

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**PAVEL
BARTŮŠEK**

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelová konstrukce haly s kříženými sloupy

Úvod

Autor: Pavel Bartůšek

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

Praha 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bartůšek Jméno: Pavel Osobní číslo: 484429

Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Ocelová konstrukce sportovní haly

Název bakalářské práce anglicky: Sports hall steel structure

Pokyny pro vypracování:

Návrh nosné ocelové konstrukce, jejích hlavních prvků v části tělocvičny samotné. Část šaten a dalšího zázemí nebude podrobně řešena. Návrh vybraných detailů konstrukce. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno vedoucího bakalářské práce: Michal Jandera

Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2022

Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022

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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem moji bakalářskou práci vypracoval samostatně, za přispění odborných konzultací a použití uvedených zdrojů a literatury.

V Praze dne 15. května 2022

.....

Pavel Bartůšek

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za jeho cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Taktéž bych chtěl poděkovat za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů. Na závěr bych chtěl vyjádřit velké díky mé rodině a přátelům, kteří mi byli podporou po celou dobu mého studia.

Anotace

Tématem bakalářské práce je statické a konstrukční řešení ocelové konstrukce sportovní haly v Praze. Jedná se o konstrukci s plochou střechou a dvěma střechami pultovými. Rozměr konstrukce je přibližně 24,75 x 74 m. V úvodu statického posudku bylo vypočteno zatížení a následně řešeny možné konstrukční varianty při zachování původního rázu zadání práce. Následně byla řešena konstrukce střechy, kde byly detailněji rozebrány návrhy prvků, včetně plnostěnného svařovaného vazníku. Poté došlo k návrhu a posouzení vybraných prvků svislých konstrukcí a ztužujících prvků, a nakonec k návrhu vybraných detailů. Závěrem byla zhotovena výkresová dokumentace včetně jednotlivých detailů a sepsána technická zpráva.

Klíčová slova: Ocelová konstrukce, plnostěnný svařovaný vazník, křížené sloupy, válcované profily, detaily, sportovní hala.

Abstract

The subject of the Bachelor thesis is design of steel load-bearing construction of sports hall in Prague. It is a construction with a flat roof and two monopitch roofs. Dimension of construction are approximately 24,75 x 74 x 7,35 m. In the introduction of the structural design, load was calculated and possible structural variants were subsequently addressed while maintaining the original character of the thesis assignment. The construction of the roof was subsequently dealt with, where the design of elements, including a welded I section beam, was provided in detail. Selected elements of vertical structures and reinforcing elements were also designed. Finally, selected details were designed. A drawing documentation including detailing and technical report were made.

Keywords: Steel construction, welded beam, crossed columns, hot-rolled profiles, details, sports hall

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelová konstrukce haly s kříženými sloupy

Technická zpráva

Autor: Pavel Bartůšek

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

Praha 2022

1 Obecný popis konstrukce

Řešená sportovní hala byla navržena jako multifunkční pro účely střední školy. Vnitřní povrch bude realizován zátěžovým linoleem, což umožňuje provozovat veškeré sportovní aktivity. Hala byla navržena pro jednu hrací plochu. Rozpon samotné haly činí 24,75 m a délka samotné haly je 44,46 m a následně na obou stranách je zázemí délky 14,77m (rozměry odpovídají osám nosné konstrukce). Plochá střecha je navržena se sklonem 4° a okrajovými atikami, pultové střechy jsou navrženy s proměnným sklonem 15°-18° dle polohy. Výška hřebene střechy je 9,075 m a výška atiky je 8,475 m od úrovně terénu. Konstrukce střešního pláště je tvořena trapézovým plechem a následně skládaným pláštěm. Opláštění stěn je rozděleno na dvě části. V místě sportovní haly bude proveden prosklený lehký obvodový plášť (vycházeno ze sortimentu firmy JANSEN). V prostoru zázemí bude opláštění tvořeno stěnovými kazetami a svislým plechem na distančních šroubech. Beton je použit pouze pro základové konstrukce a také v souvrstvích podlah. Objekt se nachází v Praze.

2 Nosná konstrukce

Hlavní nosnou konstrukcí řešené haly jsou ocelové sloupy a ocelové vazníky. V zázemí jsou to svislé sloupy a vazník z profilu IPE 270. V prostoru haly pak křížené ocelové sloupy HEA 180, které spojuje svařenec 2x UPE 200 a následně na tomto svařenci je připevněn ocelový svařovaný vazník. Křížené sloupy je nutné provést na jednotlivé montážní segmenty a následně provést svaření do celku na stavbě. Návrh těchto segmentů nebyl v rámci práce řešen. Velikost jednotlivých segmentů bude záležet na možnosti dopravce a velikosti přístupových cest. Svařovaný vazník má proměnnou výšku a uprostřed rozpětí dosahuje výšky 1,15 m. Kolmo na tyto vazníky pak jdou ocelové vaznice IPE 120 nebo IPE 140 dle rozponu. Vaznice jsou uvažovány jako kloubově uložené. V místě střešního ztužidla v části samotné haly jsou vaznice IPE 120 nahrazeny HEA 120 z důvodu přenosu tlakových a tahových sil.

Střešní ztužidla a ztužidlo v příčném směru bylo navrženo z trubkových profilů TR 57x3,2, TR 42,4x3,2 a TR 114x4,5. Pro podélný směr tvoří ztužidla samotné svařované křížené sloupy. Poloha příčných stěnových ztužidel je vždy na koncích haly a dále na konci zázemí.

Nosnou konstrukcí střešního pláště jsou trapézové plechy TR40/183 v tloušťkách 0,75 mm a 0,88 mm. Opláštění zázemí je pomocí stěnových kazet C160/600 v tloušťce 1,25 mm pro největší rozpon. Vnější opláštění je tvořeno plechem TR 35/207.

Spojení svařovaného vazníku je provedeno momentovým přípojem uprostřed rozpětí. Řešeno pomocí čelní desky a sešroubováním. Dále by bylo nutné posoudit tuhost samotného přípoje.

Pata všech sloupů je řešena jako kloubová. Pouze u křížených sloupů je na po celé délce na spodní straně ocelová ližiny z profilu L 200x100x10, které propojují jednotlivé sloupy. Přes ližinu je následně provedeno kotvení celé konstrukce do základů. Založení stavby je pro křížené sloupy na základovém pasu, pro klasické sloupy na patkách a v místě stěnového ztužidla by docházelo k tahu v patce, proto došlo k návrhu železobetonového pasu propojující tři sloupy. V místě patek je navržen dále základový práh lemující okraj budovy. Hloubka založení je vždy v nezámrné hloubce. Základový práh se nachází v hloubce zámrné a je nutné provést jeho podsypání nezámrným kamenivem.

3 Údaje o zatížení

Stavba byla navržena na tyto hodnoty zatížení (lokalita – Praha):

- sněhová oblast I. => $s_k=0,56 \text{ kN/m}^2$
- větrná oblast II. => $W_{k,max}=-0,803 \text{ kN/m}^2$ (střecha- oblast F; sání větru)
- skladba střešní konstrukce => $g_k=1,288 \text{ kN/m}^2$ (hala)
 $g_k=0,888 \text{ kN/m}^2$ (zázemí)

4 Použité materiály

Pro nosné ocelové prvky (tj. sloupy, vazníky, vaznice, výztuhy, styčnickové plechy apod.) bude použita ocel **S235 JR** do tloušťky 35 mm; pro případné větší tloušťky použít již stupeň jakosti **S235J0**.

Kvalita oceli pro trapézové plechy a kazety **S320 GD**.

Pevnostní třída šroubů **8.8**

5 Výroba ocelové konstrukce

Třída provedení konstrukce byla stanovena dle ČSN EN 1090-2: Technické požadavky pro ocelové konstrukce. Obdobně lze nalézt v ČSN EN 1993-1-1.

Byla stanovena:

- třída následků **CC2** (střední následky s ohledem na ztráty životů nebo značné ztráty ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí)
- kategorie použitelnosti **SC1** (konstrukce a komponenty navržené jen pro kvazistatické zatížení např. budovy; konstrukce a komponenty v oblasti s nízkou seismickou aktivitou; konstrukce posuzované na únavu od jeřábů)
- kategorie provádění **PC1** (Nesvařované dílce vyrobené z výrobků jakékoliv pevnostní třídy oceli; svařované dílce vyrobené z výrobků z oceli nižší pevnostní třídy než S355)

⇒ **Výsledná třída provedení** byla stanovena dle doporučené matice tříd provedení jako **EXC2**. Požadavky na provádění viz. příloha A výše uvedené normy.

6 Montáž ocelové konstrukce

Jako první budou provedeny montážní svary křížených sloupů a konstrukce svařena do jednoho celku, montáž křížených sloupů a zavětrování. Dolní ližina bude průběžně chemickými kotvami kotvena do základové konstrukce. Poté dojde k doplnění sloupů a křížených sloupů ve vnitřních části a provedeno zavětrování vnitřních sloupů, které budou taktéž kotvené chemickými kotvami.

Osazení vazníků z přivezených dvou částí a následné předmontáže. Tyto prvky se na stavbě pomocí dvou čelních desek připevní k sobě sedmi řadami šroubů. A následně sešroubování vazníku a příložkového plechu třemi šrouby. Mezi vazníky budou doplněny vaznice a připojena střešní ztužidla. Tím dojde k celkovému ztužení části haly.

V druhé fázi budou namontovány sloupy zázemí, které budou provizorně zavětrovány. Dále budou doplněny vazníky IPE 270, vaznice a zbylé zavětrování. Až po celkovém zavětrování dojde k odstranění dočasného zavětrování.

Patka všech svislých sloupů je řešena jako kloubová. Pod roznášecím patním plechem je provedena vrstva podlití z cementové zálivky. Roznášecí plech se kotví do základové konstrukce čtyřmi, či dvěma chemickými kotvami přenášející tah. Přenos vodorovné

síly je zajištěn samotnými kotvami, či smykovou zarážkou doplněnou ze spodní strany patního plechu minimální výšky 80 mm. Návrh patky byl proveden pouze pro sloup, který je součástí stěnového ztužidla. Zde přenos tahu i vodorovné síly přenesou kotvy.

Ztužidlový přípoj je navržen jako kloubový. Jednotlivá ztužidla (trubky) jsou připevněna pomocí dvojice plechů k sloupům, vazníkům nebo vaznicím. Ztužidlová trubka se u konce nařízne a zasune se první plech, který se v místě kontaktu s trubkou přivaří. Druhý (styčnickový) plech je z obou stran přivařen ke sloupu, vazníku nebo vaznici. S prvním plechem je následně sešroubován dvojicí šroubů. Jednotlivé trubky ztužidla je třeba „zavíčkovat“ pomocí tenkého plechu obvodově přivařeného k trubce.

Připojení všech ocelových konstrukcí k podkladnímu betonu je řešeno kloubově, tudíž nepřenáší vodorovné zatížení. Z toho důvodu je při montáži nutná stabilizace, dokud nebudou nainstalována všechna ztužidla. Vnitřní část haly bude postavena jako první včetně zavětrování a následně budou připojovány prvky konstrukce zázemí.

Jednotlivé kroky montáže ocelové konstrukce:

- a) dodávka materiálu na dané místo
- b) provedení montážních svarů křížených sloupů do jednoho celku
- c) osazení křížených sloupů + provizorní podepření
- d) osazení vnitřních sloupů a vnitřních křížených sloupů + provizorní podepření
- e) montáž vnitřních stěnových ztužidel
- f) předmontáž a montáž svařovaného vazníku
- g) osazení vaznic a střešních ztužidel
- h) osazení sloupů zázemí + provizorní podepření
- i) osazení stěnových ztužidel
- j) osazení vazníků
- k) osazení vaznic a střešních ztužidel
- l) osazení trapézových plechů, obvodového a střešního pláště

7 Ochrana proti korozi

Veškeré ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru budovy, kde se nenachází agresivní prostředí. Nachází se zde pouze vyšší vlhkost vzhledem k hale ($\phi_{ai} = 70 \%$).

Protikorozi ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

- Stupeň korozní agresivity: C2 – nízká (prostory s občasou kondenzací)
- Předpokládaná životnost: Vysoká (H) – více jak 15 let
- Příprava povrchu: Sa2^{1/2} – otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek
- Zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.
- Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru: 120 μm

Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2x základním nátěrem a 1-2x vrchním nátěrem. V místech montážních svarů bude nátěr vynechán a následně dodělán po provedení svarů.

8 Ochrana proti požáru

V tomto stupni dokumentace nebyla řešena, ale je nutné výpočtem dále posoudit.

9 Použité normy

Klimatická data:

Mapa sněhových oblastí – příloha ČSN EN 1991-1-3 (rok vydání 2005)

Mapa větrových oblastí na území ČR – ČSN EN 1991-1-4 (rok vydání 2007)

Normy:

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (rok vydání 2004)

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1 až 1-4: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, zatížení sněhem a větrem)

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (rok vydání 2006)

10 Použitý software

SCIA Enginner 21 (verze 21.00.0000) – aplikace pro návrh, výpočty a posudky konstrukcí)

LTbeamN (verze 1.0.3) – aplikace pro výpočet kritického momentu

Microsoft Office Excel – tabulkový výpočetní software

AutoCad 17 – aplikace pro výkresovou dokumentaci

FiXperience 2.94.483.9

– aplikace pro návrh kotev od firmy Fischer International s.r.o.:

Drží v díře - jako zvíře! Hmoždinky fischer. [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022].

Dostupné z: <https://www.fischer-cz.cz/cs-cz/>

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelová konstrukce haly s kříženými sloupy

Statický výpočet

Autor: Pavel Bartůšek

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

Praha 2022

Obsah:

1	Zatížení	1
1.1	Sníh	1
1.2	Vítr	2
1.2.1	Tlak větru na stěny	3
1.2.2	Tlak větru na střechu	6
1.2.3	Tlak na vnitřní povrchy	8
1.3	Skladby konstrukcí	8
2	Návrh opláštění zázemí	10
3	Konstrukční řešení střechy	11
3.1	Trapézový plech	11
3.1.1	Prostor haly	11
3.1.2	Prostor zázemí	13
3.2	Vaznice	16
3.2.1	Prostor haly	16
3.2.2	Prostor zázemí	19
3.3	Vazník hala – maximální svislé zatížení	22
3.3.1	Zatížení	22
3.3.2	Geometrie nosníku	23
3.3.3	Vnitřní síly	24
3.3.4	Zatřívání průřezu	25
3.3.5	Průřezové charakteristiky	26
3.3.6	Průběžné ověření	27
3.3.7	Lokální boulení průřezu	27
3.3.8	Vliv klopení	30
3.3.9	Únosnost nosníku	31
3.3.10	Krční svary	32
3.3.11	Průhyb nosníku	33

3.4	Vazník hala – minimální svislé + sání	34
3.4.1	Zatížení	34
3.4.2	Vnitřní síly	35
3.4.3	Vliv klopení	36
3.4.4	Únosnost nosníku	37
3.5	Vazník zázemí – maximální svislé zatížení	38
3.5.1	Zatížení	38
3.5.2	Vnitřní síly	39
3.5.3	Návrh nosníku	40
3.6	Vazník zázemí – minimální svislé + sání	44
3.6.1	Zatížení	44
3.6.2	Vnitřní síly	45
3.6.3	Návrh nosníku	45
4	Konstrukční řešení stěny	49
4.1	Zatížení	49
4.1.1	Vlastní tíha sloupů	49
4.1.2	Stálé zatížení od střechy	49
4.1.3	Zatížení sněhem	49
4.1.4	Zatížení teplotou	50
4.1.5	Sání střecha – podélný vítr	50
4.1.6	Sání střecha – příčný vítr	50
4.1.7	Vítr podélný	51
4.1.8	Vítr příčný	51
4.1.9	Imperfekce	52
4.1.10	Tření na plášti	53
4.2	Kombinace zatížení MSÚ	54
4.3	Vnitřní síly	56
4.4	Návrh prvků	58

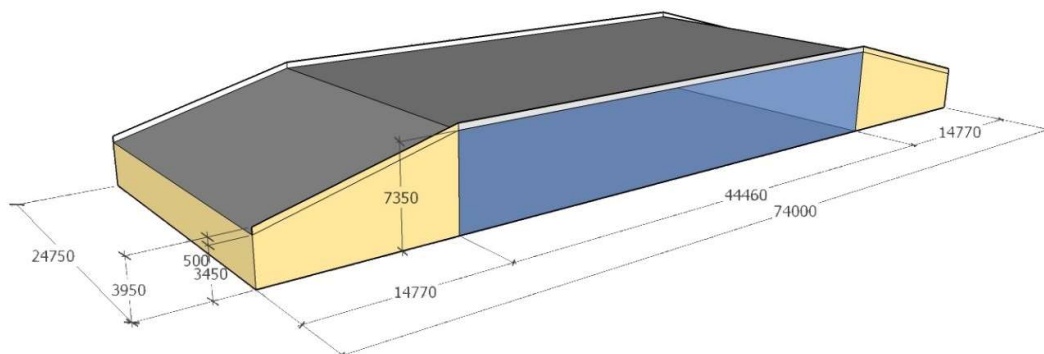
4.4.1	Šikmé sloupy	58
4.4.2	Rovné sloupy	64
4.4.3	Horní průvlak.....	70
4.4.4	Dolní ližina	75
5	Řešení střešních ztužidel	76
5.1	Střešní ztužidlo v části hala.....	76
5.1.1	Návrh diagonál.....	77
5.1.2	Návrh vaznice, která je součástí ztužidla.....	78
5.1.3	Vodorovný posun ztužidla	82
5.2	Střešní ztužidlo v části zázemí	83
5.2.1	Návrh diagonál	85
5.2.2	Návrh vazníku, který je součástí ztužidla	85
5.2.3	Vodorovný posun ztužidla	86
6	Návrh vnitřního nosného sloupu	87
6.1	Zatížení	87
6.1.1	Zatížení od vazníku	87
6.1.2	Zatížení od horolezecké stěny	87
6.1.3	Zatížení vlastní tíhou	88
6.1.4	Zatížení od střešního pláště.....	88
6.2	Vnitřní síly	88
6.3	Návrh a posouzení sloupu.....	88
7	Vnitřní svislé ztužidlo	90
7.1	Zatížení	90
7.1.1	Zatížení imperfekcemi.....	90
7.1.2	Zatížení od větru střed	91
7.1.3	Zatížení od větru ze střešních ztužidel.....	91
7.2	Vnitřní síly	92
7.3	Návrh sloupu	94

7.4	Návrh diagonál	95
7.5	Vodorovný prvek ztužidla	97
8	Řešení detailů.....	98
8.1	Momentový spoj vazníku	98
8.1.1	Návrh svarů.....	98
8.1.2	Návrh čelní desky	98
8.1.3	Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu	99
8.1.4	Výpočet únosnosti 7. řady šroubů – Smyková únosnost	101
8.1.5	Únosnost základních komponent	102
8.2	Napojení diagonál na vaznici	103
8.2.1	Svar trubky ke styčnickovému plechu	103
8.2.2	Šrouby	104
8.2.3	Plech (přípoj trubka vs. styčnickový plech)	105
8.2.4	Svar styčnickového plechu	105
8.3	Napojení diagonál na vazník	106
8.4	Napojení vaznice na vazník	108
8.4.1	Šrouby	108
8.4.2	Svar čelní desky k vaznici	111
8.4.3	Svar úpalku HEA 200 k svařovanému vazníku	114
8.4.4	Ověření únosnosti snížené výšky úpalku	115
8.5	Napojení vazníku na průvlak	116
8.5.1	Šrouby	116
8.5.2	Návrh příložkového plechu	119
8.5.3	Návrh svaru	122
8.6	Napojení šikmých sloupů na průvlak	123
8.7	Napojení šikmých sloupů na dolní ližinu	125
8.8	Kloubová patka + ztužidlo	129
8.8.1	Svar trubky ke styčnickovému plechu	129

8.8.2	Šrouby	130
8.8.3	Plech (přípoj trubka vs. styčnickový plech)	131
8.8.4	Svar styčnickového plechu	132
8.8.5	Návrh patního plechu a založení.....	133
8.8.6	Návrh svaru sloupu.....	136
8.8.7	Posouzení tahu v základové spáře	137
9	Literatura a zdroje	138

1 Zatížení

Lokalita: Praha



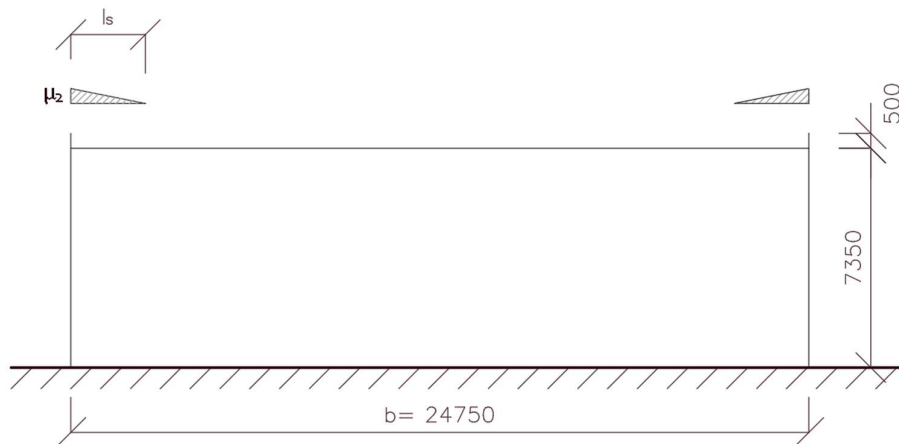
1.1 Sníh

Sněhová oblast: I. => $s_k = 0,7$ kPa

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{0,56 \text{ kN/m}^2}$$

- $\mu_1 = 0,8$ (sklon střechy α ; $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$)
- $C_e = 1,0$ (krajina normální)
- $C_t = 1,0$ (nedochází k odtávání sněhu vlivem prostupu tepla střechou)

Návěje u atik



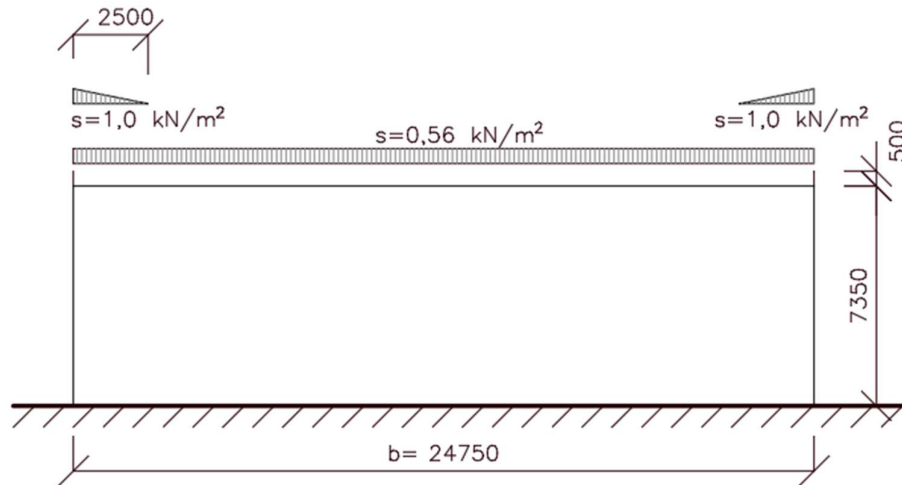
$$l_s = \min(5h; b_1; 15\text{m}) = \min(5 \cdot 0,5; 24,75; 15) = \mathbf{2,5 \text{ m}}$$

$$\mu_2 = \min(2h/s_k; 2b_1/l_s; 8) = \min(2 \cdot 0,5/0,7; 2 \cdot 24,75/2,5; 8) = \min(1,429; 19,8; 8)$$

$$\mu_2 = 1,429$$

$$s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,429 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{1,0 \text{ kN/m}^2}$$

- $C_e = 1,0$ (krajina normální)
- $C_t = 1,0$ (nedochází k odtávání sněhu vlivem prostupu tepla střechou)



1.2 Vítr

Větrná oblast II. $\Rightarrow v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{25 \text{ m/s}}$$

- $c_{dir} = 1,0$ (doporučení normy)
- $c_{season} = 1,0$ (doporučení normy)

Střední rychlost větru:

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

- součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\circ k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$\circ z_0 = 0,3 \text{ m (kategorie terénu III.)}$$

$$\circ z_{0,II} = 0,05 \text{ m (kategorie terénu II.)}$$

$$c_r(5) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) = 0,605$$

$$c_r(7,85) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{7,85}{0,3}\right) = 0,702$$

- součinitel orografie $c_o(z) = 1,0$

$$v_m(5) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,605 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{15,125 \text{ m/s}}$$

$$v_m(7,85) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,702 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{17,55 \text{ m/s}}$$

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

- součinitel turbulence $k_I = 1,0$

$$I_v(5) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(5/0,3)} = 0,355$$

$$I_v(7,85) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,85/0,3)} = 0,306$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

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

$$q_p(5) = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,125^2 = \mathbf{0,498 \text{ kN/m}^2}$$

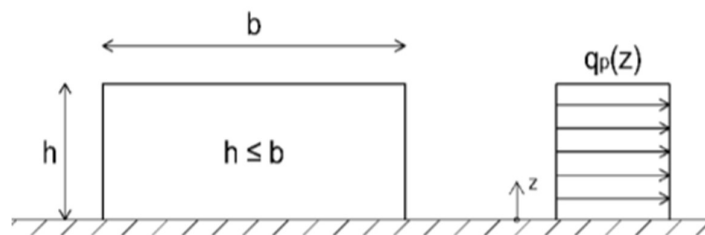
$$q_p(7,85) = [1 + 7 \cdot 0,306] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,55^2 = \mathbf{0,605 \text{ kN/m}^2}$$

Tlak větru na povrchy:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe,10}$$

1.2.1 Tlak větru na stěny

Výška budovy (h) je pro podélný i příčný směr větru menší než šířka budovy (b). Z toho důvodu je závislost dynamického tlaku po výšce budovy konstantní.



Obr. rozložení větru po výšce budovy

Podélný směr větru

$b = 24,75 \text{ m}$; $d = 74 \text{ m}$

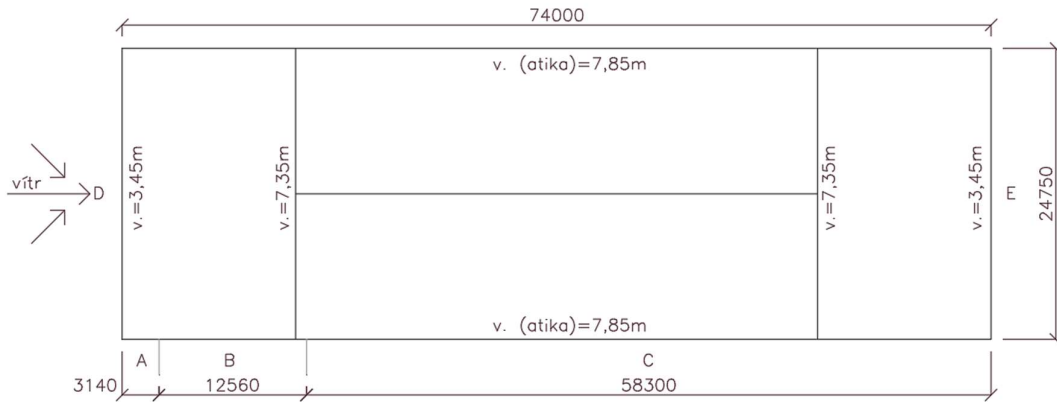
$e = \min(b; 2h) = \min(24,75; 2 \cdot 7,85) = \min(24,75; 15,7) = 15,7 \text{ m}$

Oblasti:

$A = e/5 = 15,7/5 = 3,14 \text{ m} = 3140 \text{ mm}$

$B = 4/5e = 4/5 \cdot 15,7 = 12,56 \text{ m} = 12560 \text{ mm}$

$C = d - e = 74 - 15,7 = 58,3 \text{ m} = 58300 \text{ mm}$



$h/d = 0,317$

Oblast	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,71	-0,32
$w_e(7,85) [\text{kN/m}^2]$	-0,726	-0,484	-0,302	0,430	-0,194
$w_e(5) [\text{kN/m}^2]$	-0,600	-0,400	-0,250	0,350	-0,160

Příčný směr větru

$b = 74 \text{ m}$; $d = 24,75 \text{ m}$

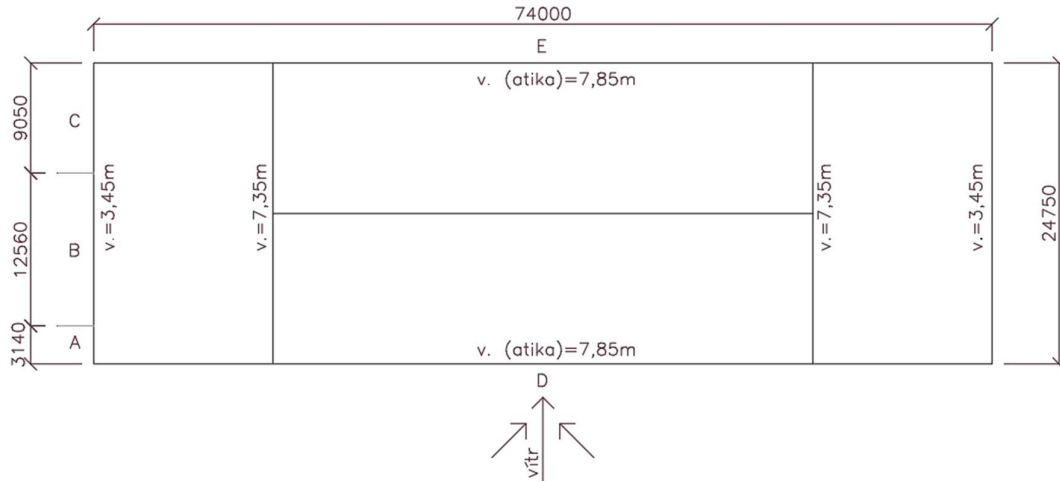
$e = \min(b; 2h) = \min(74; 2 \times 7,85) = \min(74; 15,7) = \mathbf{15,7 \text{ m}}$

Oblasti:

$A = e/5 = 15,7/5 = 3,14 \text{ m} = 3140 \text{ mm}$

$B = 4/5e = 4/5 \cdot 15,7 = 12,56 \text{ m} = 12560 \text{ mm}$

$C = d - e = 24,75 - 15,7 = 9,05 \text{ m} = 9050 \text{ mm}$



$h/d = 0,106$

Oblast	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$w_e(7,85) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-0,726	-0,484	-0,302	0,424	-0,182
$w_e(5) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-0,600	-0,400	-0,250	0,349	-0,149

1.2.2 Tlak větru na střechu

Podélný směr větru

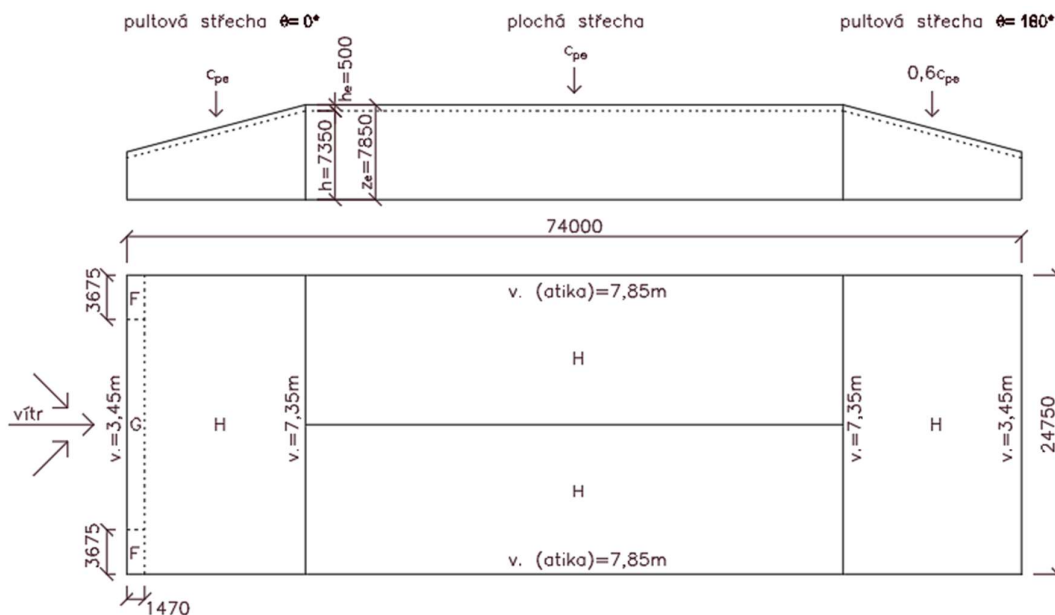
$b = 24,75 \text{ m}$; $d = 74 \text{ m}$; $h_p = 0,5 \text{ m}$; $h = 7,35 \text{ m}$; $z_e = 7,85 \text{ m}$

$e = \min(b; 2h) = \min(24,75; 2 \times 7,35) = \min(24,75; 14,7) = 14,7 \text{ m}$

Oblasti:

$e/4 = 14,7/4 = 3,675 \text{ m} = 3675 \text{ mm}$

$e/10 = 14,7/10 = 1,47 \text{ m} = 1470 \text{ mm}$



Pultová střecha (návětrná strana)

Oblast	F	G	H	Tlak
$c_{pe,10}$	-0,9	-0,8	-0,3	0,2
$w_e(7,85) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-0,545	-0,484	-0,182	0,121

Plochá střecha

Oblast	H	I
$c_{pe,10}$	-0,7	0,2/-0,2
$w_e(7,85) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-0,424	$\pm 0,121$

*na ploché střeše bude uvažováno zatížení z oblasti H

Pultová střecha (závětrná strana)

Oblast	H
$c_{pe,10}$	-0,9
součinitel	0,6
$w_e(7,85) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-0,327

Příčný směr větru

$b = 74 \text{ m}$; $d = 24,75 \text{ m}$; $h_p = 0,5 \text{ m}$; $h = 7,35 \text{ m}$; $z_e = 7,85 \text{ m}$

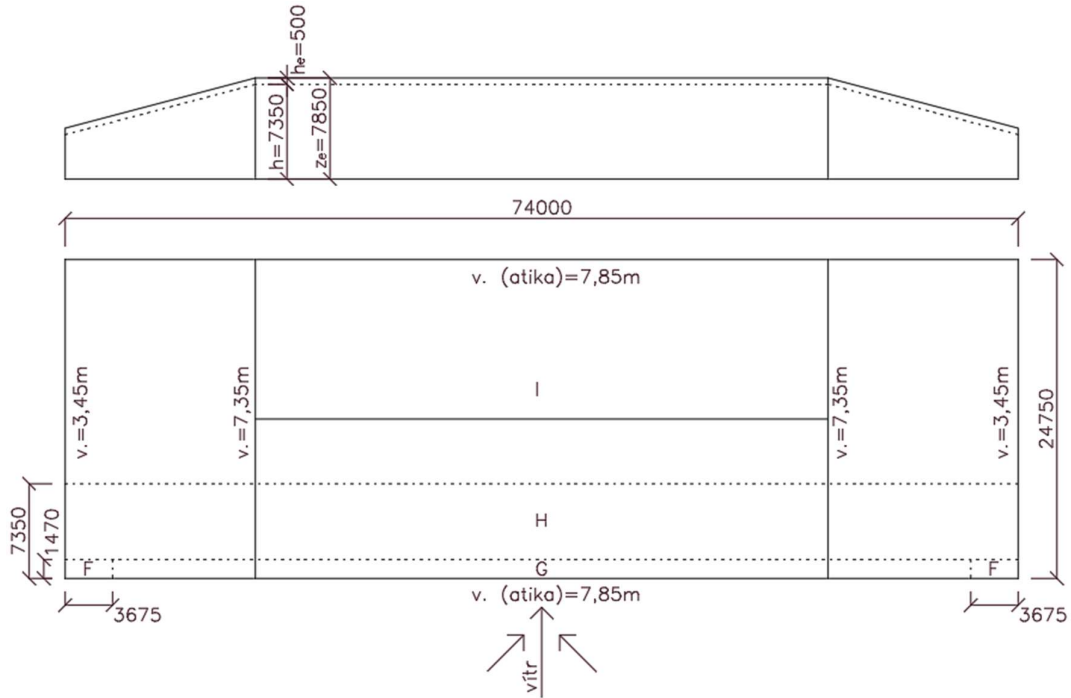
$e = \min(b; 2h) = \min(74; 2 \times 7,35) = \min(74; 14,7) = \mathbf{14,7 \text{ m}}$

Oblasti:

$e/4 = 14,7/4 = 3,675 \text{ m} = 3675 \text{ mm}$

$e/10 = 14,7/10 = 1,47 \text{ m} = 1470 \text{ mm}$

$e/2 = 14,7/2 = 7,35 \text{ m} = 7350 \text{ mm}$



$h_p/h = 0,5/7,35 = 0,068$

Oblast	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,328	-0,864	-0,7	0,2/-0,2
$w_e(7,85) [\text{kN/m}^2]$	-0,803	-0,523	-0,424	$\pm 0,121$

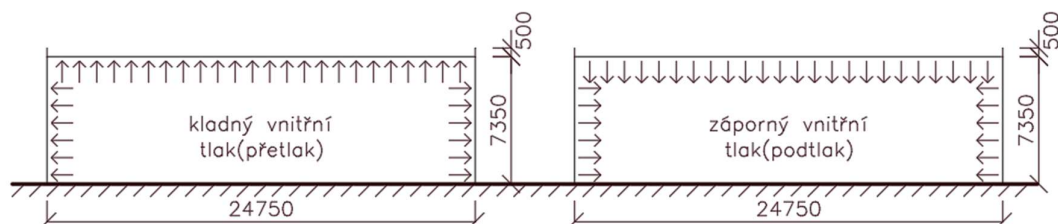
1.2.3 Tlak na vnitřní povrchy

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} [\text{kN/m}^2]$$

- c_{pi} uvažovat méně vhodné z hodnot +0,2 nebo -0,3 (přetlak, či podtlak)

$$w_i = 0,605 \cdot 0,2 = \mathbf{0,121 \text{ kN/m}^2}$$

$$w_i = 0,605 \cdot (-0,3) = \mathbf{-0,182 \text{ kN/m}^2}$$



1.3 Skladby konstrukcí

Prosklené stěny

Materiál	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
Izolační trojsklo, 3x12 mm, objemová hmotnost= 25kN/m ²	0,9	1,35	1,215
Zasklívací profily ocel/hliník, hmotnost profilů 10 kg/m ² (odhad)	0,1	1,35	0,135
SUMA	1,0		1,35

Opláštění budovy

Materiál	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
Stěnová kazeta C160/600, hmotnost 0,08 kN/m ²	0,08	1,35	0,108
Tepelná izolace minerální vata, tloušťka 160 mm, hmotnost 80 kg/m ³	0,128	1,35	0,173
Lícový profilovaný plech, hmotnost 0,08 kN/m ²	0,08	1,35	0,108
SUMA	0,288		0,389

Dále bude ze strany interiéru provedena izolační předstěna opláštěná sádkartonovými deskami. Tato předstěna je uvažována jako samonosná a nezatěžuje nosné sloupy haly.

Skladba střešního pláště (hala)

Materiál	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
Hydroizolační folie	0,05	1,35	0,068
Tepelná izolace minerální vata střešní, tloušťka 360 mm, hmotnost 80 kg/m ³	0,288	1,35	0,389
Parozábrana	0,05	1,35	0,068
Trapézový plech	0,1	1,35	0,135
Podhled, VZT, Osvětlení	0,8	1,35	1,080
SUMA	1,288		1,739

Skladba střešního pláště (zázemí)

Materiál	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
Hydroizolační folie	0,05	1,35	0,068
Tepelná izolace minerální vata střešní, tloušťka 360 mm, hmotnost 80 kg/m ³	0,288	1,35	0,389
Parozábrana	0,05	1,35	0,068
Trapézový plech	0,1	1,35	0,135
Podhled	0,4	1,35	0,540
SUMA	0,888		1,199

Skladba horolezecké stěny

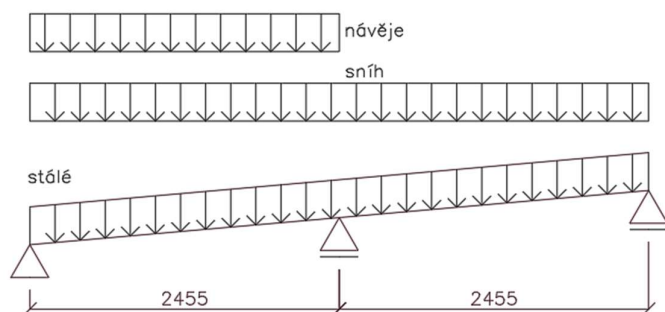
Uvažováno charakteristické zatížení $f_k=1,0\text{kN/m}^2$ a návrhové zatížení $f_d=1,35\text{kN/m}^2$

3 Konstrukční řešení střechy

3.1 Trapézový plech

Jelikož se jedná o nepochozí střechu, nahodilé zatížení bude uvažováno jako větší z hodnot zatížení sněhem nebo užitém zatížením pro nepochozí střechy.

3.1.1 Prostor haly



Ve spodní části uvažován spojitý nosník o dvou polích a zbylá část ke hřebenu bude spojitý nosník o třech polích.

Rozhodující kombinace s maximálním svislým zatížením:

$$\text{stálé} \cdot 1,35 + \text{sníh} \cdot 1,5 + \text{návěje} \cdot 1,5$$

*návěje budou nahrazeny spojitým zatížením o hodnotě 0,6kN/m²

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,488	1,35	0,659
sníh	0,56	1,5	0,840
sníh návěje	0,6	1,5	0,900
SUMA	1,648		2,399

Dále ověříme kombinaci pro sání větru (minimální stálé):

$$\text{stálé (bude ovažována pouze hmotnost plechu)} \cdot 1,0 + \text{vítr} \cdot 1,5$$

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,1	1	0,100
vítr	-0,46	1,5	-0,690
SUMA	-0,360		-0,590

Interpolace mezi zónami větru:

$$\text{vítr} = \frac{-0,523 \cdot 1,47 - 0,424 \cdot 3,44}{4,91} = -0,46$$

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,63 mm, pozitivní poloha (maximální svislé)

– $q_{Rd} = 3,06 \text{ kN/m}^2$

– $q_{Rk} = 2,01 \text{ kN/m}^2$ (deformace $L/200$)

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.1)

MSÚ

$q_{Ed} = 2,399 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,06 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

MSP

$q_{Ek} = 1,648 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,01 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,63 mm, negativní poloha (sání)

– $q_{Rd} = 2,21 \text{ kN/m}^2$

– $q_{Rk} = 2,17 \text{ kN/m}^2$ (deformace $L/200$)

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.2)

MSÚ

$q_{Ed} = |-0,590| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,21 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

MSP

$q_{Ek} = |-0,360| \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,01 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

Zbylá část ke hřebení bude spojitý nosník o třech polích =>

V této části již je větší užitné zatížení než zatížení sněhem, a tudíž bude dále uvažováno do výpočtu užitné zatížení.

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0, 63mm, pozitivní poloha

– $q_{Rd} = 3,06 \text{ kN/m}^2$

– $q_{Rk} = 2,01 \text{ kN/m}^2$ (deformace $L/200$)

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.1)

Rozdílné zatížení, oproti spodní části:

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,488	1,35	0,659
užitné	0,75	1,5	0,788
SUMA	1,238		1,446

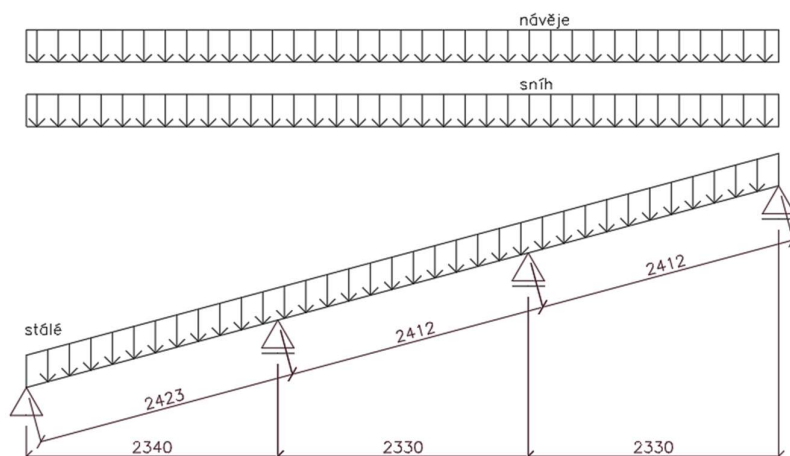
MSÚ

$q_{Ed} = 1,446 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,06 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

MSP

$q_{Ek} = 1,238 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,01 \text{ kN/m}^2 \dots$ **VYHOVÍ**

3.1.2 Prostor zázemí



Ve spodní části uvažován spojitý nosník o třech polích a zbylá část ke hřebenu bude spojitý nosník o čtyřech polích.

Rozhodující kombinace s maximálním svislým zatížením:

stálé · 1,35 + sníh · 1,5 + návěje · 1,5 + užítné zatížení střechy · $\Psi_{0,2}$ · 1,5 + tlak větru · $\Psi_{0,1}$ · 1,5

*návěje budou nahrazeny spojitým zatížením o hodnotě 0,7kN/m²

Stálé zatížení již nutno uvažovat na šikmé vzdálenosti:

$$0,488 \cdot \frac{2423}{2340} = 0,505 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,505	1,35	0,682
sníh	0,56	1,5	0,840
sníh návěje	0,6	1,5	0,900
tlak větru	0,6*0,121	1,5	0,1089
SUMA	1,738		2,531

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,88 mm, pozitivní poloha (maximální svislé)

$$- q_{Rd} = 4,51 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,04 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.1)

MSÚ

$$q_{Ed} = 2,531 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 4,51 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

MSP

$$q_{Ek} = 1,738 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,04 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ VYHOVÍ}$$

Dále ověříme kombinaci pro sání větru (minimální stálé):

stálé (bude ovažována pouze hmotnost plechu) · 1,0 + vítr · 1,5

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,1	1	0,100
vítr	-0,327	1,5	-0,491
SUMA	-0,227		-0,391

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,88 mm, negativní poloha (sání)

$$- q_{Rd} = 4,51 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,04 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.2)

MSÚ

$$q_{Ed} = |-0,391| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 4,51 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

MSP

$$q_{Ek} = |-0,227| \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,04 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

Zbylá část ke hřebeni bude spojitý nosník o čtyřech polích => nižší rozpory a vyšší nosnost => TR 40/183 tl. 0,88mm, pozitivní i negativní poloha **VYHOVÍ**

Vnitřní část střechy bude spojitý nosník, avšak bude zde větší zatížení od užitého zatížení, než od sněhu:

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,505	1,35	0,682
užitné	0,75	1,5	0,7875
tlak větru	0,6*0,121	1,5	0,1089
SUMA	1,328		1,578

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,75mm, pozitivní poloha

$$- q_{Rd} = 3,57 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 1,59 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.1)

MSÚ

$$q_{Ed} = 1,578 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,57 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

MSP

$$q_{Ek} = 1,328 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 1,59 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

Dále ověříme kombinaci pro sání větru (minimální stálé):

stálé (bude ovažována pouze hmotnost plechu) · 1,0 + vítr · 1,5

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_g	f_d [kN/m ²]
stálé	0,1	1	0,100
vítr	-0,327	1,5	-0,491
SUMA	-0,227		-0,391

Návrh: trapézový plech TR 40/183 tl. 0,75 mm, negativní poloha (sání)

$$- q_{Rd} = 3,41 \text{ kN/m}^2$$

$$- q_{Rk} = 2,18 \text{ kN/m}^2 \text{ (deformace } L/200)$$

*použité hodnoty viz. statické tabulky výrobce (příloha č.2)

MSÚ

$$q_{Ed} = |-0,391| \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,41 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

MSP

$$q_{Ek} = |-0,227| \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 2,18 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ **VYHOVÍ**}$$

Závěr:

Nad celým půdorysem haly bude použit trapézový plech TR 40/183 tloušťky 0,75mm vzhledem k montáži plechů na stavbě. Nutno uplatnit požadavek minimální tloušťky trapézového plechu 0,75mm. Pouze na pultových střechách v krajních pruzích širokých 2500 mm bude použit trapézový plech TR 40/183 tloušťky 0,88mm.

3.2 Vaznice

Vaznice budou provedeny plnostěnné, kloubové připojené k nosným vazníkům

Profil vaznice bude IPE. Posouzení bude probíhat následující kombinací:

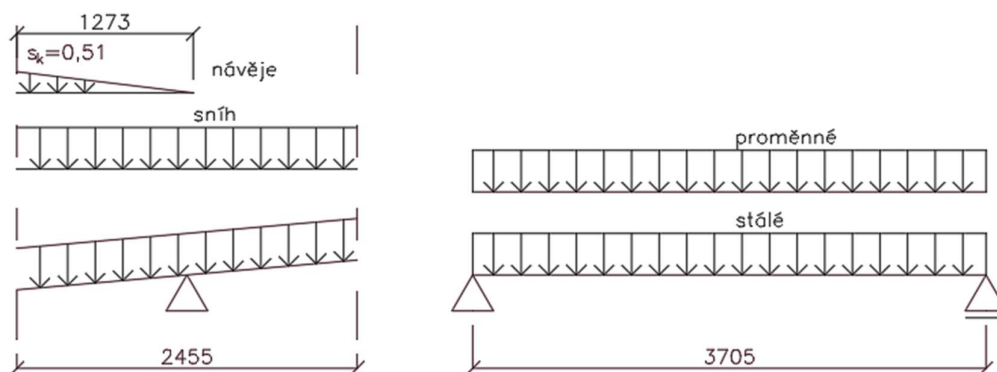
stálé · 1,35 + sních · 1,5 + návěje · 1,5 + případný tlak větru · $\Psi_{0,1}$ · 1,5, případně:

stálé · 1,35 + užitné zatížení střechy · 1,5 + případný tlak větru · $\Psi_{0,1}$ · 1,5

Sání větru bude posouzeno pro kombinaci:

vl. tíha nosníku · 1,0 + trapézový plech · 1,0 + sání · 1,5

3.2.1 Prostor haly



MSÚ

a) maximální svislé zatížení

Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1,35	0,203
stálé= 0,488*2,455	1,198	1,35	1,617
sních= 0,56*2,455	1,375	1,5	2,063
návěje= 1,273*0,51*0,5	0,325	1,5	0,488
SUMA	3,048		4,370

Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1,35	0,203
stálé= 0,488*2,455	1,198	1,35	1,617
užitné= 0,75*2,455	1,841	1,5	2,762
SUMA	3,189		4,581

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 4,581 \cdot 3,705^2 = 7,86 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 4,581 \cdot 3,705 = 8,486 \text{ kN}$$

*rozhodující pro ohyb je kombinace s užitným zatížením pro nepochozí střechy.

Návrh profilu:

$$W_{y,pl} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{7,86 \cdot 10^6}{235} = 33446,8 \text{ mm}^3$$

Návrh IPE 120: $W_{y,pl} = 6,08 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$

$$I_y = 3,18 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_v = 631 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{y,pl}} = \frac{7,86 \cdot 10^6}{6,08 \cdot 10^4} = \mathbf{129,28 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}}$$

Posudek na smyk

$$V_{Ed} = 8,486 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{631 \cdot 235}{\sqrt{3}} = 85612 \text{ N} = \mathbf{85,612 \text{ kN} > V_{Ed} = 8,486 \text{ kN}}$$

IPE 120 Vyhoví na MSÚ

MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,189 \cdot 3705^4}{210000 \cdot 3,18 \cdot 10^6} = 11,72 \text{ mm}$$

$$\delta = 11,72 \text{ mm} > \delta_{lim} = \frac{3705}{250} = 14,82 \text{ mm}$$

IPE 120 Vyhoví na MSÚ i MSP

b) minimální stálé+ sání větru

Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1	0,150
trapézový plech= 0,1*2,455	0,246	1	0,246
vítr= -0,424*2,455	-1,041	1,5	-1,562
SUMA	-0,646		-1,166

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,166 \cdot 3,705^2 = \mathbf{2,001 \text{ kNm}}$$

Vliv klopení

$$\mu_{cr} = 4,507$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 2,001 \cdot 4,507 = 9,018 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,239 + \sqrt{1,239^2 - 0,75 \cdot 1,258^2}} = 0,547$$

$$\chi_{LT} = 0,547 < 1,0$$

$$\chi_{LT} = 0,547 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,258^2} = 0,632$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\alpha}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34 \cdot (1,258 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,258^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 1,239$$

kde: $\bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

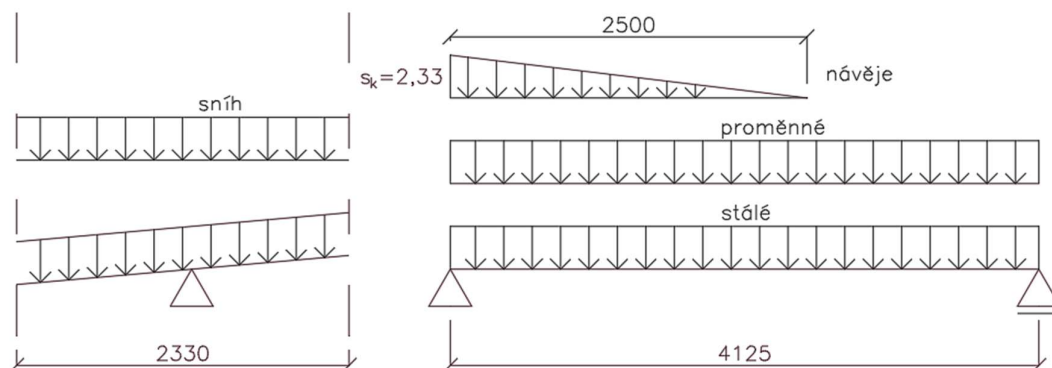
$$\beta = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{60,73 \cdot 10^3 \cdot 235}{9,018 \cdot 10^6}} = 1,258$$

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl}} = \frac{2,001 \cdot 10^6}{0,547 \cdot 60,73 \cdot 10^3} = \mathbf{60,24 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}}$$

IPE 120 Vyhoví

3.2.2 Prostor zázemí



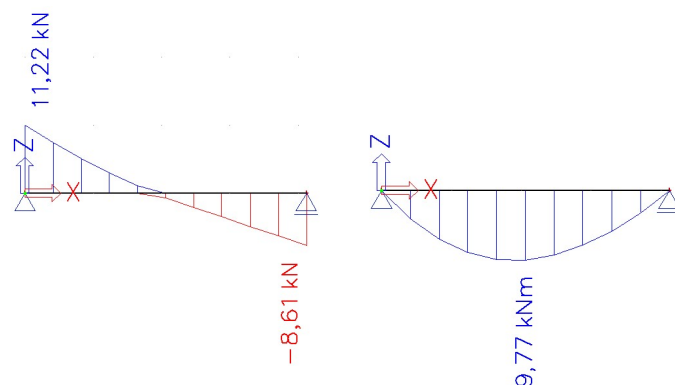
MSÚ

a) maximální svislé zatížení

Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1,35	0,203
stálé= 0,505*2,33	1,177	1,35	1,589
sníh= 0,56*2,33	1,305	1,5	1,958
návěje= 1*2,33	2,33	1,5	3,495
tlak větru= 0,6*0,121*2,33	0,169	1,5	0,254
SUMA	5,131		7,497

$M_{Ed,1} = 9,77$ kNm (výstup ze softwaru SCIA Engineer)

$V_{Ed,1} = 11,22$ kN (výstup ze softwaru SCIA Engineer)



Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1,35	0,203
stálé= 0,505*2,33	1,177	1,35	1,589
tlak větru= 0,6*0,121*2,33	0,169	1,5	0,254
užitné= 0,75*2,33	1,748	1,5	2,622
SUMA	3,244		4,667

$$M_{Ed,2} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 4,667 \cdot 4,125^2 = 9,926 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 4,667 \cdot 4,125 = 9,63 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \max(M_{Ed,1}; M_{Ed,2}) = \max(9,77; 9,926) = \mathbf{9,926 \text{ kNm}}$$

$$V_{Ed} = \max(V_{Ed,1}; V_{Ed,2}) = \max(11,22; 9,63) = \mathbf{11,22 \text{ kN}}$$

*rozhodující pro ohyb je kombinace s užitným zatížením pro nepochozí střechy.

Návrh profilu:

$$W_{y,pl} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{9,926 \cdot 10^6}{235} = 42238,3 \text{ mm}^3$$

Návrh IPE 140: $W_{y,pl} = 8,84 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$

$$I_y = 5,41 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_v = 764 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{y,pl}} = \frac{9,926 \cdot 10^6}{8,84 \cdot 10^4} = \mathbf{112,29 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}}$$

Posudek na smyk

$$V_{Ed} = 11,22 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{764 \cdot 235}{\sqrt{3}} = 103657 \text{ N} = \mathbf{103,657 \text{ kN} > V_{Ed} = 11,22 \text{ kN}}$$

IPE 140 Vyhoví na MSÚ

MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,244 \cdot 4125^4}{210000 \cdot 5,41 \cdot 10^6} = 10,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 10,8 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{4125}{250} = 16,5 \text{ mm}$$

IPE 140 Vyhoví na MSÚ i MSP

b) minimální stálé+ sání větru

Zatížení	f_k [kN/m']	γ_g	f_d [kN/m']
vlastní tíha= 15 kg/m'	0,15	1	0,150
trapézový plech= 0,1*2,33	0,233	1	0,233
vítr= -0,327*2,33	-0,762	1,5	-1,143
SUMA	-0,379		-0,760

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,76 \cdot 4,125^2 = \mathbf{1,617 \text{ kNm}}$$

Vliv klopení

$$\mu_{cr} = 7,696 \text{ (výstup ze softwaru LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 1,617 \cdot 7,696 = 12,44 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,278 + \sqrt{1,278^2 - 0,75 \cdot 1,292^2}} = 0,528$$

$$\chi_{LT} = 0,528 < 1,0$$

$$\chi_{LT} = 0,528 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,292^2} = 0,599$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\alpha}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34 \cdot (1,292 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,292^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 1,278$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{88,34 \cdot 10^3 \cdot 235}{12,44 \cdot 10^6}} = 1,292$$

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl}} = \frac{1,617 \cdot 10^6}{0,528 \cdot 88,34 \cdot 10^3} = \mathbf{34,67 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}}$$

IPE 140 Vyhoví

Závěr vaznic:

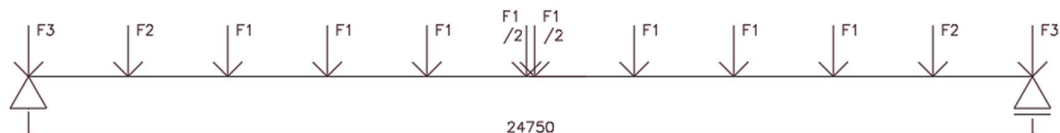
V prostoru haly budou vaznice z nosníku IPE 120 v celé ploše. V prostoru zázemí budou v celé ploše střechy použity nosníky IPE 140.

3.3 Vazník hala – maximální svislé zatížení

Vazník bude plnostěnný svařovaný průřez tvaru I. Po délce s proměnou výškou a po délce se změní i průřez pásnice.

Zde již bude jako nahodilé zatížení uvažováno zatížení sněhem, jelikož se nedá předpokládat lokální zatížení jednoho vazníku užitným zatížením pro nepochozí střechy v celé zatěžovací ploše.

Statické působení: prostý nosník.



- Zatěžovací šířka nosníku: **3,705 m**
- Vlastní tíha nosníku bude započítána automaticky výpočetním programem

3.3.1 Zatížení

Síla F1

Zatížení	Výpočet	F_k [kN]	γ_G	F_d [kN]
vaznice (15 kg/m')	$0,15 \cdot 3,705$	0,556	1,35	0,751
stálé	$0,488 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	4,439	1,35	5,993
sníh	$0,56 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	5,094	1,5	7,641
podhled, VZT, osvětlení	$0,8 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	7,277	1,35	9,824
SUMA		17,366		24,208

$$F_{1,Gk} = 0,556 + 4,439 + 7,277 = 12,272 \text{ kN}$$

$$F_{1,Qk} = 5,094 \text{ kN}$$

$$F_{1,Gd} = 0,751 + 5,993 + 9,824 = 15,568 \text{ kN}$$

$$F_{1,Qd} = 7,641 \text{ kN}$$

Síla F2

Zatížení	Výpočet	F_k [kN]	γ_G	F_d [kN]
vaznice (15 kg/m')	$0,15 \cdot 3,705$	0,556	1,35	0,751
stálé	$0,488 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	4,439	1,35	5,993
sníh	$0,56 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	5,094	1,5	7,641
návěje	$0,51 \cdot 0,5 \cdot 1,273 \cdot 3,705$	1,203	1,5	1,805
podhled, VZT, osvětlení	$0,8 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	7,277	1,35	9,824
SUMA		18,569		26,013

$$F_{2,Gk} = 0,556 + 4,439 + 7,277 = 12,272 \text{ kN}$$

$$F_{2,Qk} = 5,094 + 1,203 = 6,297 \text{ kN}$$

$$F_{2,Gd} = 0,751 + 5,993 + 9,824 = 15,568 \text{ kN}$$

$$F_{2,Qd} = 7,641 + 1,805 = 9,446 \text{ kN}$$

Síla F3

Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m')	0,15*3,705	0,556	1,35	0,751
atika (50 kg/m')	0,5*3,705	1,853	1,35	2,502
stálé	0,488*3,705*1,228	2,220	1,35	2,997
sníh	0,56*3,705*1,228	2,548	1,5	3,822
návěje	0,927*3,705	3,435	1,5	5,153
podhled, VZT, osvětlení	0,8*3,705*1,228	3,640	1,35	4,914
SUMA		14,252		20,138

$$F_{3,Gk} = 0,556 + 2,220 + 3,640 + 1,853 = 8,269 \text{ kN} \quad F_{3,Qk} = 2,548 + 3,435 = 5,983 \text{ kN}$$

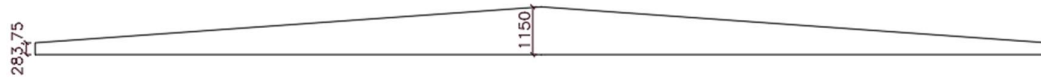
$$F_{3,Gd} = 0,751 + 2,997 + 4,914 + 2,502 = 11,164 \text{ kN} \quad F_{3,Qd} = 3,822 + 5,153 = 8,975 \text{ kN}$$

Návěj:

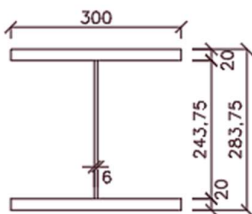
$$S_{\text{návěj}} = \frac{(1 + 0,51)}{2} \cdot 1,228 = 0,927 \text{ kN/m'}$$

3.3.2 Geometrie nosníku

Geometrie nosníku je navržena vzhledem k jeho maximálnímu možnému průhybu a dále jeho využití po celé délce nosníku. Nadvyšování nosníku rovnou slouží jako spád pro střešní rovinu.



Krajní průřez

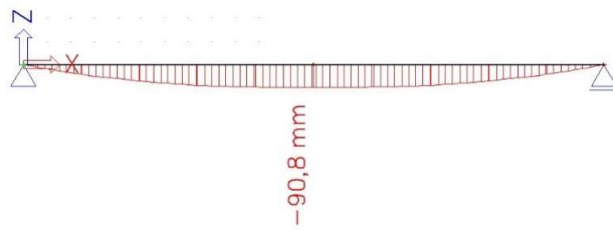


Střední průřez



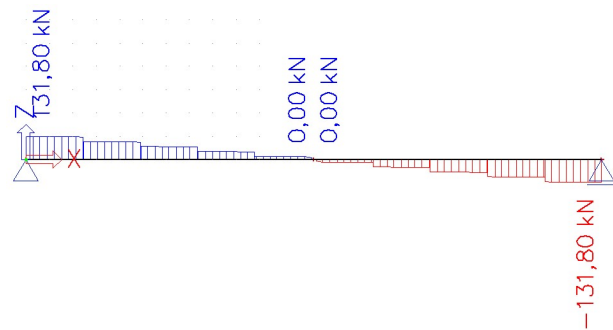
Průhyb nosníku

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{24750}{250} = 99 \text{ mm}$$

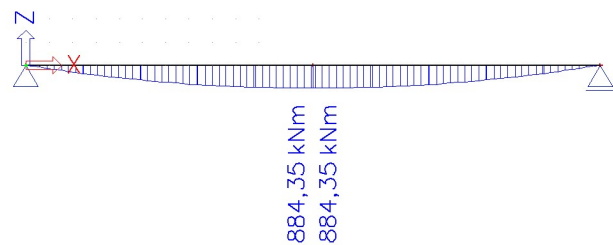


Obr. Průhyb nosníku, výstup z programu SCIA Engineer

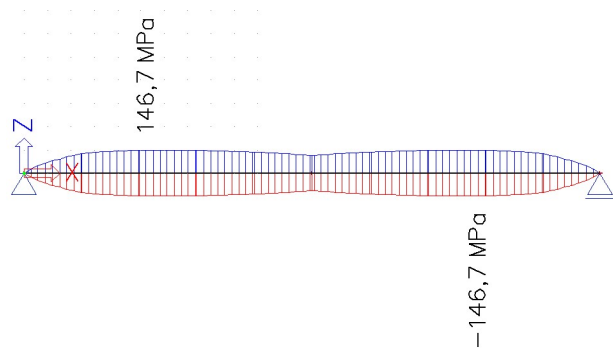
3.3.3 Vnitřní síly



Obr. Posouvající síly, výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Moment M_y , výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Napětí od ohybu (σ_x), výstup z programu SCIA Engineer

Místo nejvyššího napětí se nachází přibližně 5230 mm od okraje nosníku. Výška nosníku v tomto místě je 650 mm a působící moment 590,3 kNm. Posudek na ohyb bude proveden ve dvou průřezech, a to v místě nejvyššího namáhání a dále uprostřed nosníku.

3.3.4 Zatřívání průřezu

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

a) Průřez maximálního namáhání

$$a_w = 4 \text{ mm}; h_w = 610 \text{ mm}; t_w = 6 \text{ mm}; h = 650 \text{ mm}$$

Stojina

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w = 610 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 598,69 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{598,69}{6} = 99,78 \leq 124 \cdot \varepsilon = 124$$

99,78 < 124 => třída průřezu 3

Pásnice střední část

$$c_f = \frac{b - t_w}{2} - \sqrt{2} \cdot a_w = \frac{300 - 6}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 = 141,34 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{141,34}{20} = 7,067 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9$$

7,067 ≤ 9 => třída průřezu 1

Výsledná třída průřezu 3, nedochází k boulení

b) Průřez uprostřed rozpětí

$$a_w = 4 \text{ mm}; h_w = 1110 \text{ mm}; t_w = 6 \text{ mm}; h = 1150 \text{ mm}$$

Stojina

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w = 1110 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 1098,69 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{1098,69}{6} = 183,12 \geq 124 \cdot \varepsilon = 124$$

183,12 > 124 => třída průřezu 4

Pásnice

$$c_f = \frac{b - t_w}{2} - \sqrt{2} \cdot a_w = \frac{300 - 6}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 = 141,34 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{141,34}{20} = 7,067 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9$$

7,067 ≤ 9 => třída průřezu 1

Výsledná třída průřezu 4, dochází k boulení stojiny

3.3.5 Průřezové charakteristiky

a) Průřez maximálního namáhání

$$A = 2 \cdot b \cdot t_f + h_w \cdot t_w = 2 \cdot 300 \cdot 20 + 610 \cdot 6 = \mathbf{15660 \text{ mm}^2}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h_w^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right) \right) =$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 610^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 20^3 + 300 \cdot 20 \cdot \left(\frac{650 - 20}{2} \right)^2 \right) = \mathbf{1304,59 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h_w \cdot t_w^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 \right) = \frac{1}{12} \cdot 610 \cdot 6^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 300^3 \right)$$

$$I_z = \mathbf{90,01 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$I_w = I_{z,pás} \cdot \frac{(h - t_f)^2}{2} = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 300^3 \cdot \frac{(650 - 20)^2}{2} = \mathbf{8,93 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6}$$

$$I_t = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot b \cdot t_f^3 + h_w \cdot t_w^3) = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 300 \cdot 20^3 + 610 \cdot 6^3) = \mathbf{1643920 \text{ mm}^4}$$

b) Průřez uprostřed rozpětí

$$A = 2 \cdot b \cdot t_f + h_w \cdot t_w = 2 \cdot 300 \cdot 20 + 1110 \cdot 6 = \mathbf{18660 \text{ mm}^2}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h_w^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right) \right) =$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 1110^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 20^3 + 300 \cdot 20 \cdot \left(\frac{1150 - 20}{2} \right)^2 \right) = \mathbf{4514,916 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h_w \cdot t_w^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 \right) = \frac{1}{12} \cdot 1110 \cdot 6^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 300^3 \right)$$

$$I_z = \mathbf{90,02 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$I_w = I_{z,pás} \cdot \frac{(h - t_f)^2}{2} = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 300^3 \cdot \frac{(1150 - 20)^2}{2} = \mathbf{28,73 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6}$$

$$I_t = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot b \cdot t_f^3 + h_w \cdot t_w^3) = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 300 \cdot 20^3 + 1110 \cdot 6^3) = \mathbf{1679920 \text{ mm}^4}$$

3.3.6 Průběžné ověření

a) Průřez maximálního namáhání

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{0,5 \cdot h} \geq \frac{M_{Ed}}{f_y}$$

$$\frac{1304,59 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 650} \geq \frac{590,3 \cdot 10^6}{235}$$

$$4,014 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \geq 2,512 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{2,512 \cdot 10^6}{4,014 \cdot 10^6} = 0,626 < 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) Průřez uprostřed rozpětí

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{0,5 \cdot h} \geq \frac{M_{Ed}}{f_y}$$

$$\frac{4514,916 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 1150} \geq \frac{884,35 \cdot 10^6}{235}$$

$$7,852 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \geq 3,763 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{3,763 \cdot 10^6}{7,852 \cdot 10^6} = 0,479 < 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.3.7 Lokální boulení průřezu

Pásnice

-třída průřezu 1 => pásnice neboulí

Stojina

$$\varphi = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -1 \Rightarrow k_\sigma = 23,9$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}}{t} \sqrt{\frac{1}{k_\sigma}} = \frac{1110}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{23,9}} = 1,3325 > 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \varphi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,3325 - 0,055 \cdot (3 + (-1))}{1,3325^2} = 0,6885 < 1,0$$

$$b_c = \frac{1}{2} \cdot h_w = \frac{1}{2} \cdot 1110 = 555 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c = 0,6885 \cdot 555 = 382,13 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 382,13 = 152,85 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff} = 0,6 \cdot 382,13 = 229,28 \text{ mm}$$

Efektivní průřez 1:

$$A_{\text{eff}} = A - t_w \cdot (b_c - b_{\text{eff}}) = 18660 - 6 \cdot (555 - 382,13) = 17622,82 \text{ mm}^2$$

$$R_T = \frac{S_y}{A_{\text{eff}}} = \frac{b \cdot \frac{t_f^2}{2} + b \cdot t_f \cdot \left(h - \frac{t_f}{2}\right) + t_w \cdot h_w \cdot \frac{h}{2} - \left(\frac{h_w}{2} - b_{\text{eff}}\right) \cdot t_w \cdot \left(t_f + b_{e1} + \frac{b_c - b_{\text{eff}}}{2}\right)}{A_{\text{eff}}}$$

$$= \frac{300 \cdot \frac{20^2}{2} + 300 \cdot 20 \cdot \left(1150 - \frac{20}{10}\right) + 6 \cdot 1110 \cdot \frac{1150}{2} - \left(\frac{1110}{2} - 382,13\right) \cdot 6 \cdot \left(20 + 152,85 + \frac{555 - 382,13}{2}\right)}{17662,82} = 593,58 \text{ mm}$$

$$b_c = R_T - t_f = 593,58 - 20 = 573,58 \text{ mm}$$

$$b_t = h_w - b_c = 1110 - 573,58 = 536,42 \text{ mm}$$

Iterace č.1

$$\varphi = -\frac{b_t}{b_c} = -\frac{536,42}{573,58} = -0,93521$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\varphi + 9,78\varphi^2 = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,93521) + 9,78 \cdot (-0,93521)^2 = 22,246$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{\text{cr}}}} = \frac{\bar{b}}{t} = \frac{1110}{6} = \frac{1110}{28,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{22,246}} = 1,3811 > 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \varphi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,4087 - 0,055 \cdot (3 + (-0,93521))}{1,4087^2} = 0,6645 < 1,0$$

$$b_c = 573,58 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_c \cdot \rho = 573,58 \cdot 0,6645 = 381,16 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{\text{eff}} = 0,4 \cdot 381,16 = 152,46 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{\text{eff}} = 0,6 \cdot 381,16 = 228,69 \text{ mm}$$

Efektivní průřez 2

$$A_{\text{eff}} = A - t_w \cdot (b_c - b_{\text{eff}}) = 18660 - 6 \cdot (573,58 - 381,16) = 17505,46 \text{ mm}^2$$

$$R_T = \frac{S_y}{A_{\text{eff}}} = \frac{b \cdot \frac{t_f^2}{2} + b \cdot t_f \cdot \left(h - \frac{t_f}{2}\right) + t_w \cdot h_w \cdot \frac{h}{2} - \left(\frac{h_w}{2} - b_{\text{eff}}\right) \cdot t_w \cdot \left(t_f + b_{e1} + \frac{b_c - b_{\text{eff}}}{2}\right)}{A_{\text{eff}}}$$

$$= \frac{300 \cdot \frac{20^2}{2} + 300 \cdot 20 \cdot \left(1150 - \frac{20}{10}\right) + 6 \cdot 1110 \cdot \frac{1150}{2} - \left(\frac{1110}{2} - 381,16\right) \cdot 6 \cdot \left(20 + 152,46 + \frac{555 - 381,16}{2}\right)}{17505,46} = 595,20 \text{ mm}$$

$$b_c = R_T - t_f = 595,2 - 20 = 575,20 \text{ mm}$$

$$b_t = h_w - b_c = 1110 - 575,20 = 534,80 \text{ mm}$$

Iterace č.2

$$\varphi = -\frac{b_t}{b_c} = -\frac{534,80}{575,20} = -0,92975$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\varphi + 9,78\varphi^2 = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,92975) + 9,78 \cdot (-0,92975)^2 = 22,112$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}}{t} = \frac{1110}{6} = 1,3853 > 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \varphi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,3853 - 0,055 \cdot (3 + (-0,92975))}{1,3853^2} = 0,6625 < 1,0$$

$$b_c = 575,20 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_c \cdot \rho = 575,20 \cdot 0,6625 = 381,10 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{\text{eff}} = 0,4 \cdot 381,10 = 152,44 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{\text{eff}} = 0,6 \cdot 381,10 = 228,66 \text{ mm}$$

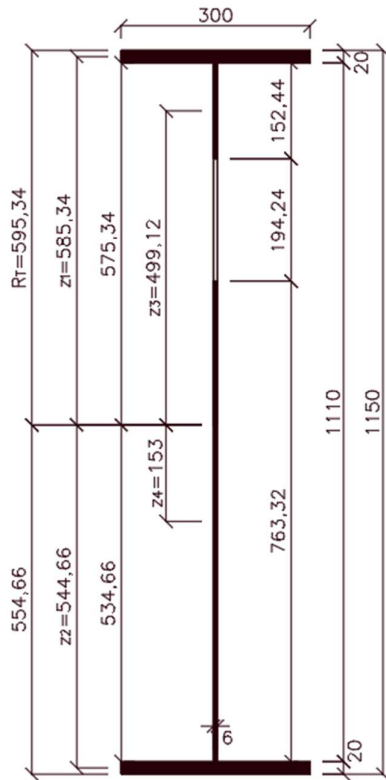
Efektivní průřez 3

$$A_{\text{eff}} = A - t_w \cdot (b_c - b_{\text{eff}}) = 18660 - 6 \cdot (575,20 - 381,10) = 17495,36 \text{ mm}^2$$

$$R_T = \frac{S_y}{A_{\text{eff}}} = \frac{b \cdot \frac{t_f^2}{2} + b \cdot t_f \cdot \left(h - \frac{t_f}{2}\right) + t_w \cdot h_w \cdot \frac{h}{2} - \left(\frac{h_w}{2} - b_{\text{eff}}\right) \cdot t_w \cdot \left(t_f + b_{e1} + \frac{b_c - b_{\text{eff}}}{2}\right)}{A_{\text{eff}}}$$
$$= \frac{300 \cdot \frac{20^2}{2} + 300 \cdot 20 \cdot \left(1150 - \frac{20}{2}\right) + 6 \cdot 1110 \cdot \frac{1150}{2} - \left(\frac{1110}{2} - 381,10\right) \cdot 6 \cdot \left(20 + 152,44 + \frac{555 - 381,10}{2}\right)}{17495,36} = 595,34 \text{ mm}$$

$$b_c = R_T - t_f = 595,34 - 20 = 575,34 \text{ mm}$$

$$b_t = h_w - b_c = 1110 - 575,20 = 534,66 \text{ mm}$$



$$I_{y,\text{eff}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot z_1^2 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot z_2^2 + \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot b_{e1}^3 + t_w \cdot b_{e1} \cdot z_3^2 + \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot (b_{e2} + b_t)^3 + t_w \cdot (b_{e2} + b_t) \cdot z_4^2$$

$$I_{y,\text{eff}} = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 20^3 + 300 \cdot 20 \cdot 585,34^2 + \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 20^3 + 300 \cdot 20 \cdot 544,66^2 + \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 152,44^3 + 6 \cdot 152,44 \cdot 499,12^2 + \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 763,32^3 + 6 \cdot (763,32) \cdot 153^2$$

$$I_{y,\text{eff}} = 4395,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (I_y = 4514,916 \cdot 10^6 \text{ mm}^4)$$

$$W_{y,\text{eff}} = \frac{I_{y,\text{eff}}}{b_c} = \frac{4395,28 \cdot 10^6}{575,34} = 7639,45 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

3.3.8 Vliv klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{1150}{300} = 3,833 > 2 \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\mu_{cr} = 20,02 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 884,35 \cdot 20,02 = 17704,687 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,\text{eff}} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7639,45 \cdot 10^3 \cdot 235}{17704,687 \cdot 10^6}} = 0,318$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,318 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,318^2] = 0,507$$

kde: $\bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$

$$\alpha_{LT} = 0,76 \text{ (křivka d)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,507 + \sqrt{0,507^2 - 0,75 \cdot 0,318^2}} = 1,072$$

$$\chi_{LT} = 1,072 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,318^2} = 9,862$$

$$\chi_{LT} = 1,000 \Rightarrow \text{Nosník neklopí}$$

3.3.9 Únosnost nosníku

a) ohyb

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

$$M_{Ed} \leq \chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_y$$

$$884,35 \leq 1,0 \cdot 7639,45 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6}$$

$$884,35 \text{ kNm} \leq 1795,27 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

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

$$M_{Ed} \leq \chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y$$

$$590,30 \leq 1,0 \cdot 4014,12 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6}$$

$$590,30 \text{ kNm} \leq 943,32 \text{ kNm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

b) smyk

stojina

$$\text{výztuhy v podpoře} \Rightarrow k_\tau = 5,34$$

$$\nu = 0,3$$

$$\tau_{cr} = k_\tau \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 = 5,34 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000}{12 \cdot (1 - 0,3)} \cdot \left(\frac{6}{610} \right)^2 = 127,47 \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr}}} = \sqrt{\frac{235}{127,47}} = 1,0317$$

$$f_y = 235 \text{ MPa} \Rightarrow \eta = 1,2$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,0317} = 0,8045 \leq \eta = 1,2$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,8045 \cdot 235 \cdot 610 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 1} = 399,497 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 399,497 + 0^* = 399,497 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} > V_{Ed}$$

399,497 kN > 73,46 kN => Vyhovuje

Hodnota 73,46 kN je posouvající síla v místě největšího napětí od ohybu.

*Příspěvek pásnice k únosnosti nebyl počítán, jelikož se jedná o zanedbatelnou hodnotu.

$$V_{pl,Rd} > V_{Ed}$$

$$\frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} > V_{Ed}$$

$$\frac{6 \cdot (283,75 - 20 - 20) \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} > 131,80$$

198,428 kN > 131,80kN => Vyhovuje

c) kombinace namáhání

V průřezu s maximálním ohybovým namáháním dochází pouze k malému smyku, tudíž není nutné posuzovat interakce smyku s ohybem. Nad podporou působí jen smyková síla, nedochází k interakci s momentem.

3.3.10 Krční svary

Návrh svaru $a_w = 4 \text{ mm}$

$$S_y = b \cdot t_f \cdot \left(R_T - \frac{t_f}{2} \right) = 300 \cdot 20 \cdot \left(595,34 - \frac{20}{2} \right) = 3512,04 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_w = 0,8$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_{y,eff} \cdot 2 \cdot a_w} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{131,8 \cdot 10^3 \cdot 3512,04 \cdot 10^3}{4395,28 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 4} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

13,16 MPa < 207,85 MPa => Vyhovuje

3.3.11 Průhyb nosníku

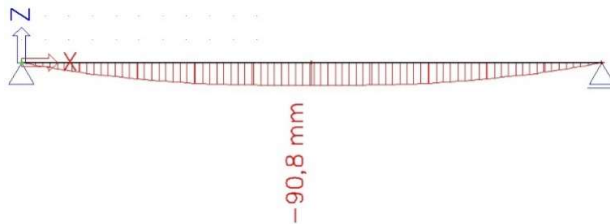
a) celkový průhyb

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{250} = \frac{24750}{250} = 99 \text{ mm}$$

$\delta = 90,8 \text{ mm}$ (plným momentem setrvačnosti, malý rozdíl oproti eff. momen. setrvačnosti)

$$\frac{I_{y,\text{eff}}}{I_y} = \frac{4395,28 \cdot 10^6}{4514,916 \cdot 10^6} \cdot 100 = 97,37\%$$

$\delta = 90,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 99 \text{ mm} \Rightarrow$ **Vyhovuje**



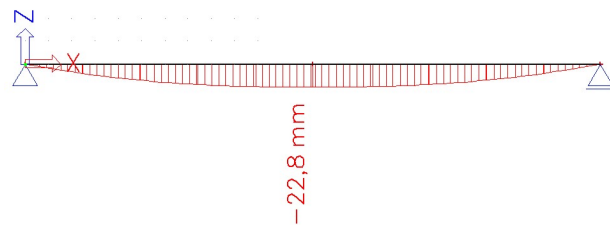
Obr. Průhyb nosníku, výstup z programu SCIA Engineer

b) průhyb od proměnného zatížení

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{300} = \frac{24750}{300} = 82,5 \text{ mm}$$

$\delta = 22,8 \text{ mm}$ (plným momentem setrvačnosti, malý rozdíl oproti eff. momen. setrvačnosti)

$\delta = 22,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 82,5 \text{ mm} \Rightarrow$ **Vyhovuje**



3.4 Vazník hala – minimální svislé + sání

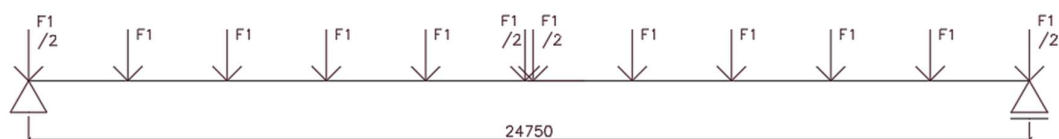
Navržený nosník z předchozí kapitoly dále posoudíme na sání větru. Do minimálního stálého bude započtena vlastní tíha vazníku, vaznice a trapézový plech.

Statické působení: prostý nosník.

- Zatěžovací šířka nosníku: **3,705 m**
- Vlastní tíha nosníku bude započítána automaticky výpočtetním programem
-

3.4.1 Zatížení

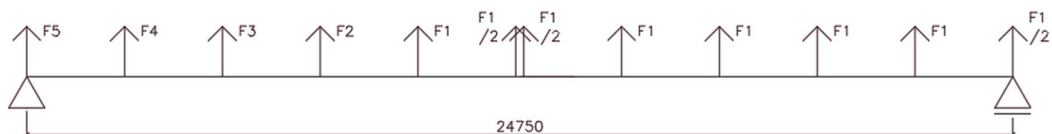
a) stálé zatížení



Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m´)	0,15*3,705	0,556	1	0,556
stálé	0,1*3,705*2,455	0,909	1	0,909
SUMA		1,465		1,465

b) příčný vítr

-vítr v tomto směru nerozhoduje



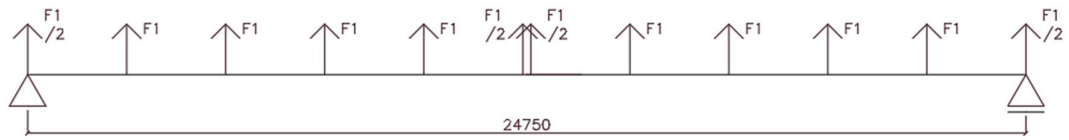
Zatížení sáním větru	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
F1	0,121*3,705*2,455	1,1	1,5	1,650
F2	0,2725*3,705*2,455	2,479	1,5	3,719
F3	0,424*3,705*2,455	3,857	1,5	5,786
F4	0,434*3,705*2,455	3,948	1,5	5,922
F5	0,523*3,705*1,228	2,38	1,5	3,570

Průměrování zatěžovacích ploch

$$S_2 = \frac{(0,121 + 0,424)}{2} = 0,2725 \text{ kN/m}^2$$

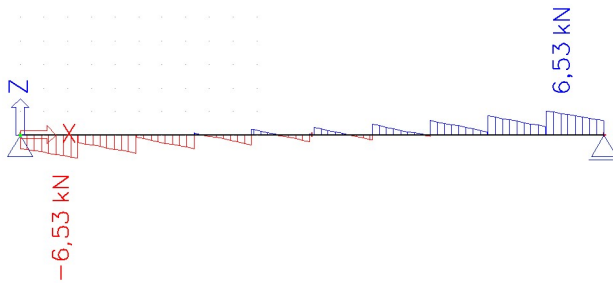
$$S_3 = \frac{(0,523 \cdot 242,5 + 0,424 \cdot 2212,5)}{2455} = 0,434 \text{ kN/m}^2$$

b) podélný vítr

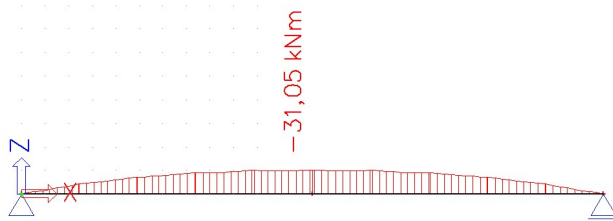


Zatížení sáním větru	Výpočet	F_k [kN]	γ_G	F_d [kN]
F1	$0,424 \cdot 3,705 \cdot 2,455$	3,857	1,5	5,786

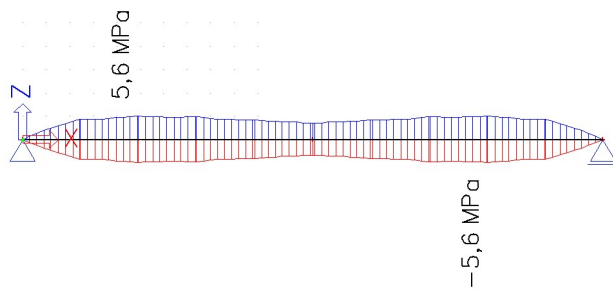
3.4.2 Vnitřní síly



Obr. Posouvající síly, výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Moment M_y , výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Napětí od ohybu (σ_x), výstup z programu SCIA Engineer

3.4.3 Vliv klopení

a) uprostřed rozpětí

$$\frac{h}{b} = \frac{1150}{300} = 3,833 > 2 \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\mu_{cr} = 27,39 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 31,05 \cdot 27,39 = 850,46 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7639,45 \cdot 10^3 \cdot 235}{850,46 \cdot 10^6}} = 1,453$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,453 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,453^2] = 1,692$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,76 \text{ (křivka d)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,692 + \sqrt{1,692^2 - 0,75 \cdot 1,453^2}} = 0,469$$

$$\chi_{LT} = 0,469 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,453^2} = 0,474$$

$$\chi_{LT} = 0,469 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

b) místo největšího namáhání

$$\frac{h}{b} = \frac{650}{300} = 2,167 > 2 \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\mu_{cr} = 27,39 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 22,06 \cdot 27,39 = 604,22 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4014,12 \cdot 10^3 \cdot 235}{604,22 \cdot 10^6}} = 1,2495$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,2495 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,2495^2] = 1,408$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,76 \text{ (křivka d)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,408 + \sqrt{1,408^2 - 0,75 \cdot 1,2495^2}} = 0,433$$

$$\chi_{LT} = 0,433 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,2495^2} = 0,641$$

$\chi_{LT} = 0,433 \Rightarrow$ Nosník klopi

3.4.4 Únosnost nosníku

a) ohyb

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

$$M_{Ed} \leq \chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_y$$

$$31,05 \leq 0,469 \cdot 7639,45 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6}$$

$$31,05 \text{ kNm} \leq 841,98 \text{ kNm} \Rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

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

$$M_{Ed} \leq \chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y$$

$$22,06 \leq 0,433 \cdot 4014,12 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6}$$

$$22,06 \text{ kNm} \leq 408,46 \text{ kNm} \Rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

b) smyk

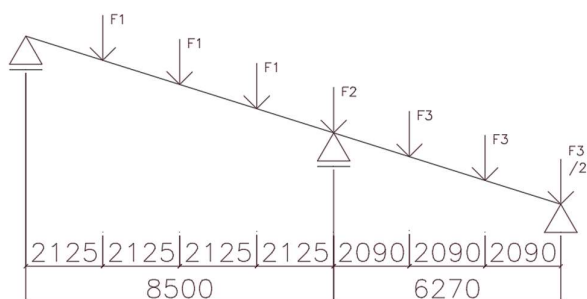
-nebude posuzován, jelikož dochází k malému smyku a nosník automaticky vyhoví.

3.5 Vazník zázemí – maximální svislé zatížení

Vazník bude proveden z válcovaného profilu IPE.

Zde již bude jako nahodilé zatížení uvažováno zatížení sněhem, jelikož se nedá předpokládat lokální zatížení jednoho vazníku užitným zatížením pro nepochozí střechy v celé zatěžovací ploše.

Statické působení: spojitý nosník.



- Zatěžovací šířka nosníku: **4,125 m**
- Vlastní tíha nosníku bude započítána automaticky výpočetním programem

3.5.1 Zatížení

Síla F1

Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m´)	0,15*4,125	0,619	1,35	0,836
stálé	0,505*4,125*2,125	4,427	1,35	5,976
sníh	0,56*4,125*2,125	4,909	1,5	7,364
tlak větru	0,121*4,125*2,125	1,061	1,5	1,592
podhled, VZT, osvětlení	0,4*4,125*2,125	3,506	1,35	4,733
SUMA		14,522		20,500

$$F_{1,Gk} = 0,619 + 4,427 + 3,506 = 8,552 \text{ kN}$$

$$F_{1,Qk} = 4,909 + 1,061 = 5,970 \text{ kN}$$

$$F_{1,Gd} = 0,836 + 5,976 + 4,733 = 11,545 \text{ kN}$$

$$F_{1,Qd} = 7,364 + 1,592 = 8,956 \text{ kN}$$

Síla F2

Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m´)	0,15*4,125	0,619	1,35	0,836
stálé	0,505*4,125*2,108	4,391	1,35	5,928
sníh	0,56*4,125*2,108	4,87	1,5	7,305
tlak větru	0,121*4,125*2,108	1,052	1,5	1,578
podhled, VZT, osvětlení	0,4*4,125*2,108	3,478	1,35	4,695
SUMA		14,410		20,342

$$F_{2,Gk} = 0,619 + 4,391 + 3,478 = 8,488 \text{ kN}$$

$$F_{2,Qk} = 4,870 + 1,052 = 5,922 \text{ kN}$$

$$F_{2,Gd} = 0,836 + 5,928 + 4,695 = 11,459 \text{ kN}$$

$$F_{2,Qd} = 7,305 + 1,578 = 8,883 \text{ kN}$$

Síla F3

Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m')	0,15*4,125	0,619	1,35	0,836
stálé	0,505*4,125*2,09	4,354	1,35	5,878
sníh	0,56*4,125*2,09	4,828	1,5	7,242
tlak větru	0,121*4,125*2,09	1,043	1,5	1,565
podhled, VZT, osvětlení	0,4*4,125*2,09	3,449	1,35	4,656
SUMA		14,293		20,176

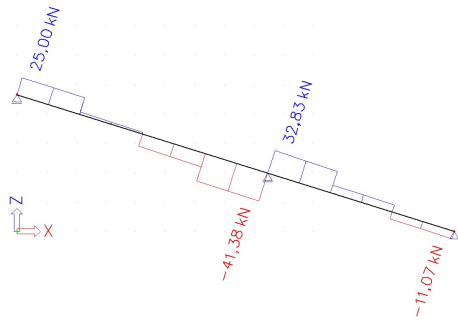
$$F_{3,Gk} = 0,619 + 4,354 + 3,449 = 8,422 \text{ kN}$$

$$F_{3,Qk} = 4,828 + 1,043 = 5,871 \text{ kN}$$

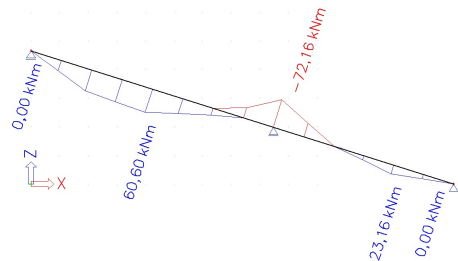
$$F_{3,Gd} = 0,836 + 5,878 + 4,656 = 11,370 \text{ kN}$$

$$F_{3,Qd} = 7,242 + 1,565 = 8,807 \text{ kN}$$

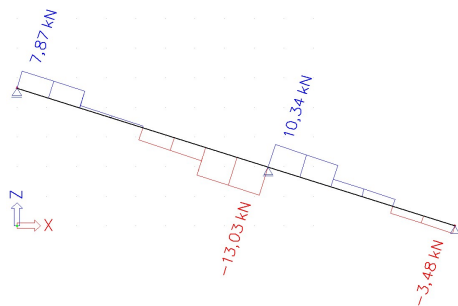
3.5.2 Vnitřní síly



Obr. Posouvající síly, výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Moment My, výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Normálová síla, výstup z programu SCIA Engineer

3.5.3 Návrh nosníku

$$W_{y,pl} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{72,16 \cdot 10^6}{235} = 307063 \text{ mm}^3$$

Navrhují IPE 270

Průřezové charakteristiky:

A =	4595	mm ²	t _f =	10,2	mm
I _y =	57900000	mm ⁴	t _w =	6,6	mm
I _z =	4199000	mm ⁴	c =	49,2	mm
I _t =	159400	mm ⁴	d =	219,6	mm
I _w =	70580000000	mm ⁴	h =	270	mm
W _{y,pl} =	484000	mm ³	b =	135	mm
i _y =	112	mm	r =	15	mm
i _z =	30,2	mm			
W _{z,pl} =	96950	mm ³			

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -13,03 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 72,16 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 8891 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2208 \text{ mm}$$

Štíhlost vazníku:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8891}{112} = 79,38 < 200 \dots \text{ Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2208}{30,2} = 73,11 < 200 \dots \text{ Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{79,38}{93,9} = 0,845$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{73,11}{93,9} = 0,779$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „a“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,769$$

$$\chi_z = 0,737$$

Vliv klopení

Velikost kritického momentu:

$$M_{y,Ed} = 72,16 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = 4,066 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 72,16 \cdot 4,066 = 293,403 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{484 \cdot 10^3 \cdot 235}{293,403 \cdot 10^6}} = 0,623$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,623 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,623^2 \right] = 0,683$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,683 + \sqrt{0,683^2 - 0,75 \cdot 0,623^2}} = 0,907$$

$$\chi_{LT} = 0,907 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,623^2} = 2,580$$

$$\chi_{LT} = 0,907 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,572$$

$$\psi = 0; \alpha_s = \frac{60,60}{-72,16} = -0,84; 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,572$$

$$C_{mLT} = 0,6$$

$$\psi = 0; 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4595 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1079,83 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 484 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 113,74 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{zy}

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

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,572 \cdot \left(1 + (0,845 - 0,2) \cdot \frac{13,03}{0,769 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \right) \\ 0,572 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{13,03}{0,769 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \begin{pmatrix} 0,578 \\ 0,579 \end{pmatrix}$$

$$= \mathbf{0,578}$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,779}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{13,03}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{13,03}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \end{array} \right)$$

$$= \min \begin{pmatrix} 0,996 \\ 0,995 \end{pmatrix} = \mathbf{0,995}$$

Vazník musí vyhovět následujícím podmínkám:

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

$$\frac{13,03}{0,769 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} + 0,578 \cdot \frac{72,16}{0,907 \cdot \frac{113,74}{1,0}} \leq 1,0$$

0,420 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

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

$$\frac{13,03}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} + 0,995 \cdot \frac{72,16}{0,907 \cdot \frac{113,74}{1,0}} \leq 1,0$$

0,713 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{13,03}{1079,83} + \frac{72,16}{113,74} \leq 1,0$$

0,647 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla $V_{Ed} = 41,38$ kN

Smyková plocha $A_v = 2214$ mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2214 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 300,4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{41,38}{300,4} = 0,138 < 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

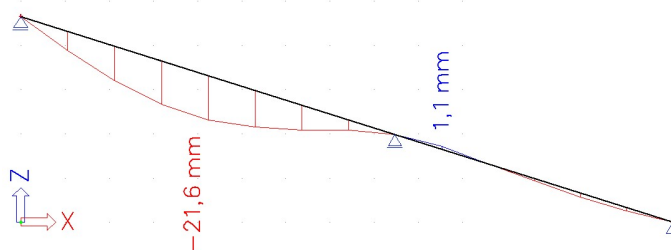
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

MSP

Mezní průhyb pro střešní nosníky L/ 250.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{8891}{250} = 35,55 \text{ mm}$$

Průhyb od působícího zatížení [mm]:



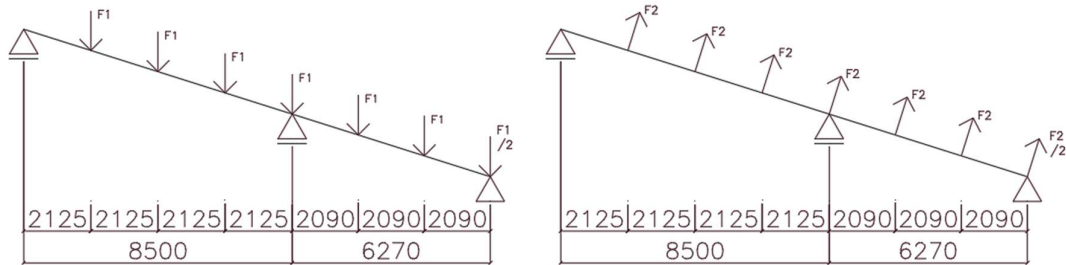
$\delta = 21,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = 35,55 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$

Vazník průřezu IPE 270 vyhoví na MSÚ i MSP.

3.6 Vazník zázemí – minimální svislé + sání

Navržený nosník z předchozí kapitoly dále posoudíme na sání větru. Do minimálního stálého bude započtena vlastní tíha vazníku, vaznice a trapézový plech.

Statické působení: spojitý nosník.



- Zatěžovací šířka nosníku: **4,125 m**
- Vlastní tíha nosníku bude započítána automaticky výpočetním programem

3.6.1 Zatížení

Síla F1

Zatížení	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
vaznice (15 kg/m´)	0,15*4,125	0,619	1	0,619
stálé	0,105*4,125*2,108	0,913	1	0,913
SUMA		1,532		1,532

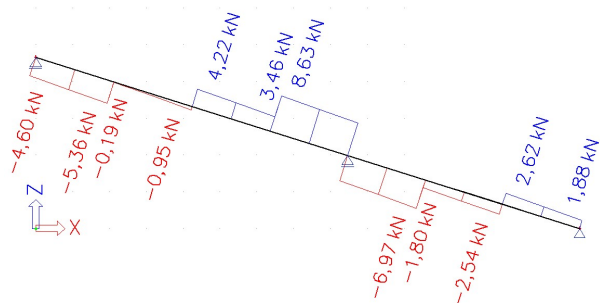
Přepočet trapézového plechu na vodorovnou délku:

$$\frac{0,1}{\cos(15)} = 0,105 \text{ kN/m}^2$$

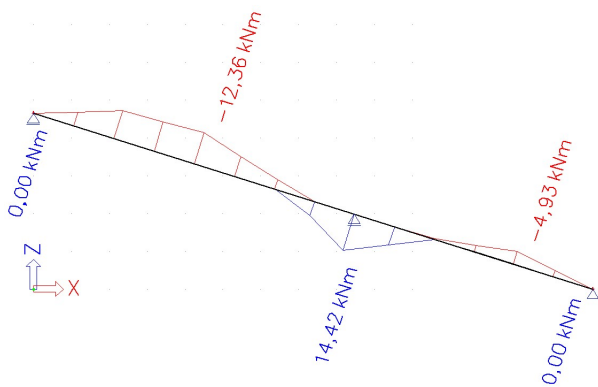
Síla F2

Zatížení sáním větru	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
F2	0,327*4,125*2,182	2,943	1,5	4,415

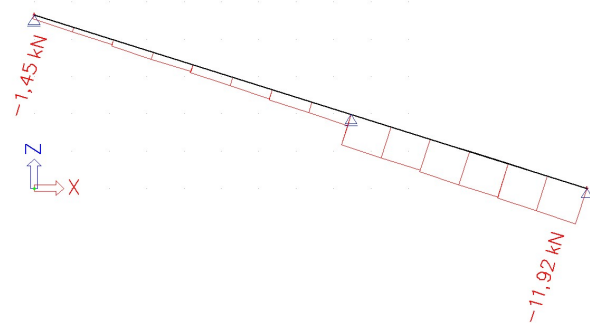
3.6.2 Vnitřní síly



Obr. Posouvající síly, výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Moment M_y , výstup z programu SCIA Engineer



Obr. Normálová síla, výstup z programu SCIA Engineer

3.6.3 Návrh nosníku

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -10,30 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 14,42 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 6594 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2208 \text{ mm}$$

Štíhlost vazníku:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6594}{112} = 58,88 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2208}{30,2} = 73,11 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{58,88}{93,9} = 0,627$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{73,11}{93,9} = 0,779$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „a“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,878$$

$$\chi_z = 0,737$$

Vliv klopení

Velikost kritického momentu:

$$M_{y,Ed} = 14,42 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = 7,189 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 14,42 \cdot 7,189 = 103,665 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{484 \cdot 10^3 \cdot 235}{103,665 \cdot 10^6}} = 1,047$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,047 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,047^2 \right] = 1,022$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,022 + \sqrt{1,022^2 - 0,75 \cdot 1,047^2}} = 0,671$$

$$\chi_{LT} = 0,671 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,047^2} = 0,911$$

$$\chi_{LT} = 0,671 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,4$$

$$\psi = 0; \alpha_s = \frac{-4,93}{14,42} = -0,342; 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,374 < 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,6$$

$$\psi = 0; 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4595 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1079,83 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 484 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 113,74 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{zy}

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left(1 + (0,627 - 0,2) \cdot \frac{10,3}{0,878 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{10,3}{0,878 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,402 \\ 0,403 \end{array} \right) = 0,402$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,779}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{10,3}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{10,3}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,997 \\ 0,996 \end{array} \right) = 0,997$$

Vazník musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{10,3}{0,878 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} + 0,402 \cdot \frac{14,42}{0,671 \cdot \frac{113,74}{1,0}} \leq 1,0$$

0,087 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{10,3}{0,737 \cdot \frac{1079,83}{1,0}} + 0,997 \cdot \frac{14,42}{0,671 \cdot \frac{113,74}{1,0}} \leq 1,0$$

0,201 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$
$$\frac{10,3}{1,0} + \frac{14,42}{1,0} \leq 1,0$$

0,136 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

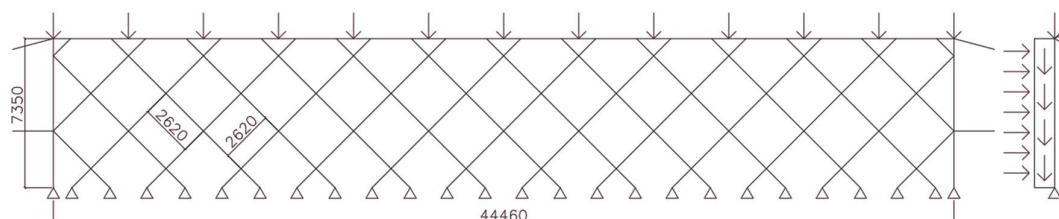
SMYK

-nebude posuzován, jelikož dochází k malému smyku a nosník automaticky vyhoví.

Nosník IPE 270 vyhoví na MSÚ i MSP.

4 Konstrukční řešení stěny

Konstrukce bude řešena jako celo svařovaná. Z důvodu dopravy bude konstrukce rozdělena do několika segmentů, jež budou na stavbě pomocí montážních svarů spojeny do jedné konstrukce. Sloupy budou provedeny z ocelových profilu HEA, horní průvlak ze svařence 2xUPE a spodní ližina z profilu L (úhelník).

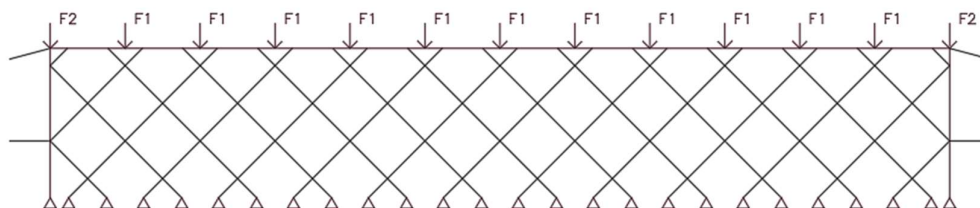


4.1 Zatížení

4.1.1 Vlastní tíha sloupů

Hmotnost sloupů bude započtena výpočetním programem.

4.1.2 Stálé zatížení od střechy



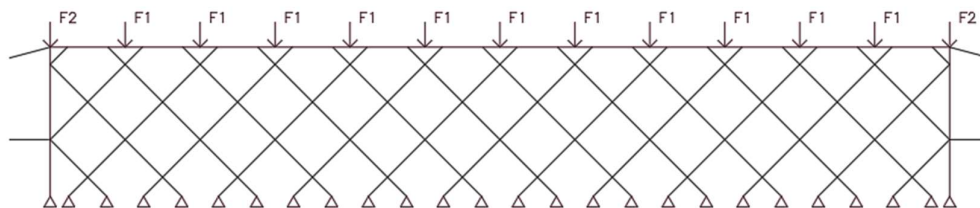
$F1 = \text{vl. tíha vazníku} + \text{stálé zatížení}$

$$F1 = 15,6 + 63,87 = \mathbf{79,47 \text{ kN}}$$

$F2 = \text{zatěžovací plocha} \cdot \text{stálé zatížení střechy} + \text{vl. tíha nosníku}$

$$F2 = 5,649 \cdot 2,0625 \cdot 0,505 + 2 \cdot 2,0625 \cdot 0,15 = \mathbf{6,503 \text{ kN}}$$

4.1.3 Zatížení sněhem



F1 = posouvající síla na vazníku od zatížení sněhem

$$F1 = 30,11 \text{ kN}$$

F2 = zatěžovací plocha · zatížení sněhem + návěj

$$F2 = 5,649 \cdot 2,0625 \cdot 0,56 + 5,649 \cdot 2,0625 \cdot \frac{2,33 + 0,41}{2} = 22,487 \text{ kN}$$

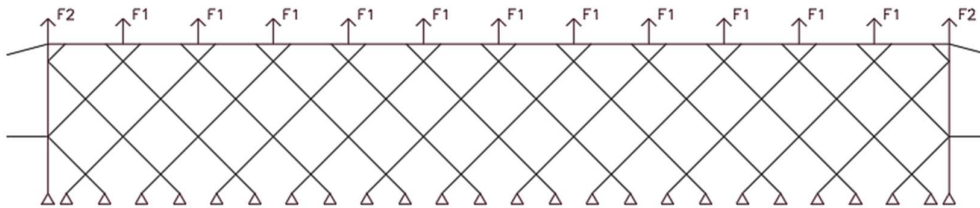
4.1.4 Zatížení teplotou

Při montáži konstrukce je uvažována teplota 15 °C. Pro letní stav je uvažováno, že se konstrukce může ohřát na teplotu 40 °C. V zimním stavu je uvažováno s nepoužíváním haly a pouze temperováním prostoru, tudíž možné ochlazení konstrukce na hodnotu 0 °C.

Letní stav: $\Delta t = +25 \text{ °C}$

Zimní stav: $\Delta t = -15 \text{ °C}$

4.1.5 Sání střecha – podélný vítr

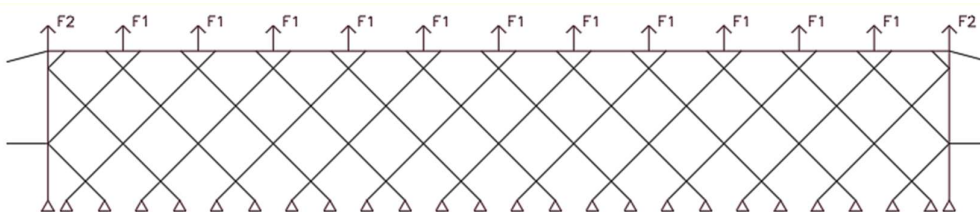


F1 = posouvající síla na vazníku od zatížení podélným větrem = **19,285 kN**

F2 = zatěžovací plocha · zatížení sáním + zatěžovací plocha · zatížení sáním

$$F2 = \frac{3,885}{2} \cdot 2,0625 \cdot 0,424 \cdot \cos(15) + 1,8525 \cdot 2,0625 \cdot 0,424 = 3,261 \text{ kN}$$

4.1.6 Sání střecha – příčný vítr



F1 = posouvající síla na vazníku od zatížení příčným větrem = **13,07 kN**

F2 = zatěžovací plocha · zatížení sáním + zatěžovací plocha · zatížení sáním

$$F2 = \frac{3,885}{2} \cdot 1,47 \cdot 0,523 \cdot \cos(15) + 1,8525 \cdot 1,47 \cdot 0,523 + \frac{3,885}{2} \cdot 0,5925 \cdot 0,424 \cdot \cos(15) + 1,8525 \cdot 0,5925 \cdot 0,424 = 3,804 \text{ kN}$$

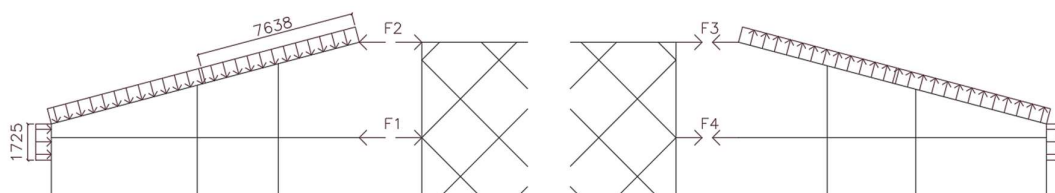
4.1.7 Vítr podélný

Rozměry konstrukce pro výpočet zatížení od větru budou zvětšeny o tloušťku opláštění.

Při podélném větru dochází k sání po celé délce stěny, intenzita sání na stěnu je:

$$q_{w,k} = 0,302 \text{ kN/m}^2$$

Dále budou vypočteny síly působící na kraje sloupů, jelikož šikmé sloupy působí jako ztužidlo pro podélný směr konstrukce.



Síla F1

F1 = zatěžovací plocha · tlak na stěnu + zatěžovací plocha · tlak na střechnu

$$F1 = 12,65 \cdot 1,725 \cdot 0,35 + 12,65 \cdot 7,896 \cdot 0,121 \cdot \sin(15) = 10,765 \text{ kN}$$

Síla F2

F2 = zatěžovací plocha · tlak na střechnu

$$F2 = 12,65 \cdot 7,638 \cdot 0,121 \cdot \sin(15) = 3,128 \text{ kN}$$

Síla F3

F3 = zatěžovací plocha · sání na střechnu

$$F3 = 12,65 \cdot 7,638 \cdot 0,327 \cdot \sin(15) = 8,177 \text{ kN}$$

Síla F4

F4 = zatěžovací plocha · sání na stěnu + zatěžovací plocha · sání na střechnu

$$F4 = 12,65 \cdot 1,72 \cdot 0,16 + 12,65 \cdot 7,896 \cdot 0,0327 \cdot \sin(15) = 11,944 \text{ kN}$$

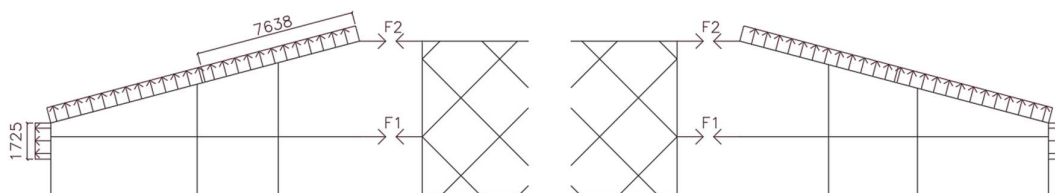
4.1.8 Vítr příčný

Rozměry konstrukce pro výpočet zatížení od větru budou zvětšeny o tloušťku opláštění.

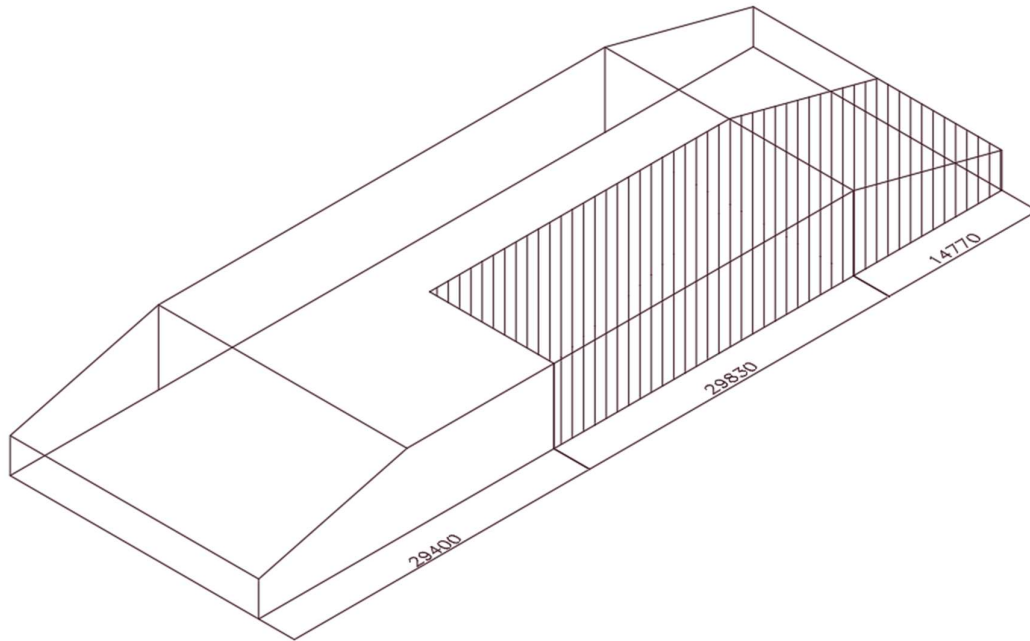
Při příčném větru dochází k tlaku po celé délce stěny, intenzita tlaku na stěnu je:

$$q_{w,k} = 0,424 \text{ kN/m}^2$$

Dále budou vypočteny síly působící na kraje sloupů, jelikož šikmé sloupy působí jako ztužidlo pro podélný směr konstrukce.



4.1.10 Tření na plášti



Tření o plášť řešených šikmých sloupů bude řešeno plošně dle jejich zatěžovací plochy. Tření o střechu v části haly bude řešeno liniovým zatížením horního průvlaku. Následné tření o plášť stěny a střechy bude započteno pomocí lokálních sil. Plášť v celém rozsahu uvažován jako drsný. (strana bezpečnosti) $\Rightarrow c_{fr} = 0,04$

$$w_e = q_p(7,35) \cdot c_{fr} = 0,605 \cdot 0,04 = \mathbf{0,024 \text{ kN/m}^2}$$

Ve vzdálenosti l od okraje budovy není uvažováno zatížení třením.

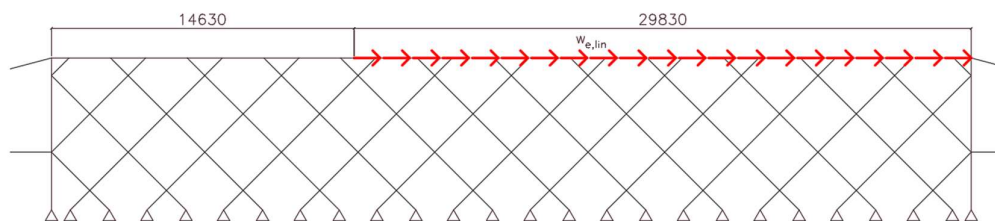
$$l = \min(2 \cdot b; 4 \cdot h) = \min(2 \cdot 24,75; 4 \cdot 7,35) = \min(49,5; 4 \cdot 29,4) = \mathbf{29,4 \text{ m}}$$

plošné zatížení

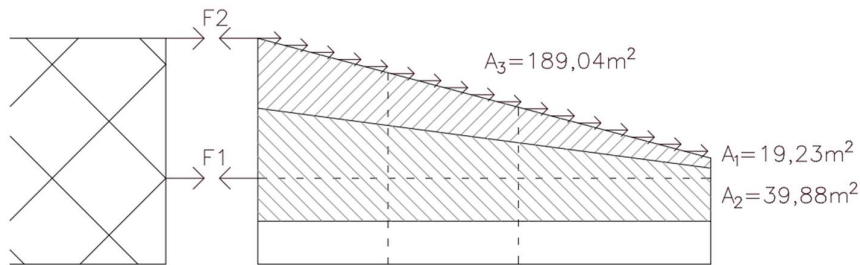
$$w_e = 0,024 \text{ kN/m}^2$$

liniové zatížení od střechy

$$w_{e,lin} = w_e \cdot \frac{b}{2} = 0,024 \cdot \frac{24,75}{2} = 0,297 \text{ kN/m}$$



Lokální síly od části zázemí



Síla F1

$$F1 = A_2 \cdot w_e + A_3/2 \cdot w_e$$

$$F1 = 39,88 \cdot 0,024 + 189,04/2 \cdot 0,024 = \mathbf{3,226 \text{ kN}}$$

Síla F2

$$F2 = A_1 \cdot w_e + A_3/2 \cdot w_e$$

$$F2 = 19,23 \cdot 0,024 + 189,04/2 \cdot 0,024 = \mathbf{2,73 \text{ kN}}$$

4.2 Kombinace zatížení MSÚ

- 1) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
- 2) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr podélný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 3) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr příčný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 4) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr podélný $\cdot \gamma_G$ ($\Psi_0 = 0,5$)
- 5) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr příčný $\cdot \gamma_G$ ($\Psi_0 = 0,5$)
- 6) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ teplota zimní stav $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 7) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ teplota zemní stav $\cdot \gamma_G$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 8) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr podélný $\cdot \gamma_G$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 9) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr příčný $\cdot \gamma_G$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 10) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr podélný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)

- 11) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ vítr příčný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 12) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,5$) + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr podélný $\cdot \gamma_G$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q$
 $\cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 13) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,5$) + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr příčný $\cdot \gamma_G$ + teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q$
 $\cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 14) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,5$) + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr podélný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
+ teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q$
- 15) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + sníh $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,5$) + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr příčný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
+ teplota zemní stav $\cdot \gamma_Q$
- 16) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota letní stav $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
- 17) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota letní stav $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr podélný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 18) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota letní stav $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$
+ imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr příčný $\cdot \gamma_G \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$)
- 19) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota letní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$) + imper. stálé
 $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr podélný $\cdot \gamma_G$
- 20) vl. tíha $\cdot \gamma_G$ + stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + teplota letní stav $\cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0$ ($\Psi_0 = 0,6$) + imper. stálé
 $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$ + vítr příčný $\cdot \gamma_G$

vítr podélný = vítr podélný + sání střecha (vítr podélný) + tření na plášti

vítr příčný = vítr příčný + sání střecha (vítr příčný)

4.3 Vnitřní síly

V následujících tabulkách jsou vypsány hodnoty návrhové skupiny pro jednotlivé zatěžovací stavy. Hodnoty odpovídají vždy maximální hodnotě na všech prvcích. Při posuzování je možné, že hodnoty budou mírně rozdílné, jelikož byly vzaty hodnoty pro jeden posuzovaný prvek. Toto platí pouze u sloupů.

Šikmý sloup					
Číslo kombinace zatížení	N	V _y	V _z	M _y	M _z
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
KZS 1	-151,48	14,26	0,00	0,00	10,43
KZS 2	-141,63	12,87	3,71	4,59	9,30
KZS 3	-144,44	13,62	5,20	6,44	9,88
KZS 4	-117,28	10,01	6,18	7,65	7,07
KZS 5	-123,51	11,19	8,67	10,74	7,98
KZS 6	-175,26	16,78	0,00	0,00	12,39
KZS 7	-175,49	16,87	0,00	0,00	12,47
KZS 8	-118,53	10,54	6,18	7,65	7,49
KZS 9	-123,97	11,72	8,67	10,74	8,40
KZS 10	-157,50	15,39	3,71	4,59	11,26
KZS 11	-162,16	16,14	5,20	6,44	11,84
KZS 12	-134,04	12,53	6,18	7,65	9,03
KZS 13	-139,48	13,71	8,67	10,74	9,94
KZS 14	-160,69	15,08	3,71	4,59	11,03
KZS 15	-163,96	15,82	5,20	6,44	11,61
KZS 16	-206,41	14,30	0,00	0,00	10,59
KZS 17	-196,56	13,11	3,71	4,59	9,67
KZS 18	-199,37	13,43	5,20	6,44	9,96
KZS 19	-153,80	10,26	6,18	7,65	7,58
KZS 20	-158,47	10,79	8,67	10,74	8,06

Rovný sloup					
Číslo kombinace zatížení	N	V _y	V _z	M _y	M _z
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
KZS 1	-222,63	0,33	0,00	0,00	1,93
KZS 2	-220,09	0,47	5,74	3,46	2,01
KZS 3	-224,42	0,46	7,96	4,83	2,12
KZS 4	-183,24	0,89	9,56	5,76	1,78
KZS 5	-190,47	0,87	13,27	8,04	1,98
KZS 6	-168,06	0,28	0,00	0,00	1,70
KZS 7	-103,56	0,23	0,00	0,00	1,32
KZS 8	-93,52	0,91	9,56	5,76	1,28
KZS 9	-100,75	0,89	13,27	8,04	1,47
KZS 10	-165,52	0,30	5,74	3,46	1,77
KZS 11	-169,86	0,30	7,96	4,83	1,89
KZS 12	-128,68	0,69	9,56	5,76	1,55
KZS 13	-135,90	0,67	13,27	8,04	1,74
KZS 14	-93,99	0,35	5,74	3,46	1,34
KZS 15	-98,33	0,34	7,96	4,83	1,46
KZS 16	-303,90	1,16	0,00	0,00	3,18
KZS 17	-301,36	1,46	5,74	3,46	3,43
KZS 18	-305,69	1,45	7,96	4,83	3,42
KZS 19	-239,04	1,44	9,56	5,76	2,64
KZS 20	-246,26	1,42	13,27	8,04	2,63

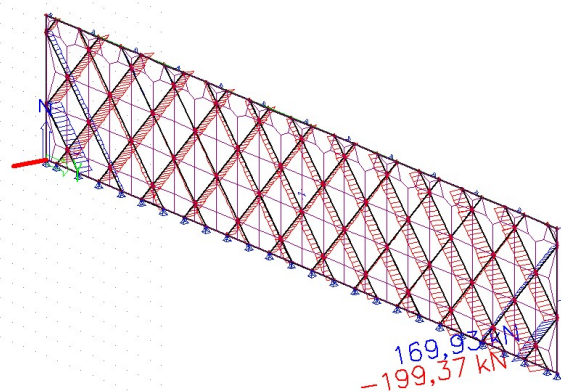
Horní průvlak					
Číslo kombinace zatížení	N	V _y	V _z	M _y	M _z
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
KZS 1	72,57	0,00	79,06	45,87	0,00
KZS 2	73,49	1,91	70,86	40,76	1,23
KZS 3	74,83	2,68	73,42	42,49	1,73
KZS 4	62,23	3,18	53,74	30,66	2,05
KZS 5	64,46	4,46	58,01	33,54	2,88
KZS 6	194,13	0,00	84,47	46,16	0,00
KZS 7	285,33	0,00	80,92	40,99	0,00
KZS 8	173,55	3,18	48,26	24,26	2,05
KZS 9	178,05	4,46	52,17	27,13	2,88
KZS 10	190,77	1,91	75,93	41,06	1,23
KZS 11	193,47	2,68	78,77	42,78	1,73
KZS 12	181,04	3,18	59,31	30,96	2,05
KZS 13	185,54	4,46	63,46	33,83	2,88
KZS 14	280,47	1,91	70,35	34,56	1,23
KZS 15	283,18	2,68	72,69	36,28	1,73
KZS 16	-418,53	0,00	77,98	37,59	0,00
KZS 17	-416,02	1,91	69,75	37,00	1,23
KZS 18	-414,54	2,68	72,24	37,15	1,73
KZS 19	-251,46	3,18	55,15	25,16	2,05
KZS 20	-249,01	4,46	59,30	27,51	2,88

4.4 Návrh prvků

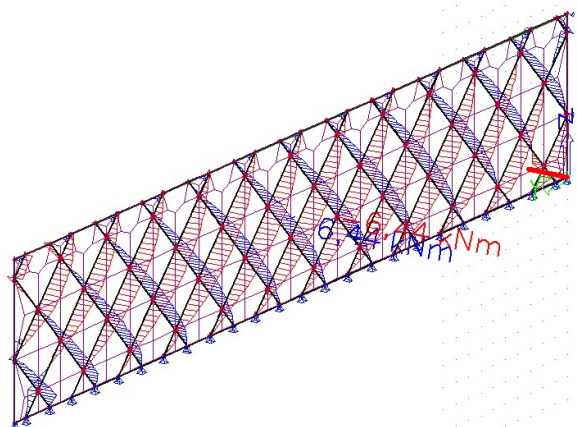
4.4.1 Šikmé sloupy

Průběh vnitřních sil pro rozhodující mezní stav (KZS 18)

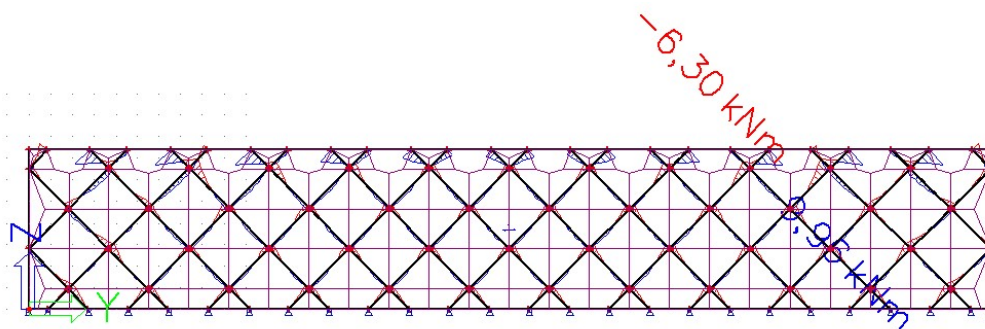
Normálová síla [kN]



Moment My [kNm]



Moment Mz [kNm]



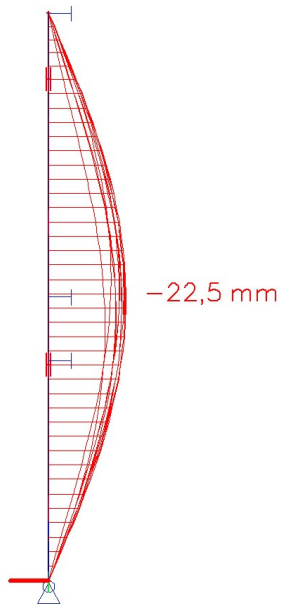
Návrh profilu bude proveden na základě MSP. Z hlediska skelného zasklení bude použit limit $L/300$, kde L bude výška konstrukce.

MSP

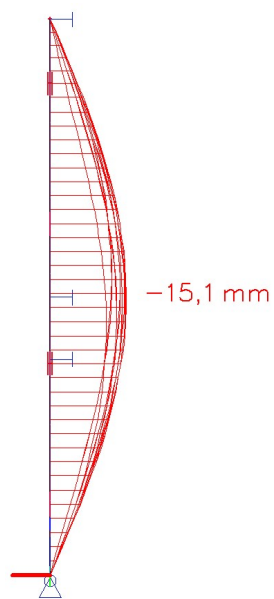
Návrh proveden na větší z hodnot sání na stěnu či tlak na stěnu. V tomto případě dochází většího průhybu u tlaku větru na stěnu.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{7350}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

Profil HEA 160:



Profil HEA 180:



Průhyby konstrukce [mm]

Návrh: HEA 180

Navrhuji profil HEA 180 z důvodu rezervy průhybu, jelikož samotné střešní ztužidlo bude mít určitý průhyb. Vlivem tohoto průhybu dojde k zvětšení průhybu posuzovaného sloupu.

MSÚ

Průřezové charakteristiky:

A =	4525	mm ²	t _f =	9,5	mm
I _y =	25100000	mm ⁴	t _w =	6	mm
I _z =	9246000	mm ⁴	c =	72	mm
I _t =	148000	mm ⁴	d =	122	mm
I _w =	6021000000	mm ⁴	h =	171	mm
W _{y,pl} =	3249000	mm ³	b =	180	mm
i _y =	74,5	mm	r =	15	mm
i _z =	45,2	mm			
W _{z,pl} =	156500	mm ³			

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -199,38 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6,44 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 9,96 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 10395 \text{ mm}$$

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

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10395}{74,5} = 139,53 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2620}{45,2} = 57,96 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{139,53}{93,9} = 1,486$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{57,96}{93,9} = 0,617$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky

„c“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,348$$

$$\chi_z = 0,775$$

Vliv klopení

Velikost kritického momentu:

$$M_{y,Ed} = 6,44 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = 54,04 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 6,44 \cdot 54,04 = 348,018 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{348,018 \cdot 10^6}} = 0,468$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,468 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,468^2 \right] = 0,589$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,589 + \sqrt{0,589^2 - 0,75 \cdot 0,468^2}} = 0,983$$

$$\chi_{LT} = 0,983 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,468^2} = 4,558$$

$$\chi_{LT} = 0,983 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,95$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0; \psi = 0; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$C_{mz} = 0,9$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{9,96}{-4,67} = -2,13 \rightarrow -1; \psi = 0; 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,9$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$\alpha_h \cong 1,0; \psi = 1; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 1,0$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1063,38 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 324,9 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 76,352 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y = 156,5 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 36,778 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz}

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= \min \left(\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) \\
 &= \min \left(\begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (1,486 - 0,2) \cdot \frac{199,38}{0,348 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{199,38}{0,348 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \begin{pmatrix} 1,608 \\ 1,359 \end{pmatrix} \\
 &= \mathbf{1,395}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,617}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{199,38}{0,775 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{199,38}{0,775 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \end{array} \right) \\
 &= \min \begin{pmatrix} 0,980 \\ 0,968 \end{pmatrix} = \mathbf{0,968}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= \min \left(\begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) \\
 &= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,617 - 0,6) \cdot \frac{199,38}{0,775 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{199,38}{0,775 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \begin{pmatrix} 1,038 \\ 1,205 \end{pmatrix} \\
 &= \mathbf{1,038}
 \end{aligned}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,038 = \mathbf{0,623}$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{199,38}{0,348 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} + 1,359 \cdot \frac{6,44}{0,983 \cdot \frac{76,352}{1,0}} + 0,623 \cdot \frac{9,96}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,824 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{199,38}{0,775 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} + 0,968 \cdot \frac{6,44}{0,983 \cdot \frac{76,352}{1,0}} + 1,038 \cdot \frac{9,96}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,606 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{199,38}{\frac{1063,38}{1,0}} + \frac{6,44}{\frac{76,352}{1,0}} + \frac{9,96}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,543 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla $V_{Ed} = 10,62$ kN

Smyková plocha $A_v = 1447$ mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 196,32 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{10,62}{196,32} = 0,052 < 1,0 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

Sloup průřezu HEA 180 vyhoví na MSÚ i MSP.

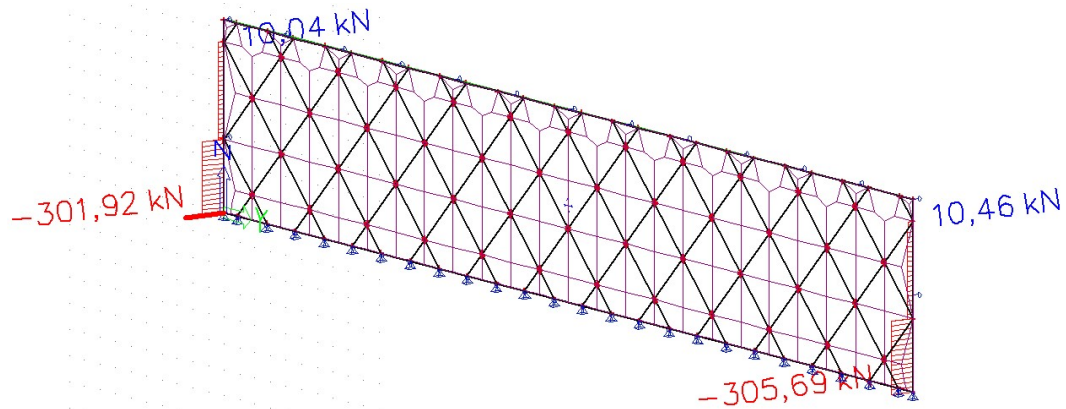
4.4.2 Rovné sloupy

Návrh profilu bude proveden ze shodného prvku jako pro šikmé sloupy z důvodu pohledové shodnosti prvků.

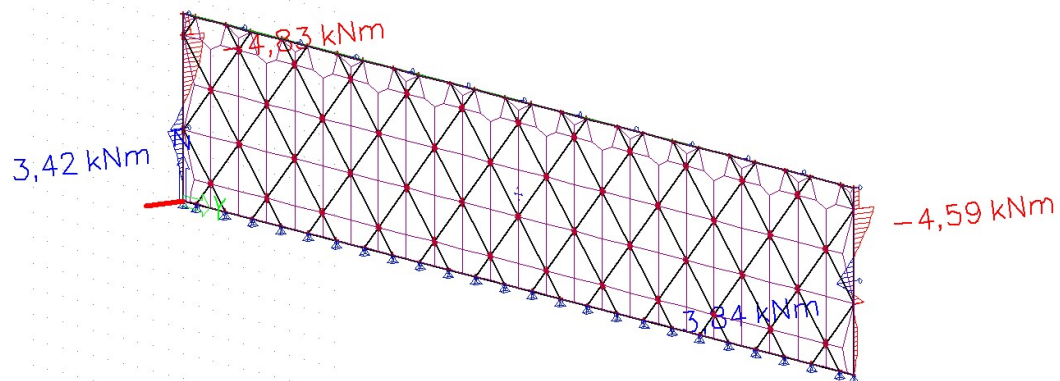
Návrh: HEA 180

Průběh vnitřních sil pro rozhodující mezní stav (KZS 18)

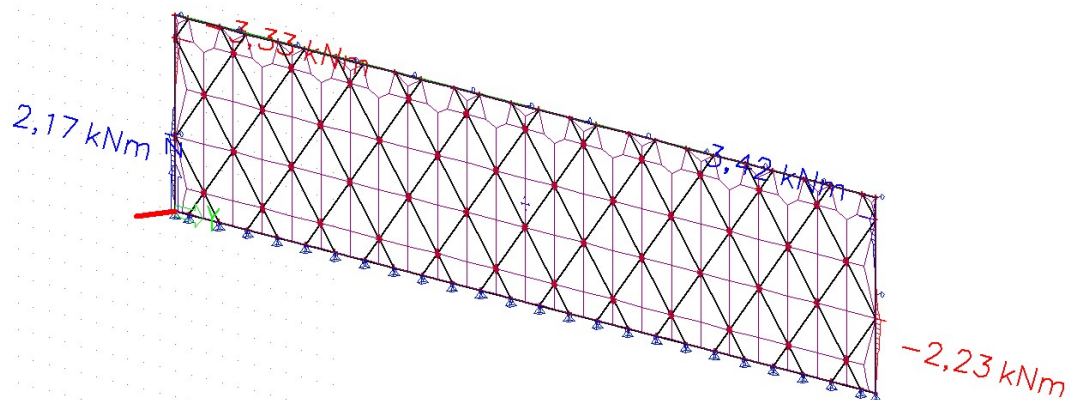
Normálová síla [kN]



Moment M_y [kNm]



Moment M_z [kNm]



MSÚ

Průřezové charakteristiky:

A =	4525	mm ²	t _f =	9,5	mm
I _y =	25100000	mm ⁴	t _w =	6	mm
I _z =	9246000	mm ⁴	c =	72	mm
I _t =	148000	mm ⁴	d =	122	mm
I _w =	6021000000	mm ⁴	h =	171	mm
W _{y,pl} =	3249000	mm ³	b =	180	mm
i _y =	74,5	mm	r =	15	mm
i _z =	45,2	mm			
W _{z,pl} =	156500	mm ³			

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -305,69 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 3,84 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 2,23 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

(bezpečně uvažována pro oba směry jako celá délka mezi podporami)

$$L_{cr,y} = 4500 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3705 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4500}{74,5} = 60,40 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3705}{45,2} = 81,97 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42,28}{93,9} = 0,449$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{81,97}{93,9} = 0,873$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky

„c“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,814$$

$$\chi_z = 0,616$$

Vliv klopení

Velikost kritického momentu:

$$M_{y,Ed} = 3,84 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = 30,04 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 3,84 \cdot 30,04 = 115,354 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{115,354 \cdot 10^6}} = 0,814$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,814 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,814^2 \right] = 0,792$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,792 + \sqrt{0,792^2 - 0,75 \cdot 0,814^2}} = 0,868$$

$$\chi_{LT} = 0,868 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,814^2} = 1,511$$

$$\chi_{LT} = 0,868 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,4$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{1,2}{-3,84} = -0,3125; \psi = 0; 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,35 < 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6$$

$$\psi = 0; 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mLT} = 0,6$$

$$\psi = 0; 0,6 + 0,4 \cdot \psi$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1063,38 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 324,9 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 76,352 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y = 156,5 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 36,778 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz}

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= \min \left(\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) \\
 &= \min \left(\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left(1 + (0,643 - 0,2) \cdot \frac{-305,69}{0,814 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{-305,69}{0,814 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min(0,463; 0,513) \\
 &= \mathbf{0,463}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,873}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{-305,69}{0,616 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{-305,69}{0,616 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \end{array} \right) \\
 &= \min(0,884; 0,867) = \mathbf{0,867}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= \min \left(\begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) \\
 &= \min \left(\begin{array}{l} 0,6 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,873 - 0,6) \cdot \frac{305,69}{0,616 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \\ 0,6 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{305,69}{0,616 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min(0,921; 0,992) \\
 &= \mathbf{0,921}
 \end{aligned}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,921 = \mathbf{0,553}$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

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

$$\frac{305,69}{0,814 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} + 0,463 \cdot \frac{3,84}{868 \cdot \frac{76,352}{1,0}} + 0,0553 \cdot \frac{2,23}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,346 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

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

$$\frac{305,69}{0,616 \cdot \frac{1063,38}{1,0}} + 0,867 \cdot \frac{3,84}{0,868 \cdot \frac{76,352}{1,0}} + 0,921 \cdot \frac{2,23}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,461 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{305,69}{\frac{1063,38}{1,0}} + \frac{3,84}{\frac{76,352}{1,0}} + \frac{2,23}{\frac{36,778}{1,0}} \leq 1,0$$

0,277 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla $V_{Ed} = 13,27$ kN

Smyková plocha $A_v = 1447$ mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 196,32 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{13,27}{196,32} = 0,068 < 1,0 \text{ ... } \mathbf{VYHOVUJE}$$

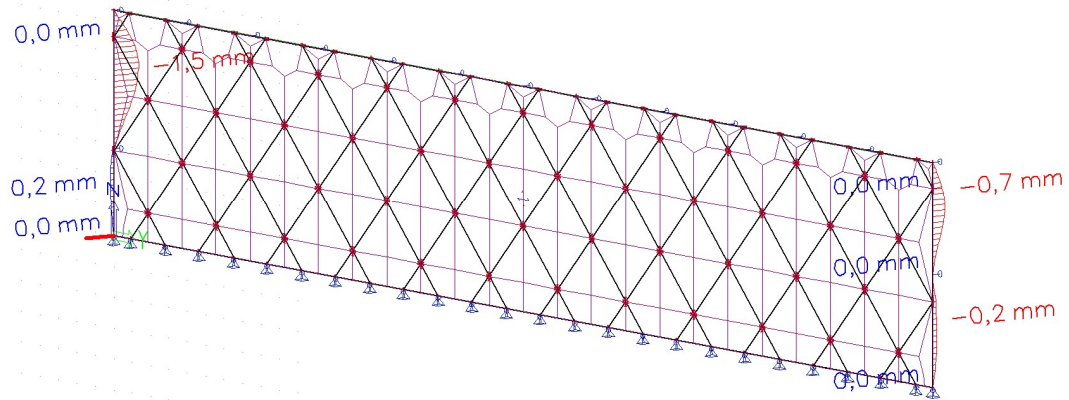
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

MSP

Mezní průhyb bude shodně jako pro šikmé nosníky L/ 300.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{7350}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

Průhyb od tlaku větru [mm]:



$\delta = 1,5 \text{ mm} < \delta_{lim} = 24,5 \text{ mm} \dots$ **VYHOVUJE**

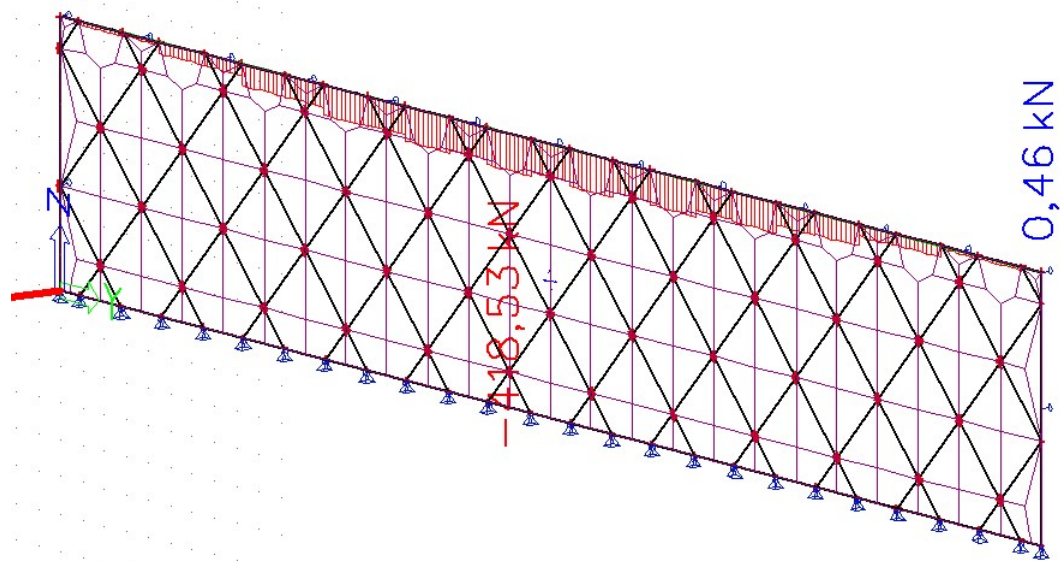
Sloup průřezu HEA 180 vyhoví na MSÚ i MSP.

4.4.3 Horní průvlak

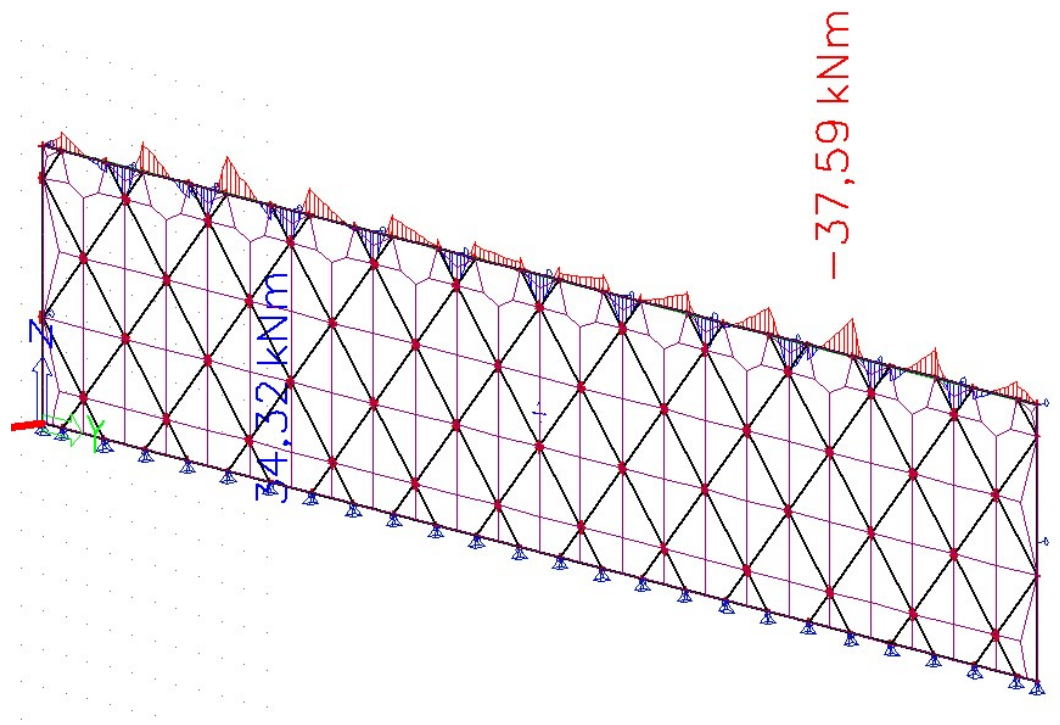
Navržen ze svařence 2x UPE otočený svojí větší tuhosti ve směru osy y a nikoliv osy z.

Průběh vnitřních sil pro rozhodující mezí stav (KZS 16)

Normálová síla [kN]



Moment M_y [kNm]



Návrh: 2x UPE 200**MSÚ**

Průřezové charakteristiky:

A =	5802	mm ²	t _f =	5,5	mm
I _y =	20927000	mm ⁴	t _w =	11	mm
I _z =	38180000	mm ⁴	c =	152	mm
I _t =	37402000	mm ⁴	d =	123	mm
I _w =	14767000000	mm ⁴	h =	160	mm
W _{y,pl} =	315770	mm ³	b =	200	mm
i _y =	60	mm	r =	13	mm
i _z =	81	mm			
W _{z,pl} =	440410	mm ³			

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -418,53 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 37,59 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 2005 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3705 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2005}{60} = 33,42 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3750}{81} = 45,74 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{33,42}{93,9} = 0,356$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{45,74}{93,9} = 0,487$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „c“ v obou směrech vzpěru

$$\chi_y = 0,920$$

$$\chi_z = 0,849$$

Vliv klopení

Jelikož se jedná o průřez, který je tuhý v kroucení, tak se nemusí posuzovat na klopení.

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 1,0$$

$$\psi = 1; 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 1,0$$

$$C_{mLT} = 0,486$$

$$\alpha_s = \frac{-16,28}{33,77} = 0,4821; \psi = 1; 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,486$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5802 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1363,47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 366,6 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 86,151 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{zy}

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 1,0 \cdot \left(1 + (0,356 - 0,2) \cdot \frac{418,53}{0,92 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} \right) \\ 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{418,53}{0,92 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1,052 \\ 1,267 \end{array} \right) = 1,052$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,487}{(0,486 - 0,25)} \cdot \frac{418,53}{0,849 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,486 - 0,25)} \cdot \frac{418,53}{0,849 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,925 \\ 0,847 \end{array} \right) = 0,847$$

Průvlak musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{418,53}{0,92 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} + 1,052 \cdot \frac{37,59}{1,0 \cdot \frac{86,151}{1,0}} \leq 1,0$$

0,793 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{418,53}{0,849 \cdot \frac{1363,47}{1,0}} + 0,847 \cdot \frac{37,59}{1,0 \cdot \frac{86,151}{1,0}} \leq 1,0$$

0,731 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{418,53}{\frac{1363,47}{1,0}} + \frac{37,59}{\frac{86,151}{1,0}} \leq 1,0$$

0,743 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla $V_{Ed} = 84,47$ kN

Smyková plocha $A_v = 2 \cdot 123 \cdot 11 = 2706$ mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2706 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 367,14 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{84,47}{367,14} = 0,230 < 1,0 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

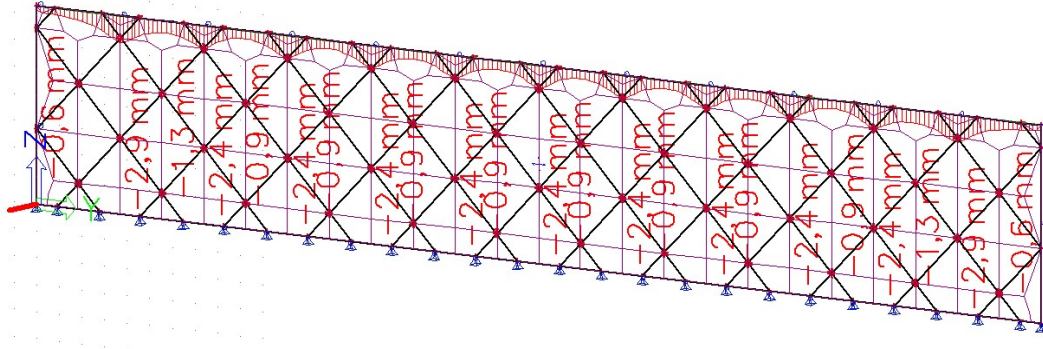
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

MSP

Mezní průhyb bude shodně jako pro sloupy L/ 300.

$$\delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{1700}{300} = 5,67 \text{ mm}$$

Průhyb od stálého zatížení a sněhu [mm]:



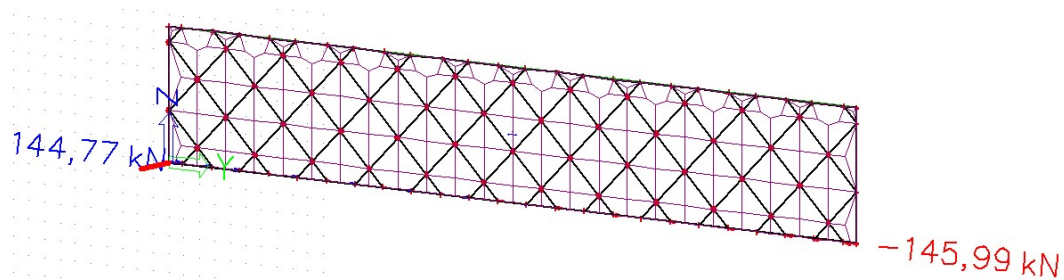
$$\delta = 2,9 \text{ mm} < \delta_{lim} = 5,67 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Průvlak průřezu 2x UPE 200 vyhoví na MSÚ i MSP.

4.4.4 Dolní ližina

Ližina bude navržena z úhelníku, který bude průběžně kotven do základové konstrukce. Průběžné kotvení uvažováno v takových vzdálenostech, že nebude rozhodovat vzpěr a nosník bude navržena pouze jako masivní tlačný prvek.

Vodorovná reakce pro rozhodující mezní stav (KZS 16)



Výpočet potřebné plochy průřezu

$$A_{\text{req}} = \frac{N}{\sigma} = \frac{145990}{235} = 621,2 \text{ mm}^2$$

Návrh: L 200x100x10, A=2920 mm²

Prvek navrhován z důvodu kotvení a možnosti svaření se sloupy o větší šířce než 171 mm. Z toho důvodu nebude navrhován prvek příliš ekonomický.

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{\text{Rk}} = A \cdot f_y = 2920 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 686,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rk}}} \leq 1,0$$
$$\frac{145,99}{686,2} \leq 1,0$$

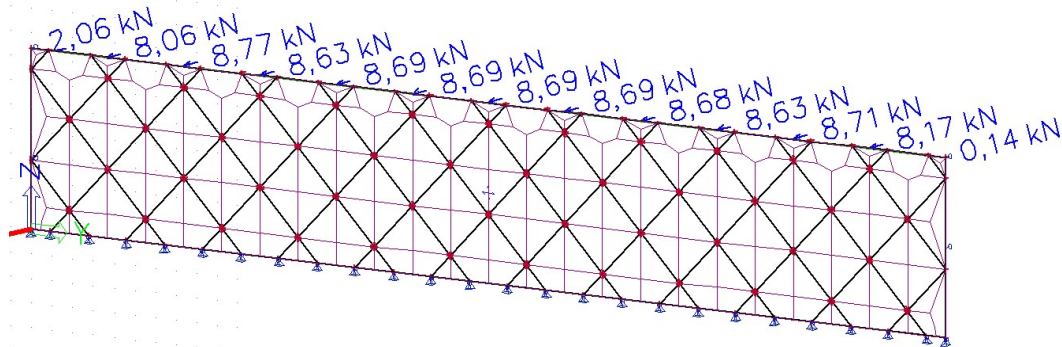
0,213 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Průřez L 200x100x10 vyhoví na MSÚ.

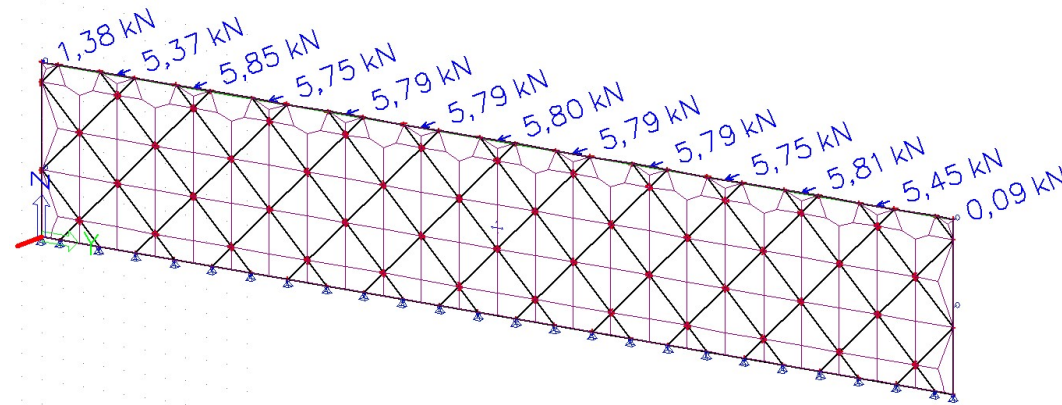
5 Řešení střešních ztužidel

5.1 Střešní ztužidlo v části hala

Vodorovné síly působící na ztužidlo (návrhová hodnota)



Vodorovné síly působící na ztužidlo (charakteristická hodnota)



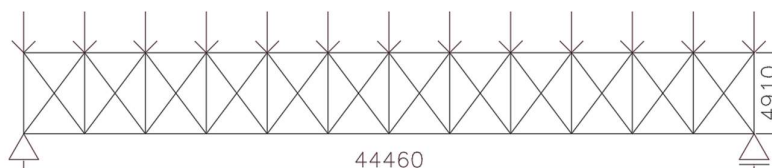
Konstrukční řešení:

Ztužidlo bude vytvořeno jako vazník v úrovni střešní konstrukce. Pásnice ztužidla budou tvořit ocelové vaznice. Svislice ztužidla bude tvořit samotný plnostěnný vazník a diagonální prvky budou navrženy z trubek.

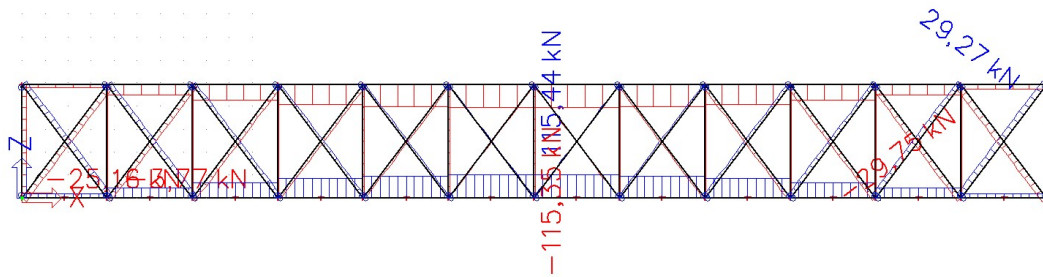
Ztužidlo počítáno jen na tlak větru na stěnu. Sání větru z druhé strany haly převezme druhé ztužidlo na opačné straně haly.

Statické schéma:

Statické schéma je zjednodušené, ve výpočtu bude uvažován každý styčník jako kloubový.



Vnitřní síly:



$$N_{\text{diagonála}} = -29,75 \text{ kN}$$

$$N_{\text{diagonála}} = 29,27 \text{ kN}$$

$$N_{\text{pásu}} = -115,35 \text{ kN}$$

$$N_{\text{pásu}} = 115,44 \text{ kN}$$

5.1.1 Návrh diagonál

Návrh: TR 57x3,2

- $i_y = 19,1 \text{ mm}$
- $L_{cr} = 3076 \text{ mm}$
- $A = 541 \text{ mm}^2$
- $m = 4,2 \text{ kg/m'}$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3076}{19,1} = 161,05 < 250 \dots \text{Splněno}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{161,05}{93,9} = 1,715$$

$$\chi_y = 0,254 \dots \text{křivka c}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,254 \cdot 542 \cdot 235 = \mathbf{32,29 \text{ kN}}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 542 \cdot 235 = \mathbf{127,14 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 32,29 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 29,75 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 130,90 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 29,27 \text{ kN}$$

5.1.2 Návrh vaznice, která je součástí ztužidla

Pás ztužidla slouží zároveň jako střešní vaznice, bude tedy namáhána kombinací momentu a tlaku (horší varianta). Velikost ohybového momentu a posouvající síly je převzata z kapitoly 2.2.1.

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 4,581 \cdot 3,705^2 = 7,86 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 4,581 \cdot 3,705 = 8,486 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -115,35 \text{ kN}$$

Původní návrh vaznice IPE 120 by na tuto kombinaci zatížení nevyhověl. Vzhledem ke shodné výšce navrhuji HEA 120.

MSÚ

Průřezové charakteristiky HEA 120:

A =	2534	mm ²	t _f =	8	mm
I _y =	6062000	mm ⁴	t _w =	5	mm
I _z =	2309000	mm ⁴	c =	45,5	mm
I _t =	59990	mm ⁴	d =	74	mm
I _w =	6472000000	mm ⁴	h =	114	mm
W _{y,pl} =	119500	mm ³	b =	120	mm
i _y =	48,9	mm	r =	12	mm
i _z =	30,2	mm			
W _{z,pl} =	58850	mm ³			

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 3705 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3705 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3705}{48,9} = 75,77 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3705}{30,2} = 122,68 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{75,77}{93,9} = 0,807$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{122,68}{93,9} = 1,307$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky „c“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,718$$

$$\chi_z = 0,385$$

Vliv klopení

Velikost kritického momentu:

$$M_{y,Ed} = 7,86 \text{ kN}$$

$$\mu_{cr} = 6,452 \text{ (vypočteno v programu LTBeamN)}$$

$$M_{cr} = M_{Ed} \cdot \mu_{cr} = 7,86 \cdot 6,452 = 50,713 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{119,5 \cdot 10^3 \cdot 235}{50,713 \cdot 10^6}} = 0,744$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,744 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,744^2] = 0,744$$

$$\text{kde: } \bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,744 + \sqrt{0,744^2 - 0,75 \cdot 0,744^2}} = 0,897$$

$$\chi_{LT} = 0,868 < 1,0$$

$$< \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,744^2} = 1,806$$

$$\chi_{LT} = 0,897 \Rightarrow \text{Nosník klopí}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,95$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0; \psi = 0; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,95$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0; \psi = 0; 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

Charakteristická hodnota únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2534 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 595,49 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 119,5 \cdot 10^3 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 28,08 \text{ kNm}$$

Součinitelé k_{yy} , k_{zy}

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (0,807 - 0,2) \cdot \frac{115,35}{0,718 \cdot \frac{595,49}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{115,35}{0,718 \cdot \frac{595,49}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1,106 \\ 1,155 \end{array} \right) = \mathbf{1,106}$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,307}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{115,35}{0,385 \cdot \frac{595,49}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{115,35}{0,385 \cdot \frac{595,49}{1,0}} \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,906 \\ 0,928 \end{array} \right) = \mathbf{0,906}$$

Průvlak musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{115,35}{0,718 \cdot \frac{595,49}{1,0}} + 1,106 \cdot \frac{7,86}{0,897 \cdot \frac{28,08}{1,0}} \leq 1,0$$

0,615 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{115,35}{0,385 \cdot \frac{595,49}{1,0}} + 0,906 \cdot \frac{7,86}{0,897 \cdot \frac{28,08}{1,0}} \leq 1,0$$

0,786 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$\frac{115,35}{595,49} + \frac{7,86}{28,08} \leq 1,0$$

0,474 < 1,0 ... **VYHOVUJE**

Posouzení smykové únosnosti:

Smyková síla $V_{Ed} = 8,486$ kN

Smyková plocha $A_v = 846$ mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{846 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 114,8 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,486}{114,8} = 0,074 < 1,0 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

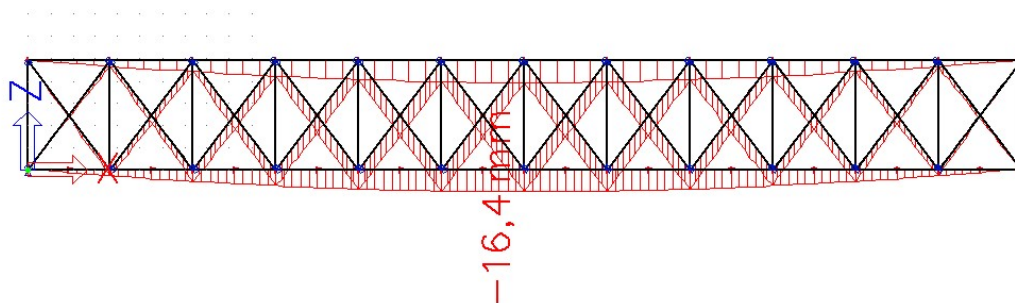
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit smykové síly na únosnosti průřezu v tlaku a ohybu.

5.1.3 Vodorovný posun ztužidla

Posouzení vodorovného posunu uprostřed ztužidla a tím natočení sloupů. Limitní hodnota tohoto posunu je $h/300$ pro jednopodlažní budovy. Kde h je výška podlaží.

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{l}{300} = \frac{7350}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

Průhyb od větru [mm]:



$\delta = 16,4 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 24,5 \text{ mm} \dots$ **VYHOVUJE**

5.2 Střešní ztužidlo v části zázemí

Zatížení ztužidla:

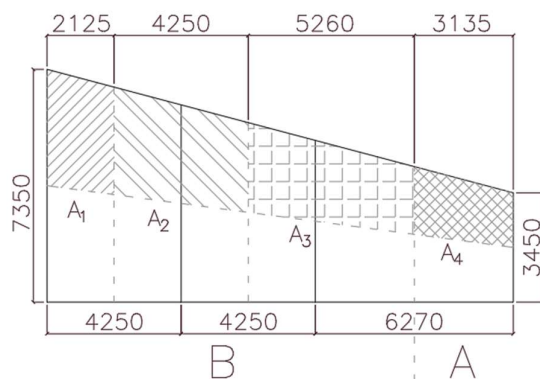
Zatížení na ztužidlo bude rozděleno dle zatěžovací plochy sloupů a po výšce na poloviční rozměr sloupu. Polovinu zatížení přenesou sloup do ztužidla a polovinu zatížení do patky.

$$A_1 = 7,511 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 13,232 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 13,077 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 6,057 \text{ m}^2$$



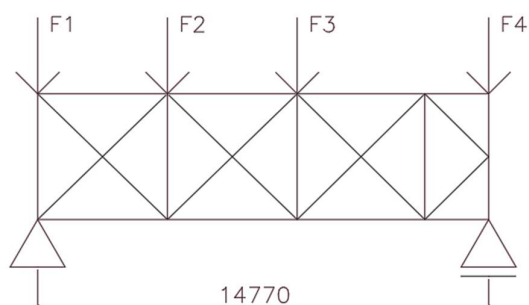
Konstrukční řešení:

Ztužidlo bude vytvořeno jako vazník v úrovni střešní konstrukce. Pásnice ztužidla jsou tvořeny střešním vazníkem. Svislice ztužidla budou tvořit samotný vaznice a diagonální prvky budou navrženy z trubek.

Ztužidlo počítáno jak na tlak větru na stěnu, tak sání při podélném větru. Sání větru z druhé strany haly převezme druhé ztužidlo na opačné straně haly.

Statické schéma:

Statické schéma je zjednodušené, ve výpočtu bude uvažován každý styčník jako kloubový.



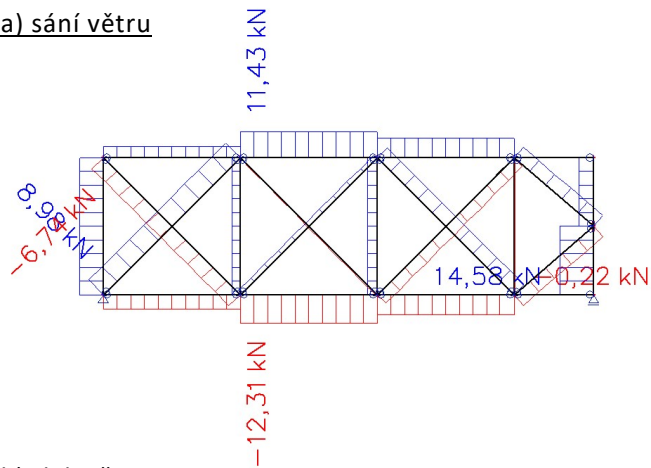
Výpočet zatížení:

Zatížení sáním větru	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
F1	7,511*0,484	3,635	1,5	5,453
F2	13,232*0,484	6,404	1,5	9,606
F3	13,077*0,484	6,329	1,5	9,494
F4	6,057*0,726	4,397	1,5	6,596

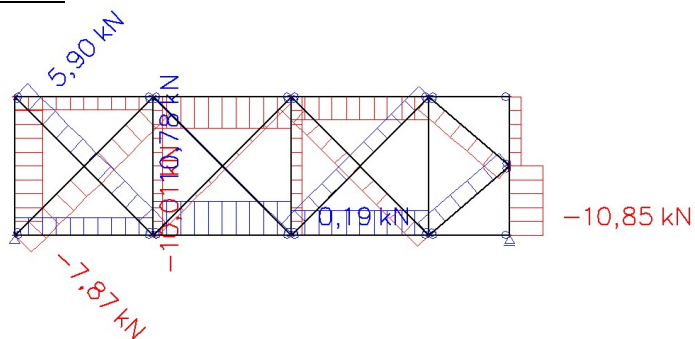
Zatížení tlakem větru	Výpočet	F _k [kN]	γ _G	F _d [kN]
F1	7,511*0,424	3,185	1,5	4,778
F2	13,232*0,424	5,610	1,5	8,415
F3	13,077*0,424	5,545	1,5	8,318
F4	6,057*0,424	2,568	1,5	3,852

Vnitřní síly:

a) sání větru



b) tlak větru



$N_{\text{diagonála}} = -7,87 \text{ kN}$

$N_{\text{diagonála}} = 8,98 \text{ kN}$

$N_{\text{pásu}} = -12,31 \text{ kN}$

$N_{\text{pásu}} = 11,43 \text{ kN}$

5.2.1 Návrh diagonál

Návrh: TR 42,4x3,2

- $i_y = 13,9$ mm
- $L_{cr} = 3065$ mm
- $A = 394$ mm²
- $m = 3,1$ kg/m'
- $f_y = 235$ MPa

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3065}{13,9} = 220,5 < 250 \dots \text{Splněno}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{220,5}{93,9} = 2,348$$

$$\chi_y = 0,148 \dots \text{křivka c}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,148 \cdot 394 \cdot 235 = \mathbf{13,7 \text{ kN}}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 394 \cdot 235 = \mathbf{92,59 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 13,7 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 7,87 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 92,59 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 8,98 \text{ kN}$$

5.2.2 Návrh vazníku, který je součástí ztužidla

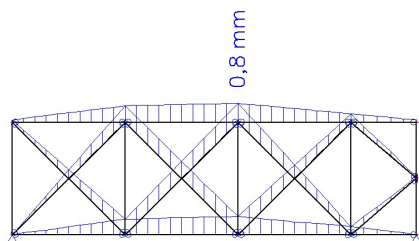
Pás ztužidla slouží zároveň jako střešní vazník, bude tedy namáhána kombinací momentu a tlaku+ tlaku od větru ze ztužidla. Vazník je navržený v kapitole 2.5. Vazník je navržen především na průhyb a má tak dostatečnou rezervu v únosnosti na takto nízkou tlakovou sílu. Nosník tedy nebude přepočítáván.

5.2.3 Vodorovný posun ztužidla

Posouzení vodorovného posunu uprostřed ztužidla a tím natočení sloupů. Limitní hodnota tohoto posunu je $h/300$ pro jednopodlažní budovy. Kde h je výška podlaží.

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{1}{300} = \frac{7350}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

Průhyb od větru [mm]:



$$\delta = 0,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 24,5 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

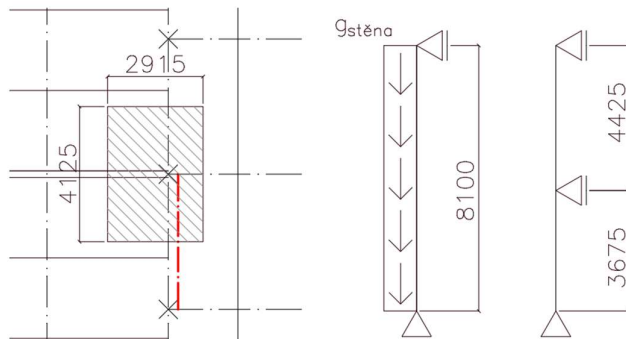
6 Návrh vnitřního nosného sloupu

Návrh bude proveden pouze na normálovou sílu. Zjednodušeně bude uvažováno, že nosník nebude ohýbán.

Zatížení na sloup bude započteno ze zatěžovací plochy střechy sloupu + zatížení od vazníku + svislé zatížení po výšce sloupu od horolezecké stěny.

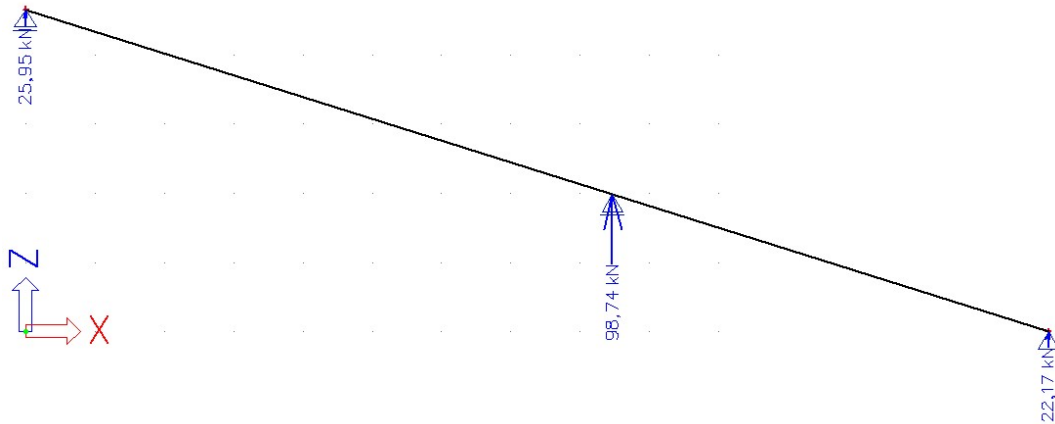
Sloupy budou provedeny z ocelového profilu IPE.

Schéma:



6.1 Zatížení

6.1.1 Zatížení od vazníku



6.1.2 Zatížení od horolezecké stěny

Uvažováno charakteristické zatížení $f_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ a návrhové zatížení $f_d = 1,35 \text{ kN/m}^2$

$$g_{k, \text{stěna}} = 4,125 \text{ kN/m'}$$

$$g_{d, \text{stěna}} = 5,569 \text{ kN/m'}$$

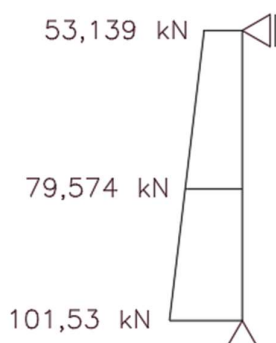
6.1.3 Ztížení vlastní tíhou

Uvažováno zatížení $g_k = 0,3 \text{ kN/m}'$, což je $g_d = 0,405 \text{ kN/m}'$

6.1.4 Zatížení od střešního pláště

Zatížení	Výpočet	F_k [kN]	γ_G	F_d [kN]
2x vaznice (15 kg/m')	$0,15 * 1,853 * 2$	0,556	1,35	0,751
vazník (4,125m; 1,063m)	$0,5 * (4,125 + 1,063)$	2,594	1,35	3,502
stálé	$0,488 * 4,125 * 2,915$	5,868	1,35	7,922
sníh	$0,56 * 4,125 * 2,915$	6,734	1,5	10,101
podhled, VZT, osvětlení	$0,8 * 3,705 * 1,228$	3,640	1,35	4,914
SUMA		19,392		27,189

6.2 Vnitřní síly



6.3 Návrh a posouzení sloupu

Návrh: IPE 180

- $i_y = 74,2 \text{ mm}$
- $i_z = 20,5 \text{ mm}$
- $A = 2395 \text{ mm}^2$
- $m = 18,8 \text{ kg/m}'$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -101,53 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

(bezpečně uvažována pro oba směry jako celá délka mezi podporami)

$$L_{cr,y} = 8100 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3675 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8100}{74,2} = 109,16 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3675}{20,5} = 179,27 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{109,16}{93,9} = 1,163$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{179,27}{93,9} = 1,909$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „a“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,552$$

$$\chi_z = 0,227$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,227 \cdot 2395 \cdot 235 = \mathbf{127,76 \text{ kN}}$$

Posouzení:

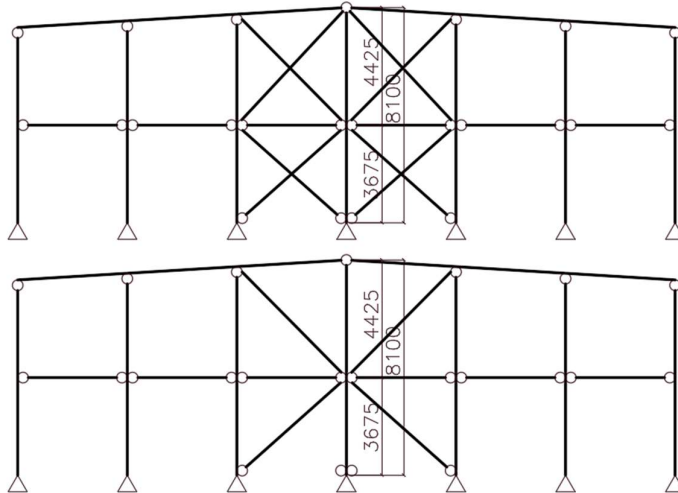
$$N_{b,Rd} = 127,76 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 101,53 \text{ kN} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Závěr: Na vnitřní sloupy v místě horolezecké stěny bude použit nosník IPE 180.

7 Vnitřní svislé ztužidlo

Ztužidlo bude počítáno pro sloupy počítané v předchozí kapitole. Ztužidlo bude přebírat zatížení od střešních ztužidel haly a zázemí a dále imperfekce sloupů.

Ztužidlo bude řešeno ve dvou možnostech a následně vybrána výhodnější varianta.



7.1 Zatížení

7.1.1 Zatížení imperfekcemi

Počet sloupů v jedné řadě $m = 7$

Výška sloupů $h = 8,1$ m

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{8,1}} = 0,7027$$

$0,666 < 0,7027 < 1,0 \rightarrow$ Splněno

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{7}\right)} = 0,756$$

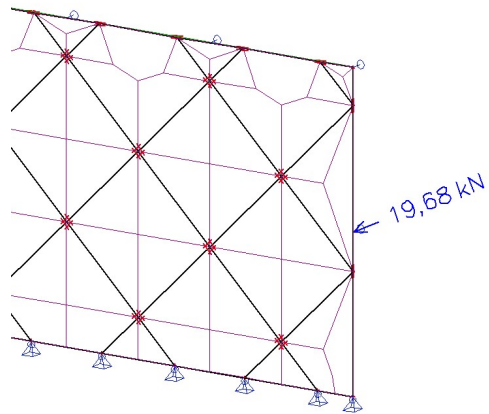
$$\Phi = \frac{1}{200} \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,7027 \cdot 0,756 = 0,00266$$

$$H_{g,k} = G_k \cdot \Phi = (10,69 + 12,658 + 35,843) \cdot 0,00266 = \mathbf{0,1575 \text{ kN}}$$

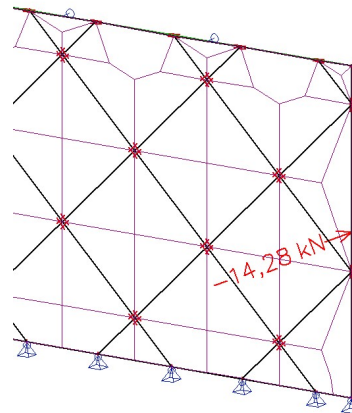
$$H_{q,k} = Q_k \cdot \Phi = (6,72 + 6,734) \cdot 0,00266 = \mathbf{0,0358 \text{ kN}}$$

7.1.2 Zatížení od větru střed

Příčný vítr (reakce)



Podélný vítr (reakce)



návětrná strana $R = 19,68 \text{ kN}$

závětrná strana

$$R = 19,68 \cdot \frac{0,149}{0,424} = 6,916 \text{ kN}$$

7.1.3 Zatížení od větru ze střešních ztužidel

Střešní ztužidlo hala (reakce)

Příčný vítr

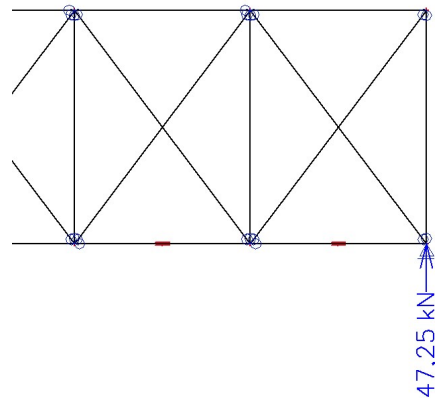
návětrná strana $R = 47,25 \text{ kN}$

závětrná strana

$$R = 47,25 \cdot \frac{0,149}{0,424} = 16,61 \text{ kN}$$

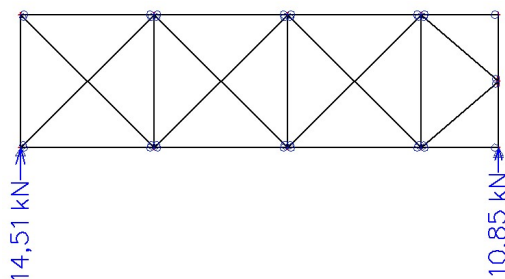
Podélný vítr (sání)

$$R = 47,25 \cdot \frac{0,302}{0,424} = 33,65 \text{ kN}$$

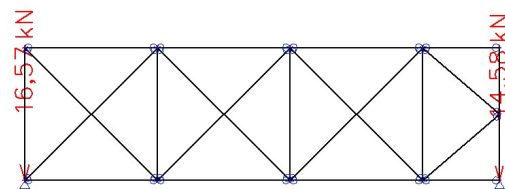


Střešní ztužidlo zázemí (reakce)

Příčný vítr



Podélný vítr



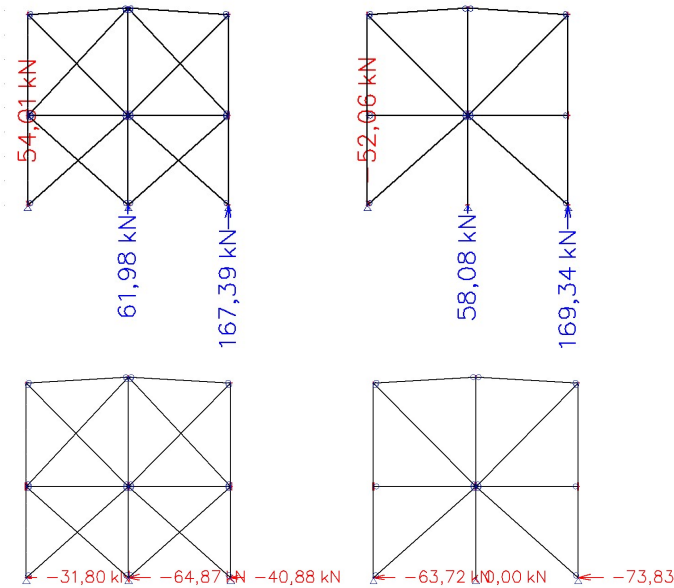
7.2 Vnitřní síly

Vnitřní síly budou počítány pro dva zatěžovací stavy. První zatěžovací stav bude pro příčná vítr s imperfekcemi a minimálním stálým zatížením, tím zjistíme hodnotu tahu v patě sloupu. Druhým zatěžovacím stavem zjistíme maximální hodnotu tlakové síly v patě sloupu. V tomto zatěžovacím stavu bude uvažováno stálé zatížení v návrhové hodnotě, a navíc přibude zatížení proměnné návrhové. Stálé zatížení je počítáno včetně vlastní tíhy sloupu. Ve třetím zatěžovacím stavu dojde pouze k ověření únosnosti v tahu namáhaných prvků.

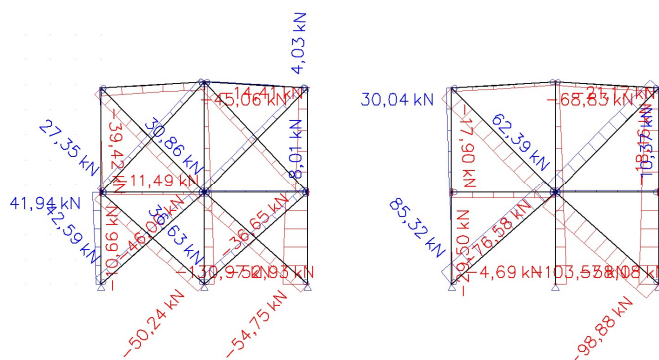
- 1) stálé zatížení + vítr příčný $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
- 2) stálé zatížení $\cdot \gamma_G$ + vítr příčný $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$
+ proměnné zatížení střechy $\cdot \gamma_G$
- 3) stálé zatížení + vítr podélný $\cdot \gamma_Q$ + imper. stálé $\cdot \gamma_G$ + imper. proměnné $\cdot \gamma_Q$

KZS 1

Reakce

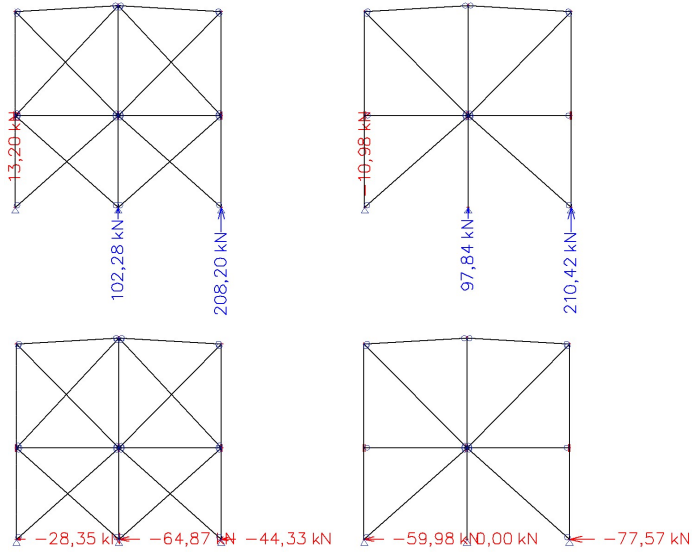


Normálové síly

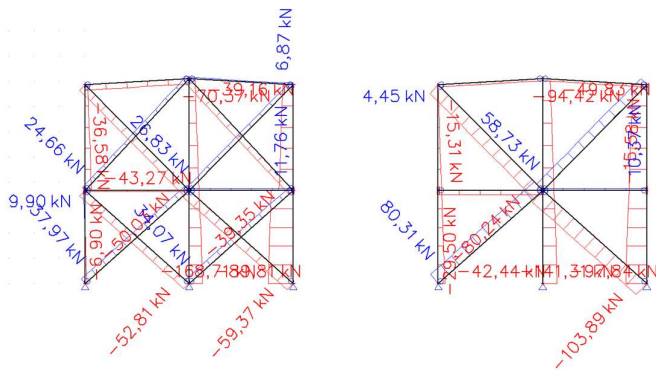


KZS 2

Reakce

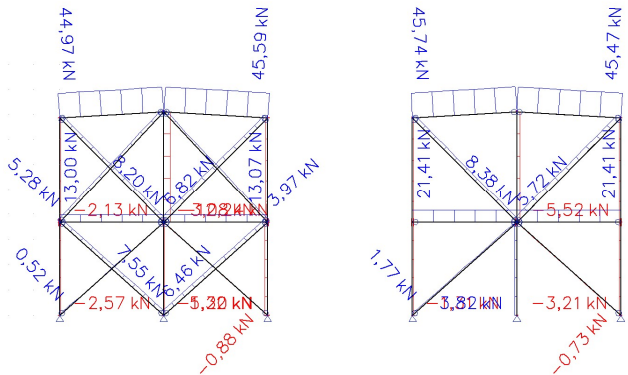


Normálové síly



KZS 3

Normálové síly



Vzhledem k menšímu počtu diagonál, menšímu počtu přípojů a podobné tahové síle v patě volím druhý model ztužidla. Dojde k úspoře materiálu i přes to, že ztužidlo přebírá větší síly.

Výsledné síly:

Reakce

$$R_{z,tah} = 52,06 \text{ kN}$$

$$R_{z,tlak} = 169,34 \text{ kN}$$

Sloup

$$N_{t,Ed} = 30,04 \text{ kN (hlava sloupu)}$$

$$N_{b,Ed} = -141,31 \text{ kN}$$

Diagonála

$$N_{t,Ed} = 85,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = -103,89 \text{ kN}$$

Vodorovný prvek ztužidla

$$N_{t,Ed} = 21,41 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = -29,50 \text{ kN}$$

7.3 Návrh sloupu

Z důvodu nárustu normálové síly ve sloupu z 101,53 kN na 141,31 kN je nutné znovu navrhnout znovu sloup, jelikož únosnost sloupu IPE 180 je pouze 127,76 kN.

Návrh: IPE 200

- $i_y = 82,6 \text{ mm}$
- $i_z = 22,4 \text{ mm}$
- $A = 2848 \text{ mm}^2$
- $m = 22,4 \text{ kg/m'}$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -141,31 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

(bezpečně uvažována pro oba směry jako celá délka mezi podporami)

$$L_{cr,y} = 8100 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3675 \text{ mm}$$

Štíhlost sloupu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8100}{82,6} = 98,06 < 200 \dots \text{Splněno}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3675}{22,4} = 164,06 < 200 \dots \text{Splněno}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{98,06}{93,9} = 1,044$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{164,06}{93,9} = 1,747$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky „a“ ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky „b“ ve směru kolmo k ose z

$$\chi_y = 0,631$$

$$\chi_z = 0,265$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,265 \cdot 2848 \cdot 235 = \mathbf{177,36 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 177,36 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 141,31 \text{ kN} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Závěr: Krajní sloupy ztužidla v místě horolezecké stěny budou provedeny z nosník IPE 200.

7.4 Návrh diagonál

Návrh: TR 114x4,5

- $i_y = 38,7 \text{ mm}$
- $L_{cr} = 5525 \text{ mm}$
- $A = 1548 \text{ mm}^2$
- $m = 12,2 \text{ kg/m'}$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$

Vnitřní síly:

$$N_{t,Ed} = 85,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = -103,89 \text{ kN}$$

Štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5525}{38,7} = 142,76 < 250 \dots \text{Splněno}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{142,76}{93,9} = 1,520$$

$$\chi_y = 0,308 \dots \text{křivka c}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,308 \cdot 1548 \cdot 235 = \mathbf{112,04 \text{ kN}}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 1548 \cdot 235 = \mathbf{363,78 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 112,04 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 103,89 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 363,78 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 85,32 \text{ kN}$$

Dále bude proveden posudek pro shodnou trubku, avšak menší sílu a delší vzpěrnou délku (horní část ztužidla). $L_{cr} = 5869 \text{ mm}$

Vnitřní síly:

$$N_{t,Ed} = 62,39 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = -80,24 \text{ kN}$$

Štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5869}{38,7} = 151,65 < 250 \dots \text{Splněno}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{151,65}{93,9} = 1,615$$

$$\chi_y = 0,280 \dots \text{křivka c}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,280 \cdot 1548 \cdot 235 = \mathbf{101,86 \text{ kN}}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 1548 \cdot 235 = \mathbf{363,78 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 101,86 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 80,24 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 363,78 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 62,39 \text{ kN}$$

Závěr: Trubka TR 114x4,5 vyhoví v obou částech ztužidla.

7.5 Vodorovný prvek ztužidla

Návrh: TR 70x3,2

- $i_y = 23,6 \text{ mm}$
- $L_{cr} = 4125 \text{ mm}$
- $A = 672 \text{ mm}^2$
- $m = 5,3 \text{ kg/m'}$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$

Vnitřní síly:

$$N_{t,Ed} = 21,41 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = -29,5 \text{ kN}$$

Štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4125}{23,6} = 174,79 < 250 \dots \text{Splněno}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{174,79}{93,9} = 1,861$$

$$\chi_y = 0,222 \dots \text{křivka c}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,222 \cdot 672 \cdot 235 = \mathbf{35,06 \text{ kN}}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y = 672 \cdot 235 = \mathbf{157,92 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = 35,06 \text{ kN} > N_{b,Ed} = 29,5 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 157,92 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 21,41 \text{ kN}$$

Závěr: Trubka TR 70x3,2 vyhoví.

8 Řešení detailů

8.1 Momentový spoj vazníku

Střešní svařovaný vazník možno alternativně možno vyrobit v celé délce, či vyrobit dvě poloviny a následně spojit na stavbě.

Návrh spoje je proveden uprostřed nosníku v místě nejvyššího momentu.

Budou použity standartní šrouby M24 a třídy pevnosti 8.8.

Styčnick je namáhán momentem $M_{Ed} = 884,35 \text{ kN}$

8.1.1 Návrh svarů

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{20}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} \right) = 9,23 \text{ mm}$$

$$a_1 = 10 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

Svar navržen konstrukčně, přenos sil bude probíhat kontaktem

$$a_2 = 5 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_3 \geq \frac{t_f}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{6}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} \right) = 2,77 \text{ mm}$$

$$a_3 = 3 \text{ mm}$$



8.1.2 Návrh čelní desky

Čelní deska bude provedena ze shodné tloušťky jako je tloušťka pásnice

$$t_d = t_f = 20 \text{ mm}$$

8.1.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu

Pro výpočet bude použit model náhradního T-průřezu. Jeho únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení podle následujícího obr.:



Způsob 1 – vytvoření 4 plastických kloubů v přípoji

Způsob 2 – vytvoření 2 plastických šroubů v přípoji+ porušení šroubů tahem

Způsob 3 – porušení šroubů tahem

ÚNOSNOST PRVNÍ ŘADY ŠROUBŮ

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$c_1 = 0,8 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 10 \cdot \sqrt{2} = 11,31 \text{ mm}$$

$$m_2 = 45 - c_1 = 45 - 11,31 = 33,69 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 3,39 \text{ mm}$$

$$m = 82 - c_2 = 82 - 3,39 = 78,61 \text{ mm}$$

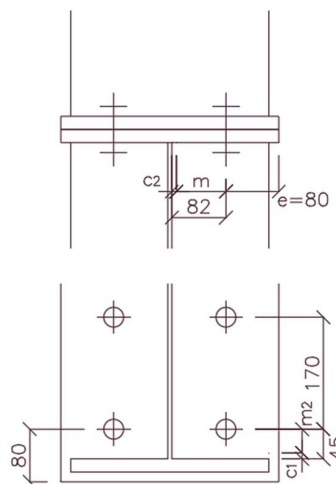
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{78,61}{78,61 + 80} = 0,496$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{33,69}{78,61 + 80} = 0,212$$

$$\alpha = 7$$

$$p = 170 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(80; 1,25 \cdot 78,61) = 80 \text{ mm}$$



Porušení pásnice:

Kruhové porušení:

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 78,61 = 493,90 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 78,61 + 170 = 416,95 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{\text{eff,nc}} = \alpha \cdot m = 7 \cdot 78,61 = 550,24 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot 170 + 7 \cdot 78,61 - (2 \cdot 78,61 + 0,625 \cdot 80) = 428,03 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = \min(416,95; 428,03) = 416,95 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 428,03 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{1}{4} \cdot 416,95 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 9798270 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{1}{4} \cdot 428,03 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 10058692 \text{ Nmm}$$

$$F_t = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{\text{ub}}}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí:

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 9798270}{78,61} = 498,60 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t,Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 10058692 + 80 \cdot 2 \cdot 203300}{78,61 + 80} = 331,93 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot 203,3 = 406,60 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,1,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}; F_{\text{t,b,Rd}}; F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(498,60; 331,93; 406,60) = \mathbf{331,93 \text{ kN}}$$

ÚNOSNOST DRUHÉ AŽ ŠESTÉ ŘADY ŠROUBŮ

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 3,39 \text{ mm}$$

$$m = 82 - c_2 = 82 - 3,39 = 78,61 \text{ mm}$$

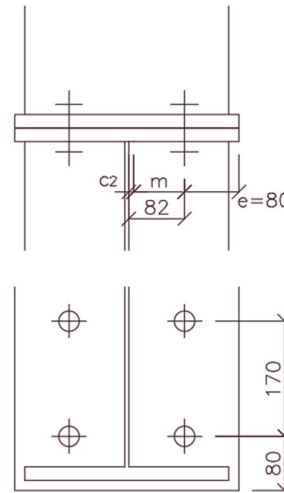
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{78,61}{78,61 + 80} = 0,496$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{170}{78,61 + 80} = 1,072$$

$$\alpha = 5,3$$

$$p = m_2 = 170 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(80; 1,25 \cdot 78,61) = 80 \text{ mm}$$



Porušení pásnice:

Kruhové porušení:

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 78,61 = 493,90 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot p = 2 \cdot 170 = 340 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{\text{eff,op}} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 78,61 + 1,25 \cdot 80 = 414,42 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,op}} = p = 170 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,op}}) = \min(340; 170) = 170 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,op}} = 170 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M}0}} = \frac{1}{4} \cdot 170 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 3995000 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M}0}} = \frac{1}{4} \cdot 170 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 3995000 \text{ Nmm}$$

$$F_t = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{\text{ub}}}{\gamma_{\text{M}2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost vnitřní řady šroubů:

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 3995000}{78,61} = 203,29 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t,Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3995000 + 80 \cdot 2 \cdot 203300}{78,61 + 80} = 255,5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot 203,3 = 406,60 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t},2-6,\text{Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}; F_{\text{t,b,Rd}}; F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(203,29; 255,5; 406,60) = \mathbf{203,29 \text{ kN}}$$

8.1.4 Výpočet únosnosti 7. řady šroubů – Smyková únosnost

Při symetrickém zatížení je v místě spoje nulová posouvající síla, avšak při nesymetrickém zatížení vzniká v přípoji malá smyková síla.

Pro přenos smykové síly se použije horní řada šroubů, která konzervativně nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti.

$$F_{\text{v,Rd}} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{\text{ub}}}{\gamma_{\text{m},2}} = \frac{0,6 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 135,6 \text{ kN}$$

$$F_{\text{b,Rd}} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{\text{m}2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{1,25} = 307,24 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \begin{pmatrix} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{f_{\text{ub}}}{f_u} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{80}{3 \cdot 26} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,025 \\ 2,222 \\ 1,0 \end{pmatrix} = 1,0$$

$$k_1 = \left(2,8 \cdot \frac{2,5}{d_0} - 1,7 \right) = \left(2,8 \cdot \frac{80}{26} - 1,7 \right) = 2,5$$

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(135,6; 307,24) = 271,2 \text{ kN}$$

Smyková únosnost spoje vyhovuje.

8.1.5 Únosnost základních komponent

ÚNOSNOST PÁSNICE V TLAKU

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{y,eff} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{m0}} = \frac{7639,45 \cdot 10^3 \cdot 235}{(1150 - 20) \cdot 1,0} = 1588,74 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1588,74 < \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 331,93 + 5 \cdot 203,29 = 1348,38 \text{ kN}$$

Podmínka splněna a není nutná šrouby nijak redukovat.

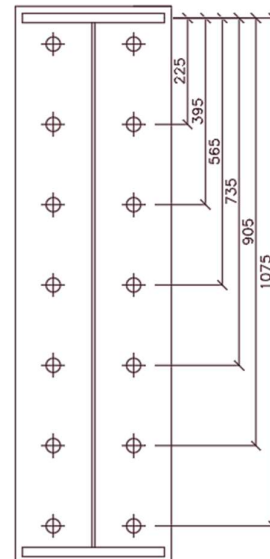
ROZDĚLENÍ SIL A MOMENTOVÉ ÚNOSNOSTI

Plastické rozdělení sil, lze uvažovat v případě, že byly splněny předchozí podmínky a současně: $F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$

V tomto případě je podmínka splněna:

$$F_{t,1,Rd} = 331,93 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,27 \text{ kN}$$

Řada	Únosnost řady [kN]	Síla pro M_{Rd} [kN]	Rameno h_i [m]
1	$F_{t,1,Rd} = 331,93$	$F_{t,1,Rd} = 331,93$	$h_1 = 1,075$
2	$F_{t,2,Rd} = 203,29$	$F_{t,2,Rd} = 203,29$	$h_2 = 0,905$
3	$F_{t,3,Rd} = 203,29$	$F_{t,3,Rd} = 203,29$	$h_3 = 0,735$
4	$F_{t,4,Rd} = 203,29$	$F_{t,4,Rd} = 203,29$	$h_4 = 0,565$
5	$F_{t,5,Rd} = 203,29$	$F_{t,5,Rd} = 203,29$	$h_5 = 0,395$
6	$F_{t,6,Rd} = 203,29$	$F_{t,6,Rd} = 203,29$	$h_6 = 0,225$
Celkem	$F_{t,i,Rd} = 1348,39$	$F_{c,fb,Rd} = 1588,74$	



$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} \cdot h_i = 931,12 \text{ kNm}$$

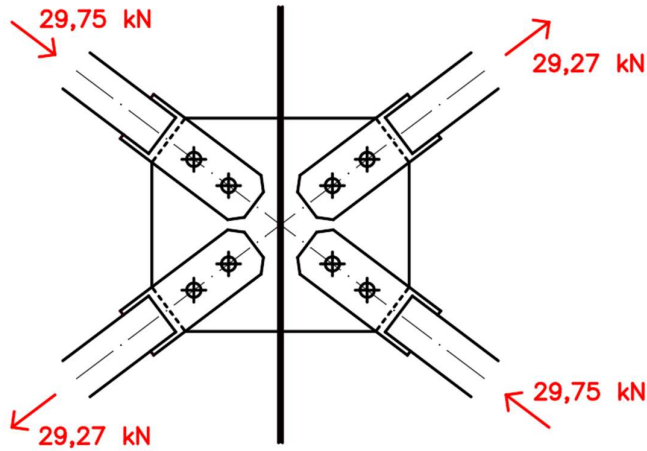
$$M_{Rd} = 931,12 \text{ kNm} > M_{Ed} = 884,35 \text{ kNm}$$

Momentová únosnost navrženého styčníku vyhovuje.

Dále bychom měli ověřit tuhost samotného plechu, aby byl dostatečně tuhý a nenarůstal průhyb jeho poddajností. Dále doporučuji využít předpjatých šroubů.

8.2 Napojení diagonál na vaznici

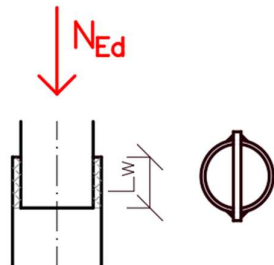
Návrh v místě dvou diagonálních ztužidel a střešní vaznice. Výpočet proveden v nejvíce namáhaném styčnicku. Velikost normálových sil v jednotlivých diagonálách:



$$N_{Ed,max} = 29,75 \text{ kN}$$

Navržené trubky diagonál: TR 57x3,2 (viz kapitola 4.1.1.)

8.2.1 Svar trubky ke styčnickovému plechu



Návrh: koutový svar $4 \times a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 40 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{29,27 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 40} = 121,96 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 121,96 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.2.2 Šrouby

Návrh: 2x M16 5.6

$A_s = 157 \text{ mm}^2$

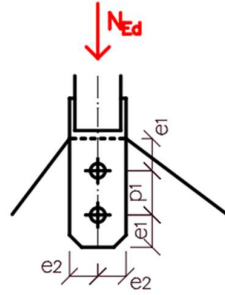
$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}$

$t_p = 6 \text{ mm}$

$p_1 = 55 \text{ mm}$

$e_1 = 40 \text{ mm}$

$e_2 = 35 \text{ mm}$



a) únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 500}{1,25} = 37680 \text{ N} = 37,68 \text{ kN}$$

b) únosnost v otláčení

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 35}{18} - 1,7\right) = \min\left(\frac{3,74}{2,5}\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}}{\frac{f_{ub}}{f_u}}\right) = \min\left(\frac{\frac{40}{3 \cdot 18}}{\frac{500}{360}}\right) = \min\left(\frac{0,741}{1,389}\right) = 0,741$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 360}{1,25} = 51218 \text{ N} = 51,218 \text{ kN}$$

Posouzení:

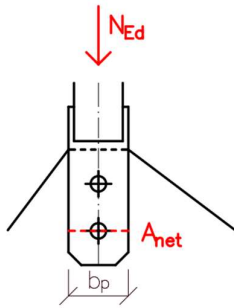
a) únosnost ve střihu

$$2 \cdot F_{v,Rd} = 75,36 \text{ kN} > N_{Ed} = 29,75 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) únosnost v otláčení

$$2 \cdot F_{b,Rd} = 102,436 \text{ kN} > N_{Ed} = 29,75 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.2.3 Plech (přípoj trubka vs. styčnickový plech)



Návrh: $t_p = 6 \text{ mm}$; $b_p = 70 \text{ mm}$

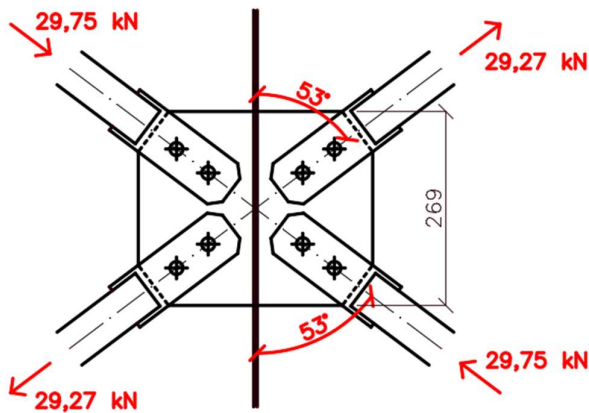
$$A_{\text{net}} = t_p \cdot (b_p - d_o) = 6 \cdot (70 - 18) = 312 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 312 \cdot 360}{1,25} = 80870 \text{ N} = 80,87 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{u,Rd} = 80,87 \text{ kN} > N_{Ed} = 29,75 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.2.4 Svar styčnickového plechu



Svar je namáhán především rovnoběžně s osou svaru, malá složka bude i kolmo k ose svaru, tu však zanedbáváme.

Síla rovnoběžná s osou svaru (tj. součet složek působících rovnoběžně se svarem)

$$F_{Ed} = 29,27 \cdot \cos(53) + 29,75 \cdot \cos(53) = 35,52 \text{ kN}$$

Návrh: koutový svar $2 \times a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 269 \text{ mm}$

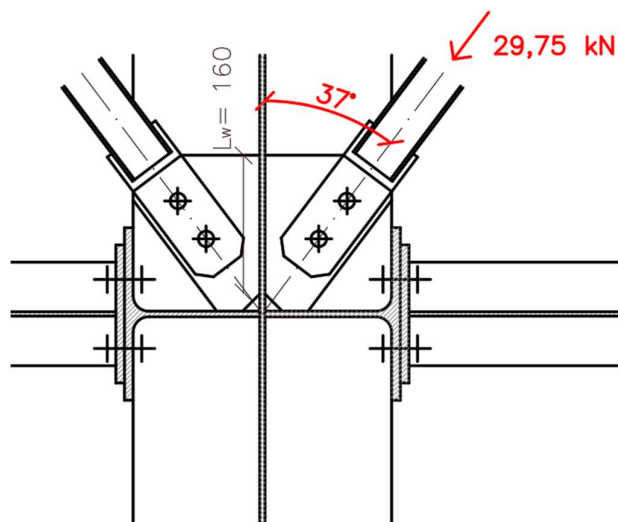
$$\tau_{II} = \frac{F}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{35,52 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 269} = 22,01 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 22,01 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.3 Napojení diagonál na vazník

Návrh v místě napojení diagonálního ztužidla a střešní vaznice. Výpočet proveden v nejméně namáhaném styčnicku. Přenos síly z diagonály bude uvažován pouze přenosem přes styčnickový plech, na kterém je připojena diagonála, do vazníku. Nebude uvažováno propojení s úpalkem z profilu HEA. Velikost normálové síly v diagonále:



$$N_{Ed,max} = 29,75 \text{ kN}$$

Navržené trubky diagonál: TR 57x3,2 (viz kapitola 4.1.1.)

Svar trubky ke styčnickovému plechu, šrouby a tloušťka styčnickového plechu byly navrženy v předešlé kapitole (kapitola 7.2.1 až 7.2.3).

Svar je namáhán kombinací zatížení rovnoběžně s osou svaru a zatížení kolmo k ose svaru.

Síla rovnoběžná s osou svaru

$$F_{Ed} = 29,75 \cdot \cos(37) = 23,76 \text{ kN}$$

Síla kolmá k ose svaru

$$F_{Ed} = 29,75 \cdot \sin(37) = 19,90 \text{ kN}$$

Návrh: koutový svar $2 \times a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 160 \text{ mm}$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot (80 + 20) = 19,90 \cdot (80 + 20) \cdot 10^{-3} = 1,99 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{1,99 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 160^2} = 77,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{77,73}{\sqrt{2}} = 54,71 \text{ MPa}$$

Složky napětí:

$$\tau_{II} = \frac{F}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{23,76 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 160} = 24,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a_w \cdot L_w} + 54,71 = \frac{19,9 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 160} + 54,71 = 69,37 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a_w \cdot L_w} + 54,71 = \frac{19,9 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 160} + 54,71 = 69,37 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{69,37^2 + 3 \cdot (69,37^2 + 24,75^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

145,21 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 69,37 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Závěr:

Šrouby $2 \times M16$ 5.6 (případně 8.8)

Plech P6 180x147

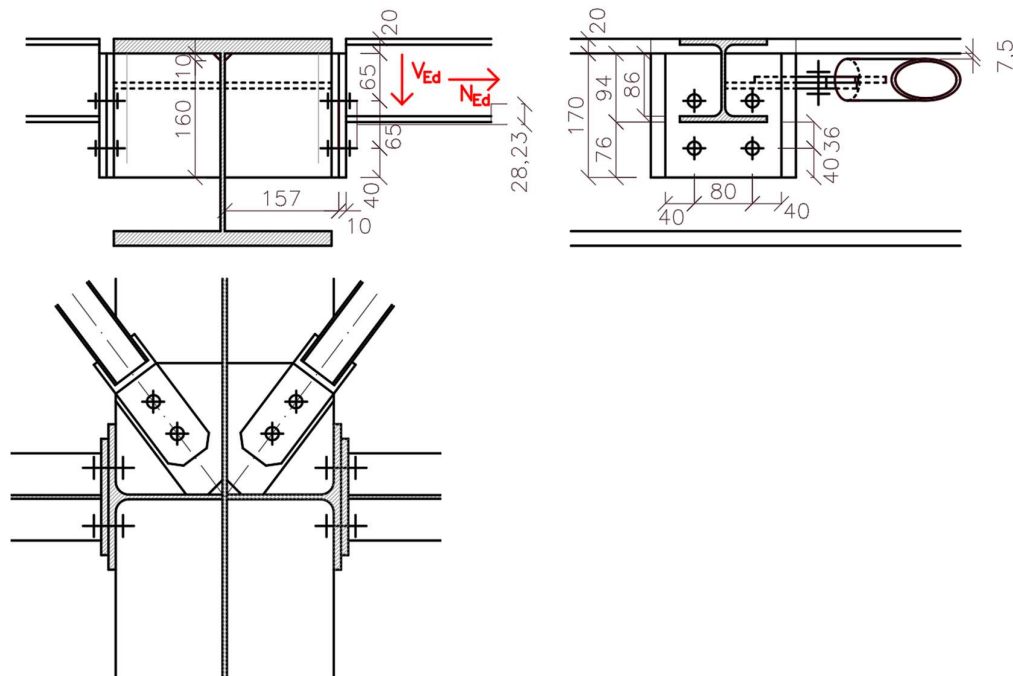
Svar $a_w = 3 \text{ mm}$; $L_w = 160 \text{ mm}$

Vzhledem k tuhosti přípoje doporučuji použít tlustší plech. Doporučuji použít plechu min. tloušťky 8 mm a totožně pro napojení diagonál na vazník.

8.4 Napojení vaznice na vazník

Napojení vaznice na svařovaný střešní vazník bude proveden pomocí úpalku HEA 200 a čelní desky na vaznici. Návrh uvažuje čtyři šrouby. Nenosná podložka není ve výpočtu uvažována, počítá se zápornou výrobní tolerancí a případně malou tloušťkou podložky, která neovlivní standardní výpočet.

Spoj je namáhán posouvající silou od vaznice a následně tlakovou/tahovou silou z důvodu, že vaznice působí jako pás střešního ztužidla.



$$N_{b,Ed} = -115,35 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 115,44 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 8,486 \text{ kN}$$

8.4.1 Šrouby

Návrh: 4x M16 8.8

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

$$p_1 = 65 \text{ mm}$$

$$p_2 = 80 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

a) únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 500}{1,25} = 37680 \text{ N} = 37,68 \text{ kN}$$

b) únosnost v otláčení

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 \right) = \min \left(4,52 \right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0} \right) = \min \left(\frac{40}{3 \cdot 18} \right) = \min \left(0,741 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{f_{ub}}{f_u} \right) = \min \left(\frac{500}{360} \right) = \min \left(1,389 \right) = 0,741$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 360}{1,25} = 85363 \text{ N} = 85,363 \text{ kN}$$

Posouzení:

a) únosnost ve stříhu

$$4 \cdot F_{v,Rd} = 150,72 \text{ kN} > V_{Ed} = 8,486 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) únosnost v otláčení

$$4 \cdot F_{b,Rd} = 341,452 \text{ kN} > V_{Ed} = 8,486 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

c) únosnost v tahu

ÚNOSNOST PRVNÍ ŘADY ŠROUBŮ

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$w = 80 \text{ mm}$$

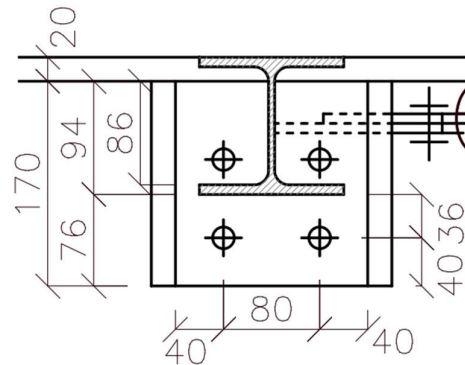
$$b_p = 80 + 40 + 40 = 160 \text{ mm}$$

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

$$m_x = 36 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 80 \text{ mm}$$

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



Porušení pásnice:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_x = 2 \cdot \pi \cdot 36 = 226,19 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m_x + w = \pi \cdot 36 + 80 = 193,10 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m_x + 2 \cdot e = \pi \cdot 36 + 2 \cdot 40 = 193,10 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{\text{eff,nc}} = 4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x = 4 \cdot 36 + 1,25 \cdot 40 = 194,0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = e + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x = 40 + 2 \cdot 36 + 0,625 \cdot 40 = 137,0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot b_p = 0,5 \cdot 160 = 80,0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x = 0,5 \cdot 80 + 2 \cdot 36 + 0,625 \cdot 40 = 137,0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = \min(193,10; 80) = 80,0 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 80,0 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M}0}} = \frac{1}{4} \cdot 80 \cdot 10^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 470000 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{rd}} = \frac{1}{4} \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{\text{M}0}} = \frac{1}{4} \cdot 80 \cdot 10^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 470000 \text{ Nmm}$$

$$F_t = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{\text{ub}}}{\gamma_{\text{M}2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

$$n = \min(e_x; 1,25 \cdot m_x) = \min(40; 1,25 \cdot 36) = 40 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí:

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m_x} = \frac{4 \cdot 470000}{36} = 52,222 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t,Rd}}}{m_x + n} = \frac{2 \cdot 470000 + 40 \cdot 2 \cdot 90432}{36 + 40} = 107,56 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot 90,432 = 180,864 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,l,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}; F_{\text{t,b,Rd}}; F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(52,222; 107,56; 180,864) = \mathbf{52,222 \text{ kN}}$$

Vnitřní šrouby budou uvažovány na straně bezpečné shodnou hodnotou, i když mají vyšší únosnost.

Posouzení:

$$4 \cdot F_{\text{t,l,Rd}} = 208,888 \text{ kN} > F_{\text{t,Ed}} = 115,44 \text{ kN} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Kombinace namáhání šroubů (tah + střih)

$$\frac{F_{\text{v,Ed}}}{F_{\text{v,Rd}}} + \frac{F_{\text{t,Ed}}}{1,4 \cdot F_{\text{v,Rd}}} < 1,0$$

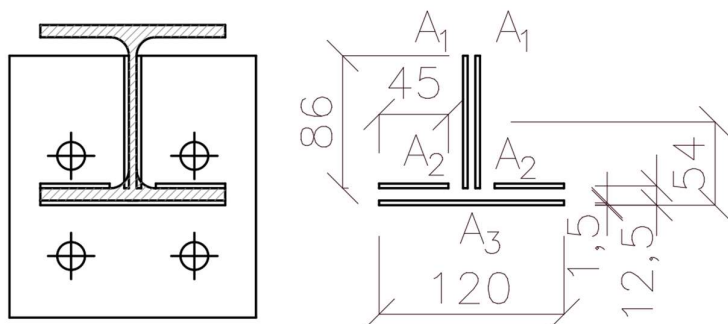
$$\frac{8,486}{150,72} + \frac{115,44}{1,4 \cdot 208,888} < 1,0$$

$$0,451 < 1,0 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

8.4.2 Svar čelní desky k vaznici

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

Uvažované rozmístění svarů:



$$A_1 = 258 \text{ mm}^2; A_2 = 135 \text{ mm}^2; A_3 = 360 \text{ mm}^2$$

$$z_t = \frac{2 \cdot A_1 \cdot z_1 + 2 \cdot A_2 \cdot z_2 + A_3 \cdot z_3}{A} = \frac{2 \cdot 258 \cdot 54 + 2 \cdot 135 \cdot 12,5 + 360 \cdot 1,5}{1146} = 27,73 \text{ mm}$$

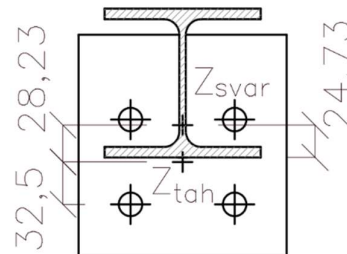
$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 86^3 + 258 \cdot 26,27^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 45 \cdot 3^3 + 135 \cdot 15,23^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 3^3 + 360 \cdot 26,26^2 = 984910,68 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{984910,68}{69,27} = 14218,43 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot 28,23 \cdot 10^{-3} = 115,44 \cdot 28,23 \cdot 10^{-3} = 3,259 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{3,259 \cdot 10^6}{14218,43} = 229,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{229,21}{\sqrt{2}} = 162,07 \text{ MPa}$$



Složky napětí:

$$\tau_{II} = \frac{F}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{8,486 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 86} = 16,45 \text{ MPa}$$

$$L_w = 120 + 2 \cdot 45 + 2 \cdot 86 = 382 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} + 162,07 = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 382} + 162,07 = 233,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} + 162,07 = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 382} + 162,07 = 233,3 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{233,3^2 + 3 \cdot (233,3^2 + 16,45^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

467,47 MPa < 360 MPa ... **NEVYHOVUJE**

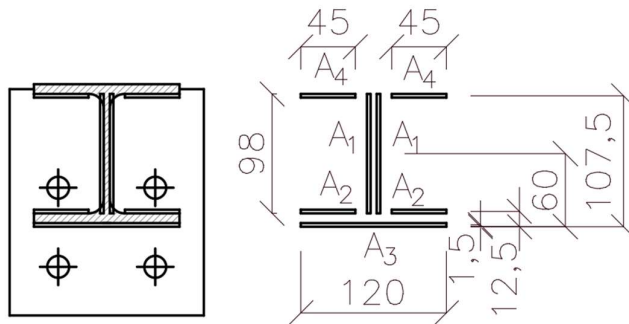
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 233,3 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Závěr: Svar nevyhoví, nutno vytvořit masivnější svar, či svarový průřez.

Návrh svarů č.2

Uvažované rozmístění svarů:



$$A_1 = 294 \text{ mm}^2; A_2 = 135 \text{ mm}^2; A_3 = 360 \text{ mm}^2; A_4 = 135 \text{ mm}^2$$

$$z_t = \frac{2 \cdot A_1 \cdot z_1 + 2 \cdot A_2 \cdot z_2 + A_3 \cdot z_3 + 2 \cdot A_4 \cdot z_4}{A}$$

$$= \frac{2 \cdot 294 \cdot 60 + 2 \cdot 135 \cdot 12,5 + 360 \cdot 1,5 + 2 \cdot 135 \cdot 107,5}{1146} = 45,85 \text{ mm}$$

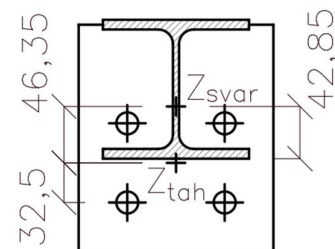
$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 45 \cdot 3^3 + 135 \cdot 61,65^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 98^3 + 294 \cdot 14,15^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 3^3 + 360 \cdot 44,35^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 45 \cdot 3^3 + 135 \cdot 33,35^2 \right) = 2623589,08 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{2623589,08}{63,15} = 41545,35 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot 46,35 \cdot 10^{-3} = 115,44 \cdot 46,35 \cdot 10^{-3} = 5,351 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{5,351 \cdot 10^6}{41545,35} = 128,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{128,8}{\sqrt{2}} = 91,08 \text{ MPa}$$



Složky napětí:

$$\tau_{II} = \frac{F}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{8,486 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 98} = 14,43 \text{ MPa}$$

$$L_w = 120 + 4 \cdot 45 + 2 \cdot 98 = 496 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} + 91,08 = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 496} + 91,08 = 145,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} + 91,08 = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 496} + 91,08 = 145,94 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{145,94^2 + 3 \cdot (145,94^2 + 14,43^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

292,95 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

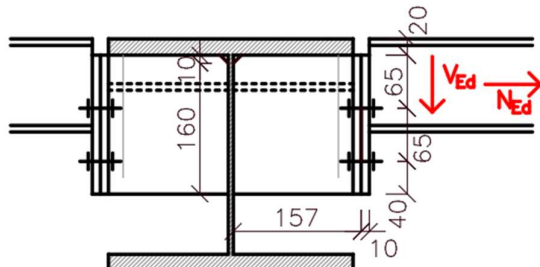
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 145,94 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Závěr: Svar vyhoví, vznikne však polotuhý přípoj a bylo by nutné dále analyzovat vnitřní síly na vaznici. Tuto okolnost však dále zanedbávám.

8.4.3 Svar úpalku HEA 200 k svařovanému vazníku

Svar je namáhán kombinací posouvající síly a normálové síly. Pro bude výpočet uvažováno, že posouvající síla bude přenášena svarem úpalku a horní pásnice vazníku a normálová síla svarem stojiny úpalku ke stojině.



a) svar pásnice s pásnicí

Návrh: koutový svar $a_w = 3$ mm, $L_w = 200$ mm

Složky napětí:

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

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{8,486 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 200} = 10,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{8,486 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 200} = 10,0 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{10,0^2 + 3 \cdot (10,0^2 + 0^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

20 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 20 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) svar stojiny se stojinou

Návrh: koutový svar $2x a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 160 \text{ mm}$

Složky napětí:

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

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 160} = 85,03 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{115,44 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 160} = 85,03 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{85,03^2 + 3 \cdot (85,03^2 + 0^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

166,1 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 85,03 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.4.4 Ověření únosnosti snížené výšky úpalku

Tlaková síla se přenáší kontaktem, jelikož je nosník nižší než úpalek. Provedeme posouzení úpalku na sníženou výšku. Není uvažováno s boulením stěny, jelikož je v místě přenosu podporován styčnickovým plechem.

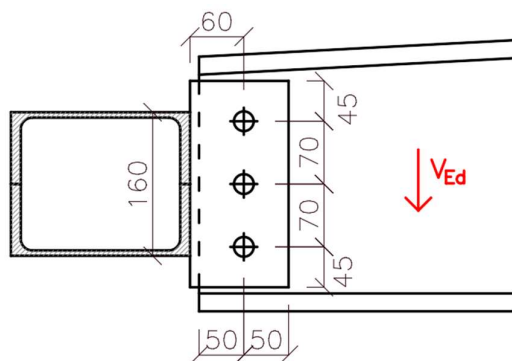
$$A_{osl} = t_w \cdot 96 = 6,5 \cdot 96 = 624 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A_{osl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{624 \cdot 235}{1,0} = 146640 \text{ N} = 146,64 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 146,64 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 112,35 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.5 Napojení vazníku na průvlak

Napojení střešního svařovaného vazníku na průvlak bude proveden pomocí přípoje deskou na stojinu. Návrh uvažuje jednu svislou řadu šroubů a v této řadě tři šrouby.



$$V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN}$$

Tloušťka styčnickového plechu $t_p = 10 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny nosníku $t_w = 6 \text{ mm}$

8.5.1 Šrouby

Návrh šroubů je proveden dle NCCI.

Návrh: 3x M20 8.8

$A_s = 245 \text{ mm}^2$

$d = 22 \text{ mm}; d_0 = 22 \text{ mm}$

$p_1 = 70 \text{ mm}$

$e_1 = 45 \text{ mm}$

$e_2 = 50 \text{ mm}$

Únosnost ve stříhu

a) únosnost ve stříhu 1 šroubu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} = 94080 \text{ N} = 94,08 \text{ kN}$$

b) celková únosnost ve stříhu

$$V_{v,Rd} = \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha \cdot n)^2 + (\beta \cdot n)^2}} = \frac{3 \cdot 94,08}{\sqrt{(1 + 0 \cdot 3)^2 + (0,4286 \cdot 3)^2}} = 173,27 \text{ kN}$$

Pro jednu svislou řadu šroubu je $\alpha = 0$ a

$$\beta = \frac{6 \cdot z}{n \cdot (n + 1) \cdot p_1} = \frac{6 \cdot 60}{3 \cdot (3 + 1) \cdot 70} = 0,4286$$

Únosnost v otláčení

a) únosnost v otláčení svislý směr

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5}\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot \frac{50}{22} - 1,7}{2,5}\right) = \min\left(\frac{4,66}{2,5}\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}}{\frac{f_{ub}}{f_u}}\right) = \min\left(\frac{\frac{45}{3 \cdot 22}}{\frac{800}{360}}\right) = \min\left(\frac{0,682}{2,222}\right) = 0,682$$

Nosník:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,682 \cdot 20 \cdot 6 \cdot 360}{1,25} = 58925 \text{ N} = 58,925 \text{ kN}$$

Styčnickový plech:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,682 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 360}{1,25} = 98208 \text{ N} = 98,208 \text{ kN}$$

b) únosnost v otláčení vodorovný směr

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8 \cdot \frac{e_1}{d_0} - 1,7}{2,5}\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot \frac{45}{22} - 1,7}{2,5}\right) = \min\left(\frac{4,03}{2,5}\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{\frac{e_2}{3 \cdot d_0}}{\frac{f_{ub}}{f_u}}\right) = \min\left(\frac{\frac{50}{3 \cdot 22}}{\frac{800}{360}}\right) = \min\left(\frac{0,7576}{2,222}\right) = 0,7576$$

Nosník:

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7576 \cdot 20 \cdot 6 \cdot 360}{1,25} = 65457 \text{ N} = 65,457 \text{ kN}$$

Styčnickový plech:

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7576 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 360}{1,25} = 109094 \text{ N} = 109,094 \text{ kN}$$

Nosník v otláčení:

$$V_{b,Rd} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha \cdot n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta \cdot n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left(\frac{1 + 0 \cdot 3}{58,925}\right)^2 + \left(\frac{0,4286 \cdot 3}{65,457}\right)^2}} = 115,57 \text{ kN}$$

Styčnickový plech v otláčení:

$$V_{b,Rd} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha \cdot n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta \cdot n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left(\frac{1 + 0 \cdot 3}{98,208}\right)^2 + \left(\frac{0,4286 \cdot 3}{109,094}\right)^2}} = 192,61 \text{ kN}$$

Posouzení:

Nosník:

a) únosnost ve střihu

$$V_{v,Rd} = 173,27 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

a) únosnost v otláčení

$$V_{b,Rd} = 115,57 \text{ kN} \rightarrow V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Styčnickový plech:

a) únosnost ve střihu

$$V_{v,Rd} = 173,27 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

a) únosnost v otláčení

$$V_{b,Rd} = 192,61 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost šroubů v otláčení v nosníku nevyhoví, bude tedy nutné zvětšit lokálně u podpory tloušťku stojiny svařovaného vazníku na 8 mm.

Přepočet pro stojinu tloušťky 8 mm

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,682 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 360}{1,25} = 78566 \text{ N} = 78,566 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7576 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 360}{1,25} = 87275 \text{ N} = 87,275 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha \cdot n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta \cdot n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left(\frac{1 + 0 \cdot 3}{78,566}\right)^2 + \left(\frac{0,4286 \cdot 3}{87,275}\right)^2}} = 154,09 \text{ kN}$$

Posouzení:

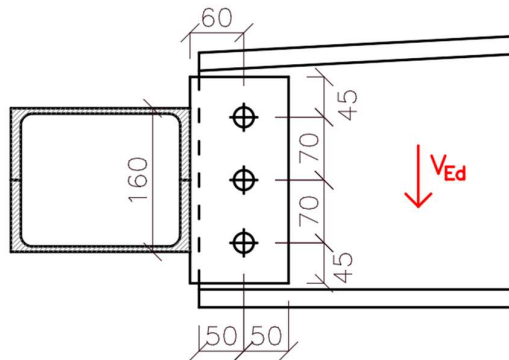
a) únosnost ve stříhu

$$V_{v,Rd} = 173,27 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

a) únosnost v otláčení

$$V_{b,Rd} = 154,09 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.5.2 Návrh příložkového plechu



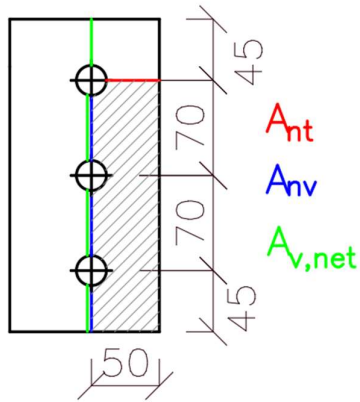
Tloušťka styčnickového plechu $t_p = 10 \text{ mm}$

Šířka styčnickového plechu $a = 110 \text{ mm}$

Výška styčnickového plechu $h_p = 230 \text{ mm}$

Výška svaru styčnickového plechu $h_{pl} = 160 \text{ mm}$

Posouzení příložkového plechu:



a) smyková únosnost (tažená + smyková)

$$A_{nv} = t_p \cdot (e_1 + 2 \cdot p_1 - 2,5 \cdot d_0) = 10 \cdot (45 + 2 \cdot 70 - 2,5 \cdot 22) = 1300 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = t_p \cdot (e_2 - 0,5 \cdot d_0) = 10 \cdot (50 - 0,5 \cdot 22) = 390 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 390 \cdot 360}{1,25} + \frac{1300 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 232540 \text{ N} = 232,54 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 232,54 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) smyková únosnost

$$A_{v,net} = t_p \cdot (h_p - 3 \cdot d_0) = 10 \cdot (230 - 3 \cdot 22) = 1640 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1640 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 222510 \text{ N} = 222,51 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 222,51 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

c) ohybová únosnost

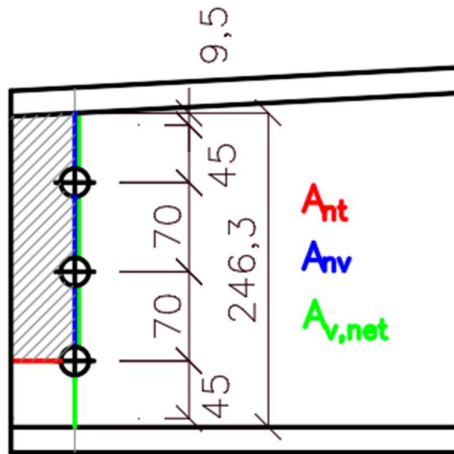
$$W_{el} = \frac{1}{6} \cdot t_p \cdot h_{pl}^2 = \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 160^2 = 42666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{42666,7 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 10,027 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed,max} \cdot (10 + 50) = 131,8 \cdot (10 + 50) \cdot 10^{-3} = 7,908 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 10,027 \text{ kNm} > M_{Ed} = 7,908 \text{ kNm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení připojení vazníku:



a) smyková únosnost (tažená + smyková)

$$A_{nv} = t_w \cdot (e_1 + 2 \cdot p_1 + 9,5 - 2,5 \cdot d_0) = 8 \cdot (45 + 2 \cdot 70 + 9,5 - 2,5 \cdot 22) = 1116 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = t_w \cdot (e_2 - 0,5 \cdot d_0) = 8 \cdot (50 - 0,5 \cdot 22) = 312 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 312 \cdot 360}{1,25} + \frac{1116 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 196343 \text{ N} = 196,343 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 196,343 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) smyková únosnost

$$A_{v,net} = t_w \cdot (h_w - 3 \cdot d_0) = 8 \cdot (246,3 - 3 \cdot 22) = 1442 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1442 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 195646 \text{ N} = 195,646 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 244,626 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 131,8 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.5.3 Návrh svaru

$$a \geq 0,46 \cdot t_p = 0,46 \cdot 8 = 3,68 \text{ mm}$$

Návrh: koutový svar 2x $a_w = 5 \text{ mm}$, $L_w = 160 \text{ mm}$

Složky napětí:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed,max}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{131,8 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 160} = 82,375 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} = \frac{7,908 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 160^2} = 185,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{185,34}{\sqrt{2}} = 131,05 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{131,05^2 + 3 \cdot (131,05^2 + 82,375^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

298,42 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 131,05 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Závěr:

Šrouby 3x M20 8.8

Plech P10 110x230

Svar $a_w = 5 \text{ mm}$; $L_w = 160 \text{ mm}$

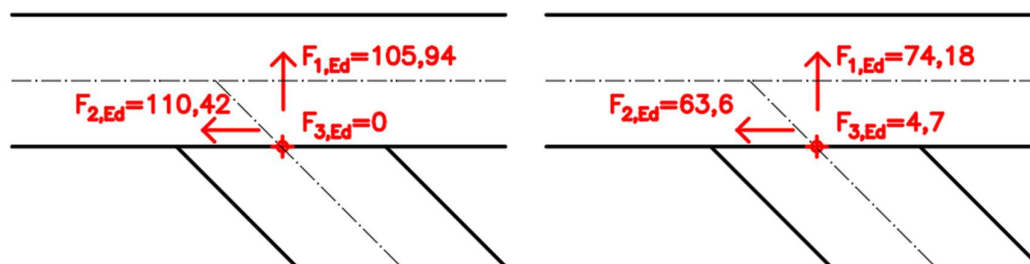
V přípoje vazníku musí dojít ke změně tloušťky stojiny z 6 mm na 8 mm vzhledem k únosnosti.

8.6 Napojení šikmých sloupů na průvlak

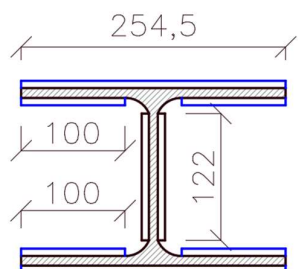
Napojení šikmých sloupu HEA 180 na svařenec 2x UPE 200 bude provedeno pomocí koutových svarů. Tlaková síla od sloupu bude rozložena do horizontální a vertikální složky.

Posouzení svaru provedeme pro dva zatěžovací stavy:

- 1) maximální normálová síla ve sloupu (KZS 16)
- 2) maximální posouvající síla od větru+ nejvyšší namáhání (KZS 13)



- 1) maximální normálová síla ve sloupu (KZS 16)



Přenos tlakové síly uvažován kontaktem, přenos vodorovné síly budou zajišťovat svary pásnice s průvlakem. Svar bude namáhán rovnoběžně s osou svaru.

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

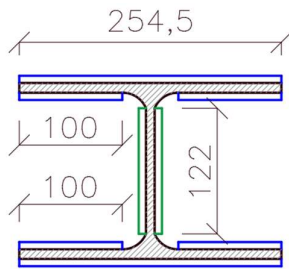
$$L_w = 2 \cdot 254,5 + 4 \cdot 100 = 909 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{110,42 \cdot 10^3}{3 \cdot 909} = 40,49 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 40,49 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

2) maximální posouvající síla od větru+ nejvyšší namáhání (KZS 13)



Přenos tlakové síly uvažován kontaktem, přenos vodorovné síly budou zajišťovat svary pásnice s průvlakem (modrá). Přenos smykové síly od větru bude zajišťovat svar stojiny s průvlakem (zelená). Svary budou namáhány rovnoběžně s osou svaru.

Modrý svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3$ mm

$$L_w = 2 \cdot 254,5 + 4 \cdot 100 = 909 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{63,6 \cdot 10^3}{3 \cdot 909} = 23,32 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 23,32 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Zelený svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3$ mm

$$L_w = 2 \cdot 122 = 244 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{4,7 \cdot 10^3}{3 \cdot 244} = 6,42 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

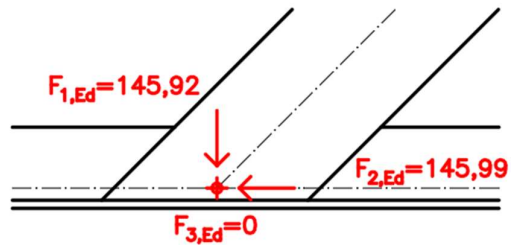
$$\tau_{II} = 6,42 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.7 Napojení šikmých sloupů na dolní ližinu

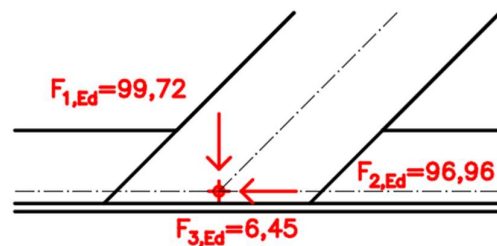
Napojení šikmých sloupů HEA 180 na ližinu L 200x100x10 bude provedeno pomocí koutových svarů na spodní části profilu L. Napojení na stěně profilu L s pásnicí sloupu HEA 180 bude provedeno tupým svarem. Tlaková síla od sloupu bude rozložena do horizontální a vertikální složky.

Posouzení svaru provedeme pro tři zatěžovací stavy:

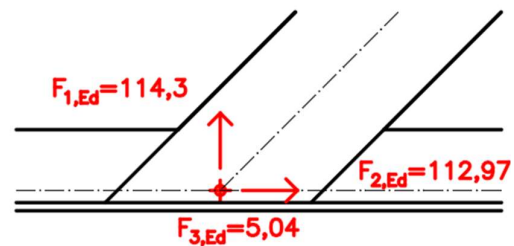
1) maximální normálová síla ve sloupu (KZS 16)



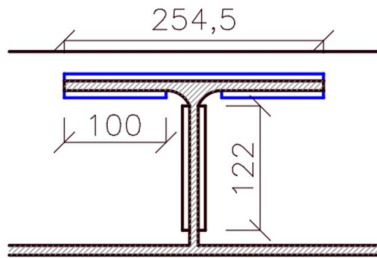
2) maximální posouvající síla od větru+ nejvyšší namáhání (KZS 13)



3) tažený sloup (KZS 18)



1) maximální normálová síla ve sloupu (KZS 16)



Přenos tlakové síly uvažován kontaktem, přenos vodorovné síly budou zajišťovat svary pásnice s profilem L. Svar bude namáhán rovnoběžně s osou svaru a veškeré zatížení je pro jednoduchost uvažováno na koutový svar, avšak na druhé straně sloupu je tupý svar, který také přebírá zatížení. Z toho důvodu není uvažován ohyb ve svaru.

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

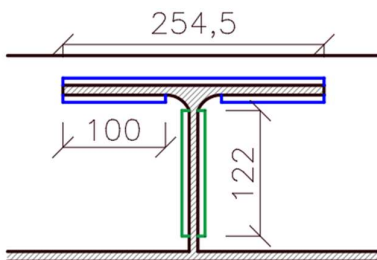
$$L_w = 254,5 + 2 \cdot 100 = 454,5 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{145,99 \cdot 10^3}{3 \cdot 454,9} = 106,97 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 106,97 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

2) maximální posouvající síla od větru+ nejvyšší namáhání (KZS 13)



Přenos tlakové síly uvažován kontaktem, přenos vodorovné síly budou zajišťovat svary pásnice s průvlakem (modrá). Přenos smykové síly od větru bude zajišťovat svar stojiny s průvlakem (zelená). Svary budou namáhány rovnoběžně s osou svaru. Zjednodušení viz. předchozí výpočet.

Modrý svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

$$L_w = 254,5 + 2 \cdot 100 = 454,5 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{96,96 \cdot 10^3}{3 \cdot 454,5} = 71,11 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 71,11 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Zelený svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

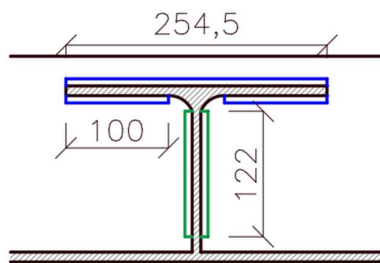
$$L_w = 2 \cdot 122 = 244 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{6,45 \cdot 10^3}{3 \cdot 244} = 8,11 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 8,11 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

3) tažený sloup (KZS 18)



Přenos tahové síly uvažován všemi svary a zatížení kolmo na osu svaru, přenos vodorovné síly budou zajišťovat svary pásnice s průvlakem (modrá). Přenos smykové síly od větru bude zajišťovat svar stojiny s průvlakem (zelená). Svary budou namáhány rovnoběžně s osou svaru. Zjednodušení viz. předchozí výpočet.

Modrý svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3$ mm

$$L_w = 254,5 + 2 \cdot 100 = 454,5 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{112,97 \cdot 10^3}{3 \cdot 454,5} = 82,85 \text{ MPa}$$

Zelený svar

Návrh: koutový svar $a_w = 3$ mm

$$L_w = 2 \cdot 122 = 244 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot L_w} = \frac{5,04 \cdot 10^3}{3 \cdot 244} = 6,89 \text{ MPa}$$

Oba svary

$$L_w = 254,5 + 2 \cdot 100 + 2 \cdot 122 = 698,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{114,3 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 698,5} = 38,57 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{114,3 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 698,5} = 38,57 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{38,57^2 + 3 \cdot (38,57^2 + 82,85^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

162,92 MPa < 360 MPa ... **VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

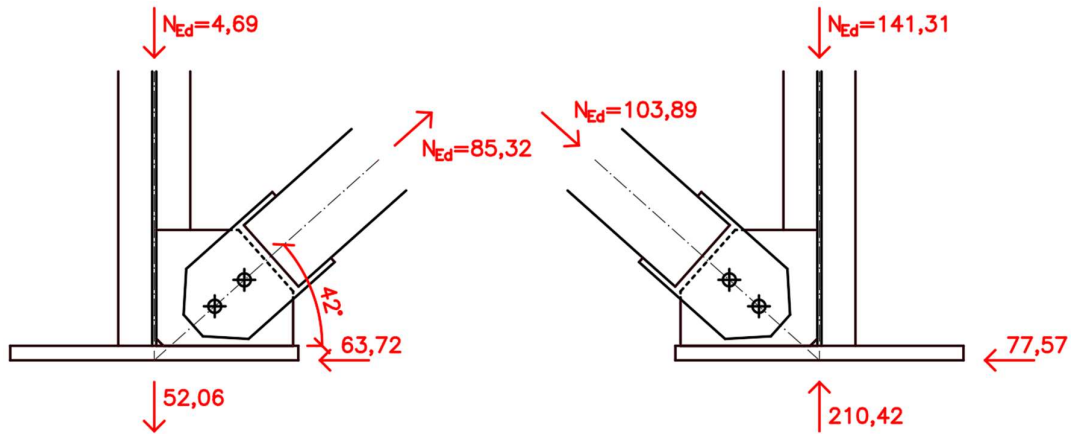
$$\sigma_{\perp} = 38,57 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

Závěr: Koutový svar $a_w = 3$ mm vyhoví a dále má rezervu o tupý svar. Únosnost styčnicku je dostačující.

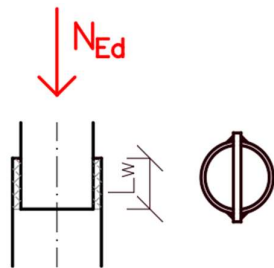
Kotvení dolní ližiny by bylo nutné spočítat a navrhnout kotvy.

8.8 Kloubová patka + ztužidlo

Návrh kloubové patky v místě krajního sloupu ztužidla. Posouzení bude provedeno pro levý i pravý sloup. U levého sloupu bude posouzen tak v patě (návrh kotev). U pravého sloupu zase kompletní návrh z důvodu maximálního namáhání. Síly působící na styčník jsou popsány v následujícím obrázku:



8.8.1 Svar trubky ke styčníkovému plechu



Návrh: koutový svar $4 \times a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 60 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{F}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{103,89 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 60} = 144,29 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$\tau_{II} = 144,29 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots$ **VYHOVUJE**

8.8.2 Šrouby

Návrh: 2x M16 8.8

$A_s = 157 \text{ mm}^2$

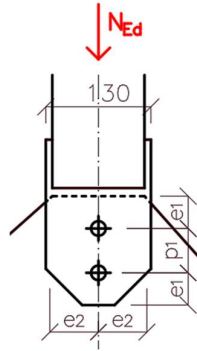
$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}$

$t_p = 10 \text{ mm}$

$p_1 = 55 \text{ mm}$

$e_1 = 40 \text{ mm}$

$e_2 = 60 \text{ mm}$



a) únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 60288 \text{ N} = 60,288 \text{ kN}$$

b) únosnost v otláčení

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 60}{18} - 1,7\right) = \min\left(\frac{7,63}{2,5}\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}\right) = \min\left(\frac{0,741}{1,389}\right) = 0,741$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 360}{1,25} = 85363 \text{ N} = 85,363 \text{ kN}$$

Posouzení:

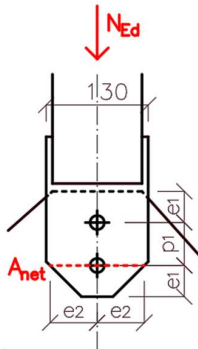
a) únosnost ve stříhu

$$2 \cdot F_{v,Rd} = 120,576 \text{ kN} > N_{Ed} = 103,89 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

b) únosnost v otláčení

$$2 \cdot F_{b,Rd} = 170,726 \text{ kN} > N_{Ed} = 103,89 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.8.3 Plech (přípoj trubka vs. styčnickový plech)



Návrh: $t_p = 10 \text{ mm}$; $b_p = 2 \cdot e_2 = 2 \cdot 60 = 120 \text{ mm}$

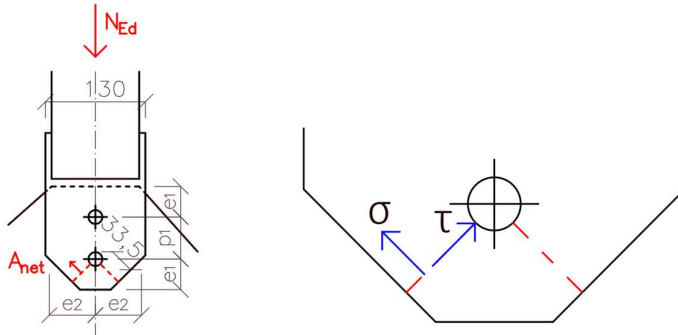
$$A_{\text{net}} = t_p \cdot (b_p - d_o) = 10 \cdot (120 - 18) = 1020 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1020 \cdot 360}{1,25} = 264384 \text{ N} = 264,384 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{u,Rd} = 264,384 \text{ kN} > N_{Ed} = 103,89 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

2. možný způsob porušení



Síla působící v táhle bude rozdělena do složky normálové a složky pod úhlem 45° .

Posouzeno s plnou silou, avšak v tomto místě působí jen síla poloviční, jelikož druhou polovinu přebere druhý šroub.

$$A_{\text{net}} = t_p \cdot 2 \cdot 33,5 = 10 \cdot 2 \cdot 33,5 = 670 \text{ mm}^2$$

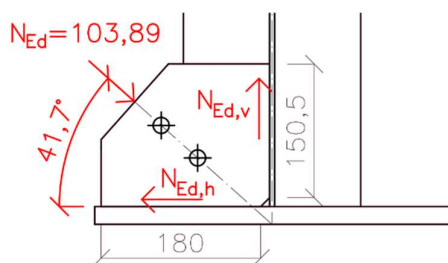
$$\sigma = \tau = \frac{F \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{A_{\text{net}}} = \frac{103,89 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{670} = 109,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M0}}$$

$$\sqrt{109,6^2 + 3 \cdot 109,6^2} \leq \frac{235}{1,0}$$

$$219,2 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.8.4 Svar styčnickového plechu



Svar bude navržen pouze na působení rovnoběžně s osou svaru a síla z táhla bude rozložena do horizontální a vertikální složky. Rozložené složky N_{Ed} jsou kresleny jako reakce na působící sílu.

$$N_{Ed,v} = 103,89 \cdot \sin(41,7) = 69,11 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,h} = 103,89 \cdot \cos(41,7) = 77,57 \text{ kN}$$

Vertikální směr

Návrh: koutový svar 2x $a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 150,5 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed,v}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{69,11 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 150,5} = 76,53 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 76,53 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Horizontální směr

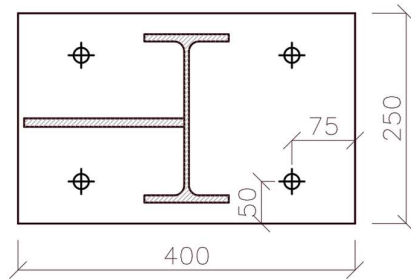
Návrh: koutový svar 2x $a_w = 3 \text{ mm}$, $L_w = 180 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed,h}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{77,57 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 180} = 71,84 \text{ MPa}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = 71,84 \text{ MPa} < f_{vw,d} = 207,85 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.8.5 Návrh patního plechu a založení



Rozměr patního plechu:

Rozměr patního plechu zvolen 400 mm x 250 mm x 20 mm vzhledem k možnosti osazení kotev a dostatečného prostoru na styčnickový plech.

Návrh betonové patky:

-roznášecí úhel 60°

-beton C 25/30

-únosnost základové půdy $R_d = 200 \text{ kPa}$

návrh rozměrů:

$$\frac{N_{Ed}}{a_c^2} \leq R_d$$

$$a_{c,\min} = \sqrt{\frac{N_{Ed}}{R_d}} = \sqrt{\frac{N_{Ed}}{R_d}} = \sqrt{\frac{210420}{0,2}} = 1025,7 \text{ mm}$$

Návrh betonové patky 1,35x1,2x0,8 m

Únosnost sloupu v tlaku

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(3 \cdot a_0; a_0 + h_c; a_c) = \min(3 \cdot 250; 250 + 800; 1200) = 750 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_0; b_0 + h_c; b_c) = \min(3 \cdot 400; 400 + 800; 1350) = 1200 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}} = \sqrt{\frac{750 \cdot 1200}{250 \cdot 400}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku:

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

– pro tloušťku podlití $\leq 0,2 \cdot \min(a_0; b_0) = 0,2 \cdot \min(250; 400) = 50 \text{ mm}$

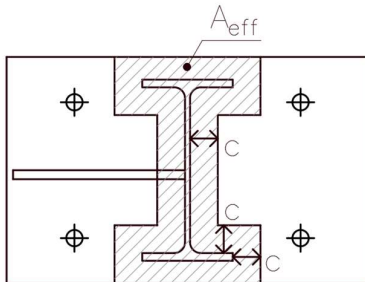
– f_{ck} malty $\geq 0,2 \cdot f_{ck} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ MPa}$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 25}{1,5} = 33,33 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{jd}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 33,33}} = 30,66 \text{ mm}$$

Účinná plocha:



$$A_{eff} = 28843 \text{ mm}^2$$

Posouzení:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 28843 \cdot 33,33 = 961337 \text{ N} = 961,337 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 961,337 \text{ kN} > N_{Ed} = 210,42 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Využití tahových a smykových zatížení

Tahová zatížení	Využití β_N %	Smykové zatížení	Využití β_V %
Selhání ocele *	5,3	Selhání ocele s ramenem síly *	84,4
Vytažení kotvy/Selhání betonu	25,6	Selhání betonu na opačné straně zatížení	17,6
Selhání betonu	28,8		

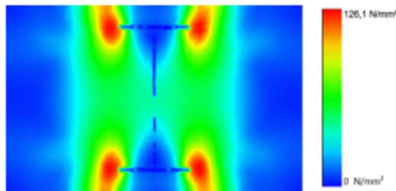
* Nejnejpříznivější kotva

Únosnost kombinace tahu a smyku.

$\beta_N = \beta_{N;c;1} = 0,29 \leq 1$	 Zkouška úspěšná	Rovnice (5.9a)
$\beta_V = \beta_{V;s;1} = 0,84 \leq 1$		Rovnice (5.9b)
$\beta_N^{1,5} + \beta_V^{1,5} = \beta_{N;c;1}^{1,5} + \beta_{V;s;1}^{1,5} = 0,93 \leq 1$		Rovnice (5.10)

Tloušťka kotevní desky

Model napětí



Podrobnosti kotevní desky

Tloušťka kotevní desky
Materiál kotevní desky
Modul pružnosti
Pevnost na mezi kluzu
Součinitel bezpečnosti
Poissonovo číslo
Využití

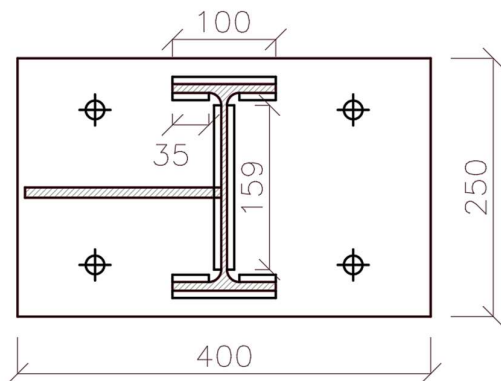
$t =$ 20 mm
S 235 (St 37)
 $E =$ 210 000 N/mm²
 $R_{p,0.2} =$ 235 N/mm²
 $\gamma_M =$ 1,0
 $\nu =$ 0,3
 $\eta =$ 54 %

Typ profilu

Vlastní profil

8.8.6 Návrh svaru sloupu

Přenos tlaku od sloupu do patní desky bude kontaktem, doporučení normy nosný svar $a_w = 3$ mm. Smyková síla od diagonály ztužidla je přenášena svarem samotného styčnickového plechu a patního plechu. Svar sloupu s kotevní deskou navrhne na účinky tahové síly táhla, která byla kotvena do stojiny sloupu svarem, jelikož u sloupu samotného nedochází k tahu v patě sloupu.



$$N_{Ed,v} = 85,32 \cdot \sin(41,7) = 56,76 \text{ kN}$$

Návrh: koutový svar $a_w = 3 \text{ mm}$

$$L_w = 2 \cdot 100 + 4 \cdot 35 + 2 \cdot 159 = 658 \text{ mm}$$

Složky napětí:

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

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{56,76 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 658} = 20,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{56,76 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 658} = 20,33 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{20,33^2 + 3 \cdot (20,33^2 + 0^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$40,66 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 20,33 \text{ MPa} < \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

8.8.7 Posouzení tahu v základové spáře

Tahová síla: $N_{Ed} = 52,06 \text{ kN}$

Vlastní tíha patky:

$$N_{vl.tíha} = -a \cdot b \cdot v \cdot \gamma_B = -1,2 \cdot 1,35 \cdot 0,8 \cdot 23 = -29,81 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} + N_{vl.tíha} < 0 \text{ kN}$$

$$52,06 - 29,81 < 0 \text{ kN}$$

$$22,25 \text{ kN} \leftarrow 0 \text{ kN} \dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Závěr: Patka nevyhoví na tah v základové spáře. Bude nutné navrhnout železobetonový základový pás propojující pod celým stěnovým ztužidlem. Tento pás již nebyl navrhován.

9 Literatura a zdroje

Skripta:

JANDERA Michal, ELIÁŠOVÁ Martina, VRANÝ Tomáš. *Ocelové konstrukce 01 – Cvičení*

[online]. vid. Rok 2015. Praha 3. upravené vydání. Dostupné z:

https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/cz/?wpfb_dl=3

SOKOL Z., WALD F. *Ocelové konstrukce – Tabulky*. 3.vydání

nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2

Vypracované řešené příklady (podpora RPMT). ČVUT Praha. Dostupné z:

http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/projekt/RPMT/O1-portalovy_ram.pdf

Přednášky:

ELIÁŠOVÁ Martina, přednášky NNKO- navrhování nosných konstrukcí ocel [přednášky]

Praha: ČVUT v Praze, rok 2020

JANDERA Michal, přednášky OK 01- Ocelové konstrukce 1 [přednášky]

Praha: ČVUT v Praze, rok 2021

Tabulky a podklady výrobců:

Inteligentní řešení staveb | ArcelorMittal Construction. [online]. Copyright ©

ArcelorMittal Construction [cit. 10.05.2022]. Dostupné z:

<https://construction-ceska-republika.arcelormittal.com/cz>

JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily. *JANSEN | Úvod | Ocelové a nerezové profily* [online]. Dostupné z: <http://www.jansencz.cz/1-uvod.html>

Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy. *Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy* [online]. Dostupné z: <https://kovprof.cz/>

Normy:

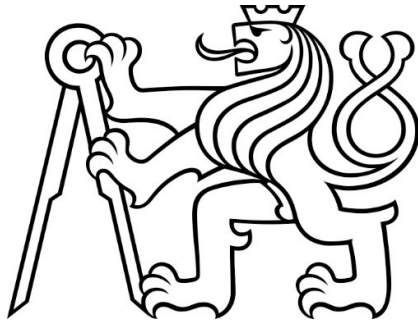
ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Ocelová konstrukce haly s kříženými sloupy

Výkresová dokumentace

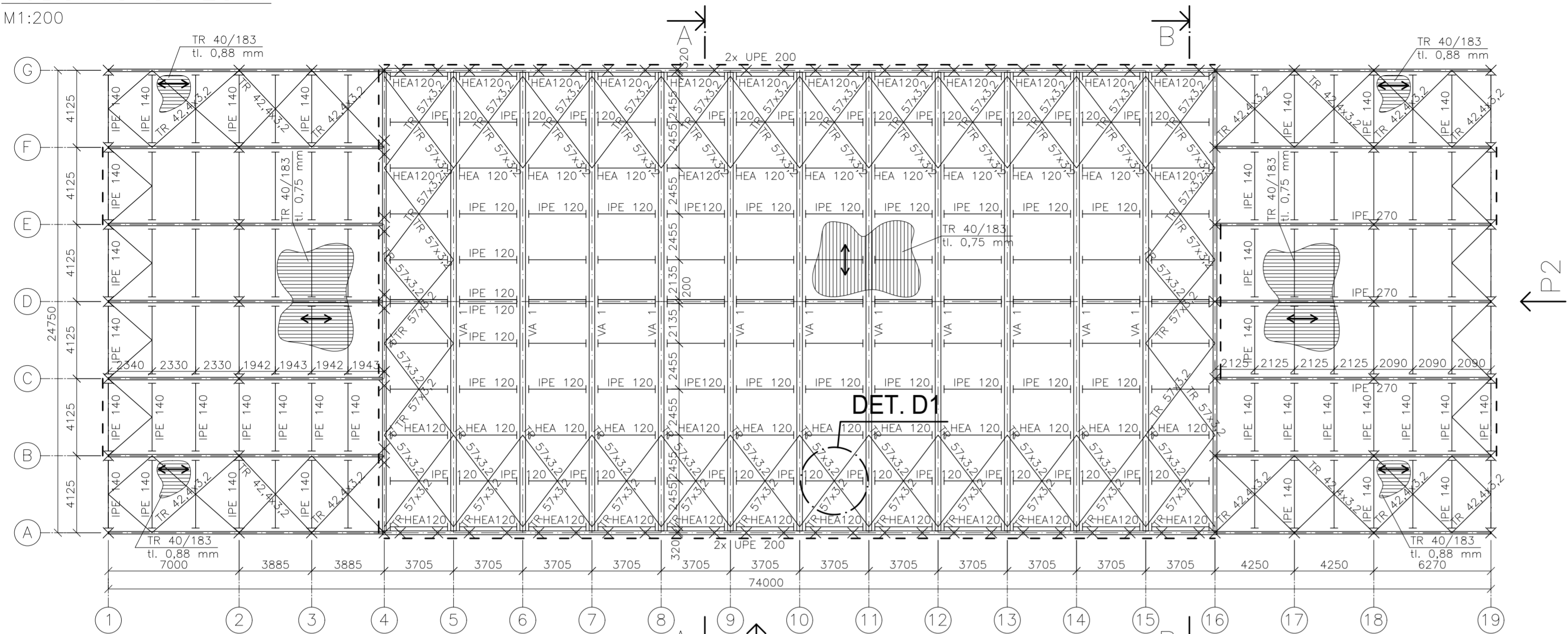
Autor: Pavel Bartůšek

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

Praha 2022

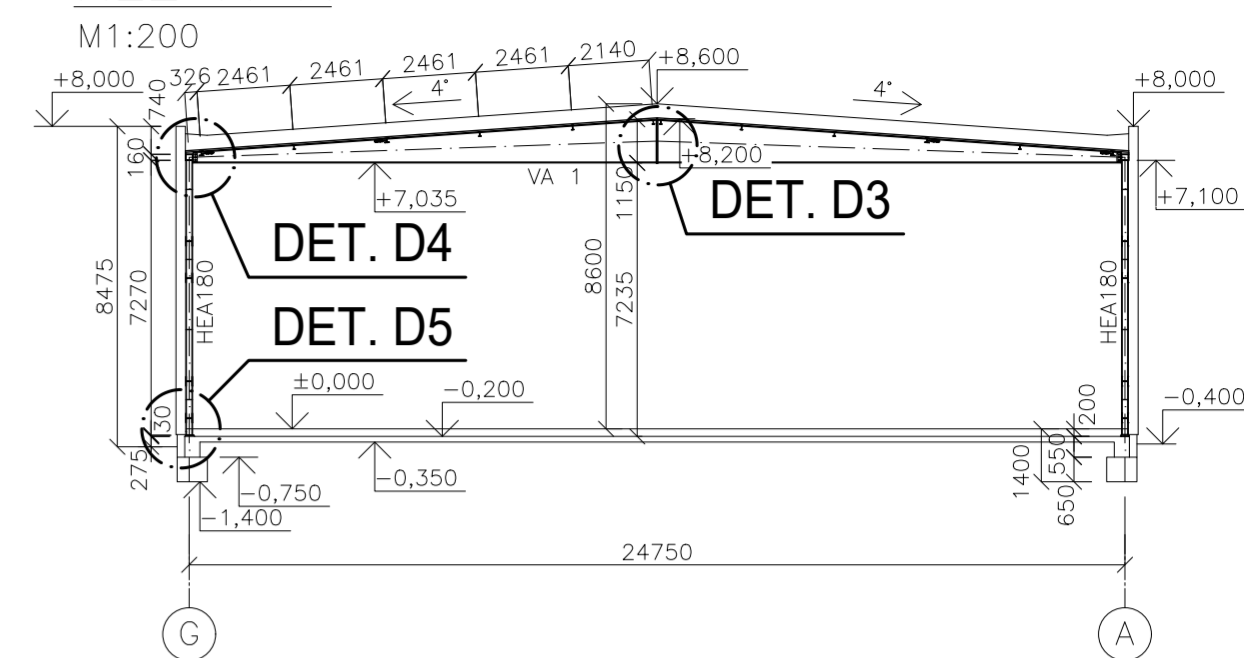
PŮDORYS STŘECHY

M1:200



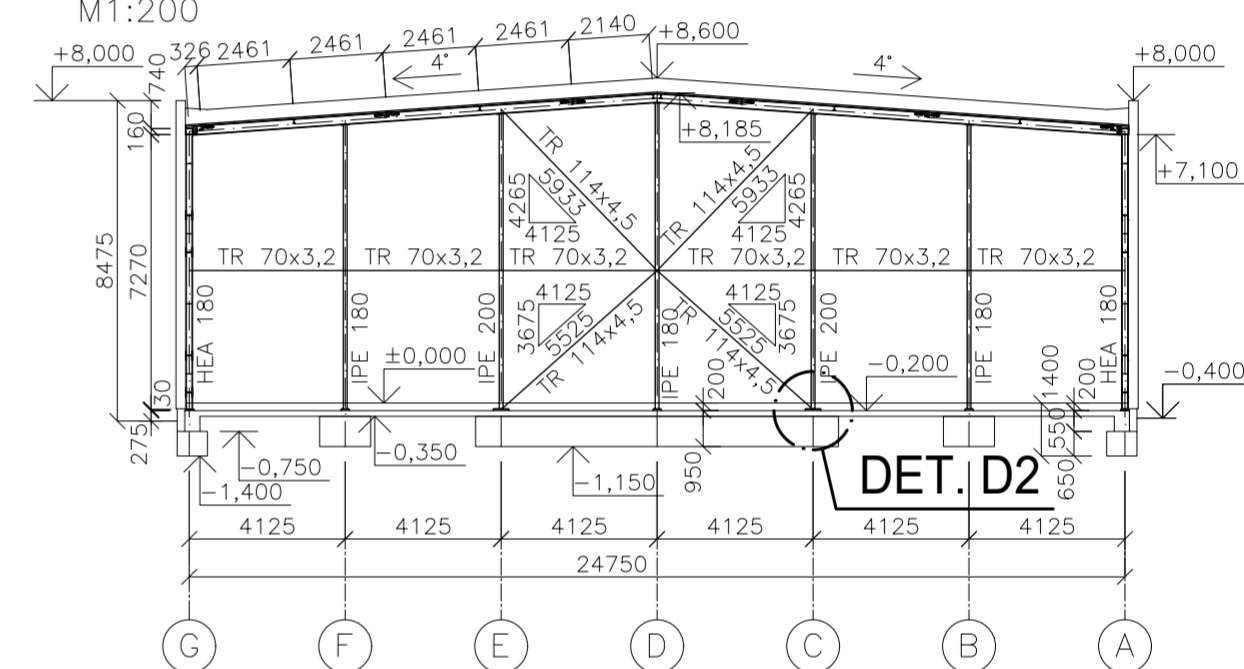
ŘEZ A-A

M1:200



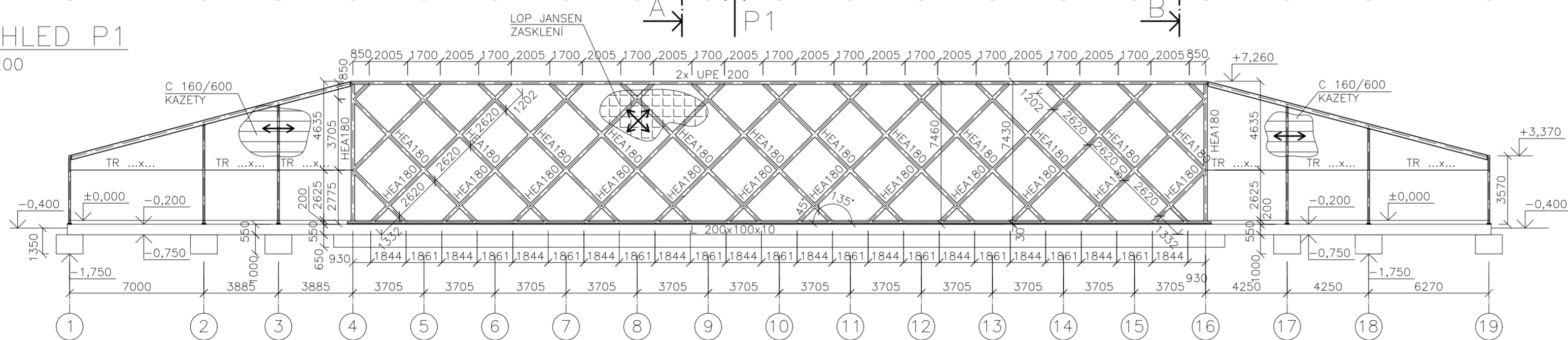
ŘEZ B-B

M1:200



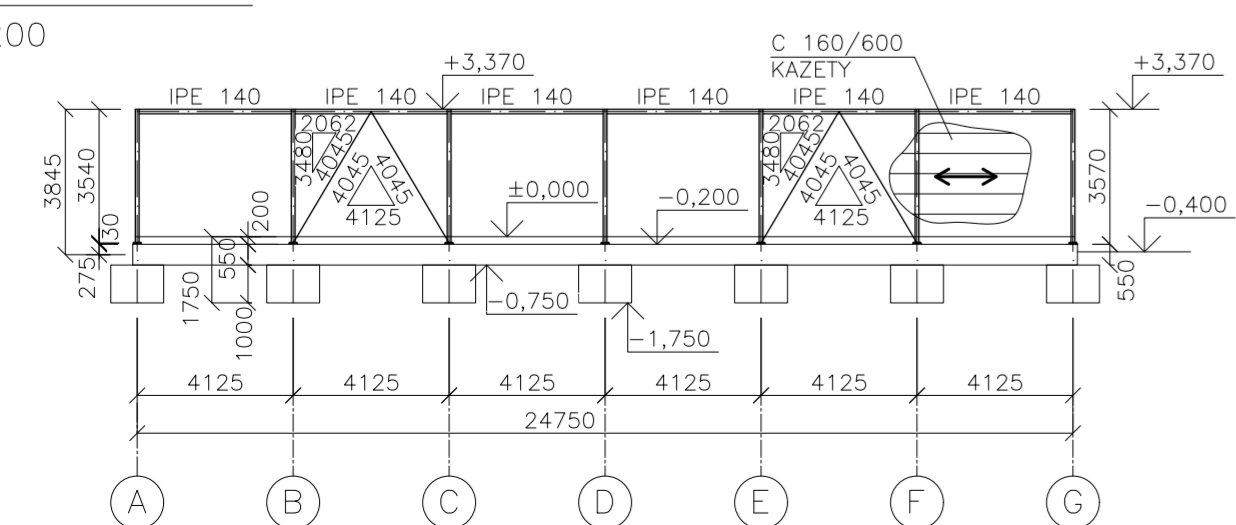
POHLED P1

M1:200



POHLED P2

M1:200




Poznámka

VA 1 – Ocelový svařovaný vazník (viz. statika)

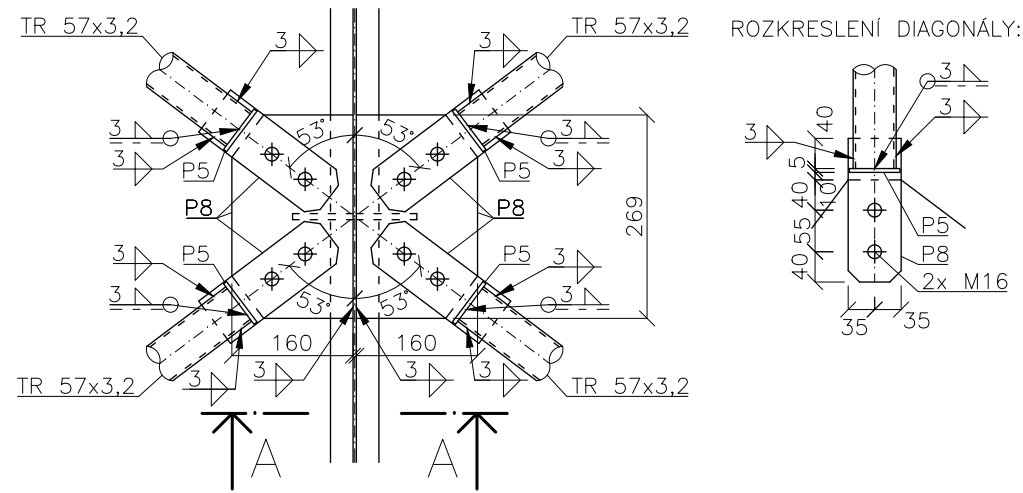
NEPOPSANÉ PRVKY, ČI PRVKY OZNAČENÉ BEZ DIMENZE NEBYLY NAVRHOVÁNY.

Ocel S320GD – Trapézové plechy, Kazety
 Ocel S235JR – Ostatní
 Beton C25/30
 Třída provedení EXC2

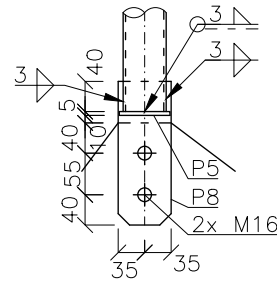
Obor: KPS	Katedra: K134	Jméno studenta: Pavel Bartůšek	
Ročník: 4	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.		
AKCE: Bakalářská práce			FORMÁT 6x A4
			MĚŘITKO 1:200
Výkresy: Dispozice			DATUM 05/2022
			Č. VÝKRESU: 1

DETAIL D1

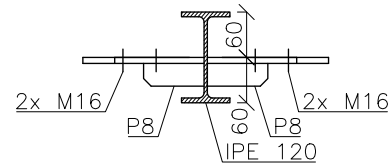
M1:10; NAPOJENÍ STŘEŠNÍCH ZTUŽIDEL NA VAZNICI



ROZKRESLENÍ DIAGONÁLY:

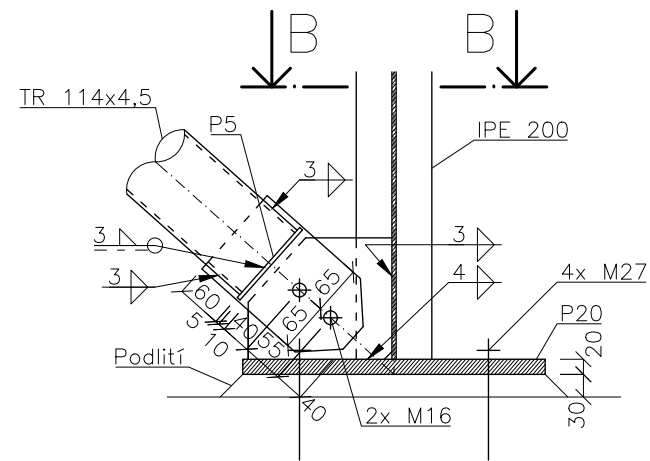


ŘEZ A-A

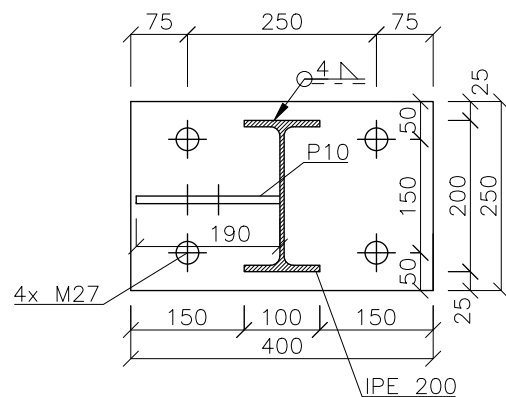


DETAIL D2

M1:10; KLOUBOVÁ PATKA STĚNOVÉHO ZTUŽIDLA

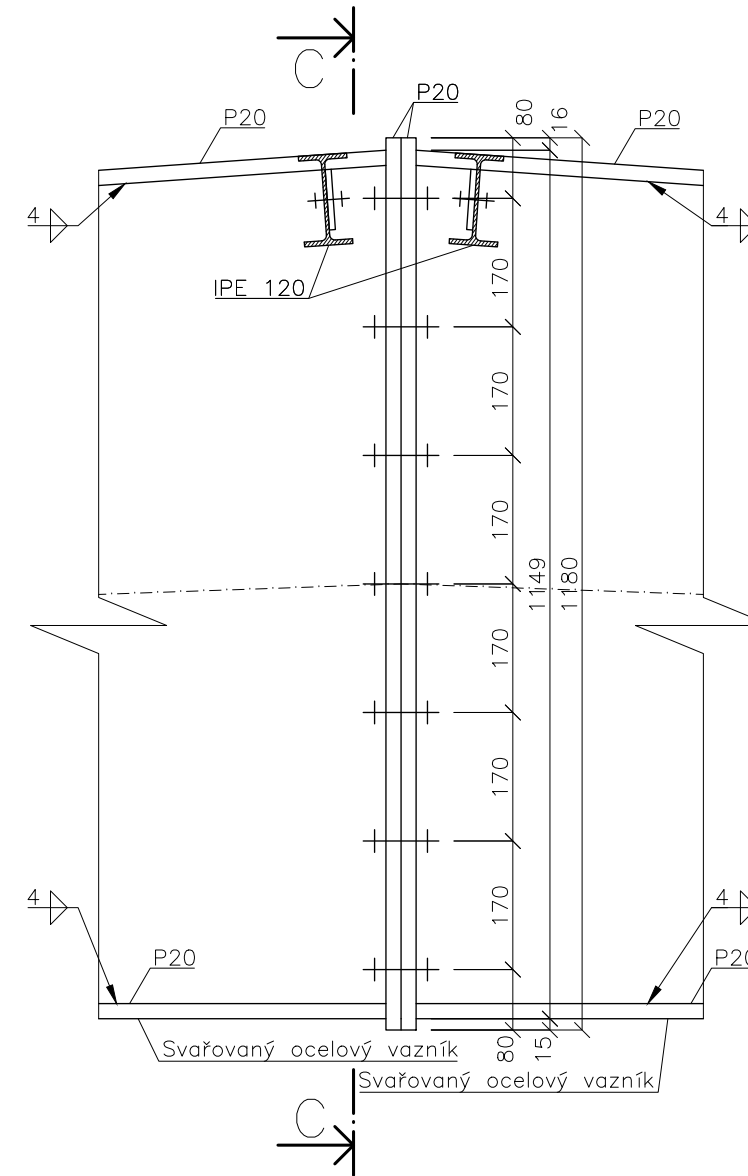


ŘEZ B-B

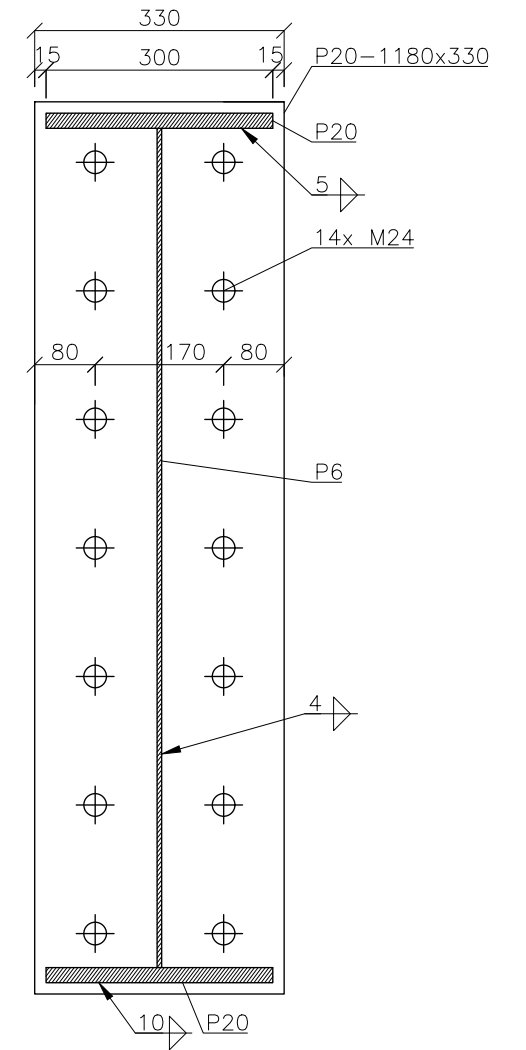


DETAIL D3

M1:10; MOMENTOVÝ PŘÍPOJ



ŘEZ C-C



Ocel S235JR
 Šrouby M 8.8
 Beton C25/30
 Třída provedení EXC2

Obor: KPS	Katedra: K134	Jméno studenta: Pavel Bartůšek	
Ročník: 4	Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.		
AKCE: Bakalářská práce			FORMÁT 2x A4
Výkresy: Detail D1, Detail D2, Detail D3			MĚŘÍTKO 1:10
			DATUM 05/2022
			Č. VÝKRESU: 2

