,5}\right)^{0,8} = 0,77 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

- kombinace 42 - max. sníh + min. podélný vítr

$$V_{Ed} = 1,68 \text{ kN}$$



Obr. 79: Průběh posouvající síly v ose z na střešní vaznici – K42

$$\eta = 1,2 \text{ – pro oceli do S420}$$

$$\frac{h_w}{t} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \text{ (dle 5.1 (2) v [11])}$$

$$\frac{66}{2} = 33 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,916 = 54,96 \rightarrow \text{nedochází k boulení ve smyku}$$

$$\phi = 90^\circ, s_w = 68 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,346 \cdot \frac{68}{2} \cdot \sqrt{\frac{280}{210 \cdot 10^3}} = 0,43 \text{ (dle 6.1.5 (2) v [12])}$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_y = 0,58 \cdot 280 = 162,4 \text{ MPa (dle tab. 6.1 v [12])}$$

$$V_{b;Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin(\phi)} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{0,066}{\sin(90^\circ)} \cdot 0,002 \cdot 162,4 \cdot 10^3}{1} = 21,437 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b;Rd}} = \frac{1,68}{21,437} = 0,078 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \leq \frac{V_{b;Rd}}{2} = \frac{21,437}{2} = 10,719 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Neuvažujeme interakci ohybového a smykového namáhání.

Borcení stojiny pod osamělou silou

$$Q_k = 1 \text{ kN} - \text{bodové užité zatížení kat. H (dle tab. 6.10 v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ kN}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$k_4 = 1,22 - 0,22 \cdot k = 1,22 - 0,22 \cdot 1,228 = 0,95$$

$$k_5 = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{r}{t} = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{2}{2} = 1$$

$$h_w = 68 \text{ mm}, s_s = 40 \text{ mm}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \left(14,7 - \frac{h_w}{t \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ (dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot \left(14,7 - \frac{68}{2 \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{40}{2}\right) \cdot 2^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 16,994 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{1,5}{16,994} = 0,088 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot Q_d \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 1,5 \cdot 2,44 = 0,915 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,915}{1,5} = 0,61 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{0,915}{1,5} + \frac{1,5}{16,994} = 0,681 < 1,25 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Borcení stojiny v uložení

Tab. 8: Výpočet zatížení na střešní vaznici v uložení

Strop tenkostěnný profil Z	plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení	
	charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové
počet prvků:	1	[kN/m ²]		[kN/m ²]	-	[kN/m]
skladba střechy	0,26	1,35	0,35	0,605	0,157	0,212
sníh	1,20	1,5	1,80	0,605	0,726	1,089
Σ CELKEM					0,883	1,301

$$Q_{celk;stř} = 1,301 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - \text{liniové zatížení od stálého a proměnného zatížení}$$

$$R_1 = Q_{celk;stř} \cdot \frac{L}{2} = 1,301 \cdot \frac{2,44}{2} = 1,588 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$Q_k = 1 \text{ kN} - \text{bodové užité zatížení kat. H (dle tab. 6.10 v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ kN}$$

$$R_2 = \frac{Q_d}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_1 = 1,33 - 0,33 \cdot k = 1,33 - 0,33 \cdot 1,228 = 0,925$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{r}{t} = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{2}{2} = 1$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$h_w = 68 \text{ mm}, s_s = 40 \text{ mm}$$

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \left(5,92 - \frac{h_w}{t \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{0,925 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(5,92 - \frac{68}{2 \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{40}{2}\right) \cdot 2^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 7,038 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{\max(R_1; R_2)}{R_{w;Rd}} = \frac{\max(1,558; 1,5)}{7,038} = \frac{1,588}{7,038} = 0,226 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.6.2 MSP

Tab. 9: Výpočet zatížení na střešní vaznici pro posudek MSP

Strop tenkostěnný profil Z		plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení	
		charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové
počet prvků:	1	[kN/m ²]		[kN/m ²]	-	[kN/m]	
skladba střechy		0,26	1,0	0,26	0,605	0,157	0,157
vlastní tíha profilu		/	1,0	/	/	0,023	0,023
sníh		1,20	1,0	1,20	0,605	0,726	0,726
Σ STÁLÉ						0,180	0,180
Σ PROMĚNNÉ						0,726	0,726
Σ CELKEM						0,906	0,906

$$\delta_z \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250}$$

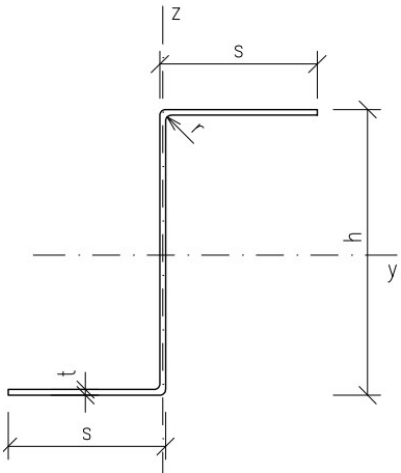
$$\delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{k;celk} \cdot L^4}{E \cdot I_{eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,906 \cdot 2440^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 206560} = 9,64 \text{ mm}$$

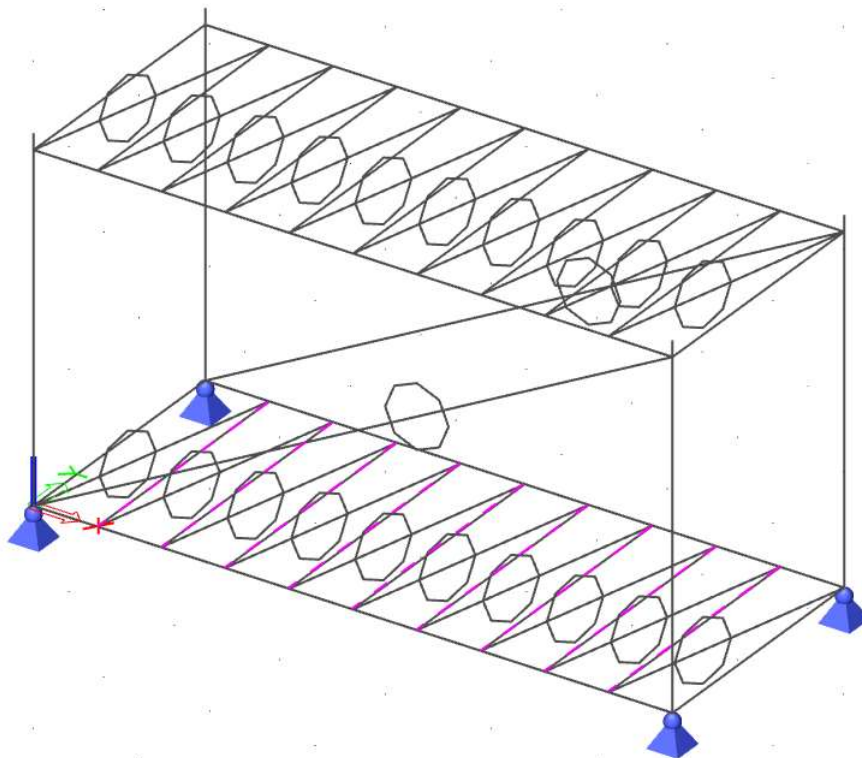
$$9,64 \text{ mm} \leq \frac{2440}{250} = 9,76 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený tenkostěnný Z profil vyhovuje.

6.7 Posouzení tenkostěnné podlahové vaznice

Tab. 10: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahové vaznice

za studena tvářený Z profil		
$A = 4,120 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$h = 100 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 3,577 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$s = 55 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 2,787 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$t = 2 \text{ mm}$	
$I_y = 6,754 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 40,49 \text{ mm}$	
$I_z = 2,100 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_z = 22,58 \text{ mm}$	
$I_w = 3,050 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$	$r = 2 \text{ mm}$	
$I_t = 5,514 \cdot 10^2 \text{ mm}^4$		
$W_{pl,y} = 1,640 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 4,744 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 1,187 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 2,633 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		



Obr. 80: Znárodnění podlahové vaznici v modelu

6.7.1 MSÚ

Střešní vaznice bude posuzována na ohyb, na tlak, kombinaci ohybu + tlaku a na smyk.

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{96}{2} \leq 42 \cdot 0,916$$

$$48 \leq 38,472 \rightarrow \text{nevyhovuje} - \text{stojina je třídy 4}$$

pásnice - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 14 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{53}{2} \leq 14 \cdot 0,916$$

$$26,5 \leq 12,826 \rightarrow \text{nevyhovuje} - \text{pásnice je třídy 4}$$

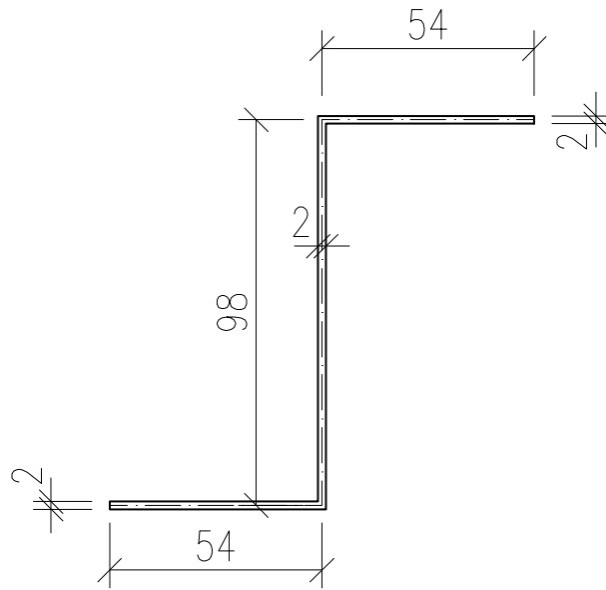
Průřez je zatříděn do třídy 4.

- vliv zaoblení: (dle 5.1 (3) v [12])

$$r = 2 \text{ mm} \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$r = 2 \text{ mm} \leq 0,1 \cdot b_p = 0,1 \cdot 54 = 5,4 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zaoblení lze zanedbat.



Obr. 81: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení

- smykové ochabnutí pásnic: (dle 3.1 (1) v [11])

$$\frac{L_e}{50} = \frac{2440}{50} = 48,8 \text{ mm} > b_0 = 53 \text{ mm} \rightarrow \text{smykové ochabnutí nelze zanedbat}$$

$A_{sl} = 0 \text{ mm}^2$ – plocha podélných výztuh

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

$$\kappa = \alpha_0 \cdot \frac{b_0}{L_e} = 1 \cdot \frac{53}{2440} = 0,022$$

$$\text{pro } 0,02 < \kappa < 0,7 \rightarrow \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,022^2} = 0,997$$

Boulení pásnice namáhané tlakem

$\psi = 1, k_\sigma = 0,43 \rightarrow$ přechínající tlačené části (dle tab. 4.2 v [11])

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{s}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{54}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{0,43}} = 1,583$$

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

$$\rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,583 - 0,188}{1,583^2} = 0,557 \text{ (dle 4.4 (2) v [11])}$$

$$s_{eff} = \beta_1 \cdot \rho \cdot s = 0,997 \cdot 0,557 \cdot 54 = 29,98 \text{ mm}$$

Boulení stojiny namáhané tlakem

$\psi = 1, k_\sigma = 4 \rightarrow$ vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])

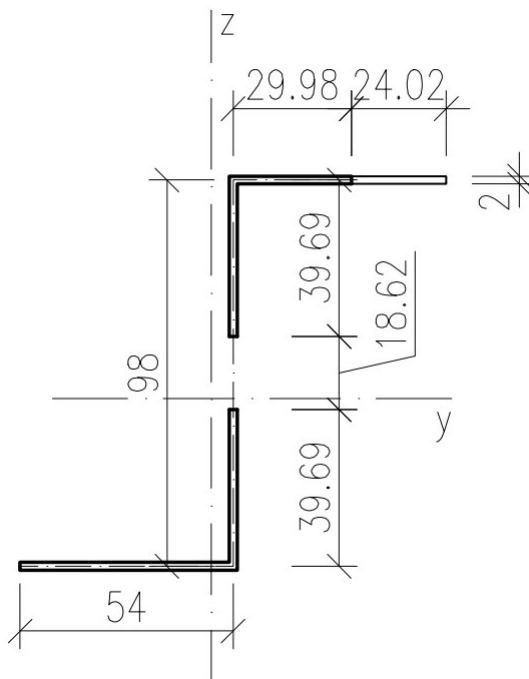
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{98}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{4}} = 0,942$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$$

$$\rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad (\text{dle 4.4 (2) v [11]})$$

$$\rho = \frac{0,942 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,942^2} = 0,81$$

$$h_{eff} = \rho \cdot h = 0,81 \cdot 98 = 79,38 \text{ mm}$$



Obr. 82: Účinný průřez Z profilu v tlaku

Boulení stojiny namáhané ohybem

$$b_t = 43,532 \text{ mm}, b_c = 56,468 \text{ mm}$$

$$\psi = \frac{b_t}{-b_c} = \frac{43,532}{-56,468} = -0,77$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,77) + 9,78 \cdot (-0,77)^2$$

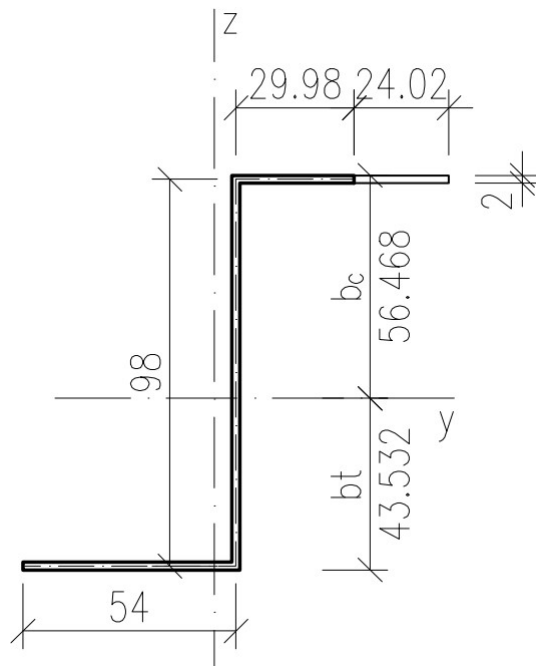
$$k_\sigma = 18,454 \rightarrow \text{vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{98}{2}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{18,454}} = 0,438$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot (-0,77)} = 0,857$$

→ $\rho = 1$ (dle 4.4 (2) v [11])

$$h_{eff} = \rho \cdot \frac{h}{1 - \psi} = 1 \cdot \frac{98}{1 - (-0,77)} = 55,364 \text{ mm}$$

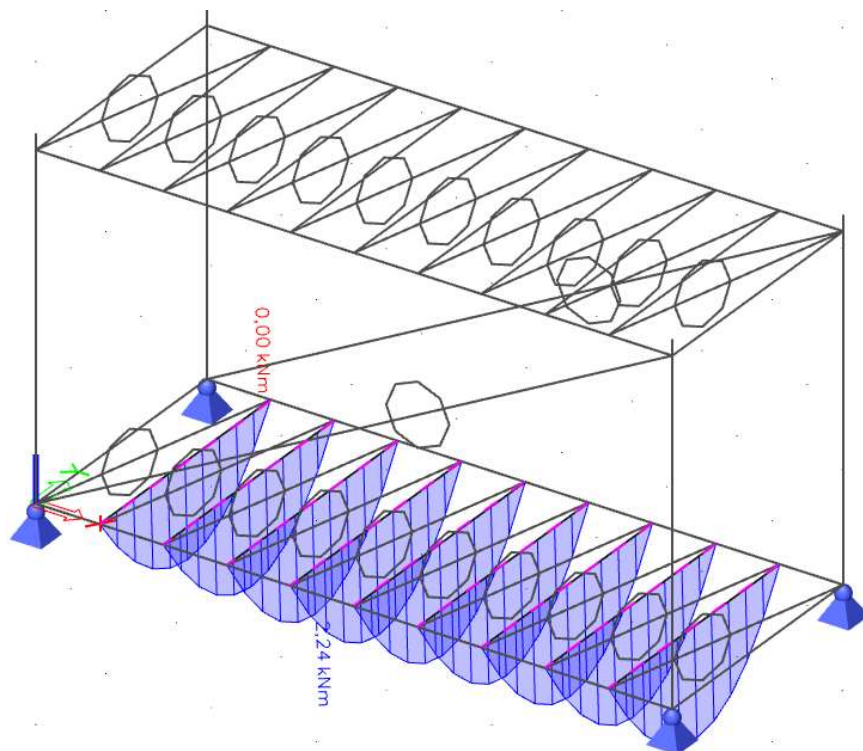


Obr. 83: Účinný průřez Z profilu za ohybu

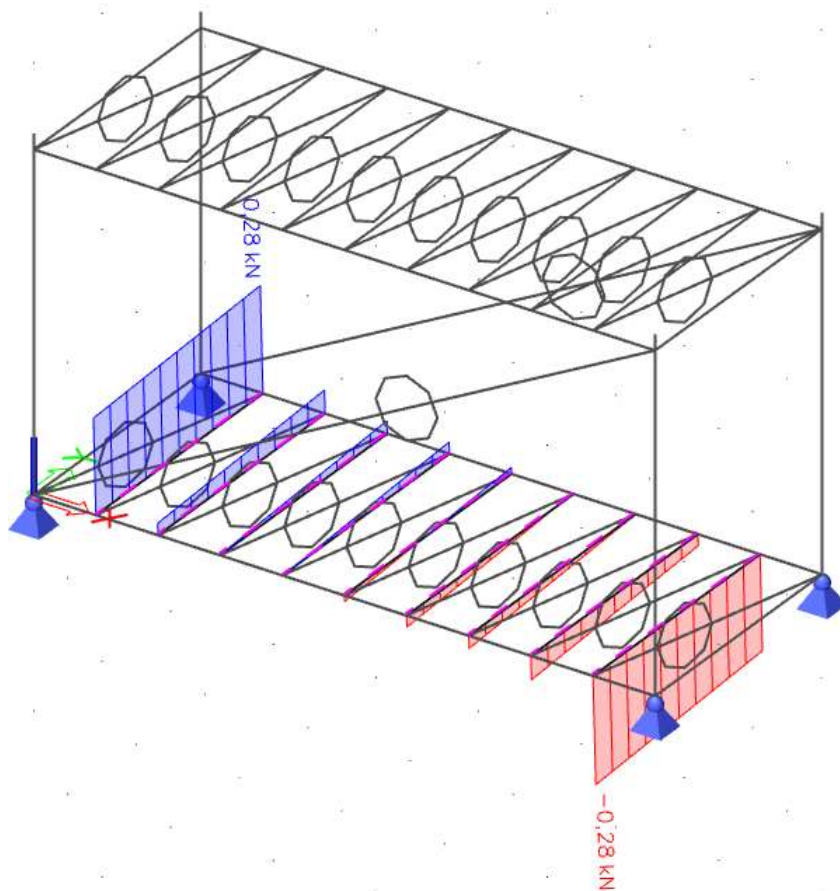
Ohyb

- kombinace 88 – min. podélný vítr + max. užité zátížení

$$M_{Ed} = 2,24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Obr. 84: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K88



Obr. 85: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K88

$$I_{eff} = 545150 \text{ mm}^4, e = h_{eff} + t = 55,364 + 2 = 57,364 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{545150}{57,364} = 9503 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = W_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 9503 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{280 \cdot 10^3}{1} = 2,661 \text{ kNm}$$

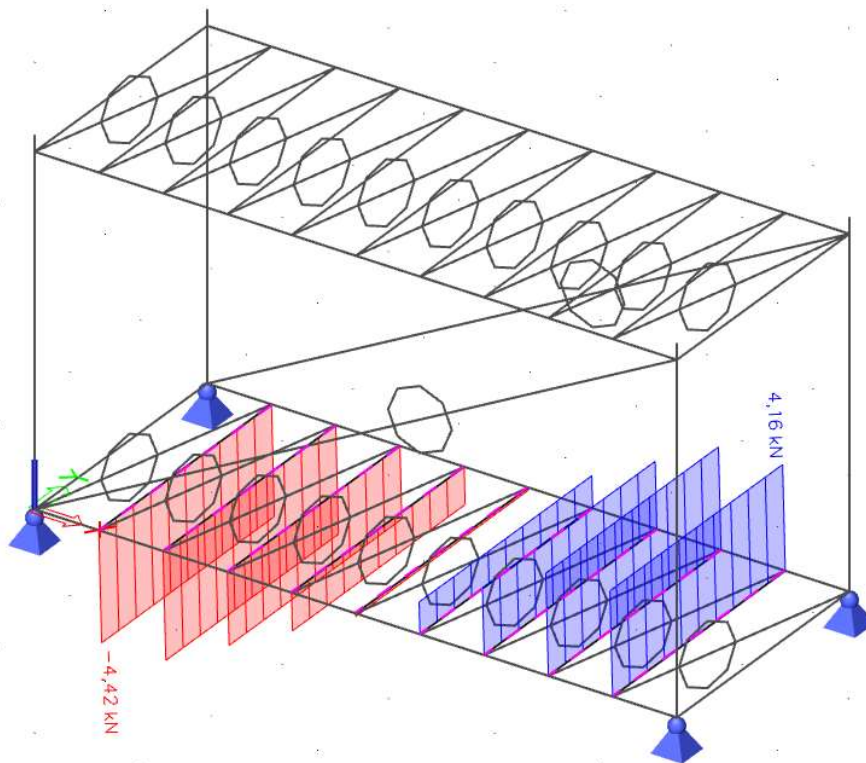
- posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{2,24}{2,661} = 0,842 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

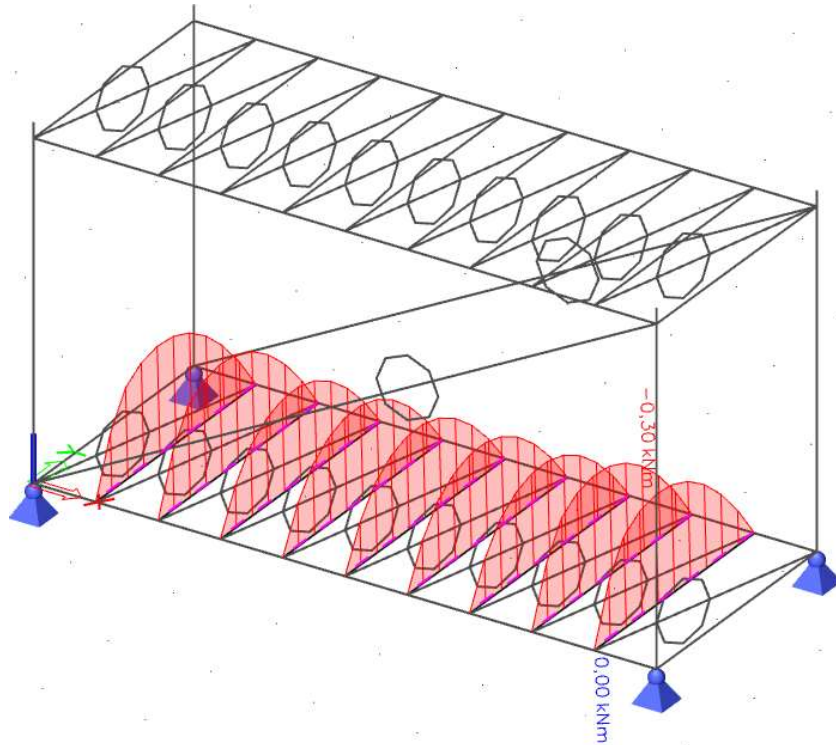
Tlak

- kombinace 73 – max. příčný vítr + min. vlastní tíha + min. ostatní stálé zatížení

$$N_{Ed} = 4,42 \text{ kN}$$



Obr. 86: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K73



Obr. 87: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K73

$$A = 412 \text{ mm}^2, A_{eff} = 326,72 \text{ mm}^2$$

$$L_{cr;z} = L = 2440 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr;z}}{i_z} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \frac{2440}{22,58} \cdot \sqrt{\frac{326,72}{412}} = 96,23$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,916 = 86,024$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{96,23}{86,024} = 1,12$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $c \rightarrow \chi_z = 0,474$

$$N_{Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,474 \cdot 326,72 \cdot 10^{-6} \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 43,362 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{4,42}{43,362} = 0,102 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb + tlak

a) kombinace 73

$$N_{Ed} = 4,42 \text{ kN}, M_{Ed} = 0,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{4,42}{43,362}\right)^{0,8} + \left(\frac{0,3}{2,661}\right)^{0,8} = 0,34 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) kombinace 88

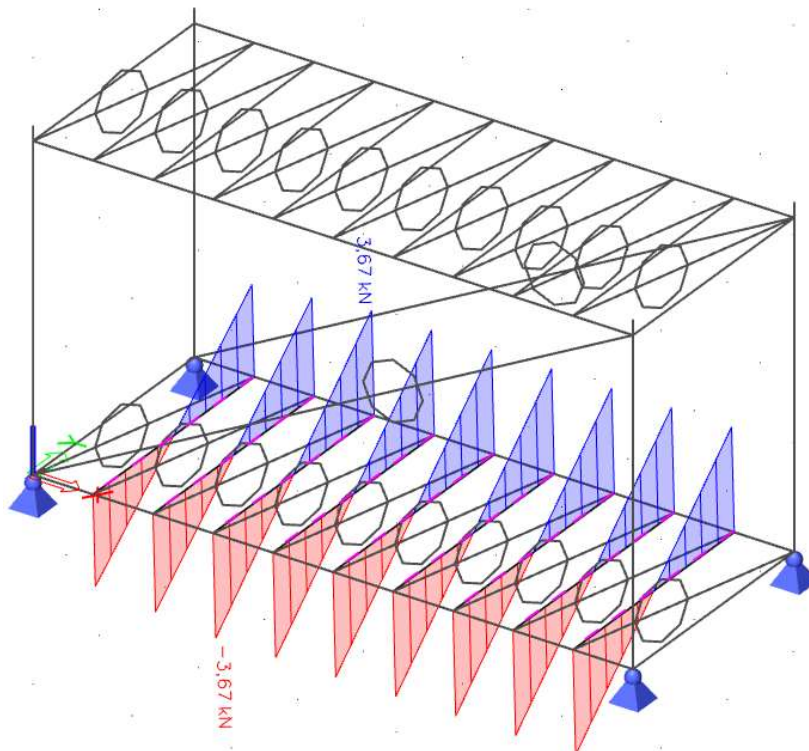
$$N_{Ed} = 0,28 \text{ kN}, M_{Ed} = 2,24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{0,28}{43,362}\right)^{0,8} + \left(\frac{2,24}{2,661}\right)^{0,8} = 0,89 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

- kombinace 88 - min. podélný vítr + max. užité zátížení

$$V_{Ed} = 3,67 \text{ kN}$$



Obr. 88: Průběh posouvající síly v ose z na podlahové vaznici – K88

$\eta = 1,2$ – pro oceli do S420

$$\frac{h_w}{t} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \text{ (dle 5.1 (2) v [11])}$$

$$\frac{96}{2} = 48 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,916 = 54,96 \rightarrow \text{nedochází k boulení ve smyku}$$

$$\phi = 90^\circ, s_w = 98 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,346 \cdot \frac{98}{2} \cdot \sqrt{\frac{280}{210 \cdot 10^3}} = 0,619 \text{ (dle 6.1.5 (2) v [12])}$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_y = 0,58 \cdot 280 = 162,4 \text{ MPa (dle tab. 6.1 v [12])}$$

$$V_{b;Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin(\phi)} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,096}{\sin(90^\circ)} \cdot 0,002 \cdot 162,4 \cdot 10^3}{1} = 31,181 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b;Rd}} = \frac{3,67}{31,181} = 0,118 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{Ed} = 3,67 \text{ kN} \leq \frac{V_{b;Rd}}{2} = \frac{31,181}{2} = 15,591 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Neuvažujeme interakci ohybového a smykového namáhání.

Borcení stojiny pod osamělou silou

$$Q_k = 4,5 \text{ kN} - \text{bodové užité zatížení kat. B (dle tab. 6.10 v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 4,5 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ kN}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$k_4 = 1,22 - 0,22 \cdot k = 1,22 - 0,22 \cdot 1,228 = 0,95$$

$$k_5 = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{r}{t} = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{2}{2} = 1$$

$$h_w = 98 \text{ mm}, s_s = 50 \text{ mm}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \left(14,7 - \frac{h_w}{t \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ (dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot \left(14,7 - \frac{98}{2 \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{50}{2}\right) \cdot 2^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 17,137 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{6,75}{17,137} = 0,394 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot Q_d \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 6,75 \cdot 2,44 = 4,118 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{4,118}{2,661} = 1,548 < 1,0 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{4,118}{2,661} + \frac{6,75}{17,137} = 1,94 < 1,25 \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Borcení stojiny v uložení

Tab. 11: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici v uložení

Strop tenkostěnný profil Z		plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení	
		charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové
počet prvků:		1	[kN/m ²]	[kN/m ²]	-	[kN/m]	
skladba podlahy		0,245	1,35	0,33	0,605	0,148	0,200
užitné		3,00	1,5	4,5	0,605	1,815	2,723
Σ CELKEM						1,963	2,923

$$Q_{celk;pod} = 2,923 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - \text{liniové zatížení od stálého a užitného zatížení}$$

$$R_1 = Q_{celk;pod} \cdot \frac{L}{2} = 2,923 \cdot \frac{2,44}{2} = 3,566 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$Q_k = 4,5 \text{ kN} - \text{bodové užitné zatížení kat. H (dle tab. 6.10 v v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 4,5 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ kN}$$

$$R_2 = \frac{Q_d}{2} = \frac{6,75}{2} = 3,375 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_1 = 1,33 - 0,33 \cdot k = 1,33 - 0,33 \cdot 1,228 = 0,925$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{r}{t} = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{2}{2} = 1$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$h_w = 98 \text{ mm}, s_s = 40 \text{ mm}$$

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \left(5,92 - \frac{h_w}{t \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{0,925 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(5,92 - \frac{98}{2 \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{40}{2}\right) \cdot 2^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 6,896 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{\max(R_1; R_2)}{R_{w;Rd}} = \frac{\max(3,566; 3,375)}{6,896} = \frac{3,566}{6,896} = 0,517 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.7.2 MSP

Tab. 12: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici pro posudek MSP

Strop tenkostěnný profil Z		plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení	
		charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové
počet prvků:	1	[kN/m ²]		[kN/m ²]	-	[kN/m]	
skladba podlahy		0,245	1,0	0,245	0,605	0,148	0,148
vlastní tíha profilu			1,0			0,032	0,032
užitné		3,00	1,0	3,00	0,605	1,815	1,815
Σ STÁLÉ						0,180	0,180
Σ PROMĚNNÉ						1,815	1,815
Σ CELKEM						1,995	1,995

$$\delta_z \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250}$$

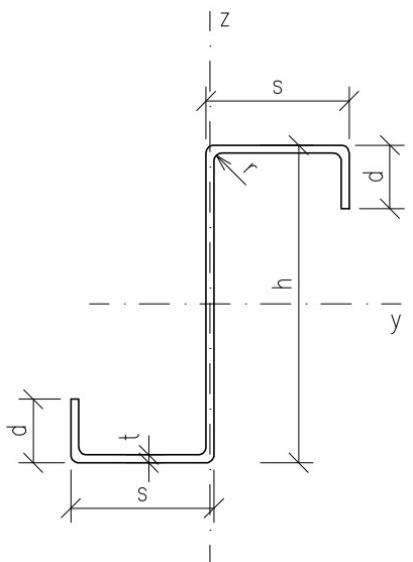
$$\delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{k;celk} \cdot L^4}{E \cdot I_{eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,995 \cdot 2440^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 545150} = 8,04 \text{ mm}$$

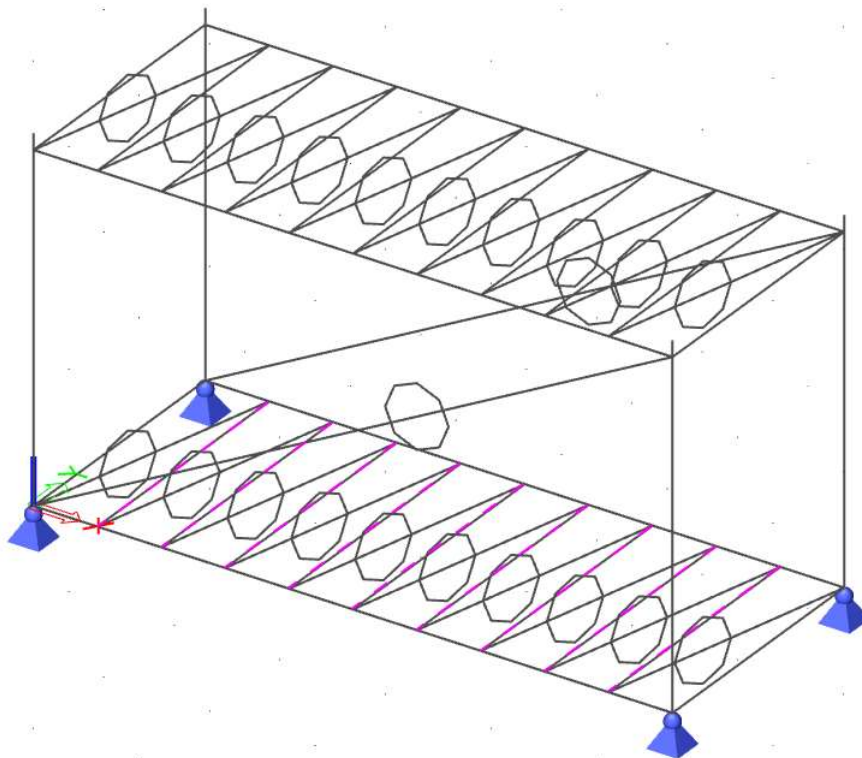
$$8,04 \text{ mm} \leq \frac{2440}{250} = 9,76 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený tenkostěnný Z profil nevyhovuje.

6.8 Posouzení nové tenkostěnné podlahové vaznice

Tab. 13: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahové vaznice

za studena tvářený Z profil		
$A = 550,000 \text{ mm}^2$	$h = 100 \text{ mm}$	
$A_{vy} = 4,418 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$s = 45 \text{ mm}$	
$A_{vz} = 3,389 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$d = 20 \text{ mm}$	
$I_y = 8,458 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$t = 2,5 \text{ mm}$	
$I_z = 2,972 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$i_y = 39,22 \text{ mm}$	
$I_w = 5,066 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$	$i_z = 23,25 \text{ mm}$	
$I_t = 1,183 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	$r = 2,5 \text{ mm}$	
$W_{pl,y} = 2,167 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{pl,z} = 6,638 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		
$W_{el,y} = 1,633 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$		
$W_{el,z} = 4,152 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$		



Obr. 89: Znárodnění podlahové vaznice v modelu

6.8.1 MSÚ

Střešní vaznice bude posuzována na ohyb, na tlak, kombinaci ohybu + tlaku a na smyk.

- zatřídění průřezu: (dle tab. 5.1 v [1])

stojina - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{95}{2,5} \leq 42 \cdot 0,916$$

$$38 \leq 38,472 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{stojina je třídy 3}$$

pásnice - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{40}{2,5} \leq 33 \cdot 0,916$$

$$16 \leq 30,228 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 1}$$

výztuha - namáhání tlakem (na straně bezpečnosti)

$$\frac{c}{t} \leq 14 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{17,5}{2,5} \leq 14 \cdot 0,916$$

$$7 \leq 12,826 \rightarrow \text{vyhovuje} - \text{pásnice je třídy 3}$$

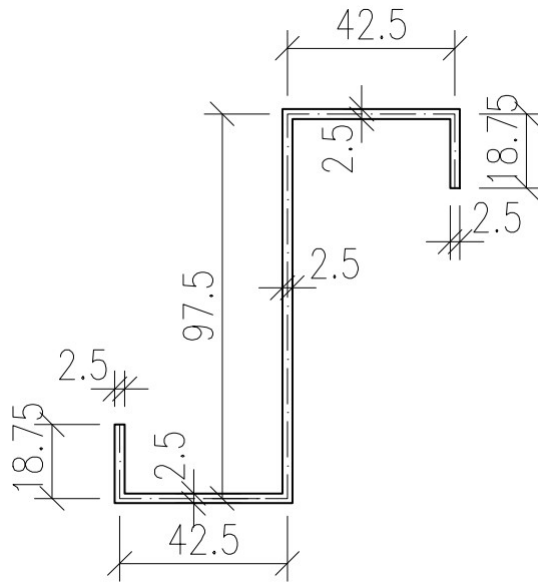
Průřez je zatříděn do třídy 3.

- vliv zaoblení: (dle 5.1 (3) v [12])

$$r = 2,5 \text{ mm} \leq 5 \cdot t = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$r = 2,5 \text{ mm} \leq 0,1 \cdot b_p = 0,1 \cdot 42,5 = 4,25 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zaoblení lze zanedbat.



Obr. 90: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení

- smykové ochabnutí pásnic: (dle 3.1 (1) v [11])

$$\frac{L_e}{50} = \frac{2440}{50} = 48,8 \text{ mm} > b_0 = 61,25 \text{ mm} \rightarrow \text{smykové ochabnutí nelze zanedbat}$$

$A_{sl} = 0 \text{ mm}^2$ – plocha podélných výztuh

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

$$\kappa = \alpha_0 \cdot \frac{b_0}{L_e} = 1 \cdot \frac{61,25}{2440} = 0,025$$

$$\text{pro } 0,02 < \kappa < 0,7 \rightarrow \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,025^2} = 0,996$$

Boulení výztuhy namáhané tlakem

$$d = b_{p;c} = 18,75 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{p;c}}{b_p} = \frac{18,75}{42,5} = 0,441$$

$$\text{pro } 0,35 < \frac{b_{p;c}}{b_p} \leq 0,6 \rightarrow k_\sigma = 0,5 + 0,83 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{b_{p;c}}{b_p} - 0,35\right)^2} \quad (\text{dle 5.5.3.2 v [12]})$$

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{18,75}{42,5} - 0,35\right)^2} = 0,668$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{d}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{18,75}{2,5}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{0,668}} = 0,353$$

pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,748 \rightarrow \rho = 1$ (dle 4.4 (2) v [11])

$$d_{eff} = \beta_1 \cdot \rho \cdot d = 0,996 \cdot 1 \cdot 18,75 = 18,675 \text{ mm}$$

Boulení pásnice namáhané tlakem

$\psi = 1, k_\sigma = 4 \rightarrow$ vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{s}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{42,5}{2,5}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{4}} = 0,327$$

pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$

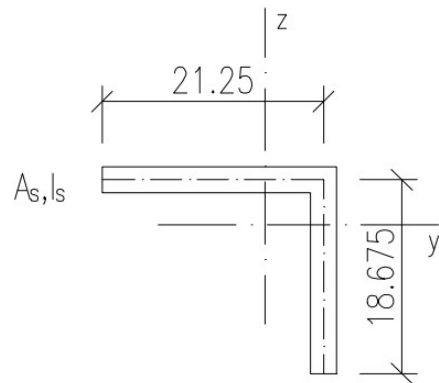
$\rightarrow \rho = 1$ (dle 4.4 (2) v [11])

$$s_{eff} = \rho \cdot s = 1 \cdot 42,5 = 42,5 \text{ mm}$$

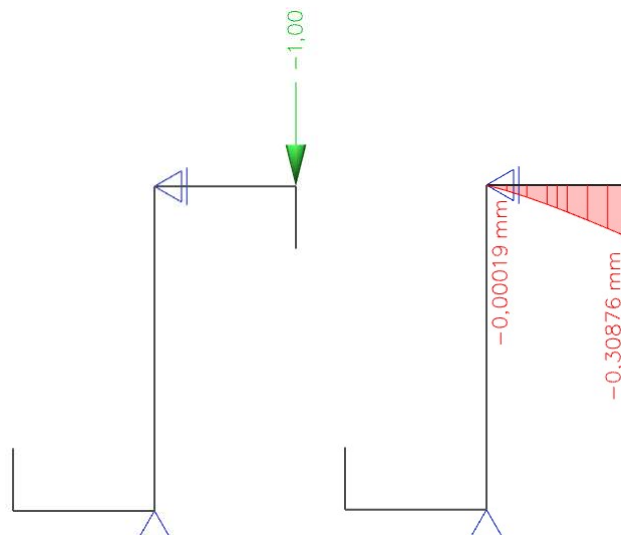
Distorzni vybočení (dle 5.5.3.1 v [12])

$$A_s = t \cdot \left(\frac{s_{eff}}{2} + d_{eff} \right) = 2,5 \cdot \left(\frac{42,5}{2} + 18,675 \right)$$

$$A_s = 99,812 \text{ mm}^2$$



Obr. 91: Schéma pro distorzni vybočení



Obr. 92: Statické schéma, zatížení a deformace

$$u = 1000 \text{ N} \rightarrow \delta = 0,30876 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{u}{\delta} \cdot \frac{1}{1000[\text{mm}]} = \frac{1000}{0,30876} \cdot \frac{1}{1000} = 3,239 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot \frac{1}{\text{mm}} \rightarrow \text{průřez } 1000 \times 2,5 \text{ mm}$$

$$I_s = 3568,2 \text{ mm}^4, E = 210 \text{ GPa}$$

$$\sigma_{cr;s} = \frac{2 \cdot \sqrt{\kappa \cdot E \cdot I_s}}{A_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{3,239 \cdot 10^6 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3568,2 \cdot 10^{-12}}}{99,812 \cdot 10^{-6}} = 987 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr;s}}} = \sqrt{\frac{280}{987}} = 0,53$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \rightarrow \chi_d = 1$$

$$A_{s;red} = \chi_d \cdot A_s = 1 \cdot 99,812 = 99,812 \text{ mm}^2$$

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s;red}}{A_s} = 2,5 \cdot \frac{99,812}{99,812} = 2,5 \text{ mm} \rightarrow \text{bez redukce tloušťky průřezu}$$

Boulení stojiny namáhané tlakem

$$\psi = 1, k_\sigma = 4 \rightarrow \text{vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])}$$

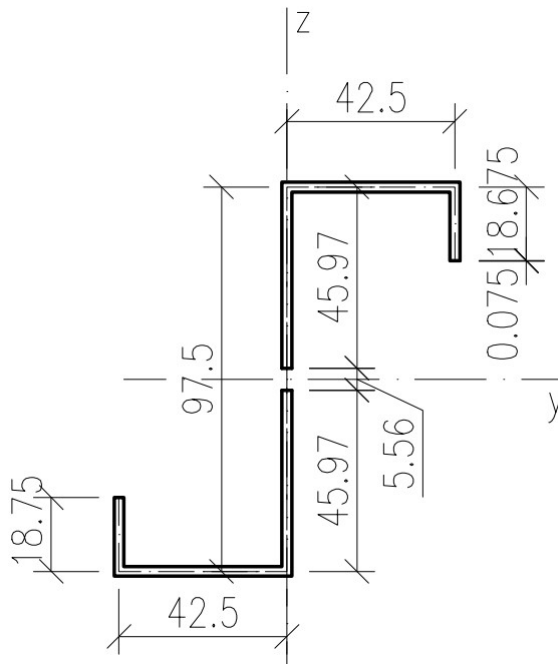
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97,5}{2,5}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{4}} = 0,749$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1} = 0,673$$

$$\rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad (\text{dle 4.4 (2) v [11]})$$

$$\rho = \frac{0,749 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,749^2} = 0,943$$

$$h_{eff} = \rho \cdot h = 0,943 \cdot 97,5 = 91,94 \text{ mm}$$



Obr. 93: Účinný průřez Z profilu v tlaku

Boulení stojiny namáhané ohybem

$$b_t = 49,99 \text{ mm}, b_c = 50,01 \text{ mm}$$

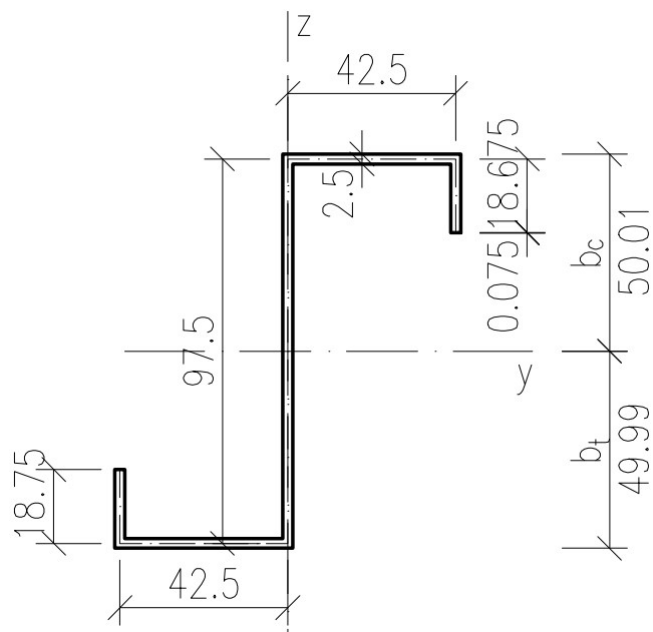
$$\psi = \frac{b_t}{-b_c} = \frac{49,99}{-50,01} = -0,99 \rightarrow k_\sigma = 23,9 \rightarrow \text{vnitřní tlačené části (dle tab. 4.1 v [11])}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{97,5}{2,5}}{28,4 \cdot 0,916 \cdot \sqrt{23,9}} = 0,307$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot (-1)} = 0,673$$

$$\rightarrow \rho = 1 \text{ (dle 4.4 (2) v [11])}$$

$$h_{eff} = \rho \cdot \frac{h}{1 - \psi} = 1 \cdot \frac{97,5}{1 - (-1)} = 48,76 \text{ mm}$$

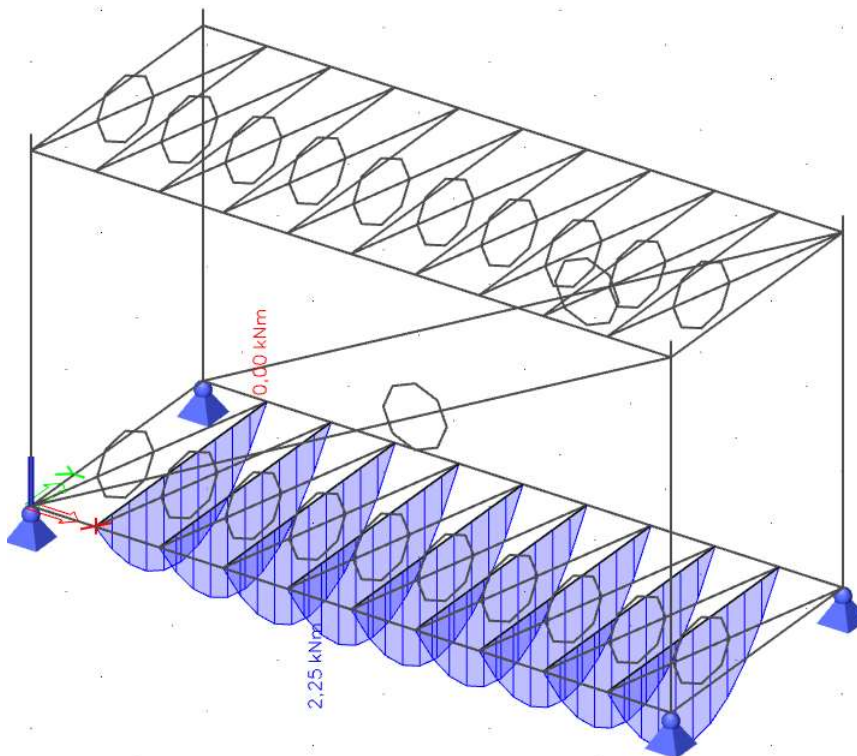


Obr. 94: Účinný průřez Z profilu za ohybu

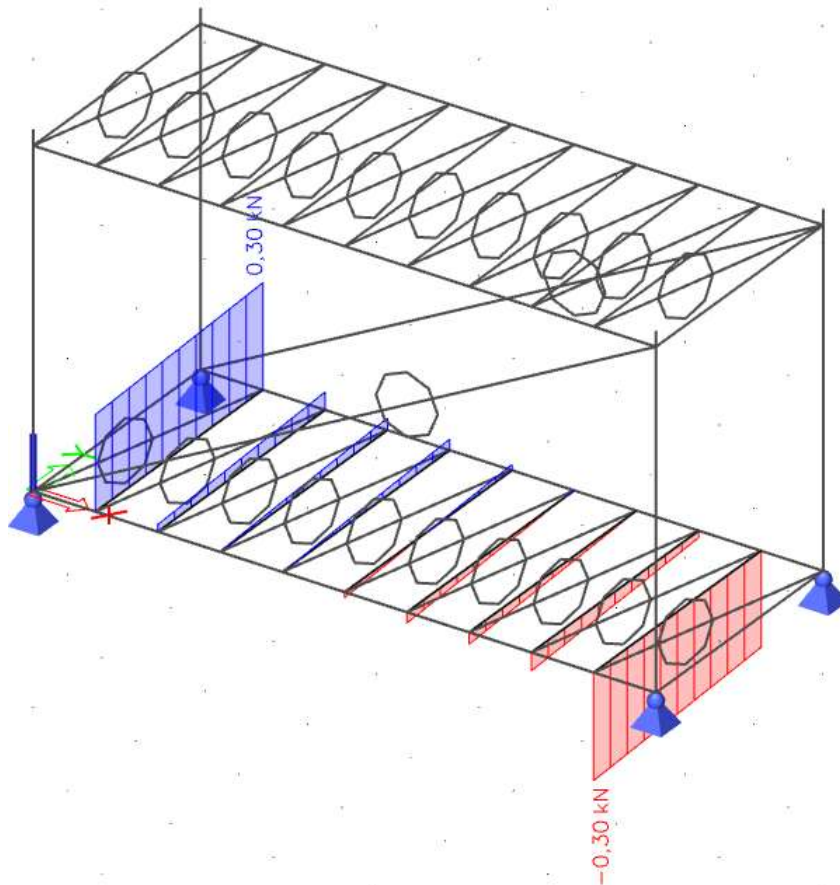
Ohyb

- kombinace 88 - min. podélný vítr + max. užité zatížení

$$M_{Ed} = 2,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Obr. 95: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K88



Obr. 96: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K88

$$I_{eff} = 846910 \text{ mm}^4, e = h_{eff} + t = 48,76 + 2,5 = 51,26 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{e} = \frac{846910}{51,26} = 16520 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = W_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 16520 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{280 \cdot 10^3}{1} = 4,626 \text{ kNm}$$

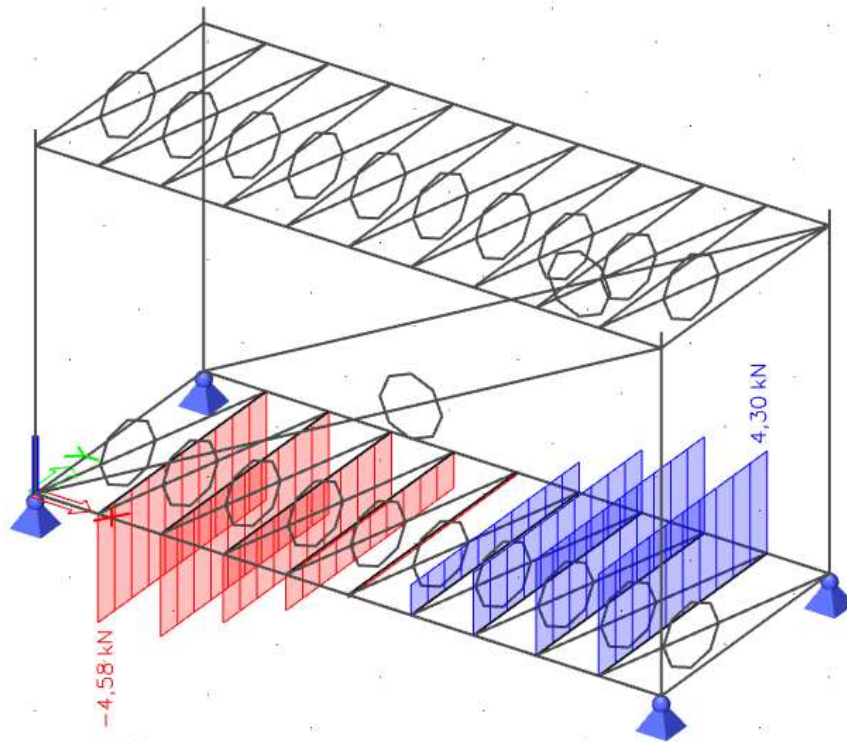
- posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{2,25}{4,626} = 0,486 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

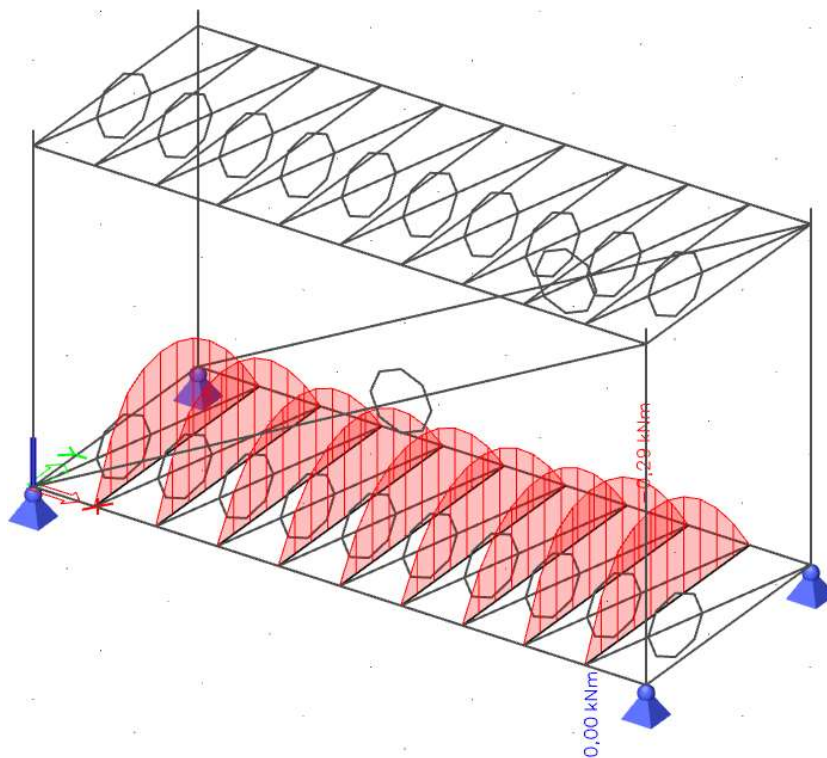
Tlak

- kombinace 73 - max. příčný vítr + min. vlastní tíha + min. ostatní stálé zatížení

$$N_{Ed} = 4,58 \text{ kN}$$



Obr. 97: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K73



Obr. 98: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K73

$$A = 550 \text{ mm}^2, A_{eff} = 535,82 \text{ mm}^2$$

$$L_{cr;z} = L = 2440 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr;z}}{i_z} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \frac{2440}{23,25} \cdot \sqrt{\frac{535,82}{550}} = 103,56$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,916 = 86,024$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{103,56}{86,024} = 1,204$$

- křivky vzpěrnosti pro vybočení: (dle tab. 5.5 v [1])

pro vybočení kolmo k ose z-z...křivka vzpěrnosti $b \rightarrow \chi_z = 0,478$

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,478 \cdot 535,82 \cdot 10^{-6} \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 71,71 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{4,58}{71,71} = 0,064 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb + tlak

a) kombinace 73

$$N_{Ed} = 4,58 \text{ kN}, M_{Ed} = 0,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{4,58}{71,71}\right)^{0,8} + \left(\frac{0,29}{4,626}\right)^{0,8} = 0,22 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) kombinace 88

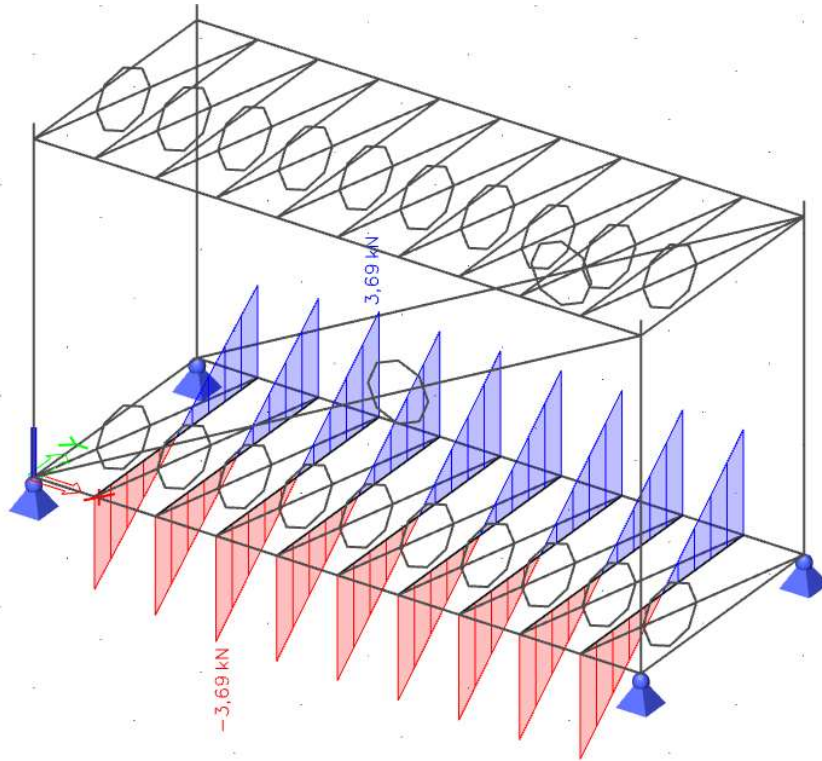
$$N_{Ed} = 0,3 \text{ kN}, M_{Ed} = 2,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{0,8} = \left(\frac{0,3}{71,71}\right)^{0,8} + \left(\frac{2,25}{4,626}\right)^{0,8} = 0,57 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyk

- kombinace 88 - min. podélný vítr + max. užité zátížení

$$V_{Ed} = 3,69 \text{ kN}$$



Obr. 99: Průběh posouvající síly v ose z na podlahové vaznici – K88

$\eta = 1,2$ – pro oceli do S420

$$\frac{h_w}{t} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \text{ (dle 5.1 (2) v [11])}$$

$$\frac{95}{2} = 47,5 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,916 = 54,96 \rightarrow \text{nedochází k boulení ve smyku}$$

$$\phi = 90^\circ, s_w = 97,5 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,346 \cdot \frac{97,5}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{280}{210 \cdot 10^3}} = 0,442 \text{ (dle 6.1.5 (2) v [12])}$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_w \leq 0,83 \rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_y = 0,58 \cdot 280 = 162,4 \text{ MPa (dle tab. 6.1 v [12])}$$

$$V_{b;Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin(\phi)} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,095}{\sin(90^\circ)} \cdot 0,0025 \cdot 162,4 \cdot 10^3}{1} = 38,57 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b;Rd}} = \frac{3,69}{38,57} = 0,096 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \leq \frac{V_{b;Rd}}{2} = \frac{34,51}{2} = 17,26 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Neuvažujeme interakci ohybového a smykového namáhání.

Borcení stojiny pod osamělou silou

$$Q_k = 4,5 \text{ kN} - \text{bodové užité zatížení kat. B (dle tab. 6.10 v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 4,5 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ kN}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$k_4 = 1,22 - 0,22 \cdot k = 1,22 - 0,22 \cdot 1,228 = 0,95$$

$$k_5 = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{r}{t} = 1,06 - 0,06 \cdot \frac{2,5}{2,5} = 1$$

$$h_w = 97,5 \text{ mm}, s_s = 40 \text{ mm}$$

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \left(14,7 - \frac{h_w}{t \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w,Rd} = \frac{1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot \left(14,7 - \frac{97,5}{2,5 \cdot 49,5}\right) \cdot \left(1 + 0,007 \cdot \frac{40}{2,5}\right) \cdot 2,5^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 25,715 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{6,75}{25,715} = 0,262 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{4} \cdot Q_d \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 6,75 \cdot 2,44 = 4,118 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{4,118}{4,626} = 0,89 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{Q_d}{R_{w,Rd}} = \frac{4,118}{4,626} + \frac{6,75}{25,715} = 1,15 < 1,25 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Borcení stojiny v uložení

Tab. 14: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici v uložení

Strop tenkostěnný profil Z	plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení	
	charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové
počet prvků:	1			-	[kN/m]	
skladba podlahy	0,245	1,35	0,33	0,605	0,148	0,200
užité	3,00	1,5	4,5	0,605	1,815	2,723
Σ CELKEM					1,963	2,923

$$Q_{celk;pod} = 2,923 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - \text{liniové zatížení od stálého a užitého zatížení}$$

$$R_1 = Q_{celk;pod} \cdot \frac{L}{2} = 2,923 \cdot \frac{2,44}{2} = 3,566 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$Q_k = 4,5 \text{ kN} - \text{bodové užité zatížení kat. H (dle tab. 6.10 v v [6])}$$

$$Q_d = Q_k \cdot \gamma_Q = 4,5 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ kN}$$

$$R_2 = \frac{Q_d}{2} = \frac{6,75}{2} = 3,375 \text{ kN} - \text{reakce v uložení}$$

$$\phi = 90^\circ, k = \frac{f_y}{228} = \frac{280}{228} = 1,228$$

$$k_1 = 1,33 - 0,33 \cdot k = 1,33 - 0,33 \cdot 1,228 = 0,925$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{r}{t} = 1,15 - 0,15 \cdot \frac{2,5}{2,5} = 1$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{\phi}{90}\right)^2 = 0,7 + 0,3 \cdot \left(\frac{90}{90}\right)^2 = 1$$

$$h_w = 97,5 \text{ mm}, s_s = 40 \text{ mm}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \left(5,92 - \frac{h_w}{t \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{s_s}{t}\right) \cdot t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{dle obr. 6.7a) v [12]}$$

$$R_{w;Rd} = \frac{0,925 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(5,92 - \frac{97,5}{2,5 \cdot 132}\right) \cdot \left(1 + 0,01 \cdot \frac{40}{2,5}\right) \cdot 2,5^2 \cdot 280 \cdot 10^3}{1} = 10,558 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{\max(R_1; R_2)}{R_{w;Rd}} = \frac{\max(3,566; 3,375)}{10,558} = \frac{3,566}{10,558} = 0,338 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.8.2 MSP

Tab. 15: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici pro posudek MSP

Strop tenkostěnný profil Z	plošné zatížení			zat. plocha / šířka	celkové zatížení		
	charakt.	γ_f	návrhové		charakt.	návrhové	
počet prvků:	1	[kN/m ²]	[kN/m ²]	-	[kN/m]		
skladba podlahy		0,245	1,0	0,245	0,605	0,148	0,148
vlastní tíha profilu			1,0			0,047	0,047
užité		3,00	1,0	3,00	0,605	1,815	1,815
Σ STÁLÉ						0,195	0,195
Σ PROMĚNNÉ						1,815	1,815
Σ CELKEM						2,010	2,010

$$\delta_z \leq \delta_{lim} = \frac{L}{250}$$

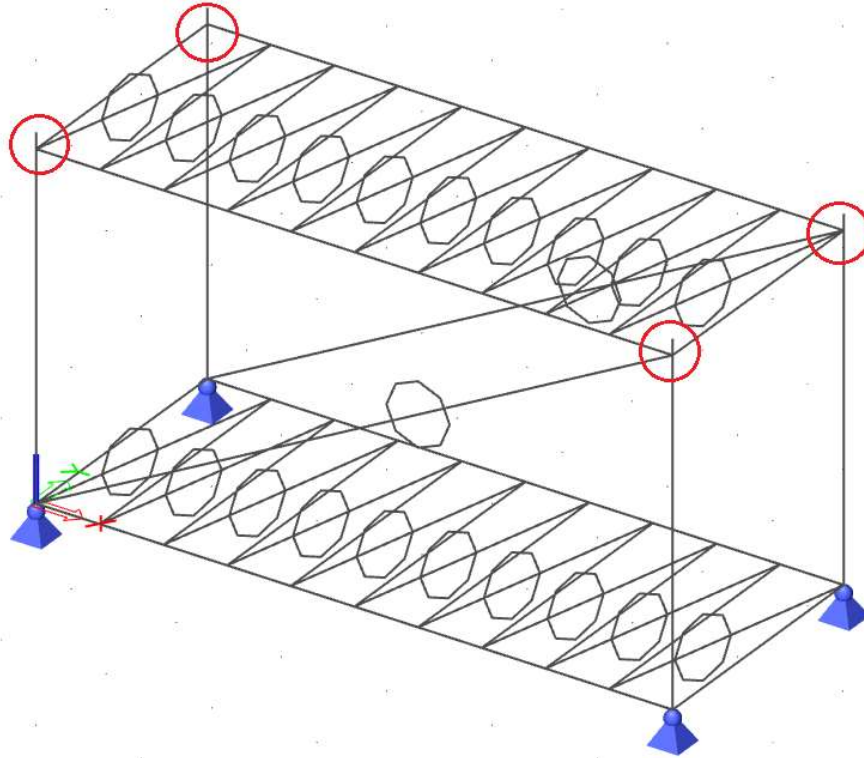
$$\delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{k,celk} \cdot L^4}{E \cdot I_{eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,01 \cdot 2440^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 846910} = 5,22 \text{ mm}$$

$$5,22 \text{ mm} \leq \frac{2440}{250} = 9,76 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený tenkostěnný Z profil vyhovuje.

7 Návrh a posouzení detailů

7.1 Přípoj střešního nosníku - šroubovaný styčník s čelní deskou



Obr. 100: Znárodnění šroubovaných přípoju střešních nosníků

Jedná se o přípoj střešního nosníku HRT 160x90x4.5 na sloup modulu HRT 90x90x7.1. Čelní deska šroubovaného styčníku je navržena tloušťky 15 mm z oceli S235. Šrouby jsou navrženy M16 s třídou pevnosti 8.8.

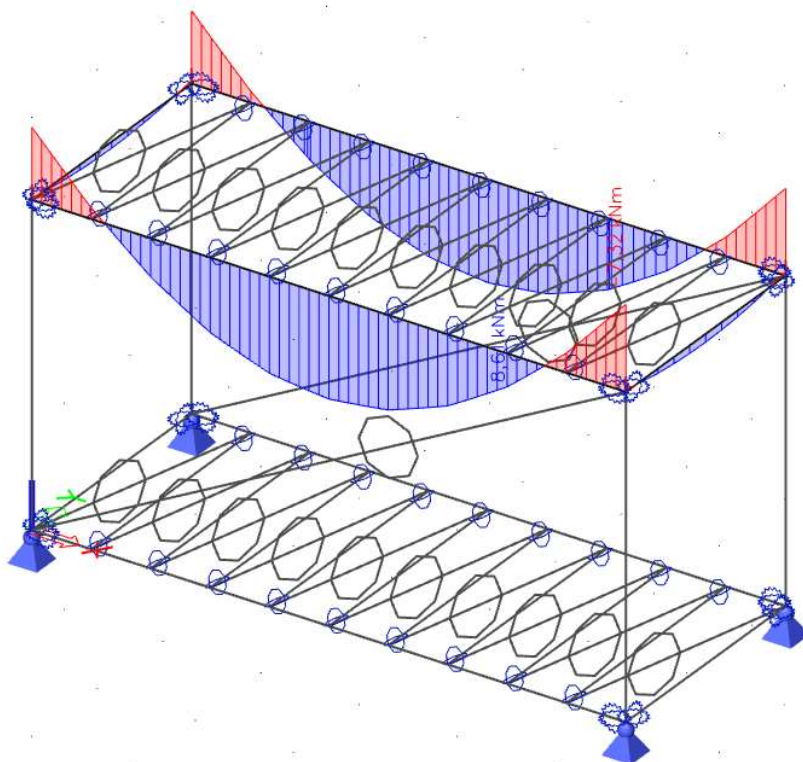
Tab. 16: Přehled prvků a jejich charakteristik šroubového přípoje

Šrouby M16	Čelní deska	Nosník HRT 160x90x4.5	Sloup HRT 90x90x7.1
$d = 16 \text{ mm}$	$t_p = 15 \text{ mm}$	$t_w = 4,5 \text{ mm} = t_{wb}$	$t_w = 7,1 \text{ mm} = t_{wc}$
$d_o = 18 \text{ mm}$	$b_p = 90 \text{ mm}$	$t_f = 4,5 \text{ mm} = t_{fb}$	$t_f = 7,1 \text{ mm} = t_{fc}$
$A_s = 157 \text{ mm}^2$	$h_p = 220 \text{ mm}$	$r_{i;b} = 2,25 \text{ mm}$	$r_{i;c} = 3,55 \text{ mm}$
$f_y = 640 \text{ MPa}$	$f_{y,p} = 235 \text{ MPa}$	$A_b = 2150 \text{ mm}^2$	$A_{vz,c} = 1133 \text{ mm}^2$
$f_u = 800 \text{ MPa}$	$f_{u,p} = 360 \text{ MPa}$	$W_{pl,y,b} = 113 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$f_{y,c} = 235 \text{ MPa}$
		$f_{y,b} = 235 \text{ MPa}$	$f_{u,c} = 360 \text{ MPa}$
		$f_{u,b} = 360 \text{ MPa}$	

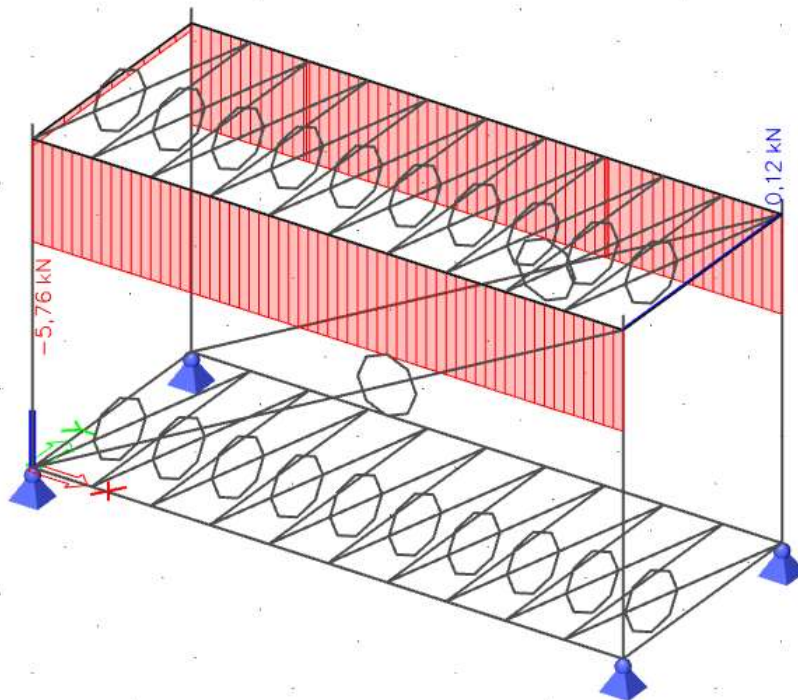
Tento spoj navrhujeme na největší ohybový moment M_{Ed} s odpovídající normálovou silou N_{Ed} a posouvající silou V_{Ed} .

- kombinace 46 – min. stálé zatížení + min. podélný vítr + min. užité zatížení + max. sněh

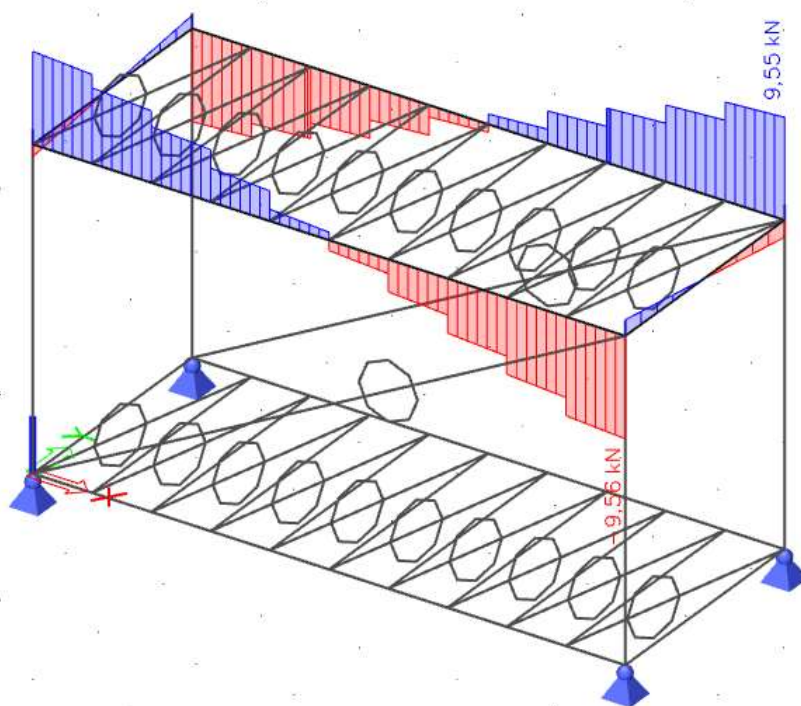
$$M_{Ed} = 7,32 \text{ kNm} + N_{Ed} = 5,76 \text{ kN} + V_{Ed} = 9,56 \text{ kN}$$



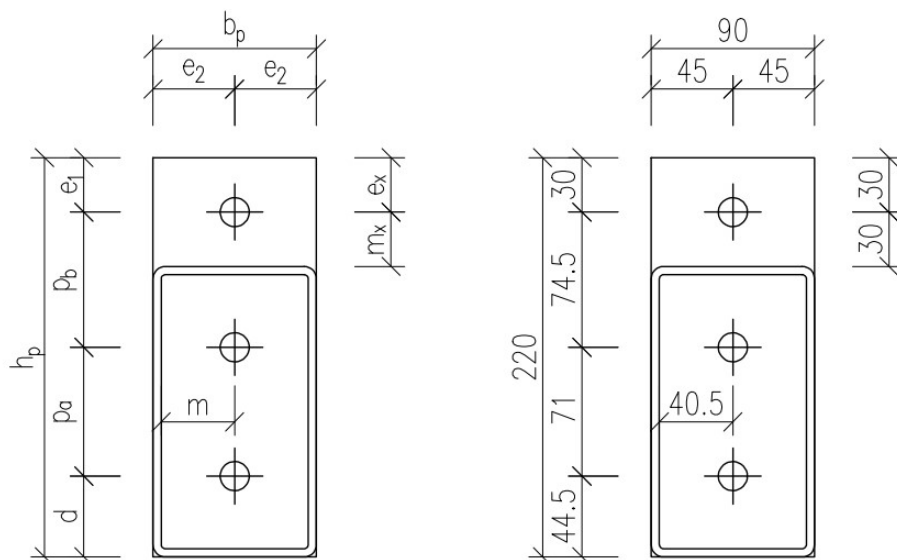
Obr. 101: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem okolo osy y – K46



Obr. 102: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou – K46



Obr. 103: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou – K46



Obr. 104: Přípoj nosníku přístřešku

Styčník posoudíme plasticky. Jsou navrženy tři řady šroubů, přičemž je uvažováno, že momentovou a smykovou únosnost zajistí všechny tři řady šroubů.

7.1.1 Návrh svarů

Tloušťka tupého svaru HRT profilu k čelní desce odpovídá tloušťce stěny HRT profilu. Předpokládá se, že svar vyhoví, tudíž není potřeba jeho posouzení.

7.1.2 Únosnosti řad šroubů v tahu

Únosnost řady šroubů se určí jako nejmenší hodnota z únosnosti:

- pásnice sloupu v ohybu
- stěna sloupu v tahu
- čelní desky v ohybu
- stěny příčle v tahu

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min \begin{pmatrix} F_{t,fc,Rd} \\ F_{t,wc,Rd} \\ F_{t,ep,Rd} \\ F_{t,wb,Rd} \end{pmatrix}$$

Dále je uvažováno se třemi způsoby porušení T profilu. Způsob porušení 1 je plastický mechanismus se čtyřmi plastickými klouby. Způsob porušení 2 je plastický mechanismus se

dvěma plastickými klouby a porušením šroubů v tahu. Způsob porušení 3 bere v úvahu porušení šroubů v tahu.

$$m = \frac{b_p}{2} - t_{wb} = \frac{90}{2} - 4,5 = 40,5 \text{ mm}$$

$$p = \frac{p_a + p_b}{2} = \frac{71 + 74,5}{2} = 72,75 \text{ mm}$$

7.1.2.1 Únosnost první řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40,5 = 254,47 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_b = \pi \cdot 40,5 + 74,5 = 201,74 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 201,74 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 201,74 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,597 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,597}{40,5 \cdot 10^{-3}} = 29,50 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 201,74 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,597 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,598 + 0,045 \cdot 90,43}{(40,5 + 45) \cdot 10^{-3}} = 30,79 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(45; 50,63) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(29,50; 30,79; 90,43) = 29,50 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,57 \cdot 201,74 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1}$$

$$F_{t,wc,Rd} = 383,73 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{201,74 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,57$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 201,74 \text{ mm (dle 6.2.6.3 (3) v [8])}$$

c) čelní deska v ohybu – řada šroubů vně tažené pásnice nosníku

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m_x = 2 \cdot \pi \cdot 30 = 188,47 \text{ mm} \\ \pi \cdot m_x + 2 \cdot e_2 = \pi \cdot 30 + 2 \cdot 45 = 184,25 \text{ mm} \\ 4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x = 4 \cdot 30 + 1,25 \cdot 30 = 157,50 \text{ mm} \\ e_2 + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x = 45 + 2 \cdot 30 + 0,625 \cdot 30 = 123,75 \text{ mm} \\ 0,5 \cdot b_p = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen k porušení řady šroubů uvažovanou samostatně. Bylo uvažováno s kruhovým i nekruhovým porušením řady šroubů.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 45 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,045 \cdot 0,015^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,595 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,595}{0,0405} = 29,38 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,045 \cdot 0,015^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,595 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,595 + 0,045 \cdot 90,43}{0,0405 + 0,045} = 30,76 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(40; 50,625) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(29,38; 30,76; 90,43) = 29,38 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,0045 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 95,18 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 45 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost první řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 1)} = \min(29,50; 383,73; 29,38; 95,18) = 29,38 \text{ kN}$$

7.1.2.2 Únosnost druhé řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – vnitřní řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40,5 = 254,47 \text{ mm} \\ 2 \cdot p = 2 \cdot 72,75 = 145,5 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 145,5 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 145,5 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,431 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,431}{40,5 \cdot 10^{-3}} = 21,28 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 145,5 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,431 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,431 + 0,045 \cdot 90,43}{(40,5 + 45) \cdot 10^{-3}} = 29,85 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(45; 50,63) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(21,28; 29,85; 90,43) = 21,28 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r2,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,69 \cdot 145,5 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 336,60 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{145,5 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,69$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 145,5 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu – řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40,5 = 254,47 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p = \pi \cdot 40,5 + 72,75 = 199,99 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky tomu, že čelní deska nemá volný konec (je lemována ocelovým průřezem nosníku). Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 199,99 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 199,99 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,64 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 2,64}{0,0405} = 130,55 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 199,99 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,64 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 2,64 + 0,045 \cdot 90,43}{0,0405 + 0,045} = 54,72 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(40; 50,625) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 92,43 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(130,55; 54,72; 92,43) = 54,72 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = 2 \cdot \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{199,99 \cdot 0,0045 \cdot 235}{1} = 422,97 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 199,99 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost druhé řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 2)} = \min(21,28; 336,60; 54,72; 422,97) = 21,28 \text{ kN}$$

7.1.2.3 Únosnost třetí řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40,5 = 254,47 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_a = \pi \cdot 40,5 + 71 = 198,24 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 198,24 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 198,24 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,587 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,587}{40,5 \cdot 10^{-3}} = 28,99 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 198,24 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,587 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,587 + 0,045 \cdot 90,43}{(40,5 + 45) \cdot 10^{-3}} = 30,66 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(45; 50,63) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(28,99; 30,66; 90,43) = 28,99 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r2,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,58 \cdot 198,24 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 381,53 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{198,24 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,58$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 198,24 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40,5 = 254,47 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_a = \pi \cdot 40,5 + 71 = 198,24 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky tomu, že čelní deska nemá volný konec (je lemována ocelovým průřezem nosníku). Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 198,24 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 198,24 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,62 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 2,62}{0,0405} = 129,4 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 198,24 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,62 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 2,62 + 0,045 \cdot 90,43}{0,0405 + 0,045} = 54,45 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 40,5) = \min(40; 50,625) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(129,4; 54,45; 90,43) = 54,45 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = 2 \cdot \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{199,99 \cdot 0,0045 \cdot 235}{1} = 422,97 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 199,99 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost třetí řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 3)} = \min(28,99; 381,53; 54,45; 422,97) = 28,99 \text{ kN}$$

7.1.3 Únosnost tlačené oblasti

a) stěna sloupu v tlaku

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(2 \cdot \frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}}; 2 \cdot \frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot \rho_c \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} \right)$$

$k_{wc} = 1$ (konzervativně dle 6.2.6.2(2) v [8])

- efektivní šířka pro tlačенou stěnu sloupu:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 5(t_{fc} + r_{i,c}) + t_p = 4,5 + 5 \cdot (7,1 + 3,55) + 20$$

$$b_{eff,c,wc} = 77,75 \text{ mm}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{77,75 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,874$$

- štíhlost stěny sloupu:

$$d_c = h_c - 2 \cdot (t_{fc} + r_{i,c}) = 90 - 2 \cdot (7,1 + 3,55) = 68,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p,c} = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_c \cdot f_{y,c}}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{77,75 \cdot 0,0687 \cdot 235}{210 \cdot 10^6 \cdot 0,0071^2}} = 0,321$$

$$\rho_c = 1,0$$

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \frac{0,874 \cdot 1,0 \cdot 77,75 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 226,81 \text{ kN} \\ 2 \cdot \frac{0,874 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 77,75 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 226,81 \text{ kN} \end{array} \right)$$

$$F_{c,wc,Rd} = 226,81 \text{ kN}$$

b) pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{26,56}{(0,16 - 0,0045)} = 170,8 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y,b} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 26,56 \text{ kNm}$$

Výsledná únosnost tlačенé oblasti

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) = \min(226,81; 170,8) = 170,8 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{t,Rd(row i)} = 29,38 + 21,28 + 28,99 = 79,65 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 170,8 \text{ kN} \geq \Sigma F_{t,Rd(row i)} = 79,65 \text{ kN}$$

Únosnost tlačené oblasti je větší než tahová únosnost šroubů, neovlivní tedy momentovou únosnost přípoje.

7.1.4 Stěna sloupu ve smyku

- štíhlost stěny sloupu:

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{75,8}{7,1} = 10,68 \leq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60 \rightarrow \text{vyhovuje} \rightarrow \text{stěna ve smyku nebouli}$$

- únosnost ve smyku:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vz,c} \cdot f_{y,c}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 1133 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 138,35 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 138,35 \text{ kN} \geq \sum F_{t,Rd(row i)} = 79,65 \text{ kN}$$

Únosnost stěny ve smyku je větší než součet tahové únosnosti jednotlivých řad šroubů, proto není potřeba navrhovat příložku na stěnu sloupu. Nedojde ke snížení momentové únosnosti přípoje.

7.1.5 Momentová únosnost

Tab. 17: Únosnost jednotlivých řad šroubů a jejich rameno

Řada	Únosnost řady	Rameno h_i
1	$F_{t,Rd(row 1)} = 29,38 \text{ kN}$	192,75 mm
2	$F_{t,Rd(row 2)} = 21,28 \text{ kN}$	113,25 mm
3	$F_{t,Rd(row 3)} = 28,99 \text{ kN}$	42,25 mm
celkem	$\sum F_{t,Rd(row i)} = 79,65 \text{ kN}$	

- největší síla v řadě šroubů nesmí překročit 1,9 násobek únosnosti šroubu v tahu, aby bylo možné přípoj posoudit plasticky:

$$F_{t1,Rd} = 29,38 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 90,432 = 171,82 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- momentová únosnost navrženého styčnicku:

$$M_{j,Rd} = F_{t1,Rd} \cdot h_1 + F_{t2,Rd} \cdot h_2 + F_{t3,Rd} \cdot h_3$$

$$M_{j,Rd} = 29,38 \cdot 0,193 + 21,28 \cdot 0,113 + 28,99 \cdot 0,042 = 9,297 \text{ kNm}$$

$$M_{j,Rd} = 9,297 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 7,32 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.1.6 Smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 3 \cdot \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 3 \cdot 60,29 = 180,86 \text{ kN}$$

- únosnost v otláčení (pro pásnici sloupu):

$$F_{b,Rd} = 3 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{fc} \cdot f_{u,c}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_u}{f_{u,c}} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{71}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ \frac{30}{3 \cdot 18} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,81 \\ 2,22 \\ 0,56 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,56$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,4 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 45}{18} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 5,3 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 3 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 0,016 \cdot 0,0071 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 3 \cdot 45,8 = 136,32 \text{ kN}$$

- smyková únosnost:

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(180,86; 136,32) = 136,32 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 136,32 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 9,56 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.1.7 Kombinace ohybového, osového a smykového namáhání

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{7,32}{9,297} + \frac{5,76}{79,647} + \frac{9,56}{136,32} = 0,93 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navrhovaný styčnick vyhovuje.

7.1.8 Tuhost přípoje (dle 6.3 v [10])

- jedná se o jednostranný přípoj šroubovaný pomocí čelní desky

- komponenty k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 a k_{10} (dle tab. 6.10 a tab. 6.11 v [10])

a) panel stěny sloupu ve smyku - k_1

$$\beta = 1 \text{ (dle tab. 5.4 v [10])}$$

$$z = 153 \text{ mm (dle obr. 6.15 v [10])}$$

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vz;c}}{\beta \cdot z} = \frac{0,38 \cdot 1133}{1 \cdot 153} = 2,814 \text{ mm}$$

b) stěna sloupu v tlaku - k_2

$$b_{eff;c;wc} = 77,75 \text{ mm}, d_{wc} = 68,7 \text{ mm} - \text{výpočet v kapitole 6.1.3}$$

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{eff;c;wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0,7 \cdot 77,75 \cdot 7,1}{68,7} = 5,625 \text{ mm}$$

c) stěna sloupu v tahu - k_3

$$b_{eff;t;wc} = 145,5 \text{ mm} - \text{nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2}$$

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{eff;t;wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0,7 \cdot 145,5 \cdot 7,1}{68,7} = 10,526 \text{ mm}$$

d) pásnice sloupu v ohybu - k_4

$$L_{eff;1;c} = 145,5 \text{ mm} - \text{nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2}$$

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot L_{eff;1;c} \cdot t_{fc}^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 145,5 \cdot 4,5^3}{40,5^3} = 0,706 \text{ mm}$$

e) čelní deska v ohybu - k_5

$$L_{eff;1;d} = 45 \text{ mm} - \text{nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2}$$

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot L_{eff;1;d} \cdot t_p^3}{m_x^3} = \frac{0,9 \cdot 45 \cdot 15^3}{30^3} = 5,063 \text{ mm}$$

f) šrouby v tahu - k_{10}

$$L_b = 40,6 \text{ mm} - \text{prodlužovaná délka (dle. tab. 6.11 v [10])}$$

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b} = \frac{1,6 \cdot 157}{40,6} = 6,187 \text{ mm}$$

- rotační tuhost:

$$k_{eq} = \frac{k_1 \cdot z_{eq} + k_{eff;r1} \cdot h_{r1} + k_{eff;r2} \cdot h_{r2} + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}}{z_{eq}}$$

$$k_{eff;r1} = \frac{1}{\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}} = \frac{1}{\frac{1}{10,526} + \frac{1}{0,706} + \frac{1}{5,063} + \frac{1}{6,187}} = 0,534 \text{ mm}$$

$$k_{eff;r2} = k_{eff;r1} = 0,534 \text{ mm}$$

$$k_{eff;r3} = k_{eff;r1} = 0,534 \text{ mm}$$

$$h_{r1} = r_1 = 192,75 \text{ mm}, h_{r2} = r_2 = 113,25 \text{ mm}, h_{r3} = r_3 = 42,25 \text{ mm}$$

$$z_{eq} = \frac{k_{eff;r1} \cdot h_{r1}^2 + k_{eff;r2} \cdot h_{r2}^2 + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}^2}{k_{eff;r1} \cdot h_{r1} + k_{eff;r2} \cdot h_{r2} + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}}$$

$$z_{eq} = \frac{0,534 \cdot 192,75^2 + 0,534 \cdot 113,25^2 + 0,534 \cdot 42,25^2}{0,534 \cdot 192,75 + 0,534 \cdot 113,25 + 0,534 \cdot 42,25} = 148,64 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \frac{2,814 \cdot 148,64 + 0,534 \cdot 192,75 + 0,534 \cdot 113,25 + 0,534 \cdot 42,25}{148,64} = 4,066 \text{ mm}$$

$$\mu = \left(1,5 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^\psi = \left(1,5 \cdot \frac{7,32}{9,297}\right)^{2,7} = 1,567, \psi = 2,7 - \text{dle tab. 6.8 v [10]}$$

$$S_j = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\mu \cdot \left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_2}\right)} = \frac{210 \cdot 10^6 \cdot (148,64 \cdot 10^{-3})^2}{1,567 \cdot \left(\frac{1}{4,066 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5,625 \cdot 10^{-3}}\right)} = 6987 \text{ kNm}$$

- počáteční tuhost:

$$S_{j;ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_2}\right)} = \frac{210 \cdot 10^6 \cdot (148,64 \cdot 10^{-3})^2}{\left(\frac{1}{4,066 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5,625 \cdot 10^{-3}}\right)} = 10949 \text{ kNm}$$

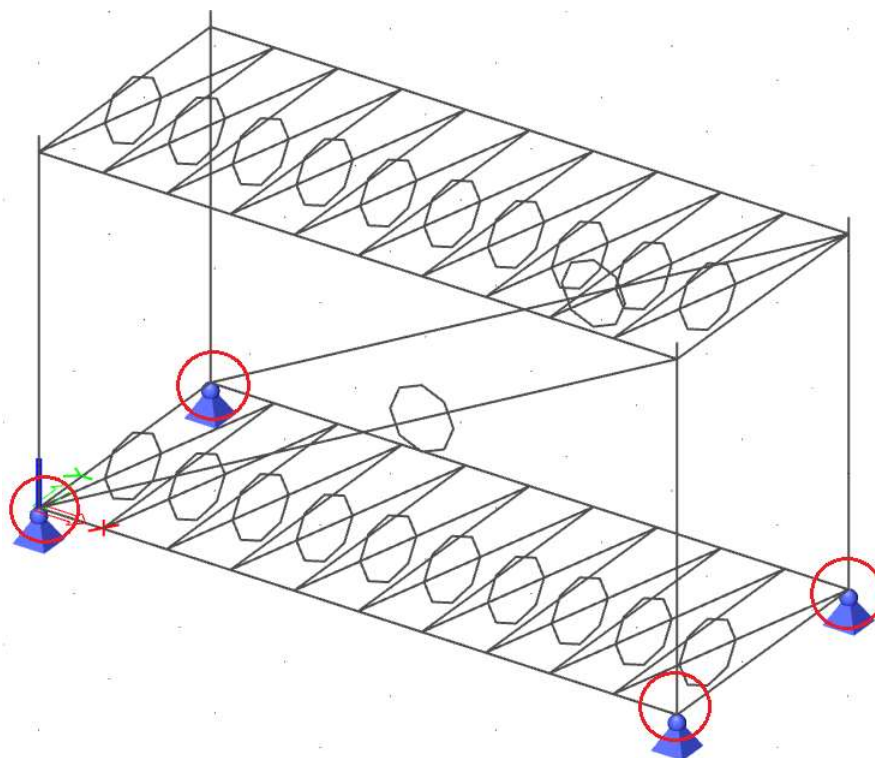
7.1.9 Posouzení styčnicku v softwaru IDEA StatiCa

$$S_{j;ini;y} = 1928,4 \text{ kNm}$$

$$S_{j;ini;z} = 318,8 \text{ kNm}$$

Výsledky posouzení napětí, přetvoření, jednotlivých komponent a tuhosti styčnicku softwarem jsou součástí přílohy B – Protokoly ze softwaru IDEA StatiCa.

7.2 Přípoj podlahového nosníku - šroubovaný styčník s čelní deskou



Obr. 105: Znárodnění šroubovaných přípoju podlahových nosníků

Jedná se o přípoj střešního nosníku HRT 160x90x7.1 na sloup modulu HRT 90x90x7.1. Čelní deska šroubovaného styčníku je navržena tloušťky 15 mm z oceli S235. Šrouby jsou navrženy M20 s třídou pevnosti 8.8.

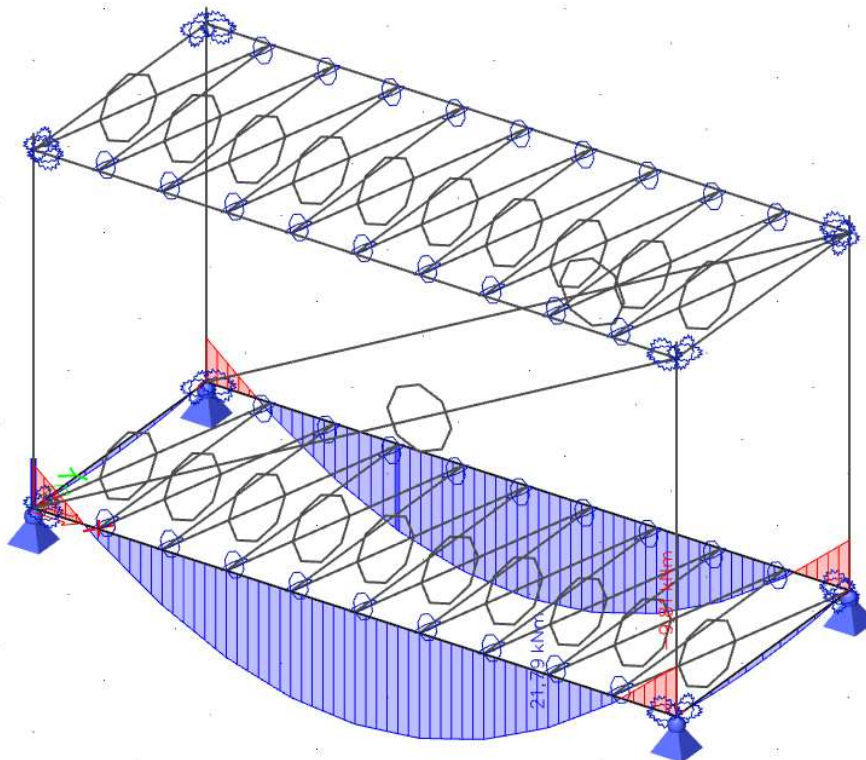
Tab. 18: Přehled prvků a jejich charakteristik šroubového přípoje

Šrouby M20	Čelní deska	Nosník HRT 160x90x7.1	Sloup HRT 90x90x7.1
$d_s = 20 \text{ mm}$	$t_p = 15 \text{ mm}$	$t_w = 7,1 \text{ mm} = t_{wb}$	$t_w = 7,1 \text{ mm} = t_{wc}$
$d_o = 22 \text{ mm}$	$b_p = 90 \text{ mm}$	$t_f = 7,1 \text{ mm} = t_{fb}$	$t_f = 7,1 \text{ mm} = t_{fc}$
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	$h_p = 240 \text{ mm}$	$r_{i;b} = 3,55 \text{ mm}$	$r_{i;c} = 3,55 \text{ mm}$
$f_y = 640 \text{ MPa}$	$f_{y,p} = 235 \text{ MPa}$	$A_b = 3290 \text{ mm}^2$	$A_{vz,c} = 1133 \text{ mm}^2$
$f_u = 800 \text{ MPa}$	$f_{u,p} = 360 \text{ MPa}$	$W_{pl,y,b} = 169 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$f_{y,c} = 235 \text{ MPa}$
		$f_{y,b} = 235 \text{ MPa}$	$f_{u,c} = 360 \text{ MPa}$
		$f_{u,b} = 360 \text{ MPa}$	

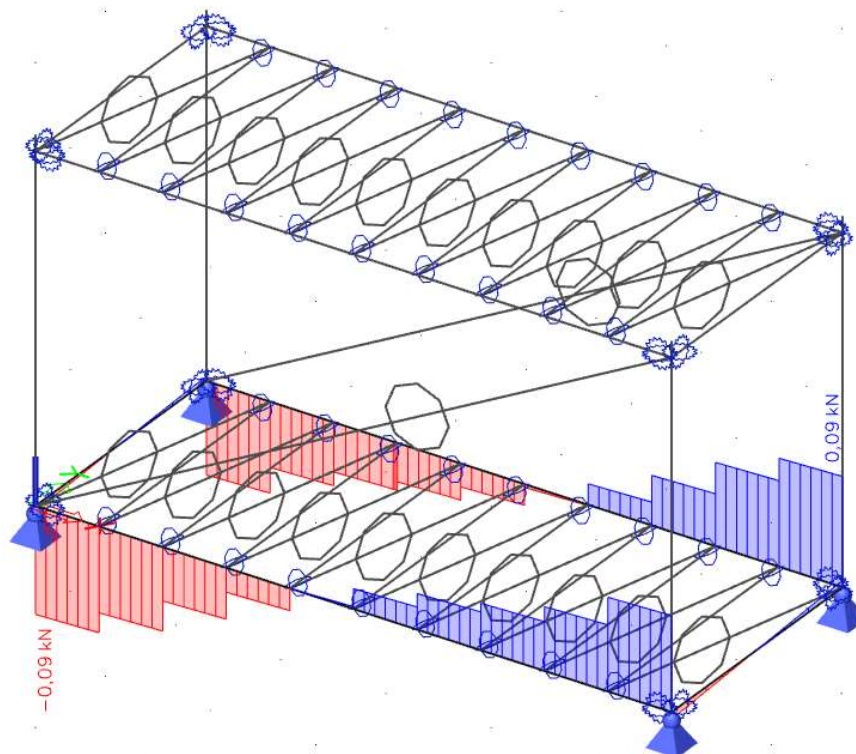
Tento spoj navrhujeme na největší ohybový moment M_{Ed} s odpovídající normálovou silou N_{Ed} a posouvající silou V_{Ed} .

- kombinace 91 – min. stálé zatížení + min. podélný vítr + min. užité zatížení + max. sníh

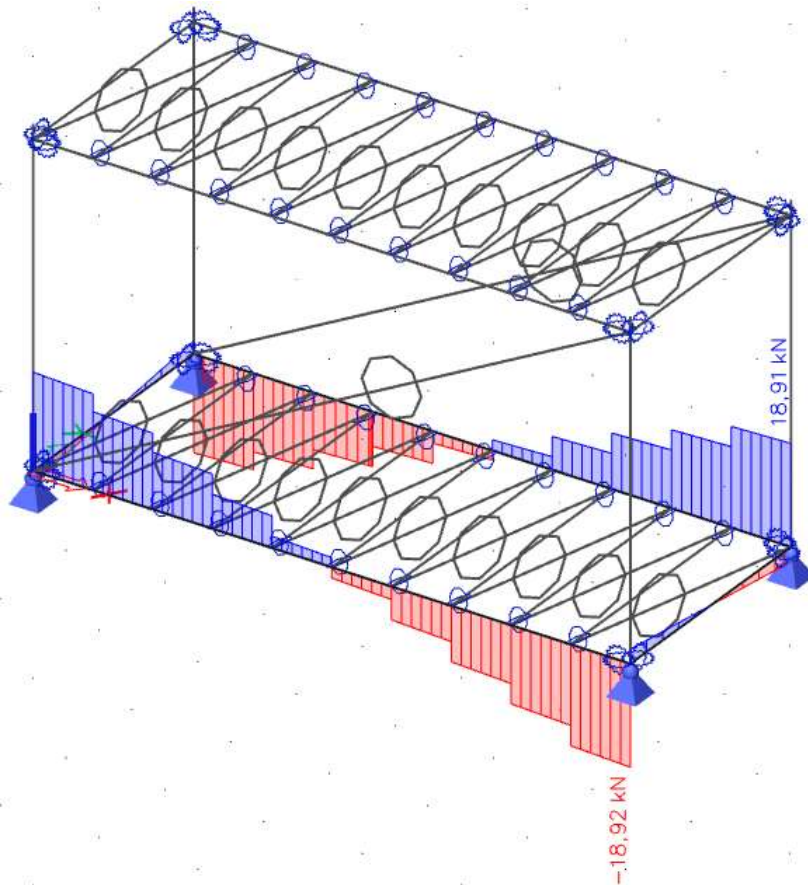
$$M_{Ed} = 9,81 \text{ kNm} + N_{Ed} = 0,09 \text{ kN} + V_{Ed} = 18,92 \text{ kN}$$



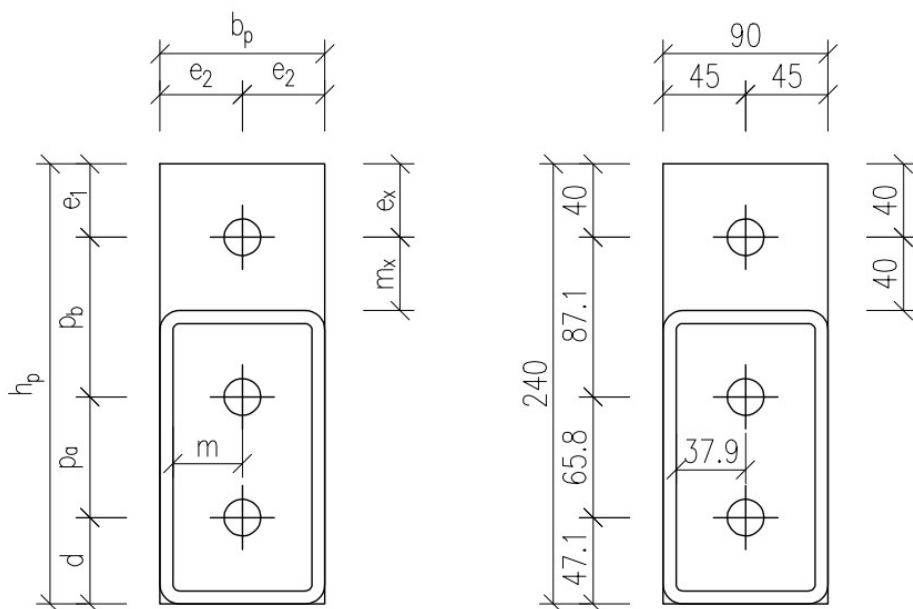
Obr. 106: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem okolo osy y – K91



Obr. 107: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou – K91



Obr. 108: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou – K91



Obr. 109: Přípoj nosníku přístřešku

Styčnick posoudíme plasticky. Jsou navrženy tři řady šroubů, přičemž je uvažováno, že momentovou a smykovou únosnost zajistí všechny tři řady šroubů.

7.2.1 Návrh svarů

Tloušťka tupého svaru HRT profilu k čelní desce odpovídá tloušťce stěny HRT profilu. Předpokládá se, že svar vyhoví, tudíž není potřeba jeho posouzení.

7.2.2 Únosnosti řad šroubů v tahu

Únosnost řady šroubů se určí jako nejmenší hodnota z únosnosti:

- pásnice sloupu v ohybu
- stěna sloupu v tahu
- čelní desky v ohybu
- stěny příčle v tahu

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min \begin{pmatrix} F_{t,fc,Rd} \\ F_{t,wc,Rd} \\ F_{t,ep,Rd} \\ F_{t,wb,Rd} \end{pmatrix}$$

Dále je uvažováno se třemi způsoby porušení T profilu. Způsob porušení 1 je plastický mechanismus se čtyřmi plastickými klouby. Způsob porušení 2 je plastický mechanismus se dvěma plastickými klouby a porušením šroubů v tahu. Způsob porušení 3 bere v úvahu porušení šroubů v tahu.

$$m = \frac{b_p}{2} - t_{wb} = \frac{90}{2} - 7,1 = 37,9 \text{ mm}$$

$$p = \frac{p_a + p_b}{2} = \frac{65,8 + 87,1}{2} = 76,45 \text{ mm}$$

7.2.2.1 Únosnost první řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 37,9 = 238,13 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_b = \pi \cdot 40,5 + 87,1 = 206,17 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 206,17 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 206,17 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,611 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,611}{37,9 \cdot 10^{-3}} = 32,22 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 206,17 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,611 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,611 + 0,045 \cdot 141,12}{(37,9 + 45) \cdot 10^{-3}} = 45,67 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(32,22; 45,67; 141,12) = 32,22 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r1,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,57 \cdot 206,17 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1}$$

$$F_{t,wc,Rd} = 386,41 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{206,17 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,57$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 206,17 \text{ mm (dle 6.2.6.3 (3) v [8])}$$

c) čelní deska v ohybu – řada šroubů vně tažené pásnice nosníku

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m_x = 2 \cdot \pi \cdot 40 = 251,33 \text{ mm} \\ \pi \cdot m_x + 2 \cdot e_2 = \pi \cdot 40 + 2 \cdot 45 = 215,66 \text{ mm} \\ 4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x = 4 \cdot 40 + 1,25 \cdot 40 = 210 \text{ mm} \\ e_2 + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x = 45 + 2 \cdot 40 + 0,625 \cdot 40 = 150 \text{ mm} \\ 0,5 \cdot b_p = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen k porušení řady šroubů uvažovanou samostatně. Bylo uvažováno s kruhovým i nekruhovým porušením řady šroubů.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 45 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,045 \cdot 0,015^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,595 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,595}{0,0379} = 31,39 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,045 \cdot 0,015^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,595 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,595 + 0,045 \cdot 141,12}{0,0379 + 0,045} = 45,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(31,39; 45,48; 141,12) = 31,39 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,0071 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 150,165 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 45 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost první řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 1)} = \min(32,22; 386,41; 31,39; 150,165) = 31,39 \text{ kN}$$

7.2.2.2 Únosnost druhé řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – vnitřní řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 37,9 = 238,13 \text{ mm} \\ 2 \cdot p = 2 \cdot 76,45 = 152,9 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 152,9 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 152,9 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,453 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,453}{37,9 \cdot 10^{-3}} = 23,9 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 152,9 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,453 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,453 + 0,045 \cdot 141,12}{(37,9 + 45) \cdot 10^{-3}} = 44,51 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(23,9; 44,51; 141,12) = 23,9 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r2,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,68 \cdot 152,9 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 344,51 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{152,9 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,68$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 152,9 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu – řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 37,9 = 238,13 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p = \pi \cdot 37,9 + 76,45 = 195,52 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky tomu, že čelní deska nemá volný konec (je lemována ocelovým průřezem nosníku). Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 195,52 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 195,52 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,58 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 2,58}{0,0379} = 136,38 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 195,52 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,58 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 2,58 + 0,045 \cdot 141,12}{0,0379 + 0,045} = 69,51 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(136,38; 69,51; 141,12) = 69,51 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = 2 \cdot \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{195,52 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 652,44 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 195,52 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost druhé řady šroubů

$$F_{t,Rd(row 2)} = \min(23,9; 344,51; 69,51; 652,44) = 23,9 \text{ kN}$$

7.2.2.3 Únosnost třetí řady šroubů

a) nevyztužená pásnice sloupu v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 37,9 = 238,13 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_a = \pi \cdot 37,9 + 65,8 = 184,87 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky víčku na koncích ocelových sloupků. Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,c} = L_{eff,2,c} = 184,87 \text{ mm}$$

Únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 184,87 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,547 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,c}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,547}{37,9 \cdot 10^{-3}} = 28,89 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,c} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,c} \cdot t_{fc}^2 \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 184,87 \cdot 0,0071^2 \cdot 235}{1} = 0,547 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,c} + n_{p,c} \cdot F_{t,Rd}}{m + n_{p,c}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,547 + 0,045 \cdot 141,12}{(37,9 + 45) \cdot 10^{-3}} = 44,91 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,c} = \min(e_c; 1,25 \cdot m_{c1}) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,fc} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost nevyztužené pásnice sloupu:

$$F_{T,Rd,fc} = \min(F_{T,1,Rd,c}; F_{T,2,Rd,c}; F_{T,3,Rd,fc}) = \min(28,89; 44,91; 141,12) = 28,89 \text{ kN}$$

b) stěna sloupu v tahu

Únosnost nevyztužené stěny sloupu v tahu:

$$F_{t,wc,Rd} = 2 \cdot \frac{\omega_{1,r2,c} \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 184,87 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 372,36 \text{ kN}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,r2,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{184,87 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,6$$

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff,2,c} = 184,87 \text{ mm}$$

c) čelní deska v ohybu – koncová řada šroubů

Efektivní šířka T-průřezu se určí jako minimum z hodnot:

$$\min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 37,9 = 238,13 \text{ mm} \\ \pi \cdot m + p_a = \pi \cdot 37,9 + 65,8 = 184,87 \text{ mm} \end{array} \right)$$

V tomto případě dojde jen ke kruhovému porušení. K nekruhovému porušení nedojde díky tomu, že čelní deska nemá volný konec (je lemována ocelovým průřezem nosníku). Byla uvažována řada šroubů jak samostatně, tak jako součást skupiny.

$$L_{eff,1,b} = L_{eff,2,b} = 184,87 \text{ mm}$$

Únosnost čelní desky v ohybu:

1. způsob porušení

$$M_{pl,1,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,1,b} \cdot t_p^2 \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 184,87 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,44 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd,r1,b}}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 2,44}{0,0379} = 128,96 \text{ kN}$$

2. způsob porušení

$$M_{pl,2,Rd,r1,b} = \frac{0,25 \cdot L_{eff,2,b} \cdot t_p^2 \cdot f_p}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 184,87 \cdot 0,015^2 \cdot 235}{1} = 2,44 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd,ep} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,r1,b} + n_{p,ep} \cdot F_{t,Rd}}{m_{p1} + n_{p,ep}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 2,44 + 0,045 \cdot 141,12}{0,0379 + 0,045} = 67,78 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$n_{p,ep} = \min(e_2; 1,25 \cdot m) = \min(45; 1,25 \cdot 37,9) = \min(45; 47,38) = 45 \text{ mm}$$

3. způsob porušení

$$F_{T,3,Rd,ep} = F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

- únosnost čelní desky:

$$F_{T,Rd,ep} = \min(F_{T,1,Rd,ep}; F_{T,2,Rd,ep}; F_{T,3,Rd,ep}) = \min(128,96; 67,78; 141,12) = 67,78 \text{ kN}$$

d) stěna příčle v tahu

$$F_{t,wb,Rd} = 2 \cdot \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{184,87 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 616,9 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = L_{eff,2,b} = 199,99 \text{ mm}$$

Výsledná únosnost třetí řady šroubů

$$F_{t,Rd(row\ 3)} = \min(28,89; 372,36; 67,78; 616,9) = 28,89 \text{ kN}$$

7.2.3 Únosnost tlačené oblasti

a) stěna sloupu v tlaku

$$F_{c,wc,Rd} = \min\left(2 \cdot \frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}}; 2 \cdot \frac{\omega_c \cdot k_{wc} \cdot \rho_c \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,c}}{\gamma_{M0}}\right)$$

$$k_{wc} = 1 \text{ (konzervativně dle 6.2.6.2(2) v [8])}$$

- efektivní šířka pro tlačenu stěnu sloupu:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 5(t_{fc} + r_{i,c}) + t_p = 7,1 + 5 \cdot (7,1 + 3,55) + 15$$

$$b_{eff,c,wc} = 75,35 \text{ mm}$$

- pro jednostranný přípoj ($\beta = 1$), platí: (dle tab. 6.3 v [8])

$$\omega_{1,c} = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_w}{A_{vz,c}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{75,35 \cdot 7,1}{1133}\right)^2}} = 0,88$$

- štíhlost stěny sloupu:

$$d_c = h_c - 2 \cdot (t_{fc} + r_{i,c}) = 90 - 2 \cdot (7,1 + 3,55) = 68,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p,c} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_c \cdot f_{y,c}}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{75,35 \cdot 0,0687 \cdot 235}{210 \cdot 10^6 \cdot 0,0071^2}} = 0,316$$

$$\rightarrow \rho_c = 1,0$$

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} 2 \cdot \frac{0,88 \cdot 1,0 \cdot 75,35 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 221,4 \text{ kN} \\ 2 \cdot \frac{0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 75,35 \cdot 0,0071 \cdot 235}{1} = 221,4 \text{ kN} \end{array} \right)$$

$$F_{c,wc,Rd} = 221,4 \text{ kN}$$

b) pásnice a stěna nosníku v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{39,715}{(0,16 - 0,0071)} = 259,75 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y,b} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,69 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 39,715 \text{ kNm}$$

Výsledná únosnost tlačené oblasti

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) = \min(221,4; 259,75) = 221,4 \text{ kN}$$

$$\sum F_{t,Rd(row\ i)} = 31,39 + 23,9 + 28,89 = 84,18 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 221,4 \text{ kN} \geq \sum F_{t,Rd(row\ i)} = 79,65 \text{ kN}$$

Únosnost tlačené oblasti je větší než tahová únosnost šroubů, neovlivní tedy momentovou únosnost přípoje.

7.2.4 Stěna sloupu ve smyku

- štíhlost stěny sloupu:

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{75,8}{7,1} = 10,68 \leq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 1 = 60 \rightarrow \text{vyhovuje} \rightarrow \text{stěna ve smyku nebouli}$$

- únosnost ve smyku:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vz,c} \cdot f_{y,c}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 1133 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 138,35 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 138,35 \text{ kN} \geq \sum F_{t,Rd(row\ i)} = 84,18 \text{ kN}$$

Únosnost stěny ve smyku je větší než součet tahové únosnosti jednotlivých řad šroubů, proto není potřeba navrhovat příložku na stěnu sloupu. Nedojde ke snížení momentové únosnosti přípoje.

7.2.5 Momentová únosnost

Tab. 19: Únosnost jednotlivých řad šroubů a jejich rameno

Řada	Únosnost řady	Rameno h_i
1	$F_{t,Rd(row\ 1)} = 31,39\ kN$	196,45 mm
2	$F_{t,Rd(row\ 2)} = 23,90\ kN$	109,35 mm
3	$F_{t,Rd(row\ 3)} = 28,89\ kN$	43,55 mm
celkem	$\sum F_{t,Rd(row\ i)} = 84,18\ kN$	

- největší síla v řadě šroubů nesmí překročit 1,9 násobek únosnosti šroubu v tahu, aby bylo možné přípoj posoudit plasticky:

$$F_{t1,Rd} = 31,39\ kN \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 141,12 = 268,13\ kN \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- momentová únosnost navrženého styčnicku:

$$M_{j,Rd} = F_{t1,Rd} \cdot h_1 + F_{t2,Rd} \cdot h_2 + F_{t3,Rd} \cdot h_3$$

$$M_{j,Rd} = 31,39 \cdot 0,196 + 23,9 \cdot 0,109 + 28,89 \cdot 0,044 = 10,038\ kNm$$

$$M_{j,Rd} = 10,038\ kNm \geq M_{Ed} = 9,81\ kNm \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.2.6 Smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 3 \cdot \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 3 \cdot 94,08 = 282,24\ kN$$

- únosnost v otláčení (pro pásnici sloupu):

$$F_{b,Rd} = 3 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{fc} \cdot f_{u,c}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_u}{f_{u,c}} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{76,45}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ \frac{40}{3 \cdot 22} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,91 \\ 2,22 \\ 0,61 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,61$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,4 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 45}{22} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 4,03 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 3 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,61 \cdot 0,02 \cdot 0,0071 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 3 \cdot 61,96 = 185,87 \text{ kN}$$

- smyková únosnost:

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(282,24; 185,87) = 185,87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 185,87 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 18,92 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.2.7 Kombinace ohybového, osového a smykového namáhání

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,81}{10,038} + \frac{0,08}{84,18} + \frac{18,92}{185,87} = 1,0 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navrhovaný styčnický vyhovuje.

7.2.8 Tuhost přípoje (dle 6.3 v [10])

- jedná se o jednostranný přípoj šroubovaný pomocí čelní desky

- komponenty k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 a k_{10} (dle tab. 6.10 a tab. 6.11 v [10])

a) panel stěny sloupu ve smyku - k_1

$$\beta = 1 \text{ (dle tab. 5.4 v [10])}$$

$$z = 152,9 \text{ mm (dle obr. 6.15 v [10])}$$

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vz,c}}{\beta \cdot z} = \frac{0,38 \cdot 1133}{1 \cdot 1529} = 2,816 \text{ mm}$$

b) stěna sloupu v tlaku - k_2

$b_{eff;c;wc} = 75,35 \text{ mm}$, $d_{wc} = 68,7 \text{ mm}$ – výpočet v kapitole 6.1.3

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{eff;c;wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0,7 \cdot 75,35 \cdot 7,1}{68,7} = 5,451 \text{ mm}$$

c) stěna sloupu v tahu - k_3

$b_{eff;t;wc} = 152,9 \text{ mm}$ – nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{eff;t;wc} \cdot t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0,7 \cdot 152,9 \cdot 7,1}{68,7} = 11,061 \text{ mm}$$

d) pásnice sloupu v ohybu - k_4

$L_{eff;1;c} = 152,9 \text{ mm}$ – nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot L_{eff;1;c} \cdot t_{fc}^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 152,9 \cdot 7,1^3}{37,9^3} = 0,905 \text{ mm}$$

e) čelní deska v ohybu - k_5

$L_{eff;1;d} = 45 \text{ mm}$ – nejmenší hodnota z kapitoly 6.1.2

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot L_{eff;1;d} \cdot t_p^3}{m_x^3} = \frac{0,9 \cdot 45 \cdot 15^3}{40^3} = 2,136 \text{ mm}$$

f) šrouby v tahu - k_{10}

$L_b = 40,6 \text{ mm}$ – prodlužovaná délka (dle. tab. 6.11 v [10])

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b} = \frac{1,6 \cdot 245}{40,6} = 9,655 \text{ mm}$$

- rotační tuhost:

$$k_{eq} = \frac{k_1 \cdot z_{eq} + k_{eff;r1} \cdot h_{r1} + k_{eff;r2} \cdot h_{r2} + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}}{z_{eq}}$$

$$k_{eff;r1} = \frac{1}{\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}} = \frac{1}{\frac{1}{11,061} + \frac{1}{0,905} + \frac{1}{2,136} + \frac{1}{9,655}} = 0,566 \text{ mm}$$

$$k_{eff;r2} = k_{eff;r1} = 0,566 \text{ mm}$$

$$k_{eff;r3} = k_{eff;r1} = 0,566 \text{ mm}$$

$$h_{r1} = r_1 = 196,45 \text{ mm}, h_{r2} = r_2 = 109,35 \text{ mm}, h_{r3} = r_3 = 43,55 \text{ mm}$$

$$z_{eq} = \frac{k_{eff;r1} \cdot h_{r1}^2 + k_{eff;r2} \cdot h_{r2}^2 + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}^2}{k_{eff;r1} \cdot h_{r1} + k_{eff;r2} \cdot h_{r2} + k_{eff;r3} \cdot h_{r3}}$$

$$z_{eq} = \frac{0,566 \cdot 196,45^2 + 0,566 \cdot 109,35^2 + 0,566 \cdot 43,55^2}{0,566 \cdot 196,45 + 0,566 \cdot 109,35 + 0,566 \cdot 43,55} = 150,13 \text{ mm}$$

$$k_{eq} = \frac{2,816 \cdot 150,13 + 0,566 \cdot 196,45 + 0,566 \cdot 109,35 + 0,566 \cdot 43,55}{150,13} = 4,132 \text{ mm}$$

$$\mu = \left(1,5 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^\psi = \left(1,5 \cdot \frac{9,81}{10,038}\right)^{2,7} = 2,809, \psi = 2,7 - \text{dle tab. 6.8 v [10]}$$

$$S_j = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\mu \cdot \left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_2}\right)} = \frac{210 \cdot 10^6 \cdot (150,13 \cdot 10^{-3})^2}{2,809 \cdot \left(\frac{1}{4,132 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5,451 \cdot 10^{-3}}\right)} = 3961 \text{ kNm}$$

- počáteční tuhost:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_2}\right)} = \frac{210 \cdot 10^6 \cdot (150,13 \cdot 10^{-3})^2}{\left(\frac{1}{4,132 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5,451 \cdot 10^{-3}}\right)} = 11125 \text{ kNm}$$

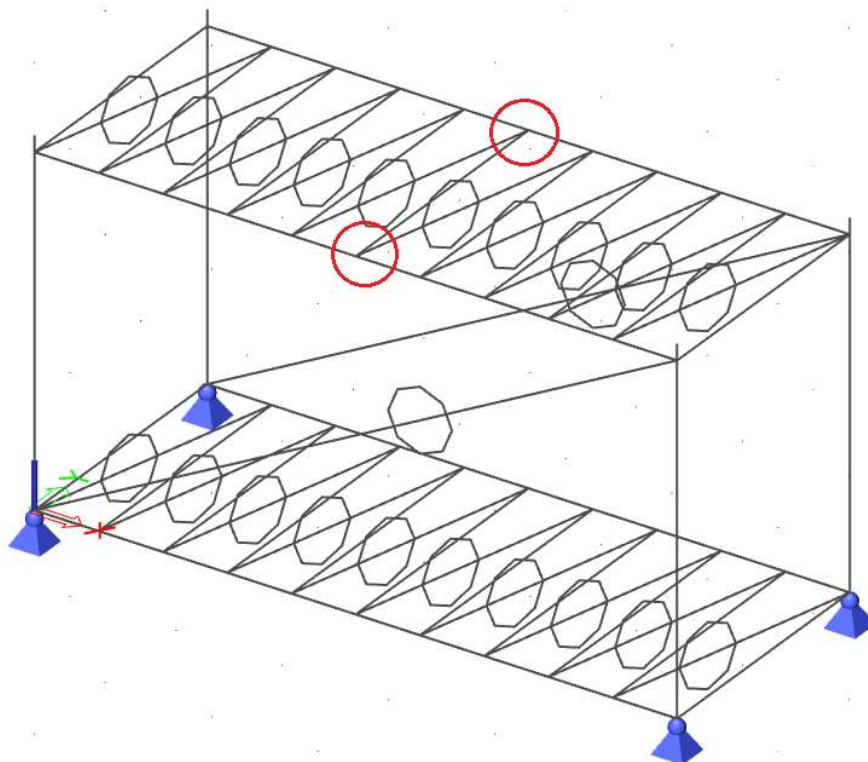
7.2.9 Posouzení styčnicku v softwaru IDEA StatiCa

$$S_{j,ini;y} = 2486,3 \text{ kNm}$$

$$S_{j,ini;z} = 387 \text{ kNm}$$

Výsledky posouzení napětí, přetvoření, jednotlivých komponent a tuhosti styčnicku softwarem jsou součástí přílohy B – Protokoly ze softwaru IDEA StatiCa.

7.3 Přípoj tenkostěnné vaznice k střešnímu nosníku



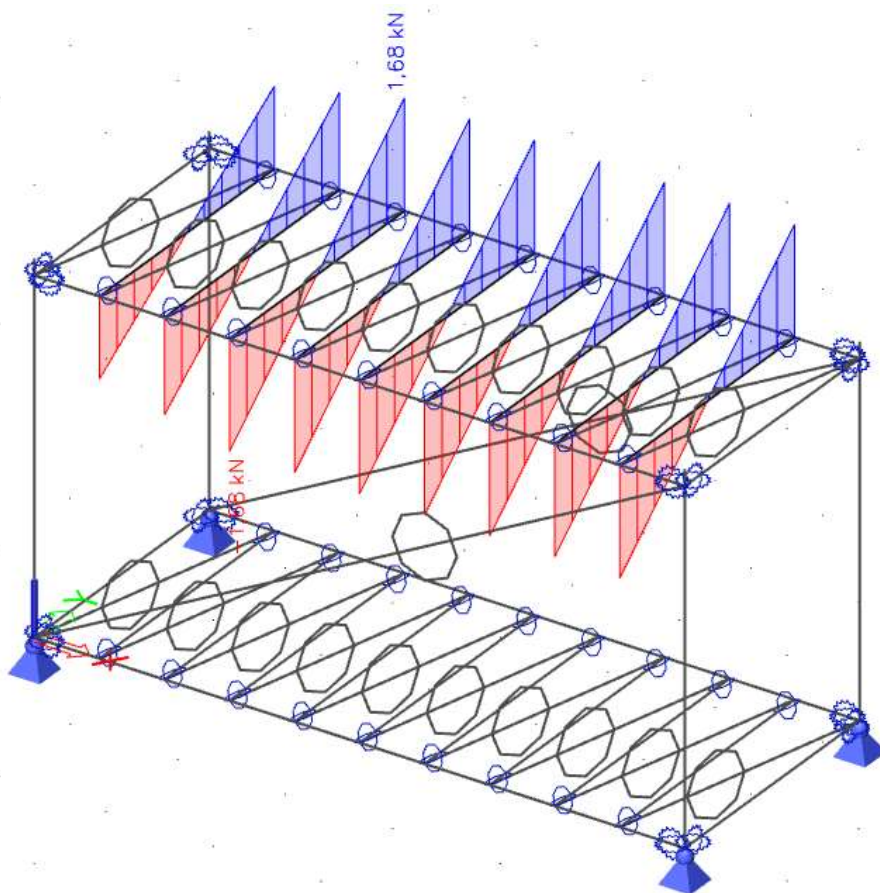
Obr. 110: Znáornění přípoje střešní vaznice ke střešnímu nosníku

Jedná se o přípoj tenkostěnné vaznice Z 70 ke střešnímu nosníku HRT 160x90x4.5. Provede se přípoj pomocí tzv. žiletky – desky na stěně nosníku. Přípoj musí přenést posouvající sílu $V_{Ed} = 1,68$ kN. Je navržen jeden šroub M16 s pevností 8.8 a deska tloušťky 5 mm z oceli S 235. Deska je přivařena svarem $a_w = 3$ mm.

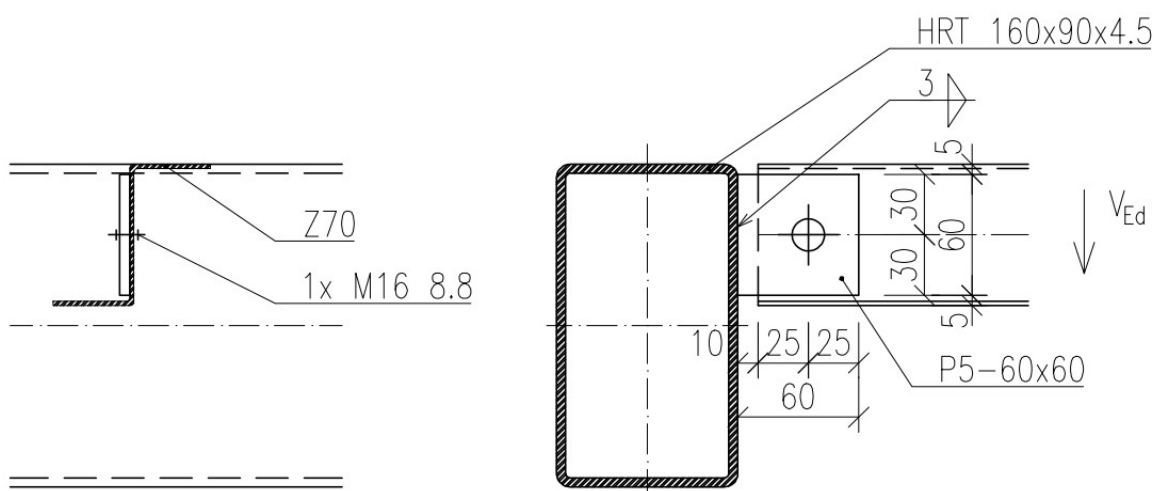
Tab. 20: Přehled prvků a jejich charakteristik kloubového přípoje

Šrouby M16	Čelní deska	Vaznice Z70	Svar
$d_s = 16$ mm	$t_d = 5$ mm	$t_w = 2$ mm	$a_w = 3$ mm
$d_o = 18$ mm	$b_d = 60$ mm	$t_f = 2$ mm	$l_w = 60$ mm
$A_s = 157$ mm ²	$h_d = 60$ mm	$A = 292$ mm ²	
$f_{yb} = 640$ MPa	$f_{y,d} = 235$ MPa	$f_y = 280$ MPa	
$f_{ub} = 800$ MPa	$f_{u,d} = 360$ MPa	$f_u = 360$ MPa	

- kombinace 42 – max. sníh + min. podélný vítr



Obr. 111: Namáhání přípoje posouvající silou – K42



Obr. 112: Připoj pomocí desky na stěně nosníku

a) posouzení šroubů

- únosnost jednoho šroubu při stříhu v závitu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

- únosnost jednoho šroubu při otláčení desky:

$$F_{b,Rd,d} = \frac{k_1 \cdot \alpha_1 \cdot d_s \cdot t_w \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,d}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{30}{3 \cdot 18} \\ \frac{800}{800} \\ \frac{360}{360} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,56 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,56$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 25}{18} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 2,19 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,19$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,19 \cdot 0,56 \cdot 0,016 \cdot 0,002 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 11,21 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(60,29; 11,21) = 11,21 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 11,21 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navrhovaný šroub M16 vyhoví.

b) posouzení koutového svaru

- excentricitou šroubů vzniká ve svaru ohybový moment:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 1,68 \cdot 0,035 = 0,0588 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{M_{Ed}}{\frac{2 a_w l_w^2}{6}} = \frac{0,0588}{\frac{2 \cdot 0,003 \cdot 0,06^2}{6}} = 16,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{16,33}{\sqrt{2}} = 11,55 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{1,68}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,06} = 4,67 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{11,55^2 + 3 \cdot (11,55^2 + 4,67^2)} = 24,47 \text{ MPa}$$

$$24,47 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 11,55 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený koutový svar vyhoví.

c) posouzení desky ve smyku

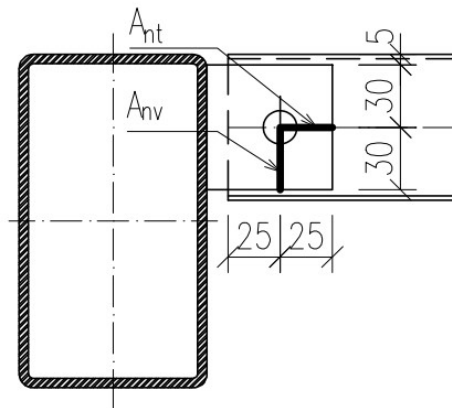
- 1. způsob porušení

- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 5 \cdot \left(25 - \frac{18}{2}\right) = 80 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 5 \cdot \left(30 - \frac{18}{2}\right) = 105 \text{ mm}^2$$



Obr. 113: Oslabené plochy pro posouzení desky

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{105 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 25,77 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 25,77 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- 2. způsob porušení

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

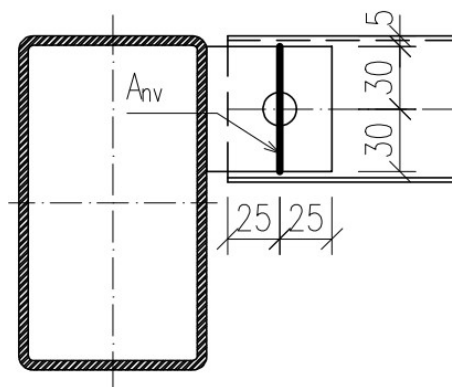
$$A_{nv} = 5 \cdot (2 \cdot 30 - 18) = 210 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{210 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 28,49 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 28,49 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{28,49}{2} = 14,25 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN}$$

→ jedná se o malý smyk



Obr. 114: Oslabená plocha pro posouzení desky

- únosnost plného průřezu ve smyku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,d} \cdot f_{y,d}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,005 \cdot 0,06 \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 40,7 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržená deska tloušťky 5 mm o rozměrech 60x60 mm vyhovuje.

d) posouzení stěny vaznice ve smyku

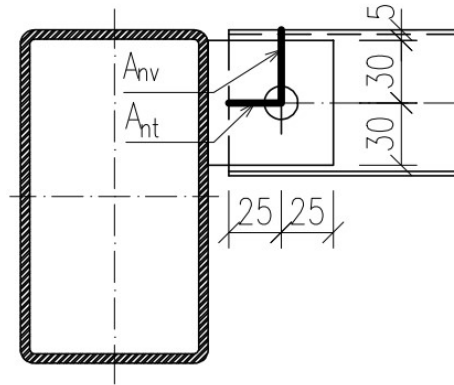
- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 2 \cdot \left(25 - \frac{18}{2} \right) = 32 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 2 \cdot \left(30 + 5 - \frac{18}{2} \right)$$

$$A_{nv} = 52 \text{ mm}^2$$



Obr. 115: Oslabené plochy pro posouzení stěny

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 32 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{52 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 11,66 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 11,66 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1,68 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stěna vaznice na smyk vyhoví.

e) posouzení desky v ohybu

- při posouzení na ohyb je průřez desky zatříděn do 3. třídy

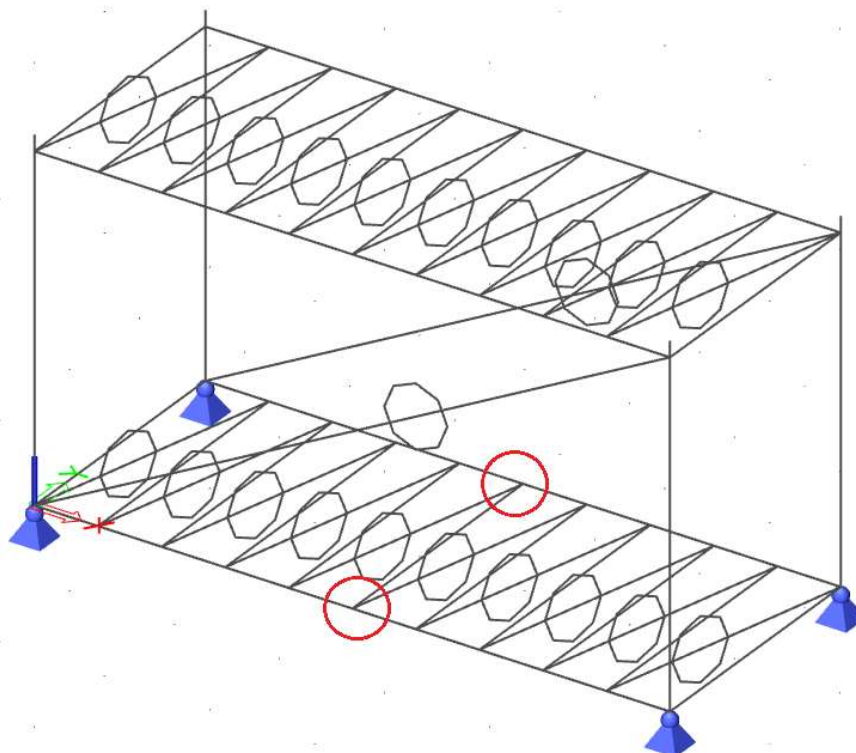
$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{y,d}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{0,005 \cdot 0,06^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{6} = 0,705 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 0,0588 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Deska na ohyb vyhoví.

Navrhovaný přípoj pomocí tzv. žiletky - desky na stěnu vaznice vyhoví.

7.4 Přípoj tenkostěnné vaznice k podlahovému nosníku



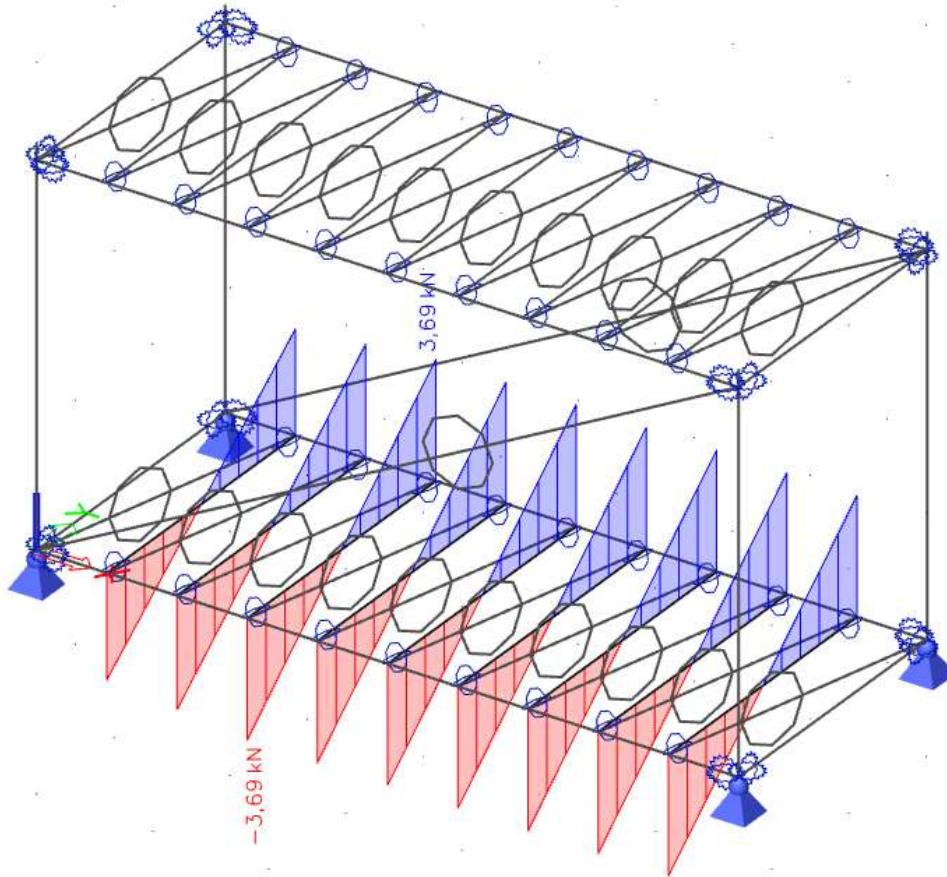
Obr. 116: Znáornění přípoje podlahové vaznice k podlahovému nosníku

Jedná se o přípoj tenkostěnné vaznice Z 100 k podlahovému nosníku HRT 160x90x7.1. Provede se přípoj pomocí tzv. žiletky – desky na stěně nosníku. Přípoj musí přenést posouvající sílu $V_{Ed} = 3,69$ kN. Jsou navrženy dva šrouby M12 s pevností 8.8 a deska tloušťky 5 mm z oceli S 235. Deska je přivařena svarem $a_w = 3$ mm.

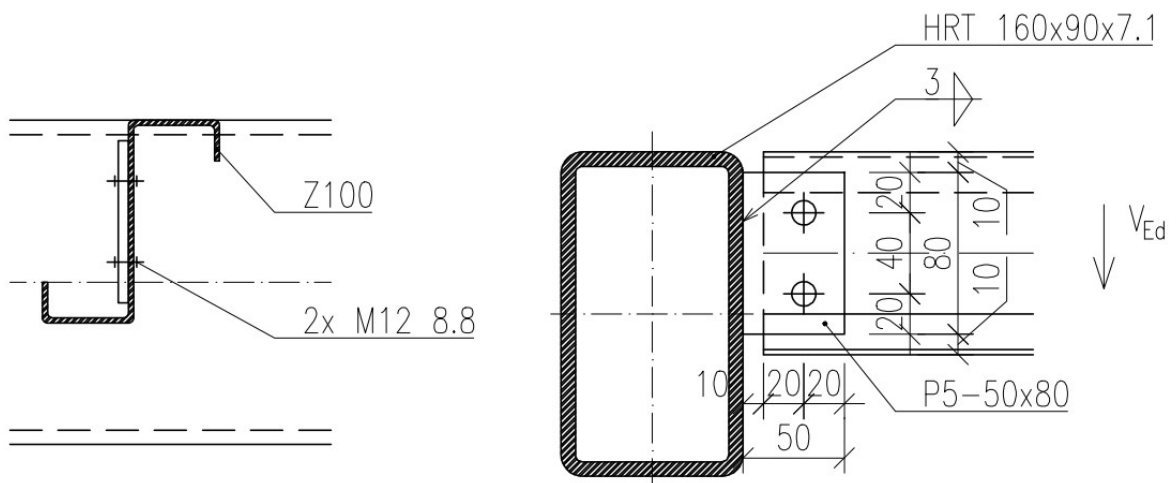
Tab. 21: Přehled prvků a jejich charakteristik kloubového přípoje

Šrouby M12	Čelní deska	Vaznice Z 100	Svar
$d_s = 12$ mm	$t_d = 5$ mm	$t_w = 2,5$ mm	$a_w = 3$ mm
$d_o = 13$ mm	$b_d = 50$ mm	$t_f = 2,5$ mm	$l_w = 80$ mm
$A_s = 84,3$ mm ²	$h_d = 80$ mm	$A = 550$ mm ²	
$f_{yb} = 640$ MPa	$f_{y,d} = 235$ MPa	$f_y = 280$ MPa	
$f_{ub} = 800$ MPa	$f_{u,d} = 360$ MPa	$f_u = 360$ MPa	

- kombinace 88 - min. podélný vítr + max. užité zátížení



Obr. 117: Namáhání přípoje posouvající silou – K88



Obr. 118: Přípoj pomocí desky na stěně nosníku

a) posouzení šroubů

- únosnost jednoho šroubu při stříhu v závitu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 32,37 \text{ kN}$$

- únosnost jednoho šroubu při otláčení desky:

$$F_{b,Rd,d} = \frac{k_1 \cdot \alpha_1 \cdot d_s \cdot t_w \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_{u,d}} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{20}{3 \cdot 13} \\ \frac{40}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 0,51 \\ 0,78 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,51$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 20}{13} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 2,61 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,51 \cdot 0,016 \cdot 0,0025 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 11,08 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(32,37; 11,08) = 2 \cdot 11,08 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 22,15 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navrhované šrouby M12 vyhoví.

b) posouzení koutového svaru

- excentricitou šroubů vzniká ve svaru ohybový moment:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 3,69 \cdot 0,03 = 0,111 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{M_{Ed}}{2 a_w l_w^2} = \frac{0,111}{\frac{2 \cdot 0,003 \cdot 0,08^2}{6}} = 17,34 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{17,34}{\sqrt{2}} = 12,23 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{3,69}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,08} = 7,69 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{12,23^2 + 3 \cdot (12,23^2 + 7,69^2)} = 27,85 \text{ MPa}$$

$$27,85 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 12,23 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržený koutový svar vyhoví.

c) posouzení desky ve smyku

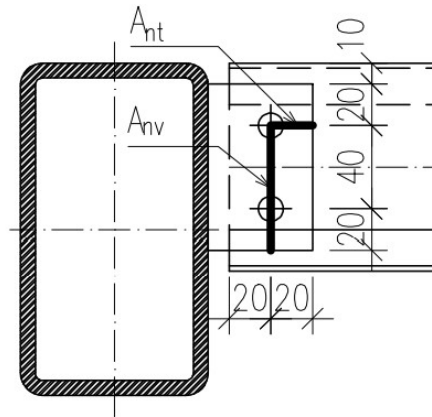
- 1. způsob porušení

- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 5 \cdot \left(20 - \frac{13}{2}\right) = 67,5 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 5 \cdot \left(20 + 40 - 13 - \frac{13}{2}\right) = 202,5 \text{ mm}^2$$



Obr. 119: Oslabené plochy pro posouzení desky

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 67,5 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{202,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 37,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 37,2 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- 2. způsob porušení

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

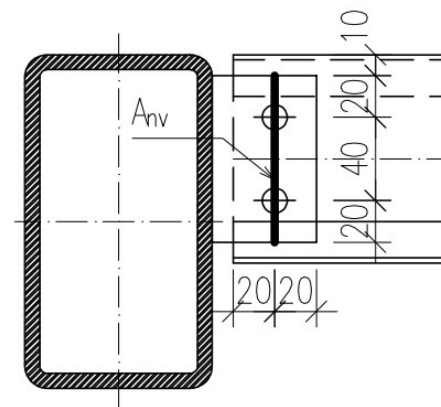
$$A_{nv} = 5 \cdot (2 \cdot 20 + 40 - 2 \cdot 13) = 270 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{270 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 36,63 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 36,63 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{36,63}{2} = 18,32 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN}$$

→ jedná se o malý smyk



Obr. 120: Oslabená plocha pro posouzení desky

- únosnost plného průřezu ve smyku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,d} \cdot f_{y,d}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,005 \cdot 0,08 \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 54,27 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržená deska tloušťky 5 mm o rozměrech 50x80 mm vyhovuje.

d) posouzení stěny vaznice ve smyku

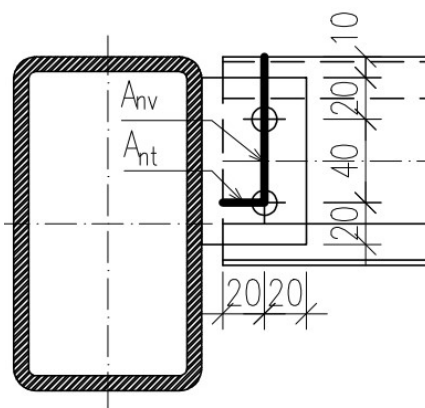
- oslabená plocha přenášející tahovou sílu:

$$A_{nt} = 2,5 \cdot \left(20 - \frac{13}{2}\right) = 33,75 \text{ mm}^2$$

- oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

$$A_{nv} = 2,5 \cdot \left(20 + 40 + 10 - 13 - \frac{13}{2}\right)$$

$$A_{nv} = 126,3 \text{ mm}^2$$



Obr. 121: Oslabené plochy pro posouzení stěny

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_{u,d}}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 33,75 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} + \frac{126,3 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1} = 21,99 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 21,99 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 3,69 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stěna vaznice na smyk vyhoví.

e) posouzení desky v ohybu

- při posouzení na ohyb je průřez desky zatříděn do 3. třídy

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{y,d}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{0,005 \cdot 0,08^2 \cdot 235 \cdot 10^3}{6} = 1,253 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 0,111 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Deska na ohyb vyhoví.

Navrhovaný přípoj pomocí tzv. žiletky - desky na stěnu vaznice vyhoví.

7.5 Kloubová patka

Kotevní prvky patky byly navrženy jako dodatečně osazené. Jedná se konkrétně o lepené kotvy HILTI HIT-HY 200-A se závitovou tyčí HAS-U pevnosti 8.8.

Kotvení bylo posouzeno pomocí softwaru Hilti PROFIS Engineering. Ručně byly provedeny jen doplňující posudky převážně betonového základu.

7.5.1 Návrh kloubové patky

- rozměry patního plechu: $h_p = 220 \text{ mm}$, $b_p = 220 \text{ mm}$, $t = 15 \text{ mm}$ – materiál S235

- podlití: $t_{pod} = 25 \text{ mm}$

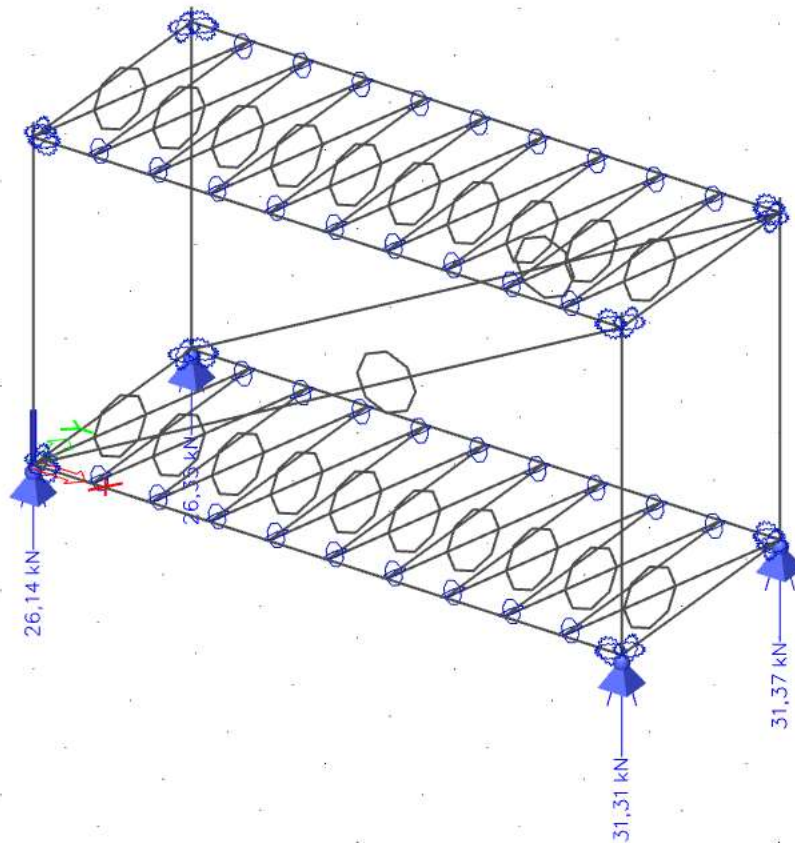
- návrh betonového základu: $a_c = 750 \text{ mm}$, $b_c = 750 \text{ mm}$, $h_c = 850 \text{ mm}$

- třída betonu C25/30

a) ověření únosnosti základové spáry

- kombinace 91 – max. užité zatížení + min. podélný vítr + min. sníh

$N_{b;d} = 31,37 \text{ kN}$ – největší tlaková síla



Obr. 122: Tlak v kloubové patce sloupu – K91

$$\frac{N_{b;d}}{a_c \cdot b_c} = \frac{31,37}{0,75 \cdot 0,75} = 55,77 \text{ kPa} - \text{únosnost běžných zemin} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) únosnost betonové patky v tlaku

- započitatelné rozměry:

$$a_1 = \min(3 \cdot h_p; h_p + h_c; a_c) = \min(3 \cdot 220; 220 + 850; 750) = \min(660; 1070; 750)$$

$$a_1 = 660 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_p; b_p + h_c; b_c) = \min(3 \cdot 220; 220 + 850; 750) = \min(660; 1070; 750)$$

$$b_1 = 660 \text{ mm}$$

- součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1^2}{h_p^2}} = \sqrt{\frac{660^2}{220^2}} = 3$$

- návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}, \gamma_c = 1,5$$

$$f_{jd} = \frac{\frac{2}{3} \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 25}{1,5} = 33,33 \text{ MPa}$$

- účinná šířka patní desky:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{235}{33,33 \cdot 1}} = 39,828 \text{ mm} \rightarrow A_{eff} = 26596 \text{ mm}^2$$

- posouzení:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 26596 \cdot 10^{-6} \cdot 33,33 \cdot 10^3 = 886,53 \text{ kN}$$

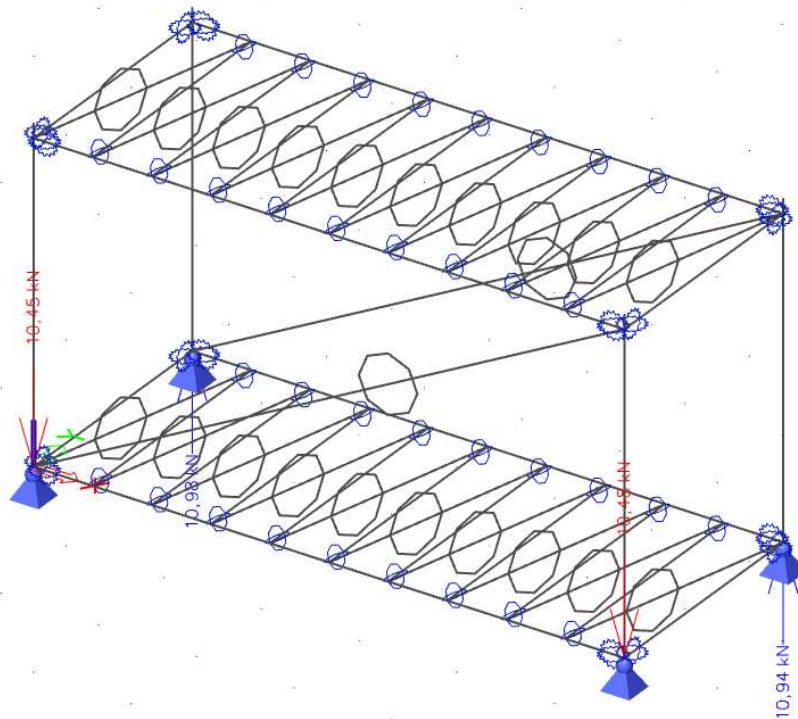
$$\frac{N_{b;d}}{N_{Rd}} = \frac{31,37}{886,53} = 0,035 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

c) návrh a posouzení svaru sloupu k patní desce

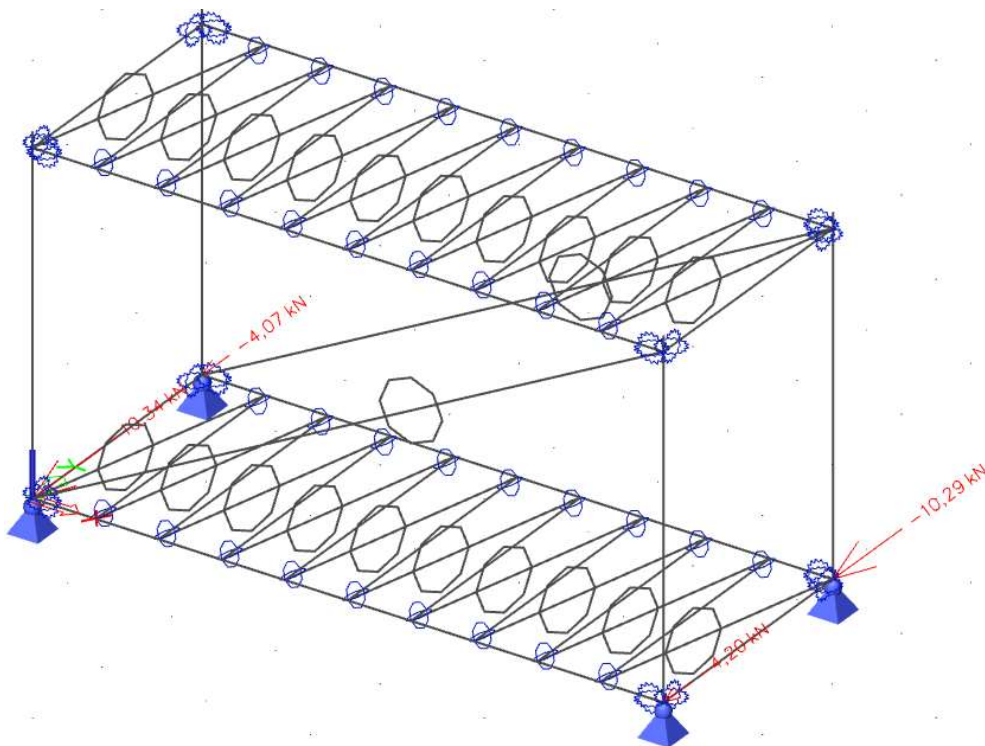
- kombinace 73 - max. příčný vítr + min. vlastní tíha + min. ostatní stálé zatížení

$$N_{t;d} = 10,48 \text{ kN} - \text{největší tahová síla}$$

$$V_{Ed;y} = 10,34 \text{ kN} - \text{posouvající síla}$$



Obr. 123: Tah v kloubové patce sloupu – K73



Obr. 124: Posouvající síla v kloubové patce sloupu – K73

$$h = 90 \text{ mm}, a_w = 3 \text{ mm}, l_w = 4 \cdot h = 4 \cdot 90 = 360 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{t;d}}{a_w \cdot l_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{10,48}{0,003 \cdot 0,36} = 6,86 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,y}}{a_w \cdot \frac{l_w}{2}} = \frac{10,34}{0,003 \cdot \frac{0,36}{2}} = 19,15 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{6,86^2 + 3 \cdot (6,86^2 + 19,15^2)} = 35,89 \text{ MPa}$$

$$35,89 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (tab. 7.1 v [1])}$$

$$\sigma_{\perp} = 6,86 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

d) vytažení betonové patky

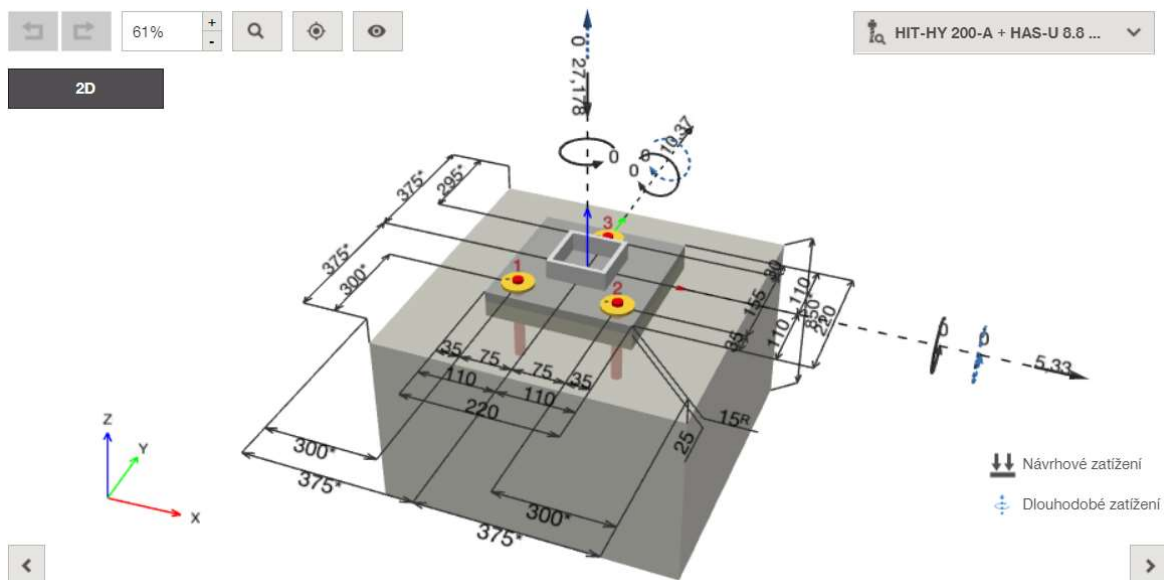
Pro posouzení vytažení betonové patky je uvažováno pouze s tíhou samotné patky. Tření a tíha zeminy byla zanedbána. Tím je posudek na straně bezpečnosti.

$$\gamma_B = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{tíha betonu}$$

$$G_c = 0,9 \cdot \gamma_B \cdot a_c \cdot b_c \cdot h_c = 0,9 \cdot 25 \cdot 0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,85 = 10,76 \text{ kN}$$

$$G_c = 10,76 \text{ kN} \geq N_{t,d} = 10,48 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.5.2 Posouzení v softwaru Hilti PROFISS Engineering



Obr. 125: Rozmístění kotev a geometrie patky

N°	Jméno	Typ	Zatížení	Síly [kN]			Momenty [kNm]			Využití Celkem		
				Vx	Vy	N	Mx	My	Mz			
1	Kombinace 1	+	+	+	Návrh	5,33	10,37	-27,1	0	0	0	40%
					Dlouhodobé			0	0	0		
2	Kombinace 2	+	+	+	Návrh	3,18	10,4	10,48	0	0	0	39%
					Dlouhodobé			0	0	0		
3	Kombinace 3	+	+	+	Návrh	6,3	0,45	-31,3	0	0	0	26%
					Dlouhodobé			0	0	0		

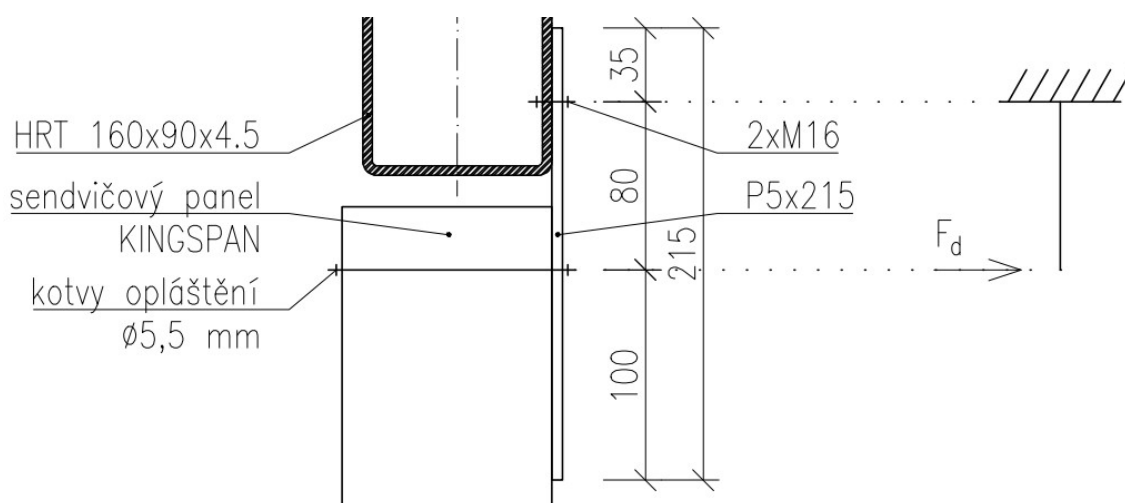
Obr. 126: Posouzení jednotlivých kombinací zatížení

VYUŽITÍ (load comb. n°1)		VYUŽITÍ (load comb. n°2)		VYUŽITÍ (load comb. n°3)	
Tah					
	Ocel	0%		Ocel	7%
	Porušení vytržením betonového kuželu	0%		Porušení vytržením betonového kuželu	30%
	Kombinované porušení vytažením a vytržením betonového kuželu	0%		Kombinované porušení vytažením a vytržením betonového kuželu	24%
	Porušení rozštěpením betonu	0%		Porušení rozštěpením betonu	0%
Smyk					
	Ocel	40%		Ocel	38%
	Porušení okraje betonu	28%		Porušení okraje betonu	28%
	Porušení vylomením betonu	16%		Porušení vylomením betonu	14%
Kombinace					
		0%			39%
					0%

Obr. 127: Podrobnosti posouzení jednotlivých kombinací ztížení

Součástí výpočtu je i protokol s podrobnějšími informacemi o kotvení, železobetonové patce a zatížení, který je přiložen v příloze C - Protokol ze softwaru Hilti PROFIS Engineering.

7.6 Kotvení sendvičového panelu ke střešnímu nosníku



Obr. 128: Konstrukční a statické schéma přípoje

a) kotvy

Kotvy budou posouzeny na tah – při namáhání sendvičových panelů tlakem od větru a na smyk v rovině kolmé na směr pnutí panelů. V rovině rovnoběžné se směrem pnutí panelů je proveden oválný otvor průměru 30 mm, který umožňuje dilataci stěnových panelů.

Posudek je zjednodušený, protože ve výpočtu nebylo zahrnuto zatížení od sání větru. Tento stav by byl nutný posoudit zkouškou nebo jinými postupy. Je uvažováno s tím, že délka plechu 100 mm pod kotvou o průměru 5,5 mm je dostatečná k přenesení sil při sání větru.

- návrh: **2x M16 8.8** na jeden metr plechu pro ukotvení panelů

plech tloušťky 5 mm

- únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 60,29 = 120,58 \text{ kN}$$

- únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{fc} \cdot f_{u,c}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_u}{f_{u,c}} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{500}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ \frac{35}{3 \cdot 18} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 9,01 \\ 2,22 \\ 0,65 \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,65$$

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,4 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} \frac{2,8 \cdot 35}{18} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 3,74 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

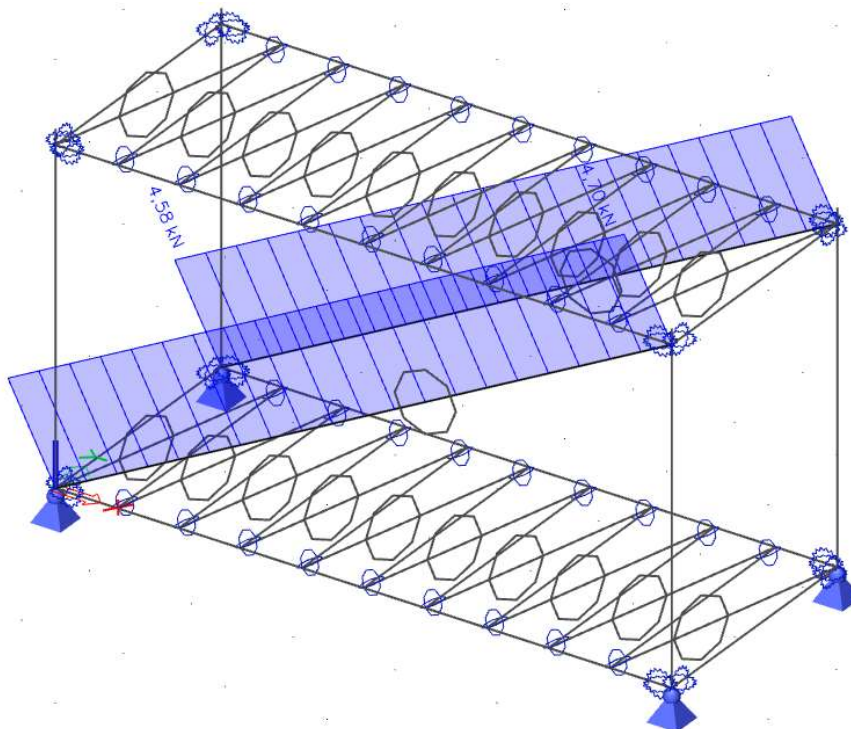
$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 0,016 \cdot 0,005 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 37,34 = 74,67 \text{ kN}$$

- posouzení:

Šrouby jsou namáhané smykem od působení větru na stěnu modulu. Toto zatížení přenáší v modelu táhla jako prutová náhrada za sendvičové panely. Normálovou sílu v táhlech dle úhlu, který svírá táhlo a střešní nosník, přepočítáme na sílu, která by smykem zatěžovala kotvící prvky.

- kombinace 59 – max. podélný vítr + min. vlastní tíha + min. ostatní stálé zatížení

$$F_{Ed} = 4,7 \text{ kN}, \alpha = 27,86^\circ$$



Obr. 129: Normálová síla v ocelovém táhle – K59

$$F_{Ed;z} = F_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 4,7 \cdot \cos(27,86^\circ) = 4,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(120,58; 74,67) = 74,67 \text{ kN}$$

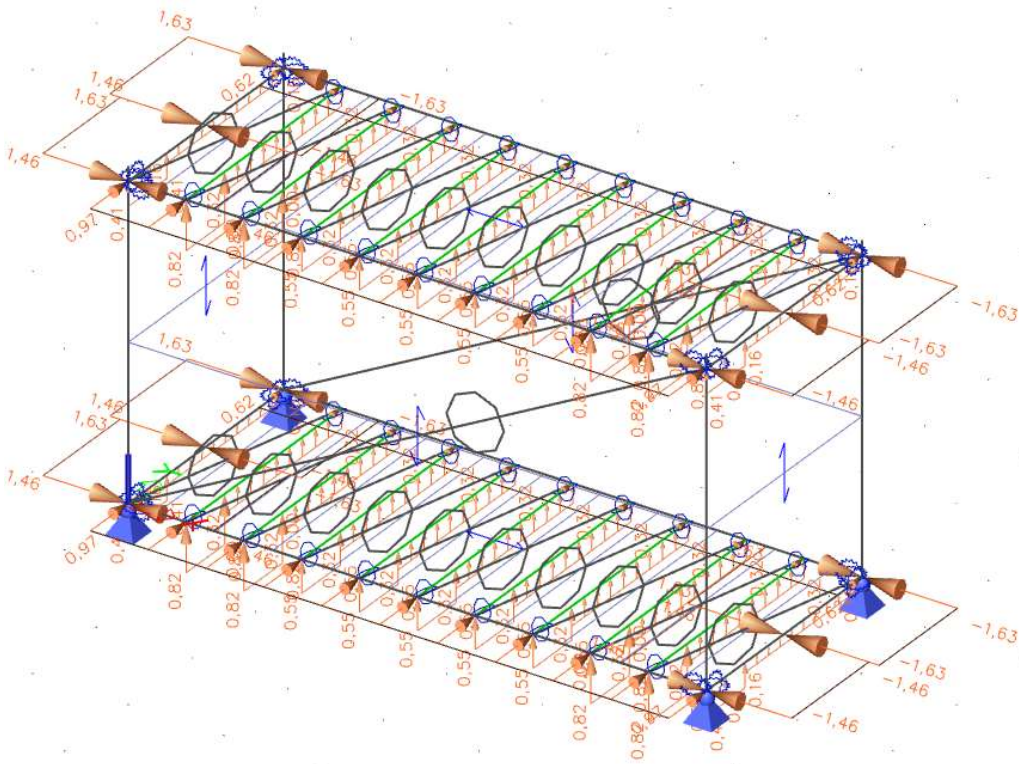
$$V_{Rd} = 74,67 \text{ kN} \geq F_{Ed;y} = 4,16 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- tah:

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 2 \cdot 90,43 = 180,86 \text{ kN/m'}$$

- posouzení:

$$F_k = 1,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}'} - \text{zatížení od větru na stěnový panel na metr běžný}$$



Obr. 130: Zatížení od příčného větru na střešní nosník

$$F_d = F_k \cdot \gamma_Q = 1,63 \cdot 1,5 = 2,45 \text{ kN/m'}$$

$$F_d = 2,45 \text{ kN/m'} \leq F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN/m'} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) ohyb plechu

$$f_y = 235 \text{ MPa}, t = 5 \text{ mm}, b_p = 1000 \text{ mm}$$

$$W_{el} = \frac{1}{6} \cdot b_p \cdot t^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 0,005^2 = 4167 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el}}{\gamma_{M0}} \cdot f_y = \frac{4167 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = 0,979 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = F_d \cdot s = 2,45 \cdot 0,08 = 0,196 \text{ kNm} \text{ – uvažováno jako prostý nosník}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,196}{0,979} = 0,2 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržené kotvy M16 8.8 a plech P5x215 vyhoví.

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posouzení ocelové konstrukce modulu pro průmyslové účely. Modul byl posuzován se zahrnutím tuhosti od stěnových sendvičových panelů a od OSB desek ve střešní a podlahové rovině. Vzhledem k přísnější limitě deformací pro sendvičové panely je takto možné navrhnout konstrukci tvořenou pouze jedním modulem.

Po návrhu a posouzení styčnicků rámových rohů byly jejich tuhosti zavedeny zpětně do výpočetního modelu, a tím došlo k redistribuci vnitřních sil na prvcích. Vnitřní síly pro jednotlivé modely s různými tuhostmi styčnicků rámových rohů jsou součástí příloh. Posouzení a deformace montážního stavu modulu pro montáž pomocí vysokozdvizného vozíku je součástí přílohy G - Deformace a posouzení montážního stavu modulu v softwaru SCIA Engineer.

Seznam zdrojů

- [1] SOKOL, Z. - WALD, F.: *Ocelové konstrukce, Tabulky*. 3. vydání. Praha: Česká technika, 2017. ISBN 978-80-01-06032-2.
- [2] JANDERA, M. - ELIÁŠOVÁ, M. - VRATNÝ, T.: *Ocelové konstrukce 1, Cvičení*. 3. opravené vydání. Praha, 2015.
- [3] ELIÁŠOVÁ, M. - DOLEJŠ, J. - MIKEŠ, K. - SOKOL, Z.: *Ocelové konstrukce 3, Příklady*. 1. vydání. Praha: Česká technika, 2010. ISBN 978-80-01-04516-9.
- [4] ELIÁŠOVÁ, M. - SOKOL, Z.: *Navrhování nosných konstrukcí – Ocel, Příklady*. 3. vydání. Praha, 2013.
- [5] ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [6] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [8] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1.4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [9] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [11] ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [12] ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [13] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] prEN 1993-1-13 Eurocode 3: *Steel beams with large web openings*.

Seznam obrázků

Obr. 1: Schématický půdorys podlahového patra modulu	8
Obr. 2: Schématický půdorys střešního patra modulu.....	9
Obr. 3: Schématický podélný řez A-A modulu	10
Obr. 4: Schématický řez B-B modulu	10
Obr. 5: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení příčným větrem.....	13
Obr. 6: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení příčným větrem.....	14
Obr. 7: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížením podélným větrem.....	15
Obr. 8: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení podélným větrem	17
Obr. 9: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení příčným větrem.....	19
Obr. 10: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížením příčným větrem.....	20
Obr. 11: Jednotlivé oblasti na stěně pro zatížení podélným větrem	21
Obr. 12: Jednotlivé oblasti na střeše pro zatížení podélným větrem	22
Obr. 13: Rozmístění kotevních prvků	24
Obr. 14: Rozmístění kotevních prvků	25
Obr. 15: Deformace v příčném směru	28
Obr. 16: Deformace v podélném směru	29
Obr. 17: Deformace v příčném směru	29
Obr. 18: Deformace v příčném směru	30
Obr. 19: Deformace v podélném směru	31
Obr. 20: Deformace v příčném směru	32
Obr. 21: Posouzení ocelového sloupu na MSÚ	33
Obr. 22: Posouzení podlahových nosníků na MSÚ.....	33
Obr. 23: Posouzení střešních nosníků na MSÚ	34
Obr. 24: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na obou polích	37
Obr. 25: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na jednom poli.....	38
Obr. 26: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na obou polích	40
Obr. 27: Tabulka únosností OSB desek od výrobce pro zatížení na jednom poli.....	41
Obr. 28: Maximální zatížení od sání větru (oblast F).....	42
Obr. 29: Průběh normálové síly na táhle – K70	43
Obr. 30: Průběh normálové síly na táhle – K82	45
Obr. 31: Vyznačení sloupů v modelu	47

Obr. 32: Průběh normálové síly na sloupu – K42	48
Obr. 33: Průběh ohybového momentu kolem osy y na sloupu – K91.....	50
Obr. 34: Průběh ohybového momentu okolo osy z na sloupu – K70.....	51
Obr. 35: Průběh ohybového momentu kolem osy y na sloupu - K91	52
Obr. 36: Průběh ohybového momentu kolem osy z na sloupu – K91	52
Obr. 37: Průběh normálové síly na sloupu – K91	53
Obr. 38: Průběh posouvající síly v ose y na sloupu – K70.....	56
Obr. 39: Průběh posouvající síly v ose z na sloupu – K91	57
Obr. 40: Vodorovná deformace v podélném směru na sloupu.....	58
Obr. 41: Vodorovná deformace v příčném směru na sloupu.....	58
Obr. 42: Statické schéma posouzení plechu	60
Obr. 43: Vyznačení podlahových nosníků v modelu	61
Obr. 44: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahovém nosníku – K88.....	63
Obr. 45: Průběh ohybového momentu okolo osy z na podlahovém nosníku – K72	64
Obr. 46: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahovém nosníku – K88.....	65
Obr. 47: Průběh ohybového momentu okolo osy z na podlahovém nosníku – K88	65
Obr. 48: Průběh normálové síly na podlahovém nosníku – K88	66
Obr. 49: Průběh posouvající síly v ose y na podlahovém nosníku – K80.....	67
Obr. 50: Průběh posouvající síly v ose z na podlahovém nosníku – K91	68
Obr. 51: Svislý průhyb na podlahovém nosníku	69
Obr. 52: Schéma montážních otvorů	70
Obr. 53: Řez 1-1	70
Obr. 54: Statické schéma modulu v montážním stavu	71
Obr. 55: Statické schéma otvoru při montážním stavu.....	71
Obr. 56: Reakce v místě podepření při montáži – K1	72
Obr. 57: Průběh ohybového momentu okolo osy y v místě podepření při montáži – K1 ...	73
Obr. 58: Statické schéma otvoru při provozním stav	75
Obr. 59: Průběh posouvající síly v ose z v místě otvorů pro montáž – K88	76
Obr. 60: Průběh ohybového momentu okolo osy y v místě otvorů pro montáž – K88.....	77
Obr. 61: Vyznačení střešního nosníku v modelu.....	80
Obr. 62: Průběh normálové síly na střešním nosníku – K70.....	81
Obr. 63: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešním nosníku – K42	83
Obr. 64: Průběh ohybového momentu okolo osy z na střešním nosníku – K72	84
Obr. 65: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešním nosníku – K42	85

Obr. 66: Průběh ohybového momentu okolo osy z na střešním nosníku – K42	85
Obr. 67: Průběh normálové síly na střešním nosníku – K42.....	86
Obr. 68: Průběh posouvající síly v ose y na střešním nosníku – K68	89
Obr. 69: Průběh posouvající síly v ose z na střešním nosníku – K46	90
Obr. 70: Svislý průhyb na střešním nosníku	91
Obr. 71: Znázornění střešní vaznice v modelu	92
Obr. 72: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení	93
Obr. 73: Účinný průřez Z profilu v tlaku.....	94
Obr. 74: Účinný průřez Z profilu za ohybu	95
Obr. 75: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešní vaznici – K42	96
Obr. 76: Průběh normálové síly na střešní vaznici – K42.....	96
Obr. 77: Průběh normálové síly na střešní vaznici – K73	97
Obr. 78: Průběh ohybového momentu okolo osy y na střešní vaznici – K73	98
Obr. 79: Průběh posouvající síly v ose z na střešní vaznici – K42.....	99
Obr. 80: Znázornění podlahové vaznici v modelu	103
Obr. 81: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení	105
Obr. 82: Účinný průřez Z profilu v tlaku.....	106
Obr. 83: Účinný průřez Z profilu za ohybu	107
Obr. 84: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K88	108
Obr. 85: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K88.....	108
Obr. 86: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K73.....	109
Obr. 87: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K73	110
Obr. 88: Průběh posouvající síly v ose z na podlahové vaznici – K88	111
Obr. 89: Znázornění podlahové vaznice v modelu.....	115
Obr. 90: Z profil se zanedbáním vlivu zaoblení	117
Obr. 91: Schéma pro distorzní vybočení	118
Obr. 92: Statické schéma, zatížení a deformace.....	118
Obr. 93: Účinný průřez Z profilu v tlaku.....	120
Obr. 94: Účinný průřez Z profilu za ohybu	121
Obr. 95: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K88	121
Obr. 96: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K88.....	122
Obr. 97: Průběh normálové síly na podlahové vaznici – K73.....	123
Obr. 98: Průběh ohybového momentu okolo osy y na podlahové vaznici – K73	123
Obr. 99: Průběh posouvající síly v ose z na podlahové vaznici – K88	125

Obr. 100: Znázornění šroubovaných přípoju střešních nosníků.....	129
Obr. 101: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem okolo osy y – K46.	130
Obr. 102: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou – K46	131
Obr. 103: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou – K46	131
Obr. 104: Přípoj nosniku přístřešku.....	132
Obr. 105: Znázornění šroubovaných přípoju podlahových nosníků	146
Obr. 106: Namáhání šroubovaného styčnicku ohybovým momentem okolo osy y – K91.	147
Obr. 107: Namáhání šroubovaného styčnicku normálovou silou – K91	147
Obr. 108: Namáhání šroubovaného styčnicku posouvající silou – K91	148
Obr. 109: Přípoj nosniku přístřešku.....	148
Obr. 110: Znázornění přípoje střešní vaznice ke střešnímu nosniku.....	163
Obr. 111: Namáhání přípoje posouvající silou – K42	164
Obr. 112: Přípoj pomocí desky na stěně nosniku	164
Obr. 113: Oslabené plochy pro posouzení desky	166
Obr. 114: Oslabená plocha pro posouzení desky	166
Obr. 115: Oslabené plochy pro posouzení stěny	167
Obr. 116: Znázornění přípoje podlahové vaznice k podlahovému nosniku	168
Obr. 117: Namáhání přípoje posouvající silou – K88	169
Obr. 118: Přípoj pomocí desky na stěně nosniku	169
Obr. 119: Oslabené plochy pro posouzení desky	171
Obr. 120: Oslabená plocha pro posouzení desky	171
Obr. 121: Oslabené plochy pro posouzení stěny	172
Obr. 122: Tlak v kloubové patce sloupu – K91	173
Obr. 123: Tah v kloubové patce sloupu – K73	175
Obr. 124: Posouvající síla v kloubové patce sloupu – K73	175
Obr. 125: Rozmístění kotev a geometrie patky	176
Obr. 126: Posouzení jednotlivých kombinací zatížení	177
Obr. 127: Podrobnosti posouzení jednotlivých kombinací ztížení.....	177
Obr. 128: Konstrukční a statické schéma přípoje.....	178
Obr. 129: Normálová síla v ocelovém táhle – K59	179
Obr. 130: Zatížení od příčného větru na střešní nosník.....	180

Seznam tabulek

Tab. 1: Materiálové charakteristiky oceli	35
Tab. 2: Součinitelé spolehlivosti materiálu a zatížení	35
Tab. 3: Průřezové charakteristiky a geometrie sloupu	46
Tab. 4: Výpočet zatížení na víčko sloupu.....	59
Tab. 5: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahového nosníku.....	61
Tab. 6: Průřezové charakteristiky a geometrie střešního nosníku	79
Tab. 7: Průřezové charakteristiky a geometrie střešní vaznice	92
Tab. 8: Výpočet zatížení na střešní vaznici v uložení	101
Tab. 9: Výpočet zatížení na střešní vaznici pro posudek MSP	102
Tab. 10: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahové vaznice	103
Tab. 11: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici v uložení.....	113
Tab. 12: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici pro posudek MSP	114
Tab. 13: Průřezové charakteristiky a geometrie podlahové vaznice	115
Tab. 14: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici v uložení.....	126
Tab. 15: Výpočet zatížení na podlahovou vaznici pro posudek MSP	127
Tab. 16: Přehled prvků a jejich charakteristik šroubového přípoje.....	129
Tab. 17: Únosnost jednotlivých řad šroubů a jejich rameno	142
Tab. 18: Přehled prvků a jejich charakteristik šroubového přípoje.....	146
Tab. 19: Únosnost jednotlivých řad šroubů a jejich rameno	159
Tab. 20: Přehled prvků a jejich charakteristik kloubového přípoje.....	163
Tab. 21: Přehled prvků a jejich charakteristik kloubového přípoje.....	168

Seznam příloh

Příloha A – Protokol ze softwaru SCIA Engineer

Příloha B – Protokoly ze softwaru IDEA StatiCa

Příloha C – Protokol ze softwaru Hilti PROFIS Engineering

Příloha D – Vnitřní síly na prvcích se styčníky s nekonečnou tuhostí

Příloha E – Vnitřní síly na prvcích s polotuhými styčníky s tuhostí z ručního výpočtu

Příloha F – Vnitřní síly na prvcích s polotuhými styčníky s tuhostí z IDEA StatiCa

Příloha G – Deformace a posouzení montážního stavu modulu v softwaru SCIA Engineer