

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Dřevěná hala ve Vrchlabí

Timber hall in Vrchlabí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

Bc. David Bartoň

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bartoň Jméno: David Osobní číslo: 396379
Zadávací katedra: K134
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Dřevěná hala ve Vrchlabí
Název diplomové práce anglicky: Timber hall ve Vrchlabí
Pokyny pro vypracování:
Stanovení zatížení, kombinací, numerický model, výpočet vnitřních sil a deformací a též reakcí, dimenze hlavních konstrukčních prvků, návrh rozhodujících spojů, dispoziční výkresy vč. vybraných detailů (zejména spojů) a technická zpráva

Seznam doporučené literatury:

Thelandersson, Larsen: Timber Engineering, ISBN: 978-0-470-84469-4, Wiley, January 2003
Blass, H. J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., Steck, G. NAVRHOVÁNÍ, VÝPOČTY A POSUZOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH STAVEBNÍCH – KONSTRUKCÍ, OBECNÁ PRAVIDLA A PRAVIDLA PRO POZEMNÍ STAVBY, KOMENTÁŘ K ČSN 73 1702:2001 (Modifikovaný překlad vysvětlivek k německé normě DIN 1052:2004)
Porteous, J, Kermani, A: Structural Timber Design to Eurocode 5
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 30.1.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 21. 5. 2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.1.2017
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem citoval veškerou použitou literaturu.

V Praze 21. května 2017

David Bartoň



Poděkování

Děkuji Ing. Karlu Mikešovi, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Dále děkuji všem blízkým za psychickou podporu.



Obsah

Abstrakt	9
Abstract	9
Klíčová slova	9
Key words	9
Použité podklady a literatura	10
1 Úvod.....	12
1.1 Geometrie konstrukce.....	12
1.1.1 Návrh statického působení	12
1.1.2 Návrh dispozice	12
1.1.3 Návrh obalových konstrukcí – Základní tepelně technické posouzení.....	15
1.1.4 Návrh dimenzí	15
2 Zatížení	20
2.1 Stálá zatížení.....	20
2.1.1 Vlastní tíha	20
2.1.2 Střešní plášť.....	20
2.1.3 Obvodový plášť	20
2.2 Proměnná zatížení.....	20
2.2.1 Zatížení sněhem	20
2.2.2 Zatížení větrem	21
2.2.3 Užité zatížení na střeše	25
3 Výpočet vnitřních sil	26
3.1 Kombinace zatížení	26
3.1.1 Kombinace zatížení	26
3.1.2 Součinitele pro návrhové hodnoty zatížení	26
3.1.3 Hodnoty součinitele Ψ	26
3.2 Scia Engineer	26
3.2.1 Vazník.....	26
3.2.2 Štít	29
3.3 Výpočet bez využití softwaru – podélné prvky	32
3.3.1 Šikmina mezi vaznicemi	35
3.3.2 Vzpěra od ŽB sloupu	35
3.3.3 Vaznička	35



3.3.4	Vaznice u štítu	35
3.3.5	Vaznice běžná	36
3.3.6	Vzpěra pro vazníkový prvek 8	36
3.3.7	Vzpěra pro vazníkový prvek 9	36
4	Posouzení - Vazník	37
4.1	Průhyby	37
4.2	Prvek 1	38
4.2.1	Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) - bez ohybu	39
4.2.2	Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením	40
4.2.3	Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) - bez ohybu	40
4.2.4	Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) + ohyb s vybočením	41
4.2.5	Únosnost: ohyb bez vybočení (v místě styčnicku)	41
4.2.6	Únosnost na smyk	42
4.3	Prvek 2	42
4.3.1	Únosnost: vzpěrný tlak	43
4.4	Prvek 3	43
4.4.1	Únosnost: vzpěrný tlak	44
4.4.2	Únosnost: tah	44
4.5	Prvek 4	45
4.5.1	Únosnost: vzpěrný tlak	45
4.6	Prvek 5	46
4.6.1	Únosnost: vzpěrný tlak	46
4.7	Prvek 6	47
4.7.1	Únosnost: vzpěrný tlak	47
4.8	Prvek 7	48
4.8.1	Únosnost: tah	48
4.9	Prvek 8	49
4.9.1	Únosnost: vzpěrný tlak	49
4.10	Prvek 9	50
4.10.1	Únosnost: vzpěrný tlak	50
4.11	Spoj prvků 1,2,3	51
4.11.1	Spoj prvek 3 – plech	51
4.11.2	Spoj prvek 2 – plech	51
4.11.3	Spoj prvek 1 – plech	52



4.12	Spoj prvků 1,4.....	54
4.12.1	Spoj prvek 4 – plech.....	54
4.13	Spoj prvků 1,5.....	55
4.13.1	Spoj prvek 5 – plech.....	55
4.14	Spoj prvků 1,6.....	57
4.14.1	Spoj prvek 6 – plech.....	57
4.15	Spoj prvků 1,1,7.....	58
4.15.1	Spoj prvek 7 – plech.....	58
4.15.2	Spoj prvek 1 – plech.....	59
4.16	Spoj prvků 6,7,8.....	60
4.16.1	Spoj prvek 8 – plech spojující prvky 6,7.....	60
4.17	Spoj prvků 1,8,9.....	62
4.17.1	Spoj prvek 9 – prvek 1.....	62
4.18	Spoj prvků 3,4,5,9 se ŽB sloupem.....	63
4.19	Spoj prvku 2 se ŽB základem.....	64
4.19.1	Spoj plech – ŽB základ.....	64
4.20	Shrnutí průřezů – Vazník.....	65
5	Posouzení – Štít.....	66
5.1	Průhyby.....	66
5.2	Štítový sloup.....	67
5.2.1	Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením.....	68
5.2.2	Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) + ohyb s vybočením.....	68
5.2.3	Únosnost na smyk.....	69
5.3	Vrchní trám štítu.....	69
5.3.1	Únosnost: tah za ohybu bez vybočení (v místě styčnicku).....	70
5.3.2	Únosnost na smyk.....	71
5.4	Vzpěry štítu.....	71
5.4.1	Únosnost: vzpěrný tlak.....	72
5.5	Spoj štítový sloup – vrchní trám štítu.....	72
5.5.1	Spoj štítový sloup – plech.....	72
5.6	Spoj štítový sloup – 2x vrchní trám štítu.....	74
5.6.1	Spoj vrchní trám štítu – plech.....	74
5.7	Spoj štítový sloup – vzpěry štítu.....	75
5.7.1	Spoj vzpěra štítu – plech.....	75



5.8	Spoj štítový sloup – vzpěra štítu – vrchní trám štítu.....	77
5.9	Spoj štítový sloup – ŽB stěna.....	78
5.9.1	Spoj plech – ŽB stěna	78
5.10	Spoj štítový sloup – vzpěra štítu - ŽB stěna.....	79
5.11	Shrnutí průřezů – Štít	80
6	Posouzení – Podélné prvky.....	81
6.1	Šikmina mezi vaznicemi	81
6.1.1	Únosnost: tah.....	81
6.2	Vzpěra od ŽB sloupu.....	82
6.2.1	Únosnost: vzpěrný tlak	82
6.3	Vaznička.....	82
6.3.1	Únosnost: ohyb s vybočením.....	83
6.3.2	Únosnost na smyk.....	83
6.4	Vaznice u štítu	83
6.4.1	Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením.....	84
6.4.2	Únosnost na smyk.....	84
6.5	Vaznice běžná.....	85
6.5.1	Únosnost: ohyb s vybočením.....	85
6.5.2	Únosnost na smyk.....	85
6.6	Vzpěra pro vazníkový prvek 8	86
6.6.1	Únosnost: vzpěrný tlak	86
6.7	Vzpěra pro vazníkový prvek 9	86
6.7.1	Únosnost: vzpěrný tlak	87
6.8	Spoj vaznička – vaznice běžná/u štítu	87
6.8.1	Spoj vaznička – plech	87
6.8.2	Spoj vaznice běžná/u štítu – plech	88
6.9	Spoj vaznice běžná – vazníkový prvek 1.....	89
6.9.1	Spoj vaznice běžná – plech	89
6.9.2	Spoj vazníkový prvek 1 – plech	89
6.10	Spoj vaznice u štítu – vazníkový prvek 1/vrchní trám štítu.....	90
6.10.1	Spoj vaznice u štítu – plech.....	90
6.10.2	Spoj vazníkový prvek 1/vrchní trám štítu – plech.....	90
6.11	Shrnutí průřezů – Podélné prvky	91
7	Závěr	92



Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením hlavních nosných prvků a spojů dřevěné konstrukce. Je zde spočítáno stálé i proměnné zatížení na konstrukci. Vnitřní síly jsou na některých prvcích spočítány s využitím softwaru Scia Engineer. Prvky jsou spojovány pomocí plechů a svorníků. Ztužení konstrukce zajišťují dřevěné prvky.

Abstract

This master's thesis is focused on design and appraisal of main loadbearing elements and connections of timber structure. Constant and variable load is calculated here. Inner forces on some elements are calculated by software Scia Engineer. Elements are connected with metal sheets and bolts. Construction is toughened by timber elements.

Klíčová slova

Konstrukce, statické schéma, návrh, průřez, prvek, zatížení, vnitřní síly, posouzení, ztužení haly, spoj, plech, svorník.

Key words

Structure, stability scheme, design, cross section, element, load, inner forces, appraisal, toughened hall, connection, metal sheet, bolt.



Použité podklady a literatura

normy:

- ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Požadavky
- ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků
- ČSN EN 14080 – Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo - Požadavky
- ČSN EN 14081-1 – Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Obecné požadavky

literatura:

- FAJMAN, Petr – KRUIS, Jaroslav. Zatížení a spolehlivost. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2008. 99 s.
- STUDNIČKA, Jiří – HOLICKÝ, Milan. Ocelové konstrukce 20 Zatížení staveb podle Eurokódu. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2005. 107 s.
- SOKOL, Zdeňěk – WALD, František. Ocelové konstrukce Tabulky. 2.vyd. Praha: ČVUT, 2012. 81 s.
- KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2005. 188 s.
- KUKLÍK, Petr – KUKLÍKOVÁ Anna. Navrhování dřevěných konstrukcí Příručka k ČSN EN 1995-1. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2005. 136 s.
- VRANÝ, Tomáš – JANDERA, Michal – ELIÁŠOVÁ, Martina. Ocelové konstrukce 2 Cvičení. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2009. 147 s.
- MACHÁČEK, Josef – STUDNIČKA, Jiří. Ocelové konstrukce 2. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2005. 152 s.
- WALD, František a spol. K navrhování ocelových, dřevěných a skleněných konstrukcí. 1.vyd. Praha: ČVUT, 2012. 146 s.



web:

- <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- <http://www.snihnastrese.cz/mapa-snehovych-oblasti>
- http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/7_Dimenzovani_prvk_u_drevenych_konstrukci_Petr_Kuklik.pdf
- http://www.palco.cz/images/kovani/Cenik_Bova.pdf
- http://www.vrtstrechy.cz/wp-content/uploads/2013/08/Katalog_stavebni-vruty1.pdf
- <http://vetrani.tzb-info.cz/7341-mikroklima-zimnich-stadionu>
- <http://www.cssteel.cz/plechy>

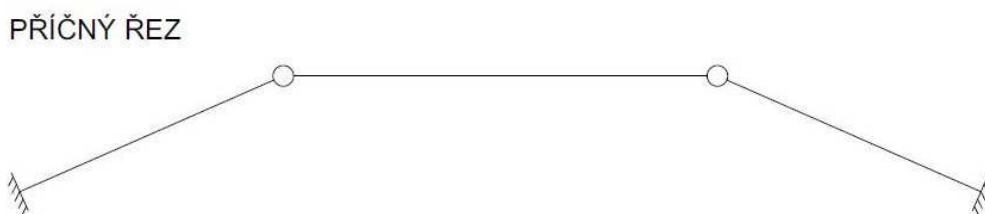
1 Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením hlavních nosných prvků a spojů dřevěné konstrukce hokejové haly. Objekt bude umístěn ve Vrchlabí. Toto menší město se nachází v Krkonoších, kde hodnoty zatížení jsou poměrně velké.

1.1 Geometrie konstrukce

1.1.1 Návrh statického působení

Zvolil jsem konstrukci staticky působící v příčném směru dle následujícího obrázku. Tato konstrukce se bude opakovat v každém z osmi polí.



Obr. 1 – Statická schémata

1.1.2 Návrh dispozice

Jedná se o hokejovou halu, kde rozměry ledové plochy budou 60x30m (v Kanadě a USA jsou ledové plochy o rozměrech 61x26m, v Evropě nejčastěji 60x30m). Na podélných stranách hřiště se nachází tribuny. Schody pro každou řadu sedadel jsou 0,9x0,45m. Pod jednou z tribun jsou umístěny šatny a další potřebná zařízení. Přístup do šaten je z čelní strany haly. Vrata pro možný vjezd techniky jsou umístěna na čelní straně haly.

Ovlivnění návrhu haly mikroklimatem zimního stadionu:

- DISPOZICE:

- meziprostory u vstupu (včetně místa pro prodej lístku) kvůli snížení vniku vlhkého vzduchu, který by následně zkondenzoval
- místnost pro rolbu uvnitř nebo vně haly (rolby vyklápí sníh do sněžné jámy, kde sníh roztaje a odteče kanalizací) s vraty z exteriéru do garáže a z garáže do haly o rozměrech alespoň 3x2,5m a místnost je třeba odvětrávat ventilátorem



- KONSTRUKCE STŘECHY:

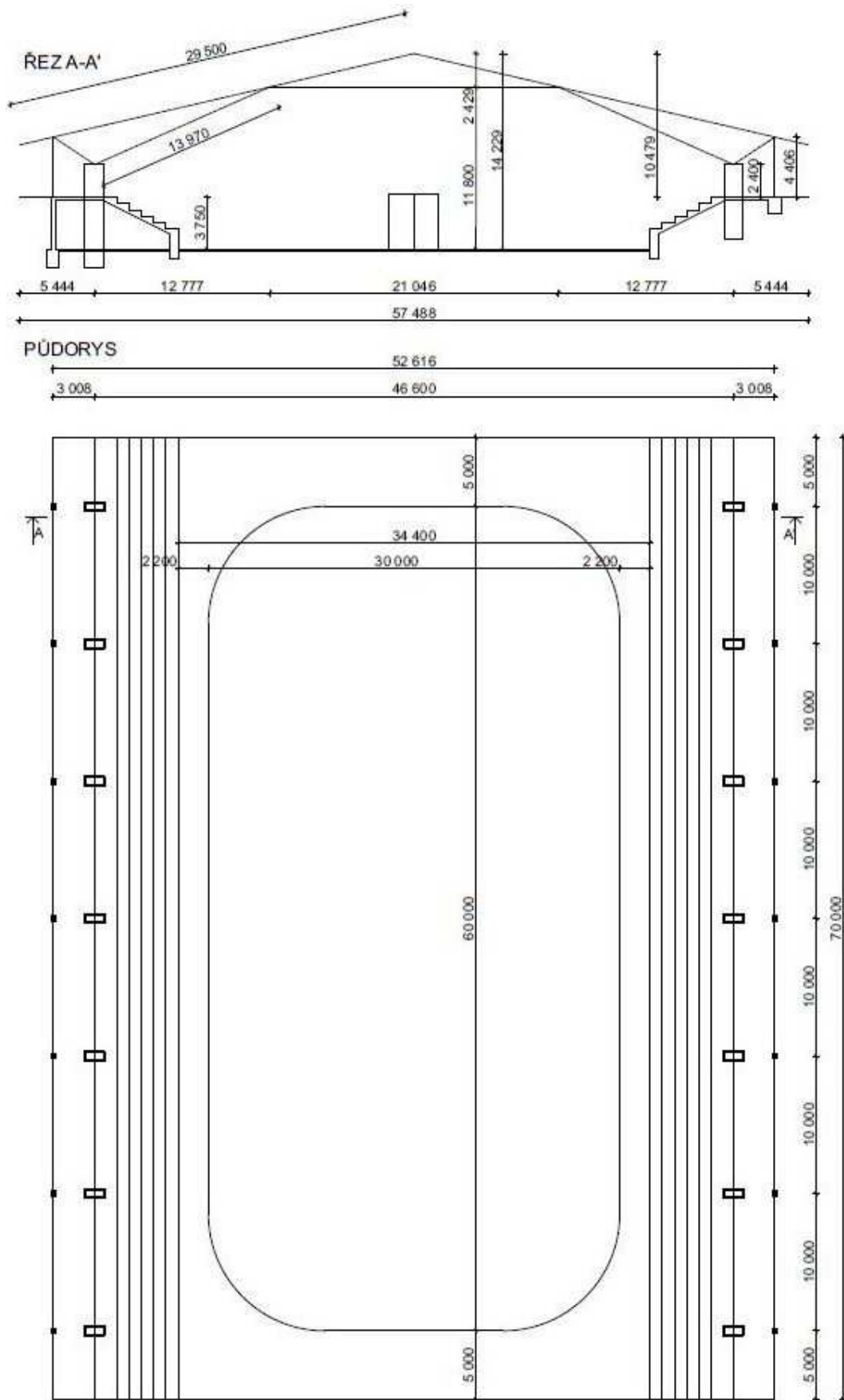
- tloušťku TI navrhnout na návrhovou vnitřní teplotu, která je u zimních stadionů 15 °C
- zatížení 0,5kN/m² klimatizací a odvlhčováním

- ODVLHČOVÁNÍ VZDUCHU:

- kondenzační systémy případně sorbční odvlhčování, kde materiály jako silikagel pohlcují vlhkost (kvůli zabránění kondenzace vodní páry na stavebních konstrukcích a tvorbě mlhy nad ledovou plochou)

- KLIMATIZACE:

- přívod odvlhčeného vzduchu do haly a zajištění jeho optimální cirkulace nad ledovou plochou (zajištění potřebného promíchání vlhkého vzduchu s přiváděným suchým vzduchem a přitom minimální zvýšení proudění vzduchu nad ledovou plochou, které otepluje ledovou plochu (konvekce) a tím zvyšuje výdaje častějším provozem rolny a energeticky náročnějším chlazením ledové plochy)
- teplota vnitřního vzduchu - norma ČSN 060210 udává 15-20stupňů
- vlhkost vnitřního vzduchu - rel. vlhkost 50-60%, dop. měrná vlhkost 4,3g/kg_{sv} - to odpovídá rosnému bodu při 1,7°C (nad tuto teplotu povrchu bez kondenzace)
- ASHRAE Standard stanovuje pro zimní stadiony minimální dávku čerstvého vzduchu 25m³/h na osobu
- je nutno navrhovat vzduchotechnické zařízení umožňující více zónové provětrávání:
- k ledové ploše je třeba zajistit přívod chladného vzduchu s nízkou měrnou vlhkostí
- prostor hlediště a prostor pod střechou, resp. pod akustickým podhledem by mohl být zásoben vzduchem upraveným na vyšší teploty (zvýšením teploty podhledu zabráníme kondenzaci)



Obr. 2 – Návrh dispozice



1.1.3 Návrh obalových konstrukcí – Základní tepelně technické posouzení

Návrhová vnitřní teplota je 18 °C.

Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou Q_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky

- Stěna vnější, lehká: $U_{rec,20} = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Střecha 0°-45°: $U_{rec,20} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

LEHKÝ OBVODOVÝ PLÁŠŤ KINGSPAN KS 1000 AWP 120mm

- „Sendvič“ – ocelový plech, PUR, ocelový plech – místy otvory pro okna
- Ocelové plechy – oboustranný žárově pozinkovaný povlak, povrchová úprava PES 25, profilace B
- Šířka 1m, délka 2-14,5m, hmotnost 13kg/m²
- Požární hodnocení EW15/EI20
- Akustické hodnocení $R_w=26\text{dB}$
- Bude mít vlastní základ – nezatěžuje střechu konstrukci haly
- Na bočních stranách pnutý mezi vlastním základem a vaznicí (tu nezatěžuje vlastní tíhou)
- Na štítových stranách pnutý mezi sloupy (zatěžuje je vlastní tíhou)

Posouzení:

$$U = 0,187 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) < 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = U_{rec,20} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

SKLADBA STŘECHY

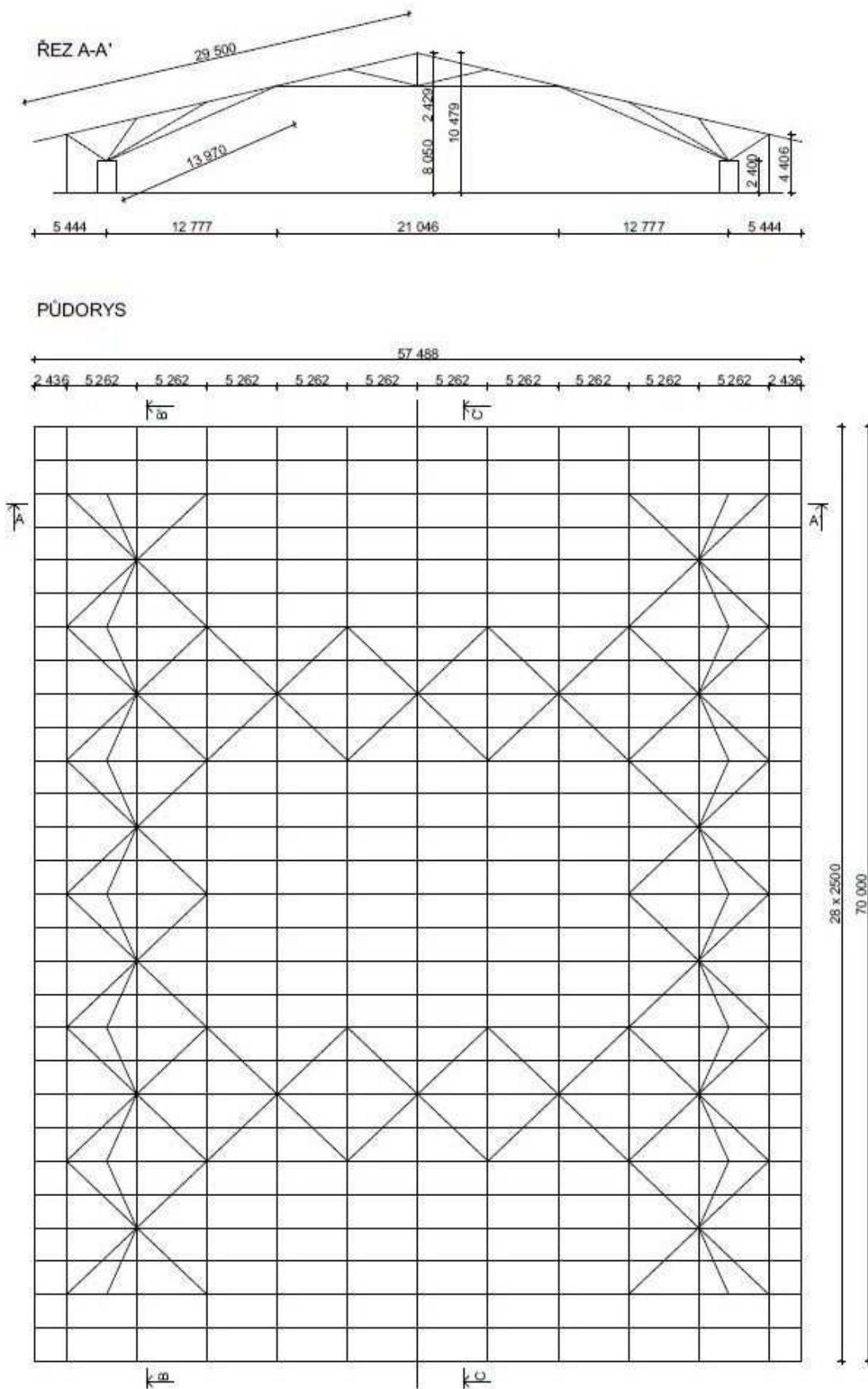
- Oplechování – pozinkovaný plech tl. 0,55mm
- OSB desky 15mm
- OSB desky 15mm
- EPS 100F 240mm – $R=6,45\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- OSB desky 22mm

Posouzení:

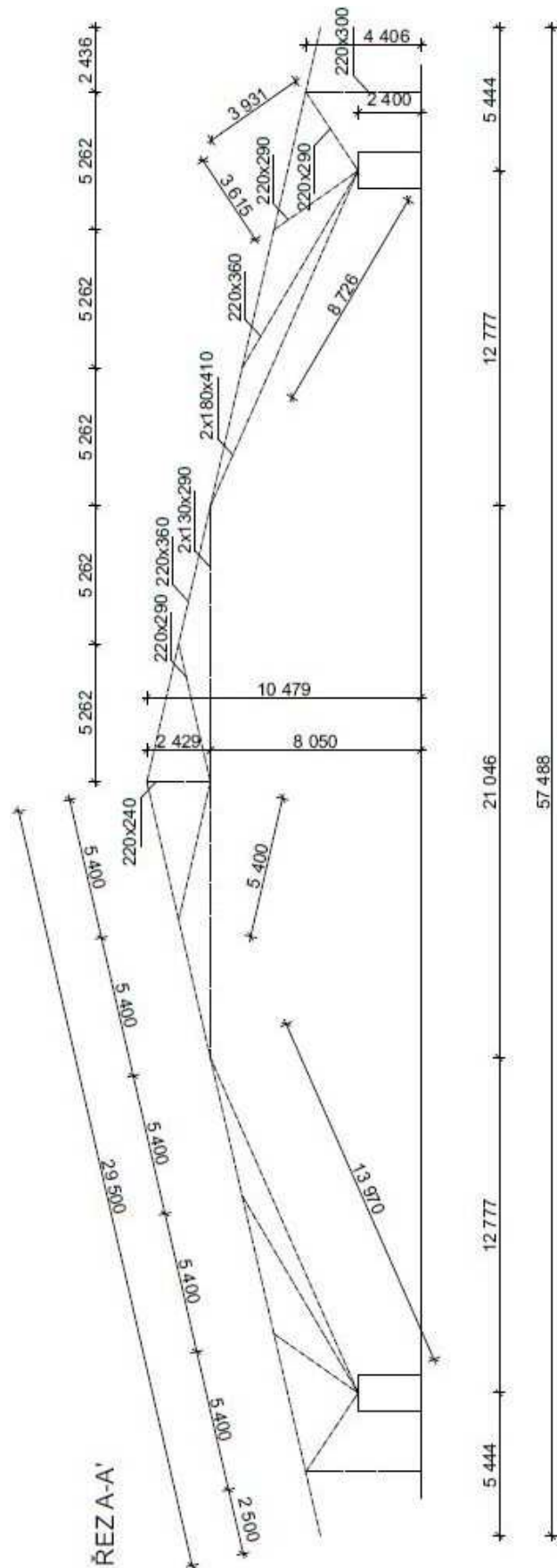
$$U = 1/(R_i + \sum R + R_e) = 1/(0 + 6,45 + 0) = 0,155 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) < 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = U_{rec,20} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

1.1.4 Návrh dimenzí

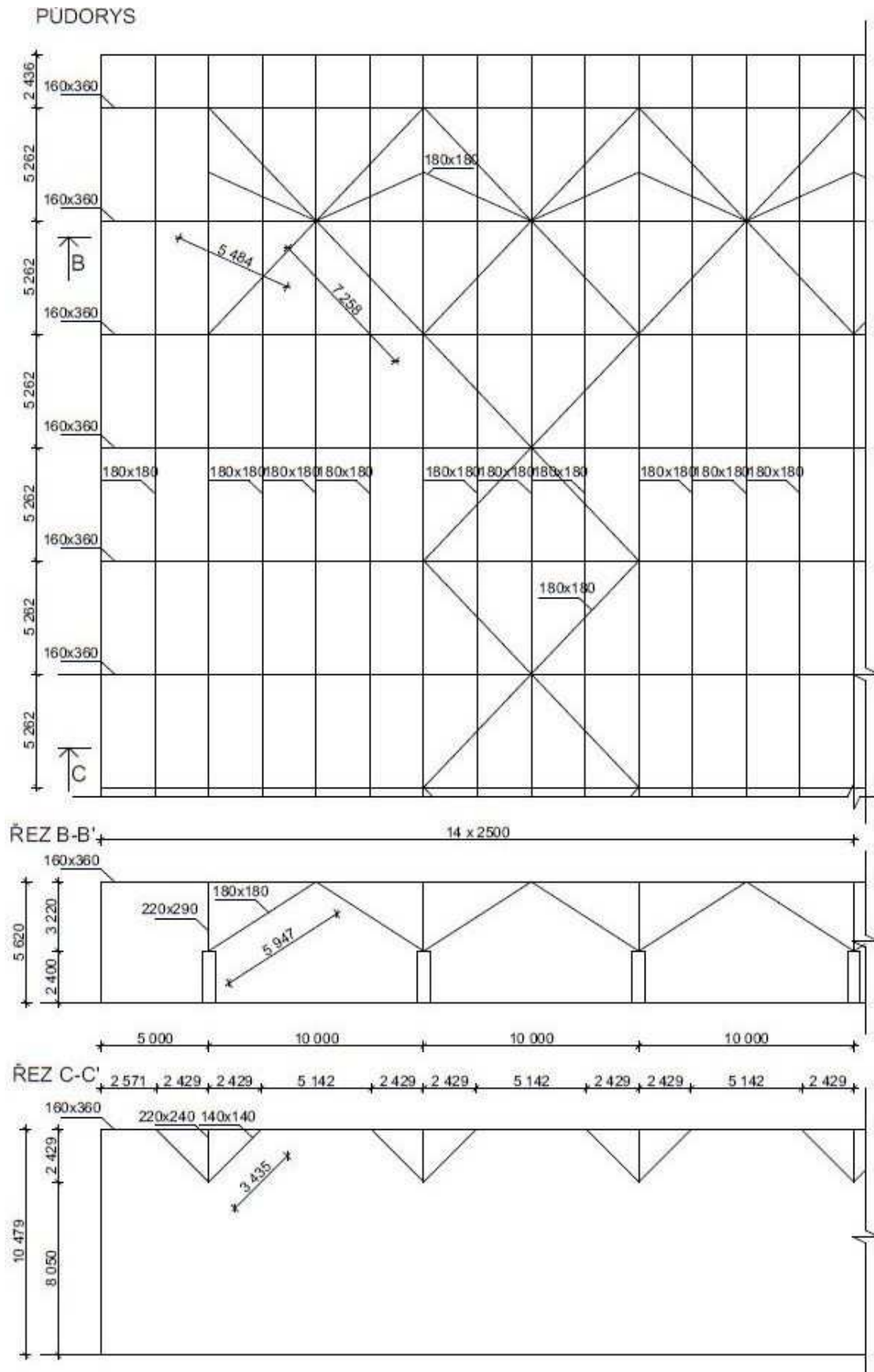
Hala má rozměry 58,5 x 70m. Sklon střechy je 13°. Všechny prvky včetně ztužení navrhuji z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL32h. Všechny prvky vazníku mají stejnou šířku, dolní pásnice jsou dvojité (ze dvou průřezů). Tento návrh průřezů je předběžný, v případě nevyhovění posouzení vnitřních sil bude nutné rozměry pozměnit. -> Tento následující návrh průřezů vazníku je značně poddimenzovaný, takže v programu Scia Engineer nakonec počítám s průřezy okolo 260x480 GL32h.



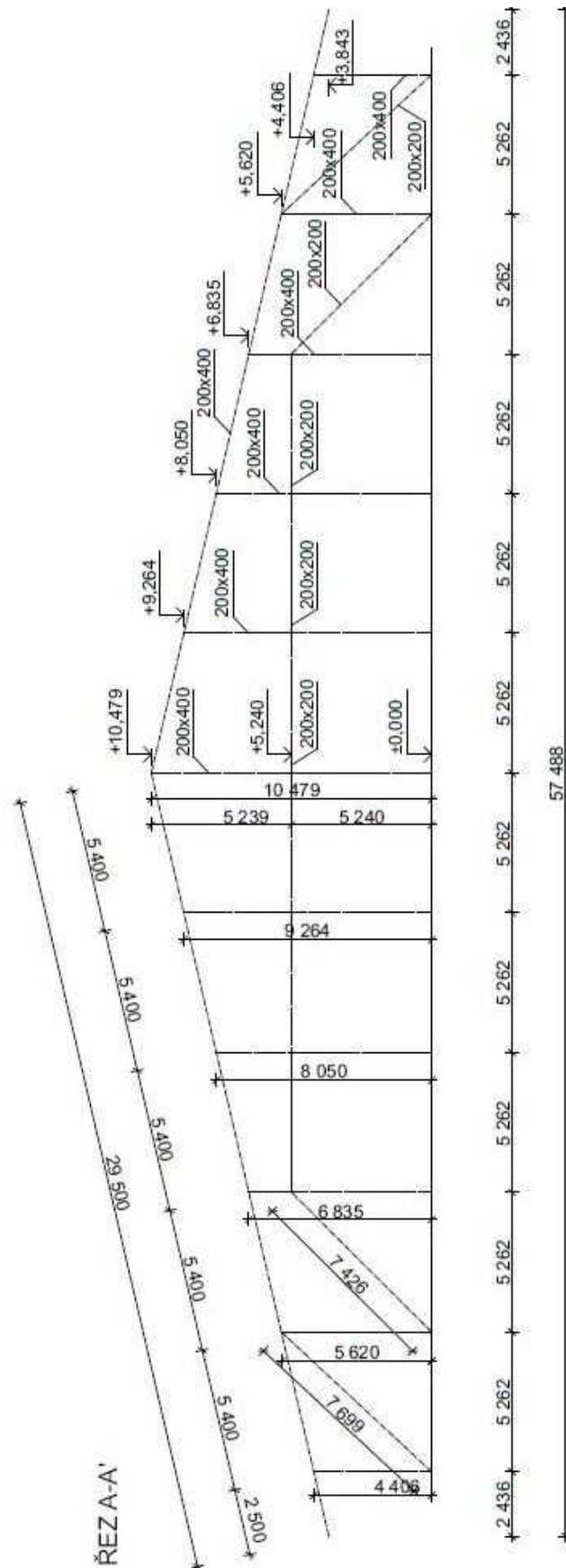
Obr. 3 – Nosné prvky zastřešení



Obr. 4 – Návrh průřezů – příčný řez



Obr. 5 – Návrh průřezů – půdorys, podélný řez



Obr. 6 – Návrh průřezů – štít



2 Zatížení

2.1 Stálá zatížení

Dle ČSN EN 1991-1-1:

2.1.1 Vlastní tíha

Konstrukce bude z lepeného lamelového dřeva GL32h ($\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$). Program Scia Engineer zatíží konstrukci vlastní tíhou.

2.1.2 Střešní plášť

- Oplechování $g_k = 4,32 \text{ kg/m}^2 / 100 = 0,043 \text{ kN/m}^2$
- 3 x OSB desky $g_k = 3 * 0,022 \text{ m} * 750 \text{ kg/m}^3 / 100 = 0,495 \text{ kN/m}^2$
- EPS 100F $g_k = 0,24 \text{ m} * 20 \text{ kg/m}^3 / 100 = 0,048 \text{ kN/m}^2$
- Instalace - vzduchotechnika, osvětlení, ozvučnění (odhad) $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

$$\Sigma g_k = 0,043 + 0,495 + 0,048 + 0,5 = 1,086 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma g_k, \text{ na m běžný vazničky} = 1,086 \text{ kN/m}^2 * 2,5 \text{ m} = \underline{2,715 \text{ kN/m}}$$

$$\Sigma g_k, \text{ na styčnick vaznice s vazničkami} = 2,715 \text{ kN/m} * 5,4 \text{ m} = \underline{14,661 \text{ kN}}$$

$$\Sigma g_k, \text{ na styčnick vazníku s vaznicemi} = 14,661 \text{ kN} * 4 = \underline{58,644 \text{ kN}}$$

$$\Sigma g_k, \text{ na trám štítu v místě vaznice} = \underline{14,661 \text{ kN}}$$

2.1.3 Obvodový plášť

Plošná hmotnost 13 kg/m^2 odpovídá zatížení $0,13 \text{ kN/m}^2$. Na podélné straně je toto zatížení přenášeno přímo do vlastního základu obvodového pláště.

$$\Sigma g_k, \text{ na m běžný sloupu štítu} = 0,13 \text{ kN/m}^2 * 5,262 \text{ m} = \underline{0,685 \text{ kN/m}}$$

2.2 Proměnná zatížení

2.2.1 Zatížení sněhem

Dle ČSN EN 1991-1-3:

- Tvarový součinitel pro sklon střechy 10° $\mu_1 = 0,8$
- Součinitel okolního prostředí pro topografii normální $C_e = 1$
- Tepelný součinitel pro $U < 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_t = 1$
- Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi pro Vrchlabí – VI. Sněhová oblast $S_k = 3 \text{ kN/m}^2$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1 * 1 * 3 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



$$S_{na} \text{ m běžný vazničky} = 2,4 \text{ kN/m}^2 * 2,5\text{m} = \underline{6 \text{ kN/m}}$$

$$S_{na} \text{ styčník vaznice s vazničkami} = 6 \text{ kN/m} * 5,262\text{m} = \underline{31,572 \text{ kN}}$$

$$S_{na} \text{ styčník vazníku s vaznicemi} = 31,572 \text{ kN/m} * 4 = \underline{126,288 \text{ kN}}$$

$$S_{na} \text{ trám štítu v místě vaznice} = \underline{31,572 \text{ kN}}$$

2.2.2 Zatížení větrem

Dle ČSN EN 1991-1-4:

- Základní rychlost větru

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

c_{dir} - součinitel směru větru

c_{season} - součinitel ročního období

$v_{b,0}$ - výchozí základní rychlost větru pro Vrchlabí – II. Větrná oblast (Národní příloha NA.2.4 – Mapa větrných oblastí)

- Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,625 \text{ Pa}$$

- Maximální dynamický tlak – pro plochý terén

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 1,75 * 390,625 = 684 \text{ Pa (směr větru kolmý na osu objektu)}$$

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 1,95 * 390,625 = 762 \text{ Pa (směr větru rovnoběžný s osou objektu)}$$

$c_e(z)$ – součinitel expozice pro kategorii terénu III a výšku objektu 10,8 a 14,5m

- Pro vykreslení

– směr větru kolmý na osu objektu:

$$e = \min(2h; b) = \min(2 * 10,8; 70) = 21,6\text{m}$$

– směr větru rovnoběžný s osou objektu:

$$e = \min(2h; b) = \min(2 * 14,5; 52,616) = 29\text{m}$$

- Vnější tlak větru

$$w_e = q_p(z) * c_{pe}$$

c_{pe} - součinitel vnějšího tlaku

– svislé stěny

– směr větru kolmý na osu objektu

- hodnoty pro $h/d = 10,8/52,616 = 0,205 \leq 0,25$, $c_{pe,10}$

- konst. hodnoty po výšce ($h = 4,406 \leq 70 = b$)

$$w_A = 684 * (-1,2) = -820,8 \text{ Pa} = -0,821 \text{ kN/m}^2$$



$$w_B = 684 * (-0,8) = -547,2 \text{ Pa} = -0,548 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C = 684 * (-0,5) = -342 \text{ Pa} = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 684 * 0,7 = 478,8 \text{ Pa} = 0,479 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = 684 * (-0,3) = -205,2 \text{ Pa} = -0,206 \text{ kN/m}^2$$

- směr větru rovnoběžný s osou objektu

- hodnoty pro $h/d = 14,5/70 = 0,207 \leq 0,25$, $C_{pe,10}$

- konst. hodnoty po výšce ($h = 14,5 \leq 52,616 = b$)

$$w_A = 762 * (-1,2) = -914,4 \text{ Pa} = -0,915 \text{ kN/m}^2$$

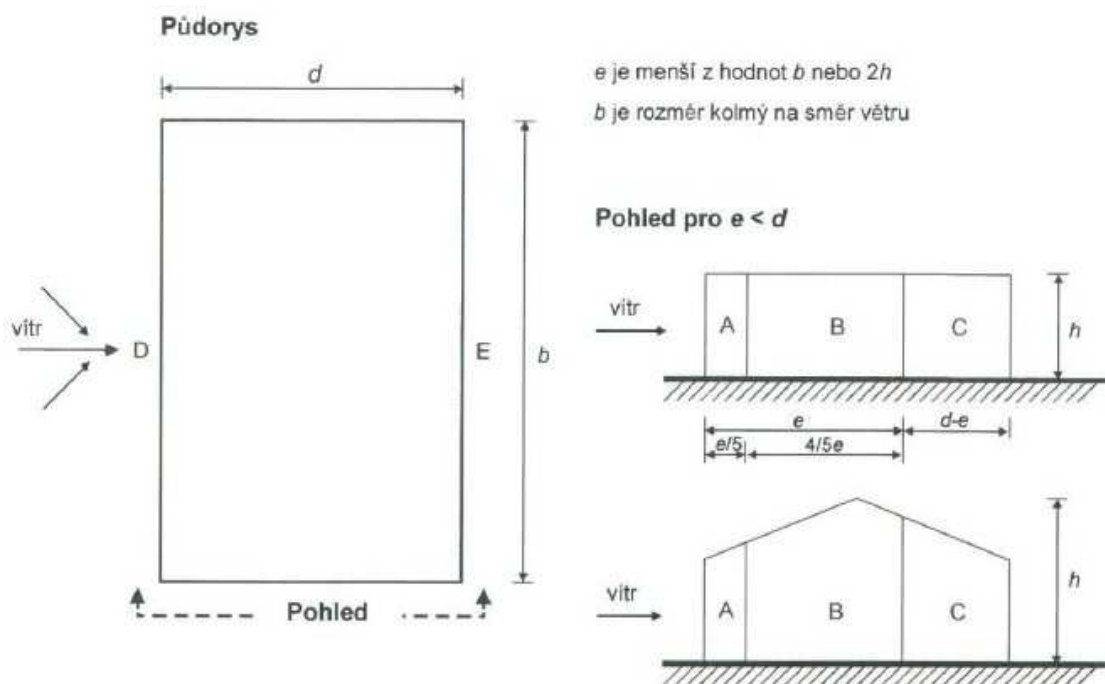
$$w_B = 762 * (-0,8) = -609,6 \text{ Pa} = -0,610 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C = 762 * (-0,5) = -381,0 \text{ Pa} = -0,381 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 762 * 0,7 = 533,4 \text{ Pa} = 0,534 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = 762 * (-0,3) = -228,6 \text{ Pa} = -0,229 \text{ kN/m}^2$$

ČSN EN 1991-1-4



Obr. 7 – Schéma zatížení větrem - stěny

- střecha – hodnoty pro $\alpha = +13^\circ$ (interpolace mezi $+5^\circ$ a $+15^\circ$), $C_{pe,10}$

- směr větru kolmý na osu objektu

- hodnoty pro max. zatížení tlakem

$$w_{F,G,H} = 684 * 0,2 = 136,8 \text{ Pa} = 0,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{I,J} = 684 * 0 = 0 \text{ Pa} = 0 \text{ kN/m}^2$$

-hodnoty pro max. zatížení sáním

$$w_F = 684 * (-0,9) = -615,6 \text{ Pa} = -0,616 \text{ kN/m}^2$$



$$w_G = 684 * (-0,8) = -547,2 \text{ Pa} = -0,548 \text{ kN/m}^2$$

$$w_H = 684 * (-0,3) = -205,2 \text{ Pa} = -0,206 \text{ kN/m}^2$$

$$w_I = 684 * (-0,4) = -273,6 \text{ Pa} = -0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_J = 684 * (-1) = -684 \text{ Pa} = -0,684 \text{ kN/m}^2$$

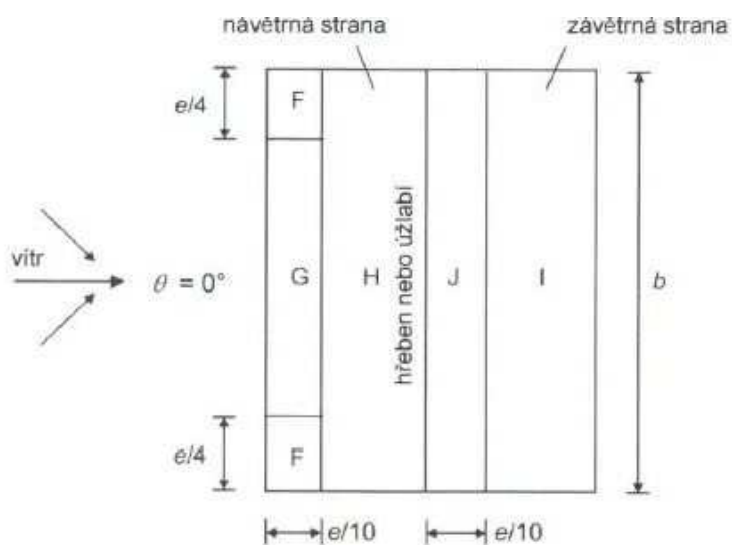
- směr větru rovnoběžný s osou objektu

$$w_F = 762 * (-1,3) = -990,6 \text{ Pa} = -0,991 \text{ kN/m}^2$$

$$w_G = 762 * (-1,3) = -990,6 \text{ Pa} = -0,991 \text{ kN/m}^2$$

$$w_H = 762 * (-0,6) = -457,2 \text{ Pa} = -0,458 \text{ kN/m}^2$$

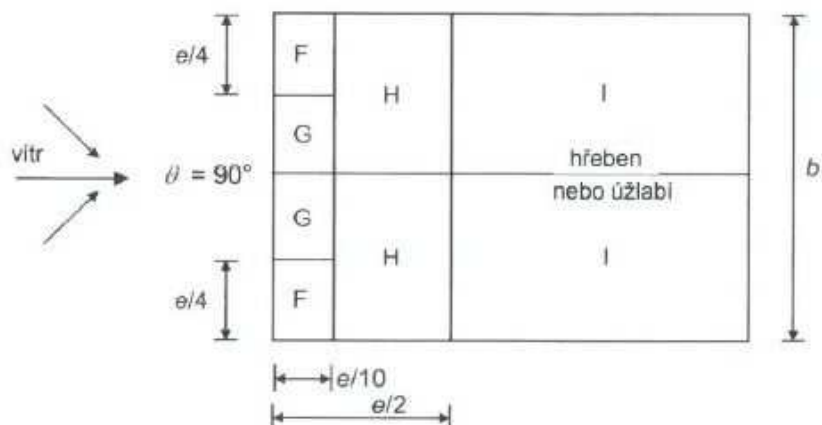
$$w_I = 762 * (-0,5) = -381,0 \text{ Pa} = -0,381 \text{ kN/m}^2$$



e je menší z hodnot b nebo $2h$

b je rozměr kolmo na směr větru

b) Směr větru $\theta = 0^\circ$



c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Obr. 8 – Schéma zatížení větrem - střecha

(3) Pro přečnívající okraj střechy je tlak na spodní straně přečnívající části střechy roven tlaku pro oblast na svislé stěně přímo připojené k přečnívající střeše; tlak na horní ploše přečnívající střechy je roven tlaku v oblasti definované pro střechu.



Obrázek 7.3 – Zobrazení příslušných tlaků pro přečnívající střechy

Obr. 9 – Zatížení přesahu střechy

- Přepočet zatížení větrem na nosnou konstrukci
 - Boční stěny
 - půlku zatížení přebírají základy, půlku vazníky
 - na m běžný vaznice [kN/m]
 - plošné zatížení násobeno 2,203m
 - na styčnick vazníku s vaznicemi [kN]
 - zatížení na krajní vaznici násobeno 10m
 - na trám štítu [kN]
 - zatížení na krajní vaznici násobeno 2,5m
 - Přesah střechy spodní strana
 - na m běžný vaznice [kN/m]
 - plošné zatížení násobeno 1,25m
 - na styčnick vazníku s vaznicemi [kN]
 - zatížení na krajní vaznici násobeno 10m
 - na trám štítu [kN]
 - zatížení na krajní vaznici násobeno 2,5m
 - Štítové stěny
 - na m běžný sloupu [kN/m]
 - plošné zatížení násobeno 5,262m



- Střecha

- na m běžný vazničky [kN/m]
 - zatížení na střeše násobeno 2,5m
- na styčnick vaznice s vazničkami [kN]
 - zatížení na vaznici násobeno 5,4m
- na styčnick vazníku s vaznicemi [kN]
 - zatížení na vaznici násobeno 4x
- na trám štítu v místě vaznice [kN]
 - zatížení na vaznici násobeno 1x

2.2.3 Užitné zatížení na střeše

Dle ČSN EN 1991-1-1: Národní příloha NA.2.9

- Užitná zatížení střech kategorie H – Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ na půdorysnou plochu $A = 10 \text{ m}^2$ (uvažují plochu $2,5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$)

$Q_k = 1 \text{ kN}$ (neuvažují)

$q_{k, \text{na m běžný vazničky}} = 0,75 \text{ kN/m}^2 * 2,5\text{m} = \underline{1,875 \text{ kN/m}}$

$q_{k, \text{na styčnick vaznice s vazničkami}} = 1,875 \text{ kN/m} * 4\text{m} = \underline{7,5 \text{ kN}}$

$q_{k, \text{na styčnick vazníku s vaznicemi}} = \underline{7,5 \text{ kN}}$

$q_{k, \text{na trám štítu v místě vaznice}} = \underline{7,5 \text{ kN}}$

Nakonec užitné zatížení na střeše neuvažují, protože oproti zatížení sněhem je nepodstatné a odklizení sněhu ze střechy neuvažují.

3 Výpočet vnitřních sil

3.1 Kombinace zatížení

- Dle ČSN EN 1990:

3.1.1 Kombinace zatížení

- Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace a pro mezní stavy únosnosti kromě těch, které se vztahují k únavě:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gij} G_{kj} \oplus \gamma_P P_k \oplus \gamma_{Q1} Q_{k1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$$

3.1.2 Součinitele pro návrhové hodnoty zatížení

- Soubor B: trvalé a dočasné situace:
 - stálá zatížení - nepříznivá $\gamma_G = 1,35$
 - příznivá $\gamma_G = 1$
 - proměnná zatížení - nepříznivá $\gamma_Q = 1,5$

3.1.3 Hodnoty součinitele ψ

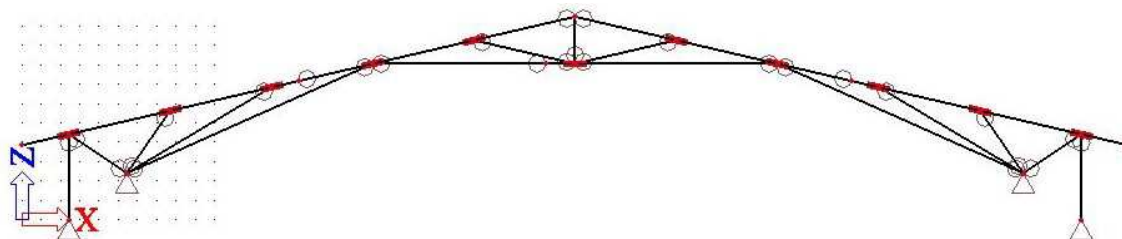
- | | | | |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| - Zatížení sněhem: $H \leq 1000$ m.n.m.: | $\psi_0 = 0,5;$ | $\psi_1 = 0,2;$ | $\psi_2 = 0$ |
| - Zatížení větrem: | $\psi_0 = 0,6;$ | $\psi_1 = 0,2;$ | $\psi_2 = 0$ |
| - Užitné zatížení: Kategorie H - Střechy: | $\psi_0 = 0;$ | $\psi_1 = 0;$ | $\psi_2 = 0$ |

3.2 Scia Engineer

- Všechny spoje jsou uvažovány jako kloubové.

3.2.1 Vazník

- 2D (rám XZ)



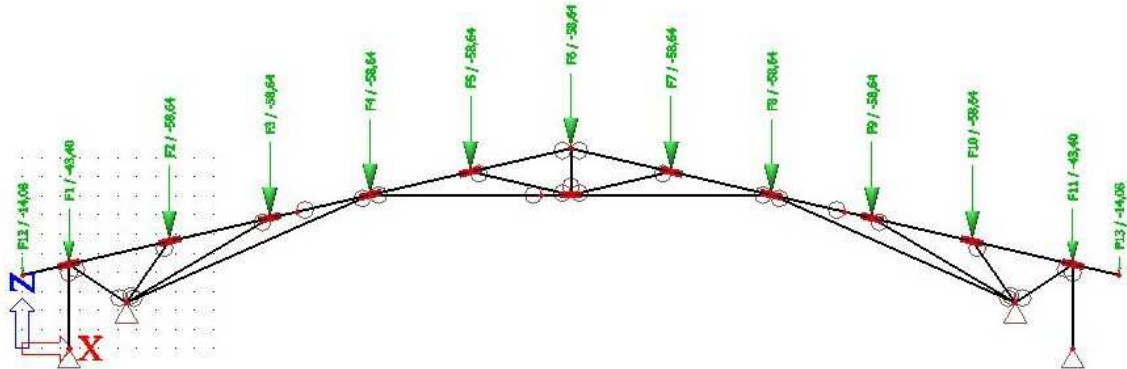
Obr. 10 – Model vazníku



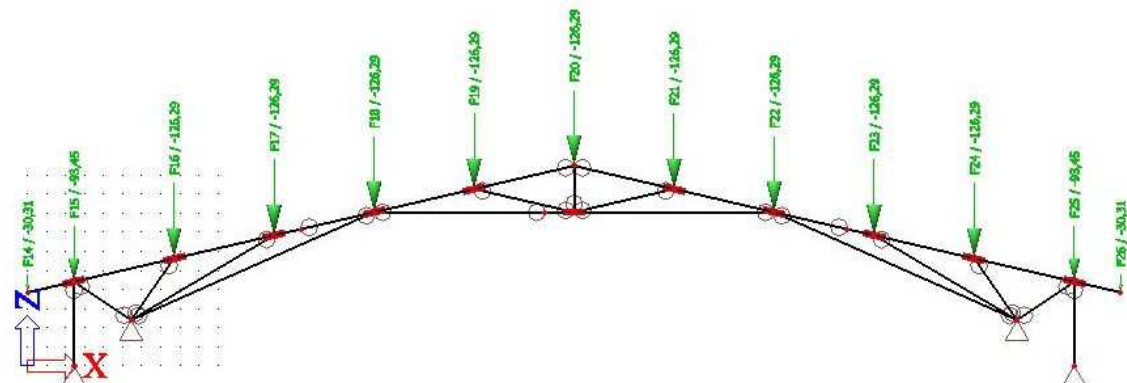
Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Směr	Působení	Rídící zat. stav
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	SZ1	Vlastní tíha		-Z		
ZS2	Střešní plášť	Stálé	SZ1	Standard				
ZS3	Sníh	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS5	Větr kolmý - max tlak	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS6	Větr kolmý - max sání	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7	Větr rovnoběžný	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4	Sníh na půlce poloviční	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný

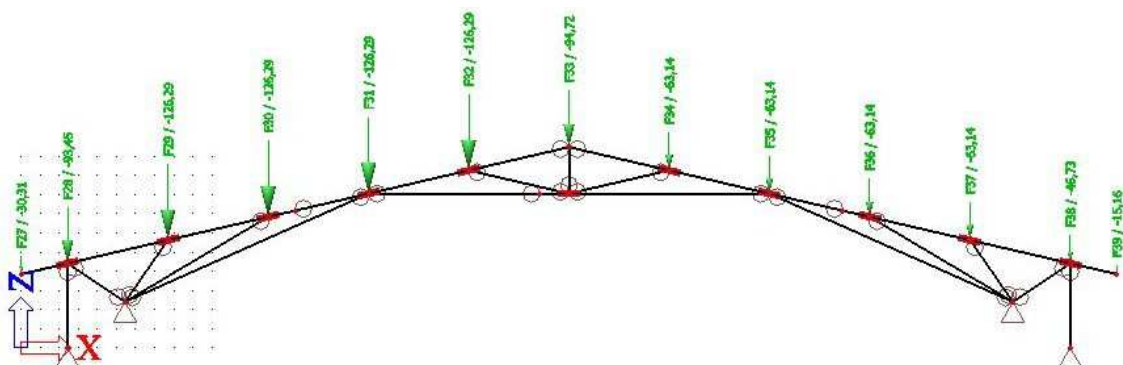
Obr. 11 – Zatěžovací stavy vazníku



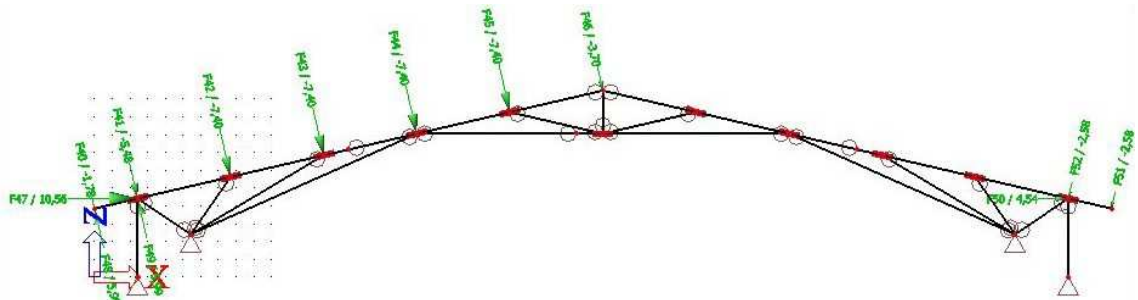
Obr. 12 – ZS2



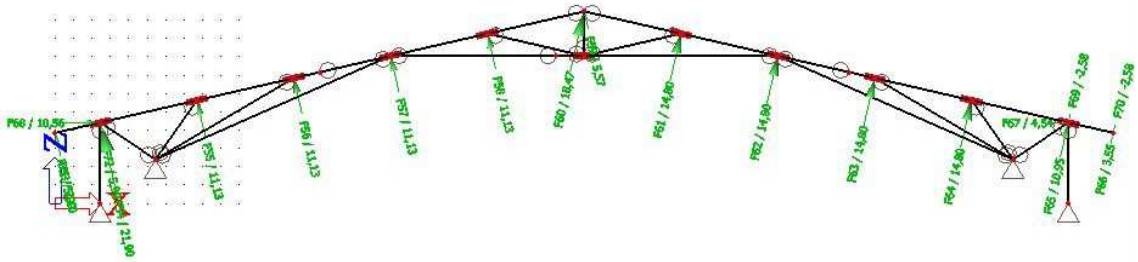
Obr. 13 – ZS3



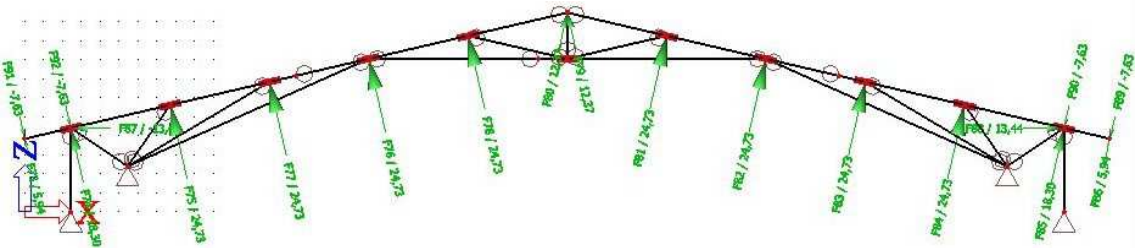
Obr. 14 – ZS4



Obr. 15 – ZS5



Obr. 16 – ZS6



Obr. 17 – ZS7

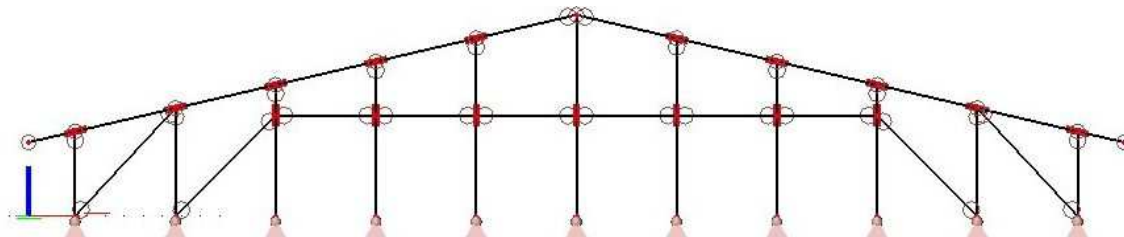
Kombinace

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
		Studentův verze *Studentův verze* *Studentův verze* *Studentův verze* *Studentův verze* *Studentův verze*	
CO1	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS3 - Sníh	1,35 1,35 1,50
CO2	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 1,50 0,90
CO3	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 0,75 1,50
CO4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS5 - Vítr kolmý - max tlak ZS4 - Sníh na půlce poloviční	1,35 1,35 0,90 1,50
CO5	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS5 - Vítr kolmý - max tlak ZS4 - Sníh na půlce poloviční	1,35 1,35 1,50 0,75
CO6	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS7 - Vítr rovnoběžný	1,00 1,00 1,50
CO7	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní plášť ZS6 - Vítr kolmý - max sání	1,00 1,00 1,50

Obr. 18 – Kombinace zatěžovacích stavů vazníku

3.2.2 Štít

- 3D (rám XYZ) – kvůli vložení i kolmého zatížení
- Do zatěžovacího stavu ZS7 Vítr rovnoběžný vkládám tlakové zatížení na štít (zatížení sáním na štít od tohoto větru není podstatné – jiné zatěžovací stavy mají větší zatížení).
- Oba štíty mají stejný model, rozdíl je pouze v tom, že na jedné straně jsou v ŽB stěně vrata a vstupní dveře.



Obr. 19 – Model štítu

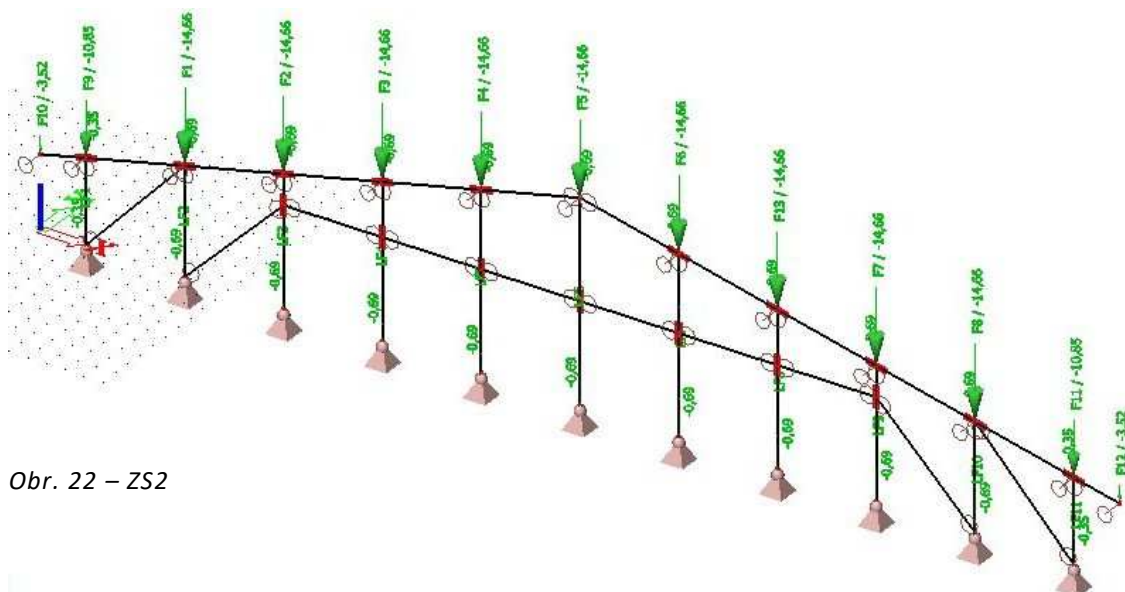


Obr. 20 – Model štítu 3D

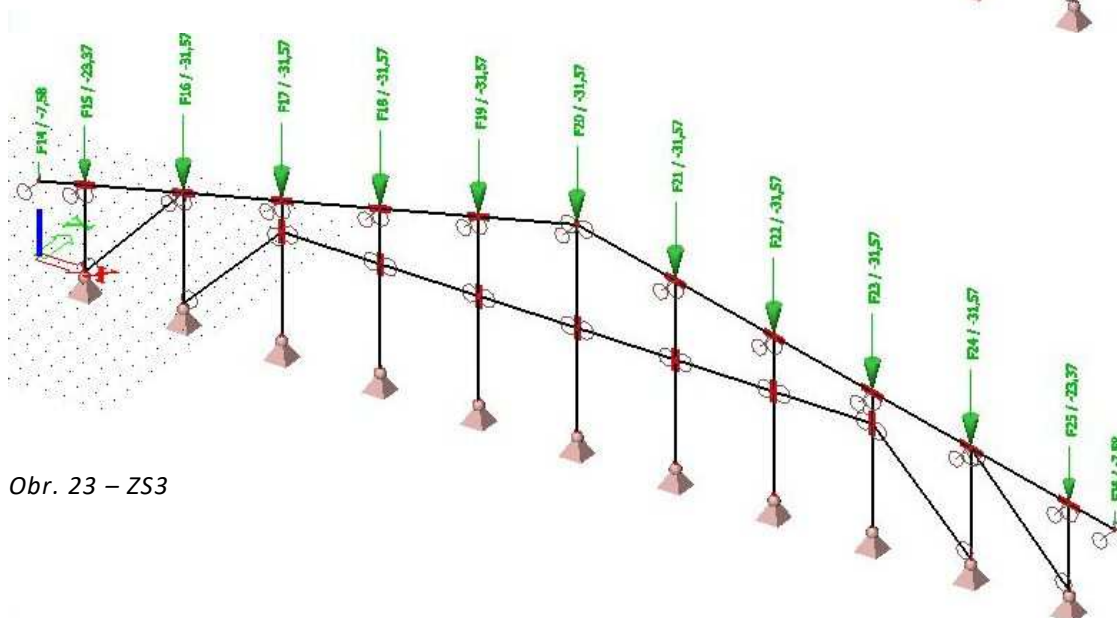
Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Směr	Působení	Rídící zat. stav
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	SZ1	Vlastní tíha		-Z		
ZS2	Střešní + obvodový plášť	Stálé	SZ1	Standard				
ZS3	Sníh	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4	Sníh na půlce poloviční	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS5	Vítr kolmý - max tlak	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS6	Vítr kolmý - max sání	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7	Vítr rovnoběžný	Proměnné	SZ2	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný

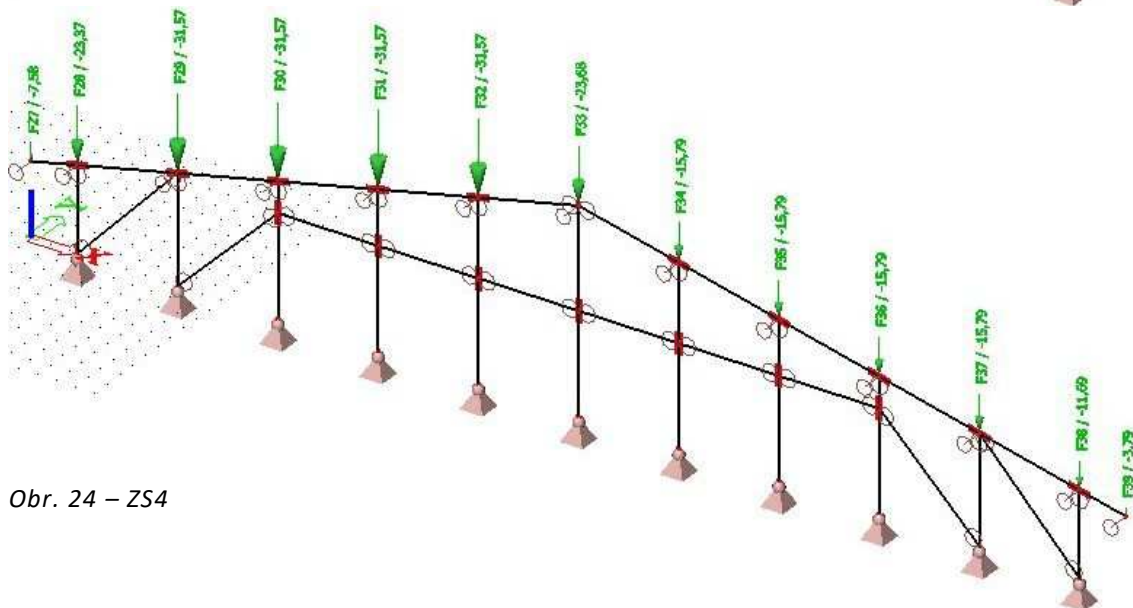
Obr. 21 – Zatěžovací stavy štítu



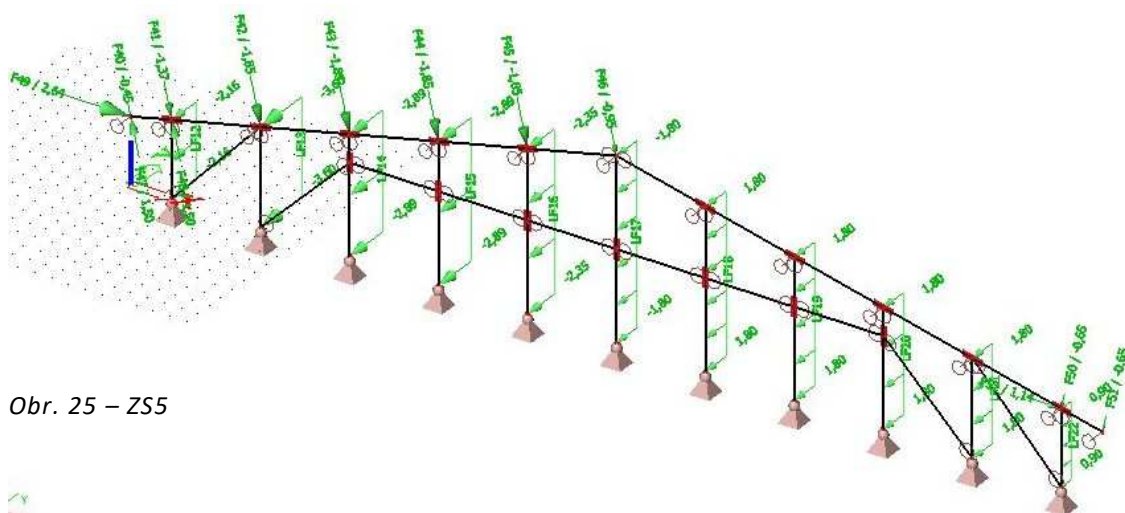
Obr. 22 – ZS2



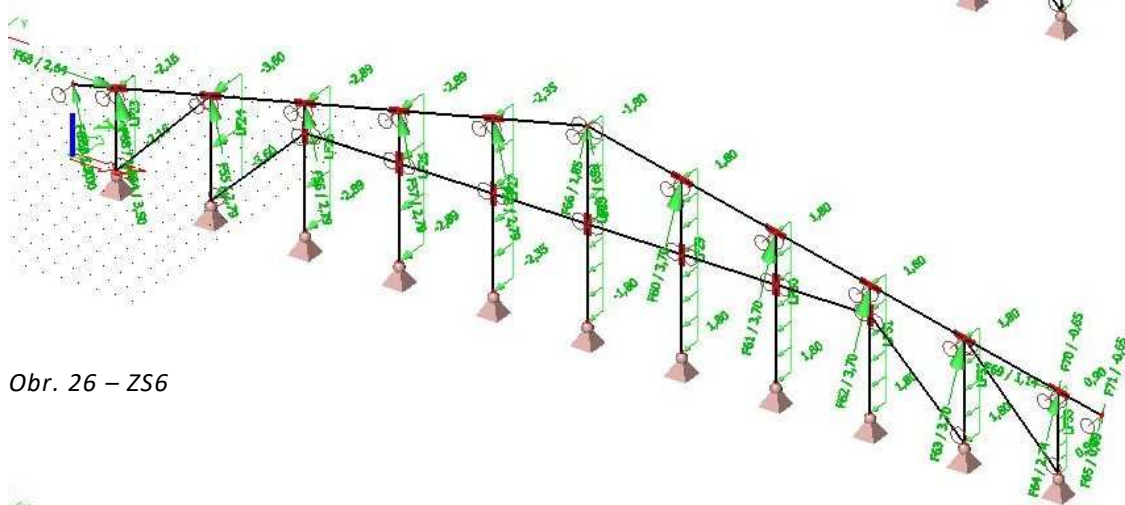
Obr. 23 – ZS3



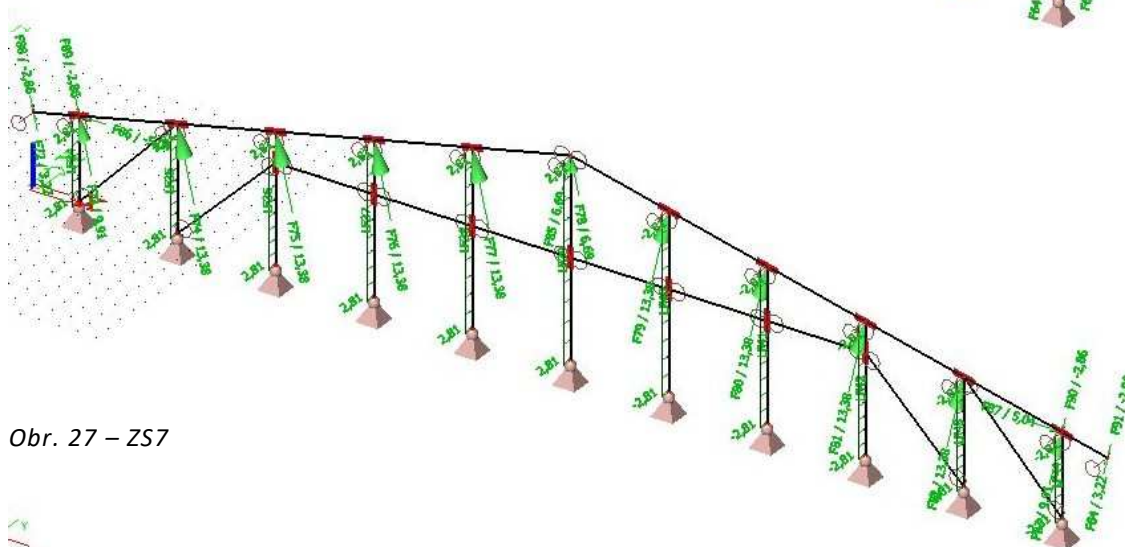
Obr. 24 – ZS4



Obr. 25 – ZS5



Obr. 26 – ZS6



Obr. 27 – ZS7



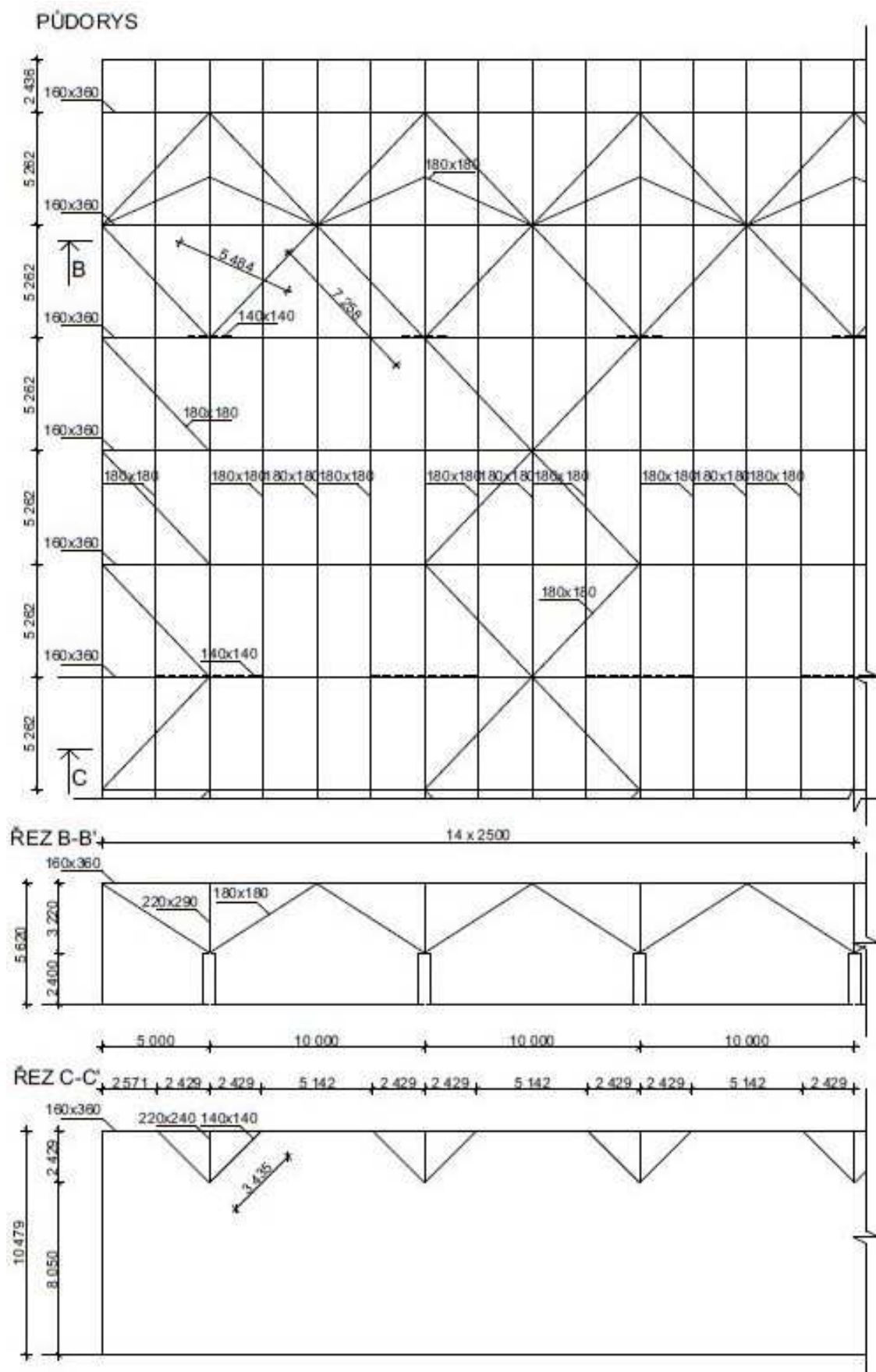
Kombinace

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. []
C01	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS3 - Sníh	1,35 1,35 1,50
C02	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 1,50 0,90
C03	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 0,75 1,50
C04	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS4 - Sníh na půlce poloviční ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 1,50 0,90
C05	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS4 - Sníh na půlce poloviční ZS5 - Vítr kolmý - max tlak	1,35 1,35 0,75 1,50
C06	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS7 - Vítr rovnoběžný	1,00 1,00 1,50
C07	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Střešní + obvodový plášť ZS6 - Vítr kolmý - max sání	1,00 1,00 1,50

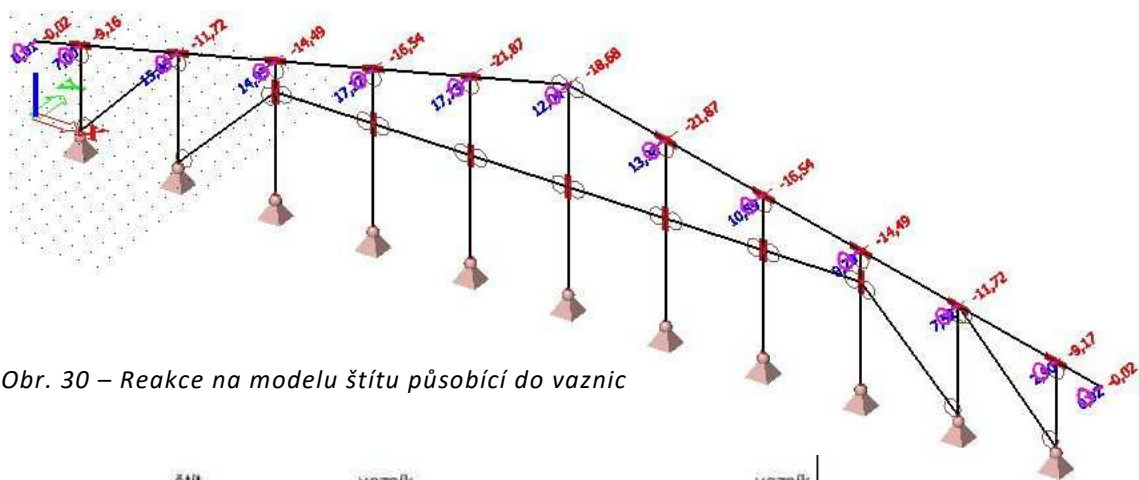
Obr. 28 – Kombinace zatěžovacích stavů štítu

3.3 Výpočet bez využití softwaru – podélné prvky

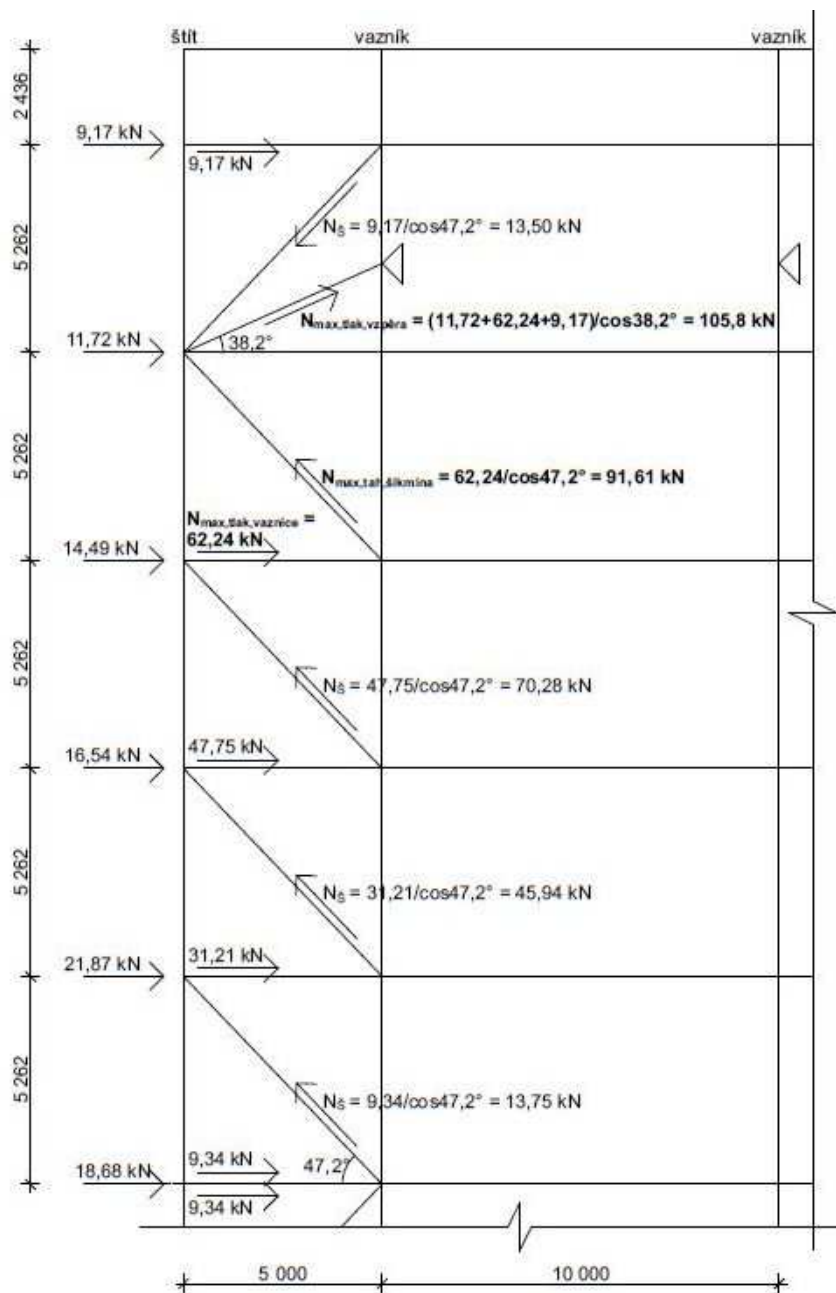
- Podélné ztužení a ztužení v rovině střechy bude zajištěno dřevěnými šikmými prvky a je navrženo na účinky zatížení větrem.
- U vazníkového prvku 8 a 9 bylo zapotřebí snížit vzpěrnou délku pomocí vzpěr vedených od vaznic.
- Reakce vypočtené v programu Scia Engineer u modelu štítu určují zatížení vaznic tlakem/tahem. Rozhodující pro návrh prvků je tlak na štít od větru rovnoběžného (červená čísla reakcí na obr. 30). Šikmé prvky jsou umístěny tak, aby v nich toto zatížení vyvolalo tah. Vaznice jsou zatížené tlakem a vzpěra přenášející tyto síly do ŽB sloupu je také tlačena.



Obr. 29 – Změna návrhu podélných prvků a jejich průřezů



Obr. 30 – Reakce na modelu štítu působící do vaznic



Obr. 31 – Přenos sil z roviny střechy do ŽB sloupu



3.3.1 Šikmina mezi vaznicemi

Výpočet vnitřních sil

$$N_{\max, \text{tah}} = 91,61 \text{ kN (viz obr. 31)}$$

3.3.2 Vzpěra od ŽB sloupu

Výpočet vnitřních sil

$$N_{\max, \text{tlak}} = 105,80 \text{ kN (viz obr. 31)}$$

3.3.3 Vaznička

Výpočet spojitého zatížení na vazničku od kombinace CO1

$$\begin{aligned} (g+q)d &= 1,35 \cdot g_{\text{střešní plášť}} + 1,5 \cdot q_{\text{sníh}} = \\ &= 1,35 \cdot 2,715 + 1,5 \cdot 6 = 12,67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Výpočet vnitřních sil

$$M_{y, \max} = 1/8 \cdot f \cdot l^2 = 1/8 \cdot 12,67 \cdot 5,262^2 = 43,90 \text{ kNm}$$

$$V_{z, \max} = 1/2 \cdot f \cdot l = 1/2 \cdot 12,67 \cdot 5,262 = 33,34 \text{ kN}$$

3.3.4 Vaznice u štítu

Výpočet reakce z vazničky na vaznici od kombinace CO1

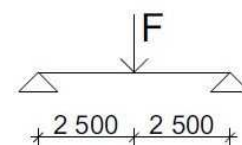
$$\begin{aligned} (G+Q)d &= 1,35 \cdot G_{\text{střešní plášť}} + 1,5 \cdot Q_{\text{sníh}} = \\ &= 1,35 \cdot 14,661 + 1,5 \cdot 31,572 = 67,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

Výpočet vnitřních sil

$$M_{x, \max} = (F/2) \cdot (l/2) = (67,16/2) \cdot 2,5 = 83,95 \text{ kNm}$$

$$V_{z, \max} = 1/2 \cdot F = 1/2 \cdot 67,16 = 33,58 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tlak}} = 62,24 \text{ kN (viz obr. 31)}$$



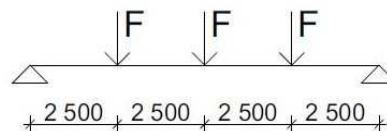
Obr. 32 – Zatížení vaznice u štítu



3.3.5 Vaznice běžná

Výpočet reakce z vazničky na vaznici od kombinace CO1

$$(G+Q)d = 1,35 \cdot G_{\text{střešní plášť}} + 1,5 \cdot Q_{\text{sníh}} = \\ = 1,35 \cdot 14,661 + 1,5 \cdot 31,572 = 67,16 \text{ kN}$$



Obr. 33 – Zatížení vaznice běžné

Výpočet vnitřních sil

$$M_{x,\max} = (3 \cdot F/2) \cdot (l/2) - F \cdot (l/4) = \\ = (3 \cdot 67,16/2) \cdot 5 - 67,16 \cdot 2,5 = 335,80 \text{ kNm}$$

$$V_{z,\max} = (3 \cdot F/2) = (3 \cdot 67,16/2) = 100,74 \text{ kN}$$

3.3.6 Vzpěra pro vazníkový prvek 8

Výpočet reakce z prvku 8 na vzpěru

$$N_{\max, \text{tlak}, \text{prvek8}} = 395 \text{ kN (ze Scie)}$$

- potřebná síla pro zabránění vybočení prvku 8:

$$N_v = 395/30 = 13,20 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních sil

- pro 2 vzpěry v úhlu 45° namáhané tlakem:

$$N_{\max, \text{tlak}} = (13,20/2)/\cos 45^\circ = 9,40 \text{ kN}$$

3.3.7 Vzpěra pro vazníkový prvek 9

Výpočet reakce z prvku 9 na vzpěru

$$N_{\max, \text{tlak}, \text{prvek8}} = 1270 \text{ kN (ze Scie)}$$

- potřebná síla pro zabránění vybočení prvku 8:

$$N_v = 1270/30 = 42,40 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních sil

- pro 2 vzpěry v úhlu 45° namáhané tlakem:

$$N_{\max, \text{tlak}} = (42,40/2)/\cos 45^\circ = 30,00 \text{ kN}$$



4 Posouzení - Vazník

- Pro urychlení posouzení únosnosti prvků ve vzpěrném tlaku a pro rozteče svorníků jsem si vytvořil program v Microsoft Excel 2007.
- Při výpočtech uvažuji zatížení jako krátkodobé (rozhoduje nejkratší zatížení v kombinaci a sníh a vítr jsou dle normy krátkodobá zatížení).
- Při výpočtech uvažuji třídu provozu 1 (teplota 20°C a rel. vlhkost do 65%) – v hale je udržována teplota 15-20 °C a rel. vlhkost 50-60%.
- Spoje jsou navrženy jako svorníkové, plechy budou vkládány dovnitř.
- Svorníky působí dvojstřížně – uvažuji 2x větší únosnost.
- Spoje jsou navrženy na tah i na tlak, výsledný detail zohledňuje jak rozteče pro dřevěné prvky se svorníkovými spoji, tak rozteče pro ocelové plechy.
- Prvky navrhuji z lepeného lamelového dřeva třídy GL32h, které je velmi kvalitní.
- Výšku průřezů lepeného dřeva navrhuji po násobcích 40 mm, což jsou rozměry jednotlivých lamel. Šířka prvků je u vazníku jednotná a to 260mm, což je maximální vyráběná šířka.

4.1 Průhyby

$$U_{x,max} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta_{x,max} = h/200 = 4406/200 = 22 \text{ mm}$$

$$U_{z,max} \leq \Delta_{z,max}$$

$$10 \text{ mm} < 22 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$U_{z,max} = 80 \text{ mm}$$

$$\Delta_{z,max} = h/200 = 46600/200 = 231 \text{ mm}$$

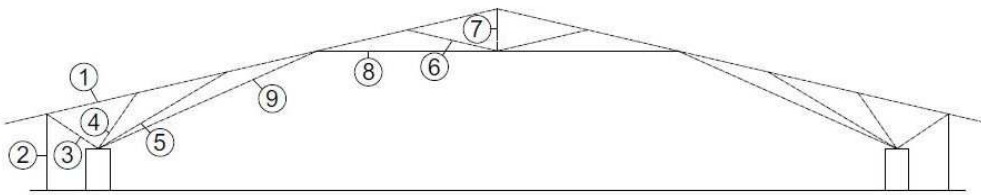
$$U_{z,max} \leq \Delta_{z,max}$$

$$80 \text{ mm} < 231 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

- Výsledky ze Scie, která nezohledňuje prokluz spojů
 - > Po upravení modelu ve SCIE (zmenšení tuhostí ve spojích) by se deformace až 3x zvětšila.
 - > Kvůli minimalizaci deformací se bude průměr otvoru pro každý svorník rovnat průměru svorníku.
 - > Se zvětšením průřezů se průhyb značně zmenšuje.



4.2 Prvek 1



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

Návrh: 0,26 x 0,6 m ($A = 0,156 \text{ m}^2$), GL32h

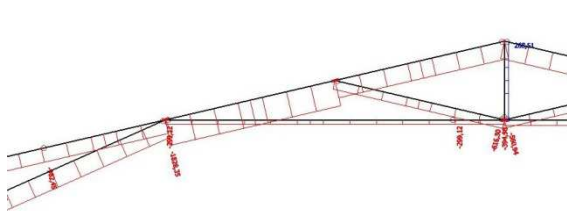
krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = 14,75 \text{ m} + 14,75 \text{ m} = 29,5 \text{ m}$

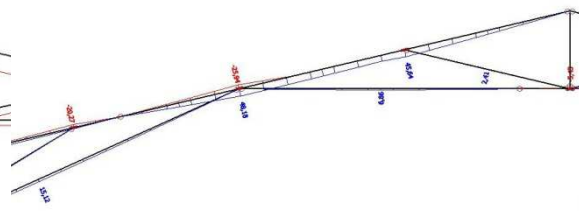
1) Únosnost ve směru měkké osy ($L_{ef} = 5,4 \text{ m}$) viz 4.2.2

$N_{max,tlak} = 1829 \text{ kN}$

$M_y = 50 \text{ kNm}$ (uprostřed vzpěrné délky – mezi vazbami)



Obr. 35 – $N_{max,tlak}$

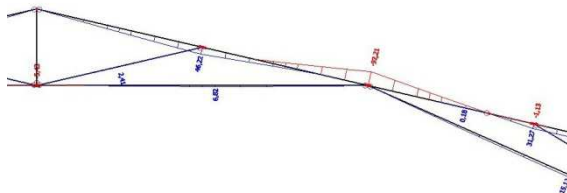


Obr. 36 – M_y

2) Únosnost ve směru tuhé osy (L_{ef} neznámé) viz 4.2.4

$N_{max,tlak} = 1829 \text{ kN}$

$M_y = -93 \text{ kNm}$ (v místě možného vybočení)



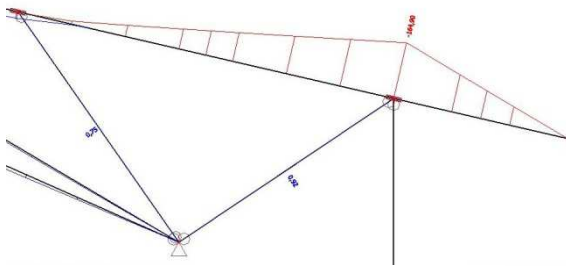
Obr. 37 – M_y

3) Únosnost v místě maximálního momentu viz 4.2.5

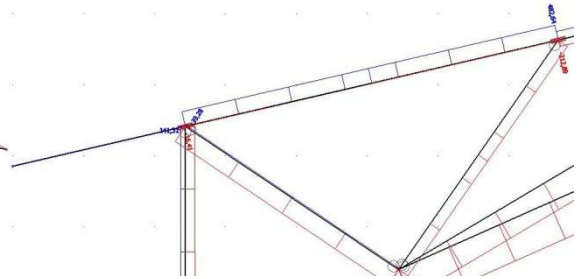
$M_{y,max} = -165 \text{ kNm}$

$N_{max,tah} = 483 \text{ kN}$

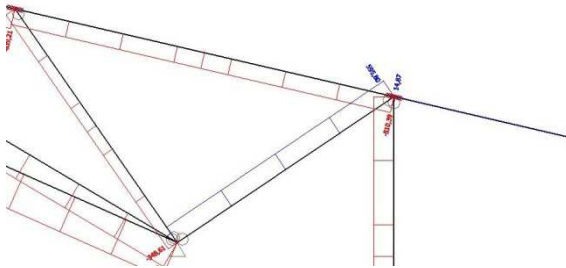
$N_{tlak} = 511 \text{ kN}$



Obr. 38 – $M_{y,max}$



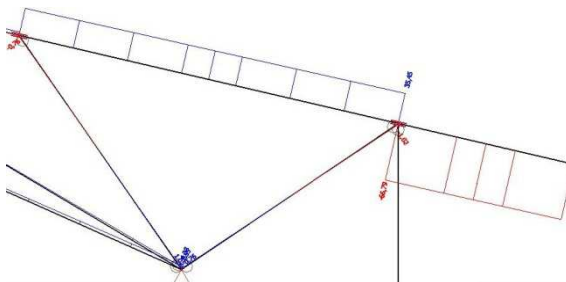
Obr. 39 – $N_{max,tah}$



Obr. 40 – N_{tlak}

4) Únosnost smyková viz 4.3.6

$$V_{z,max} = 67 \text{ kN}$$



Obr. 41 – $V_{z,max}$

4.2.1 Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) - bez ohybu

$$I_{min} = 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 0,6 * 0,26^3 = 0,00087880 \text{ m}^4$$

$$i = \sqrt{I/A} = \sqrt{0,00087880/0,156} = 0,075056 \text{ m}$$

$$\lambda = l_{ef}/i = 5,4/0,075056 = 71,947$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 * E_{0,05} / \lambda^2 = \pi^2 * 11100 / 71,947^2 = 21,164 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{f_{c,o,k} / \sigma_{c,crit}} = \sqrt{29 / 21,164} = 1,171$$

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 * [1 + 0,1 * (1,171 - 0,3) + 1,171^2] = 1,229$$

$$k_c = 1 / [k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}] = 1 / [1,229 + \sqrt{1,229^2 - 1,171^2}] = 0,624$$

$$\sigma_{c,o,d} \leq k_c * f_{c,o,d}$$

$$N_{Ed}/A \leq k_c * k_{mod} * f_{c,o,k} / \gamma_M$$



$$N_{Rd} = A \cdot k_c \cdot k_{mod} \cdot f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,156 \cdot 0,624 \cdot 0,9 \cdot 29 / 1,25 = 2,033 \text{ MN} = 2033 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1$$

$$1829 / 2033 \leq 1$$

0,90 < 1 -> Vyhovuje

4.2.2 Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením

$$k_{c,y} = 0,624 \text{ (viz 4.2.1)}$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,26^2 \cdot 11100 / (0,6 \cdot 5,4) = 180,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 180,6} = 0,42$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

$$\sigma_{c,o,d} = N_d / A = 1829 / 0,156 = 11724 \text{ kPa} = 11,724 \text{ MPa}$$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 29 / 1,25 = 20,880 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 50 / (1/6 \cdot 0,26 \cdot 0,6^2) = 3205 \text{ kPa} = 3,205 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}))^2 + (\sigma_{c,o,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,o,d})) \leq 1$$

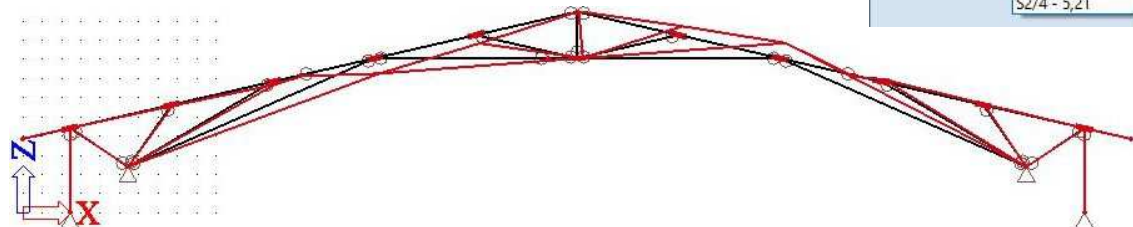
$$(3,205 / (1 \cdot 23,040))^2 + (11,724 / (0,624 \cdot 20,880)) \leq 1$$

0,92 < 1 -> Vyhovuje

4.2.3 Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) - bez ohybu

Neznámá vzpěrná délka -> stabilitní výpočet ve SCIE, kde uvažuji stabilitní kombinace zatížení S2, S7 odpovídající kombinacím zatížení C02, C07 -> výstup: hodnoty součinitele k a příslušné deformace -> podstatné jsou nízké hodnoty souč. k, kterým navíc odpovídá deformace prvku 1 -> k = 4,66.

Obr. 42 – Stabilitní kombinace - výsledné hodnoty souč. k



Obr. 43 – Příslušná def. pro k = 4,66

$$N_{CR} = k \cdot N_{Ed} = 4,66 \cdot 1829 = 8523,14 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{A \cdot f_{c,o,k} / N_{CR}} = \sqrt{0,156 \cdot 29000 / 8523,14} = 0,729$$



$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 * [1 + 0,1 * (0,729 - 0,3) + 0,729^2] = 0,787$$

$$k_c = 1 / [k + \sqrt{(k^2 - \lambda_{rel}^2)}] = 1 / [0,787 + \sqrt{(0,787^2 - 0,729^2)}] = 0,923$$

$$\sigma_{c,o,d} \leq k_c * f_{c,o,d}$$

$$N_{Ed}/A \leq k_c * k_{mod} * f_{c,o,k} / \gamma_M$$

$$N_{Rd} = A * k_c * k_{mod} * f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,156 * 0,923 * 0,9 * 29 / 1,25 = 3,006 \text{ MN} = 3006 \text{ kN}$$

(tato hodnota by odpovídala vzpěrné délce 7,75 m v běžném výpočtu vzpěru)

$$N_{Rd}/N_{Ed,max} \leq 1$$

$$1829/3006 \leq 1$$

$$0,61 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

4.2.4 Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) + ohyb s vybočením

$$k_{c,z} = 0,923 \text{ (viz 4.2.3)}$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 * b^2 * E_{0,05} / (h * L_{ef}) = 0,78 * 0,26^2 * 11100 / (0,6 * 7,75) = 125,9 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{(f_{m,k} / \sigma_{m,crit})} = \sqrt{(32 / 125,9)} = 0,50$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

$$\sigma_{c,o,d} = N_d/A = 1829/0,156 = 11724 \text{ kPa} = 11,724 \text{ MPa}$$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} * f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,9 * 29 / 1,25 = 20,880 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_d/W = M_d / (1/6 * b * h^2) = 93 / (1/6 * 0,26 * 0,6^2) = 5962 \text{ KPa} = 5,961 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} * f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 * 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{m,d} / (k_{crit} * f_{m,d}))^2 + (\sigma_{c,o,d} / (k_{c,z} * f_{c,o,d})) \leq 1$$

$$(5,961 / (1 * 23,040))^2 + (11,724 / (0,923 * 20,880)) \leq 1$$

$$0,68 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

4.2.5 Únosnost: ohyb bez vybočení (v místě styčnicku)

$$\sigma_{m,d} = M_d/W = M_d / (1/6 * b * h^2) = 165 / (1/6 * 0,26 * 0,6^2) = 10577 \text{ KPa} = 10,577 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} * f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 * 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} \leq 1$$

$$10,577 / 23,040 \leq 1$$

$$0,46 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

- V místě styčnicku (kde je maximální moment) nebudou působit maximální hodnoty normálových sil, protože budou už z velké části přenášeny spojovacím plechem. Zbývá pro ně dostatečná rezerva v únosnosti.



4.2.6 Únosnost na smyk

$$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{\max}) / (2 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h) = (3 \cdot 67) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,26 \cdot 0,6) = 962 \text{ kPa} = 0,962 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$$

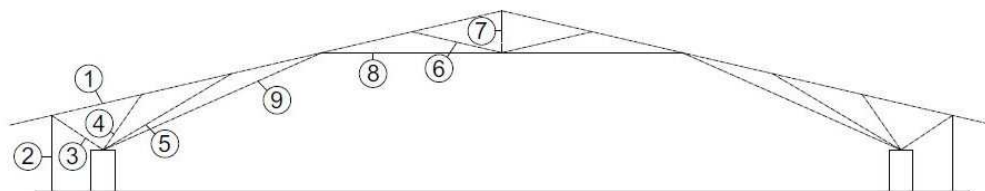
$$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$$

$$0,962 / 2,736 \leq 1$$

$$0,35 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 1 vyhovuje průřez 0,26 x 0,6 m GL32h. Rozhodující je únosnost ve směru měkké osy ($0,92 < 1$) viz 4.2.2.

4.3 Prvek 2



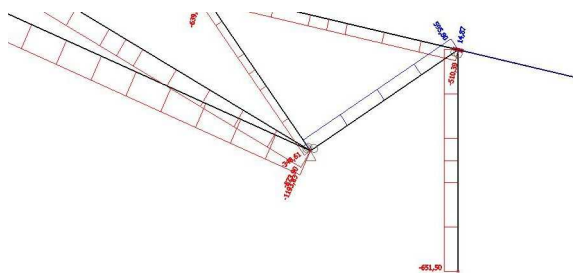
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 652 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 142 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$V_{z, \max} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{y, \max} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 44 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 0,26 x 0,24 m ($A = 0,0624 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 4,413 \text{ m}$$

4.3.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,24	A =	0,0624 m ²
větší rozměr [m]:	0,26	I _{min} =	0,00029952 m ⁴
efektivní délka [m]:	4,413	i =	0,069282 m
		λ =	63,696 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	27,002 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,036 -
β _c =	0,1 -	k =	1,074 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,738 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	962 kN

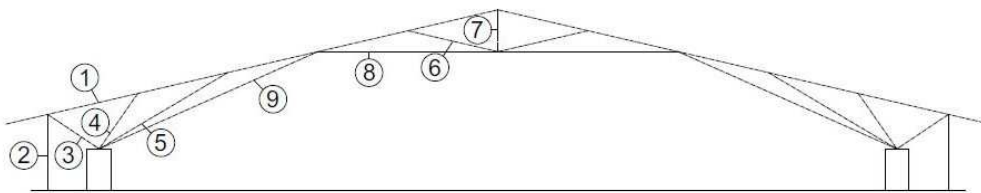
$$N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$652/962 \leq 1$$

$$0,68 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 2 vyhovuje průřez 0,26 x 0,24 m GL32h.

4.4 Prvek 3



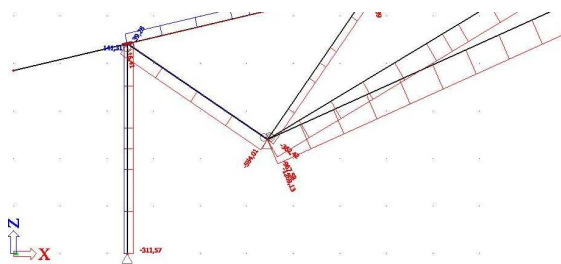
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{max,tlak} = 584 \text{ kN}$$

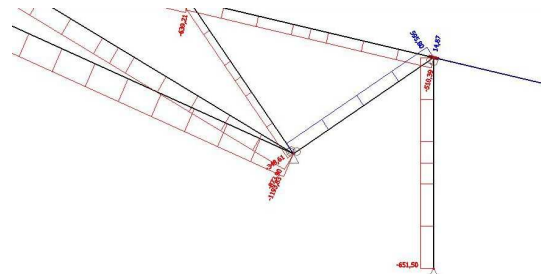
$$N_{max,tah} = 596 \text{ kN}$$

$$V_{z,max} = 1 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y,max} = 1 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 45 – N_{max,tlak}



Obr. 46 – N_{max,tah}



Návrh: 0,26 x 0,2 m ($A = 0,052 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = L_{ef} = 3,619 \text{ m}$

4.4.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,2	A =	0,052 m ²
větší rozměr [m]:	0,26	$I_{min} =$	0,00017333 m ⁴
efektivní délka [m]:	3,619	i =	0,057735 m
		$\lambda =$	62,683 -
$E_{0,05} =$	11100 Mpa	$\sigma_{c,crit} =$	27,882 Mpa
$f_{c,o,k} =$	29 Mpa	$\lambda_{rel} =$	1,020 -
$\beta_c =$	0,1 -	k =	1,056 -
$k_{mod} =$	0,9 -	$k_c =$	0,752 -
$\gamma_M =$	1,25 -	$N_{Rd} =$	816 kN

$$N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$584/816 \leq 1$$

0,72 < 1 -> Vyhovuje

4.4.2 Únosnost: tah

$$\sigma_{t,o,d} \leq f_{t,o,d}$$

$$N_{Ed}/A \leq k_{mod} * f_{t,o,k} / \gamma_M$$

$$N_{Rd} = A * k_{mod} * f_{t,o,k} / \gamma_M = 0,052 * 0,9 * 22,5 / 1,25 = 0,843 \text{ MN} = 843 \text{ kN}$$

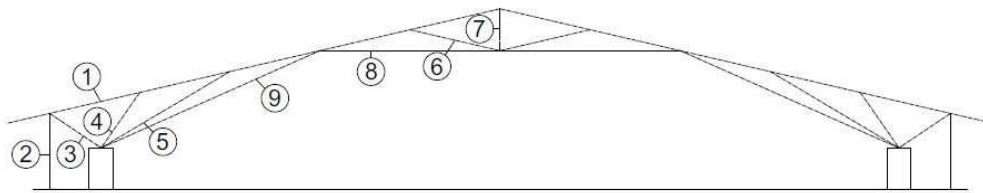
$$N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$596/843 \leq 1$$

0,71 < 1 -> Vyhovuje

-> Pro prvek 3 vyhovuje průřez 0,26 x 0,2 m GL32h.

4.5 Prvek 4



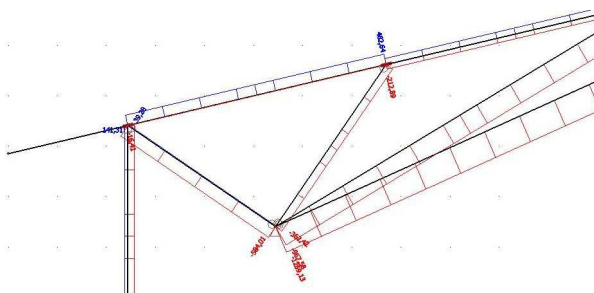
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 363 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 1 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y, \max} = 1 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 47 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 0,26 x 0,2 m ($A = 0,052 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 3,935 \text{ m}$$

4.5.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,2	A =	0,052 m ²
větší rozměr [m]:	0,26	I _{min} =	0,00017333 m ⁴
efektivní délka [m]:	3,935	i =	0,057735 m
		λ =	68,156 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c, crit} =	23,584 Mpa
f _{c, 0, k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,109 -
β _c =	0,1 -	k =	1,155 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,676 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	734 kN

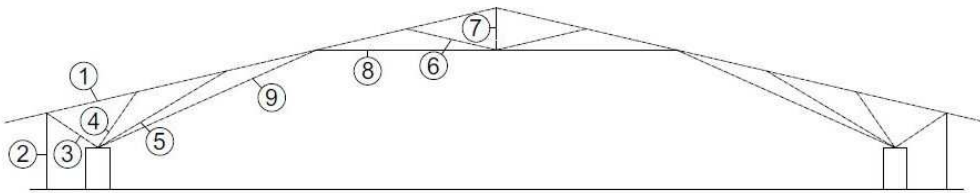
$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$363/734 \leq 1$$

$$0,50 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 4 vyhovuje průřez 0,26 x 0,2 m GL32h.

4.6 Prvek 5



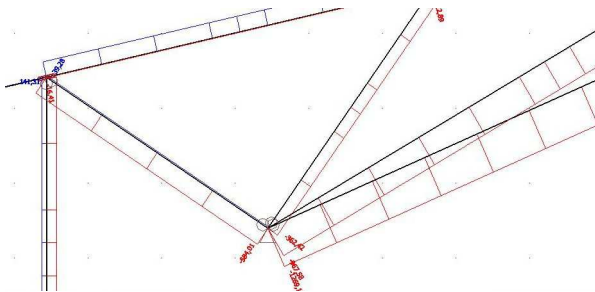
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 968 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 3 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y, \max} = 6 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 48 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 0,26 x 0,76 m ($A = 0,1976 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 8,728 \text{ m}$$

4.6.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,26	A =	0,1976 m ²
větší rozměr [m]:	0,76	I _{min} =	0,00111315 m ⁴
efektivní délka [m]:	8,728	i =	0,075056 m
		λ =	116,287 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c, crit} =	8,101 Mpa
f _{c, o, k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,892 -
β _c =	0,1 -	k =	2,369 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,263 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	1087 kN

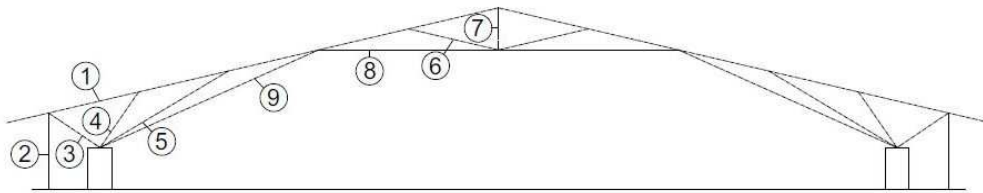
$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$968/1087 \leq 1$$

$$0,89 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 5 vyhovuje průřez 0,26 x 0,76 m GL32h.

4.7 Prvek 6



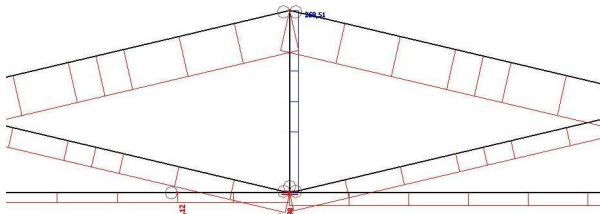
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 617 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 2 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y, \max} = 2 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 49 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 0,26 x 0,28 m ($A = 0,0728 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 5,4 \text{ m}$$

4.7.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,26	A =	0,0728 m ²
větší rozměr [m]:	0,28	I _{min} =	0,00041011 m ⁴
efektivní délka [m]:	5,4	i =	0,075056 m
		λ =	71,947 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c, crit} =	21,164 Mpa
f _{c, 0, k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,171 -
β _c =	0,1 -	k =	1,229 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,624 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	949 kN

$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

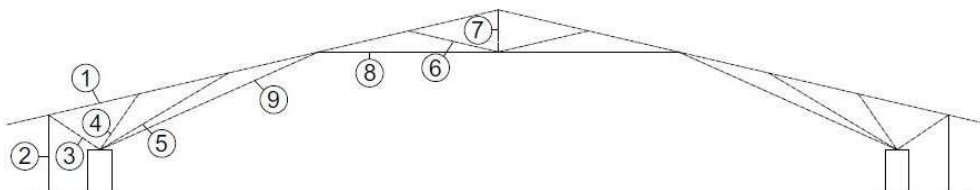
$$617/949 \leq 1$$

$$0,65 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 6 vyhovuje průřez 0,26 x 0,28 m GL32h.



4.8 Prvek 7



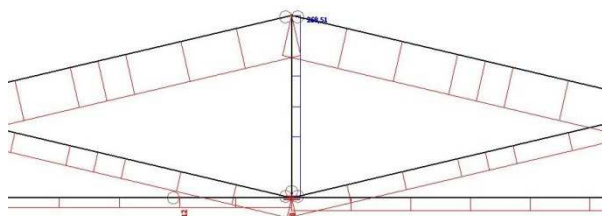
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 269 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{y, \max} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 50 – $N_{\max, \text{tah}}$

Návrh: 0,26 x 0,2 m ($A = 0,052 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 2,426 \text{ m}$$

4.8.1 Únosnost: tah

$$\sigma_{t, o, d} \leq f_{t, o, d}$$

$$N_{\text{Ed}}/A \leq k_{\text{mod}} \cdot f_{t, o, k} / \gamma_{\text{M}}$$

$$N_{\text{Rd}} = A \cdot k_{\text{mod}} \cdot f_{t, o, k} / \gamma_{\text{M}} = 0,052 \cdot 0,9 \cdot 22,5 / 1,25 = 0,843 \text{ MN} = 843 \text{ kN}$$

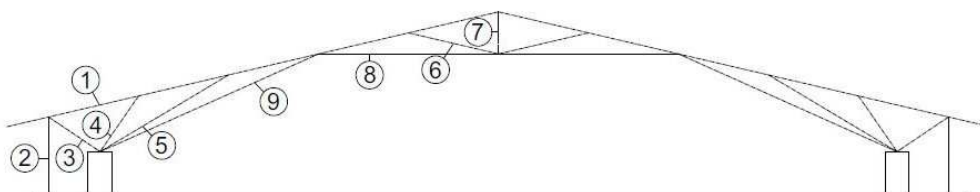
$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$269/843 \leq 1$$

$$0,32 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 7 vyhovuje průřez 0,26 x 0,2 m GL32h.

4.9 Prvek 8



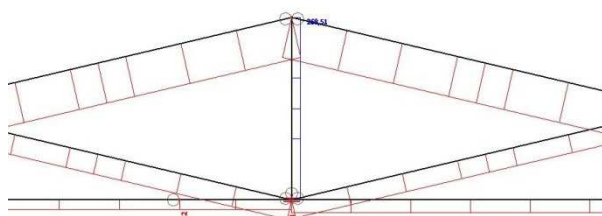
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 395 \text{ kN} / 2 = 198 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 4 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y, \max} = 7 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 51 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 2x 0,26 x 0,28 m ($A = 2 \times 0,0728 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = 9 \text{ m} + 12,046 \text{ m} = 21,046 \text{ m}$, $L_{\text{ef}} = 10,523 \text{ m}$

4.9.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,26	A =	0,0728 m ²
větší rozměr [m]:	0,28	I _{min} =	0,00041011 m ⁴
efektivní délka [m]:	10,523	i =	0,075056 m
		λ =	140,203 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c, crit} =	5,573 Mpa
f _{c, o, k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	2,281 -
β _c =	0,1 -	k =	3,201 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,184 -
γ _M =	1,25 -	NR _d =	279 kN

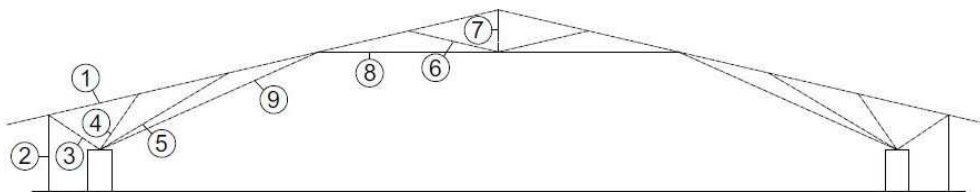
$$N_{\text{Ed}} / N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$198 / 279 \leq 1$$

$$0,71 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 8 vyhovuje průřez 2x 0,26 x 0,28 m GL32h.

4.10 Prvek 9



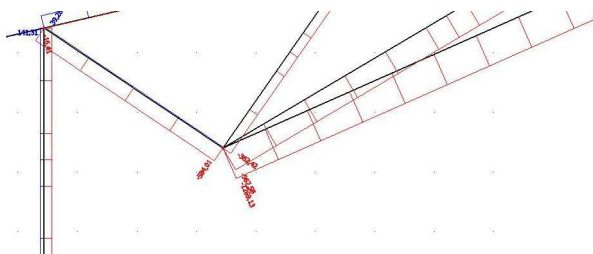
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

$$N_{\max, \text{tlak}} = 1270 \text{ kN} / 2 = 635 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 4 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

$$M_{y, \max} = 15 \text{ kNm} - \text{zanedbávám}$$



Obr. 52 – $N_{\max, \text{tlak}}$

Návrh: 2x 0,26 x 0,48 m ($A = 2x 0,1248 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = 13,971 \text{ m}$, $L_{ef} = 8,5 \text{ m}$ (vzpěry proti vybočení v místě vaznice)

4.10.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,26	$A =$	0,1248 m^2
větší rozměr [m]:	0,48	$I_{\min} =$	0,00070304 m^4
efektivní délka [m]:	8,5	$i =$	0,075056 m
		$\lambda =$	113,249 -
$E_{0,05} =$	11100 Mpa	$\sigma_{c, \text{crit}} =$	8,542 Mpa
$f_{c, o, k} =$	29 Mpa	$\lambda_{\text{rel}} =$	1,843 -
$\beta_c =$	0,1 -	$k =$	2,275 -
$k_{\text{mod}} =$	0,9 -	$k_c =$	0,277 -
$\gamma_M =$	1,25 -	$N_{Rd} =$	722 kN

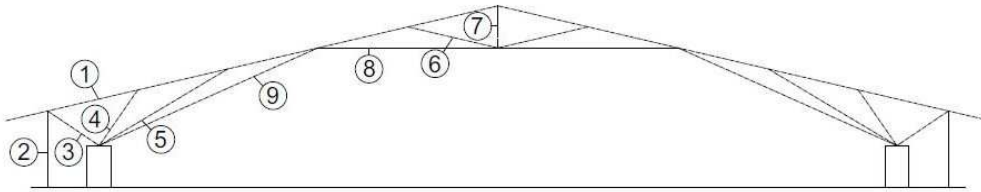
$$N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1$$

$$635 / 722 \leq 1$$

$$0,88 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro prvek 9 vyhovuje průřez 2x 0,26 x 0,48 m GL32h.

4.11 Spoj prvků 1,2,3



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.11.1 Spoj prvek 3 – plech

Prvek 3:

$N_{\max, \text{tlak}} = 584 \text{ kN}$ - nerozhoduje

$N_{\max, \text{tah}} = 596 \text{ kN}$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN}$ (dvojstřížně)

$n_{\min} = N_d / F_{v, Rd} = 596 / 217,2 = 2,75$

-> Navrhují 3 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.25mm, oslabený průřez 134 x 25mm ($A = 0,00335 \text{ m}^2$)

$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_M = 235 / 1,15 = 204,3 \text{ MPa}$

$\sigma_d = N_d / A = 596 / 0,00335 = 177910 \text{ kPa} = 178,0 \text{ MPa}$

$F_{yd} > \sigma_d$

$204,3 \text{ MPa} > 178,0 \text{ MPa}$ -> Vyhovuje

-> Průřez prvku 3 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

4.11.2 Spoj prvek 2 – plech

Prvek 2:

$N_{\max, \text{tlak}} = 652 \text{ kN}$

$N_{\max, \text{tah}} = 142 \text{ kN}$ - nerozhoduje

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN}$ (dvojstřížně)



$$n_{\min} = N_d / F_{v,Rd} = 652 / 217,2 = 3,00$$

-> Navrhují 3 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.25mm, oslabený průřez 134 x 25mm ($A = 0,00335 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_M = 235 / 1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = N_d / A = 652 / 0,00335 = 194627 \text{ kPa} = 194,7 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 194,7 MPa -> Vyhovuje

-> Průřez prvku 2 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

4.11.3 Spoj prvek 1 – plech

Výslednice sil F působící přes plech na prvek 1:

- uvažují maximální hodnoty zatížení všech prvků

$$\begin{aligned} F_{\text{kolmo na prvek 1}} &= N_{\text{max,tlak,prvek2}} \cdot \sin\alpha - N_{\text{max,tah,prvek3}} \cdot \sin\alpha = \\ &= 652 \cdot \sin 77^\circ - 596 \cdot \sin 46,7^\circ = 201,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{ve směru prvku 1}} &= N_{\text{max,tlak,prvek2}} \cdot \cos\alpha + N_{\text{max,tah,prvek3}} \cdot \cos\alpha = \\ &= 652 \cdot \cos 77^\circ + 596 \cdot \cos 46,7^\circ = 555,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F = \sqrt{(F_{\text{kolmo na prvek 1}})^2 + (F_{\text{ve směru prvku 1}})^2} = \sqrt{(201,5)^2 + (555,4)^2} = 591 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$$F_{v,Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstrážně)}$$

$$n_{\min} = N_d / F_{v,Rd} = 591 / 217,2 = 2,72$$

-> Navrhují 3 svorníky.

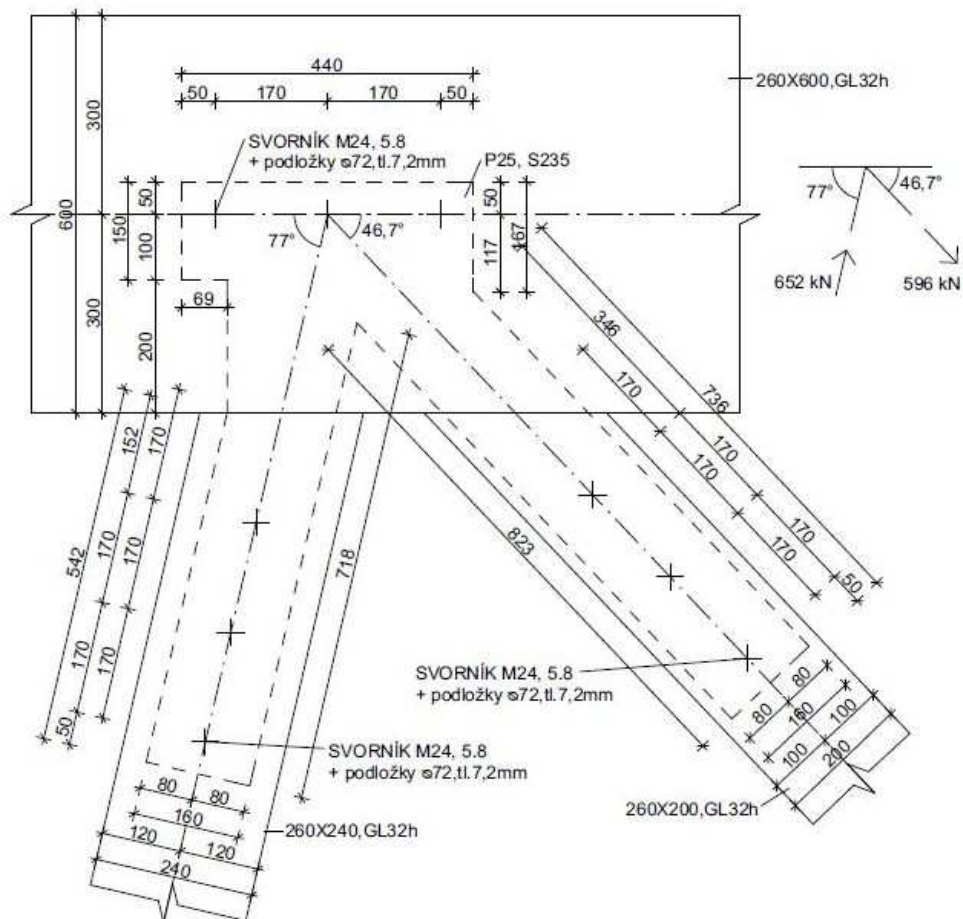
-> Průřez prvku 1 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

a_1	Flornoběžně s vláknem	$(4 + \lfloor \cos\alpha \rfloor)d$
a_2	Kolmo k vláknům	$4d$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d$ (minimálně 80 mm)
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$
	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$(1 + \lfloor 6 \sin\alpha \rfloor)d$ (minimálně 4d)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2 + 2 \sin\alpha)d$ (minimálně 3d)
$a_{4,c}$	všechny ostatní hodnoty úhlu α	$3d$

Obr. 53 – Vzorce: Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích

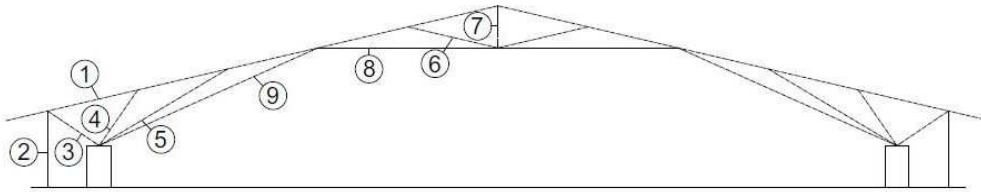


Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	0	[°]	
d (průměr svorníku):	24	[mm]	
a ₁ (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	168	[mm]
a ₂ (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	96	[mm]
a _{3t} (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	168	[mm]
a _{3c} (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	96	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	96	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	96	[mm]
a _{4t} (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	72	[mm]
a _{4c} (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	72	[mm]



Obr. 54 – Spoj prvků 1,2,3

4.12 Spoj prvků 1,4



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.12.1 Spoj prvek 4 – plech

Prvek 4:

$$N_{\max, \text{tlak}} = 363 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_o=26\text{mm}$)

$$F_{V, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstrážně)}$$

$$n_{\min} = N_d / F_{V, Rd} = 363 / 217,2 = 1,67$$

-> Navrhuji 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.15mm, oslabený průřez 174 x 15mm ($A = 0,00261 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_M = 235 / 1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

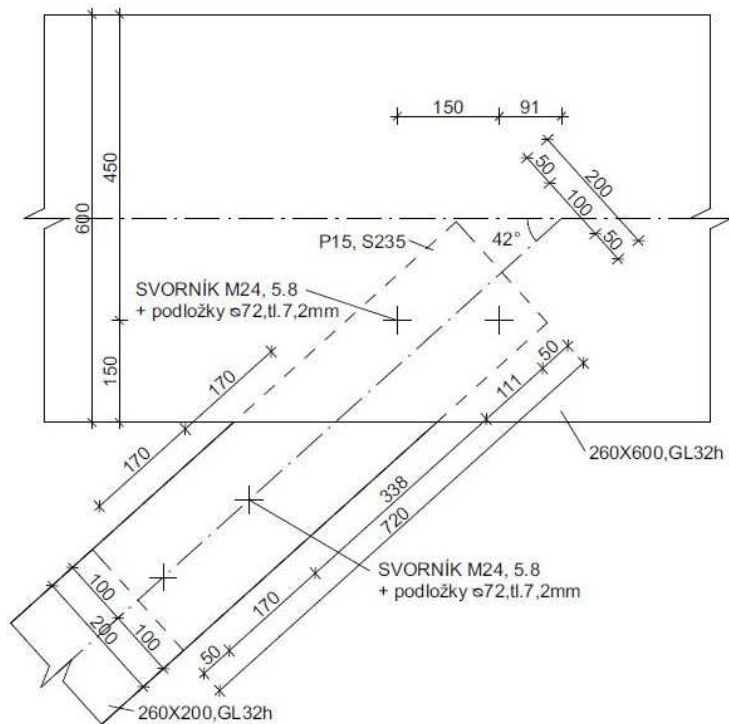
$$\sigma_d = N_d / A = 363 / 0,00261 = 139081 \text{ kPa} = 139,1 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 139,1 MPa -> Vyhovuje

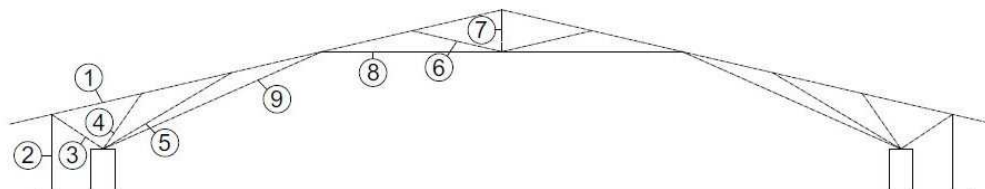
-> Průřez prvku 4 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	42	[°]	
d (průměr svorníku):	24	[mm]	
a_{1} (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	150	[mm]
a_{2} (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	96	[mm]
a_{3t} (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	168	[mm]
a_{3c} (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	120	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	96	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	120	[mm]
a_{4t} (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	80	[mm]
a_{4c} (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	72	[mm]



Obr. 55 – Spoj prvků 1,4

4.13 Spoj prvků 1,5



Obr. 56 – Označení prvků vazníku

4.13.1 Spoj prvek 5 – plech

Prvek 5:

$$N_{\max, \text{tlak}} = 968 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstřížně)}$$

$$n_{\min} = N_d / F_{v, Rd} = 968 / 217,2 = 4,46$$

-> Navrhuji 5 svorníků.

Návrh: Plech S235 tl.20mm, oslabený průřez 294 x 20mm ($A = 0,00588 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

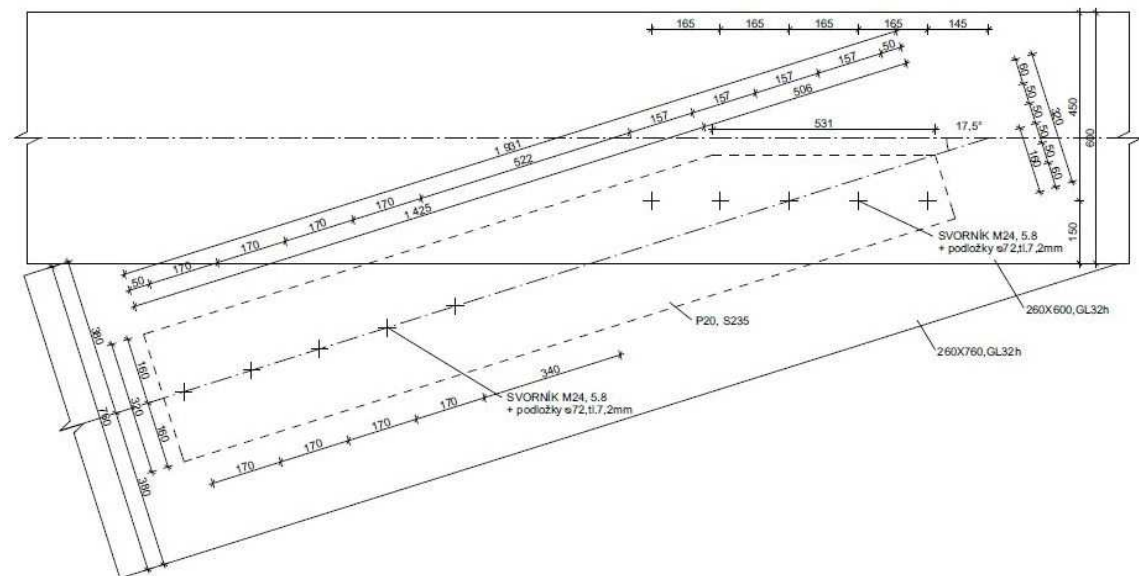
$$\sigma_d = N_d/A = 968/0,00588 = 164626 \text{ kPa} = 164,7 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 164,7 MPa -> Vyhovuje

-> Průřez prvku 5 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

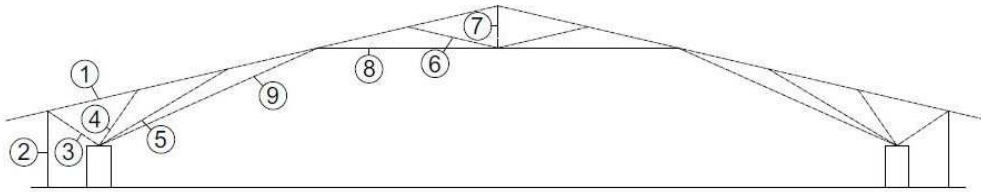
Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	17,5	[°]	
d (průměr svorníku):	24	[mm]	
a ₁ (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	165	[mm]
a ₂ (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	96	[mm]
a _{3t} (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	168	[mm]
a _{3c} (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	96	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	96	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	96	[mm]
a _{4t} (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	72	[mm]
a _{4c} (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	72	[mm]



Obr. 57 – Spoj prvků 1,5



4.14 Spoj prvků 1,6



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.14.1 Spoj prvek 6 – plech

Prvek 6:

$$N_{\max, \text{tlak}} = 617 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstrážně)}$$

$$n_{\min} = N_d / F_{v, Rd} = 617 / 217,2 = 2,84$$

-> Navrhuji 3 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.15mm, oslabený průřez 254 x 15mm ($A = 0,00381 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_M = 235 / 1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

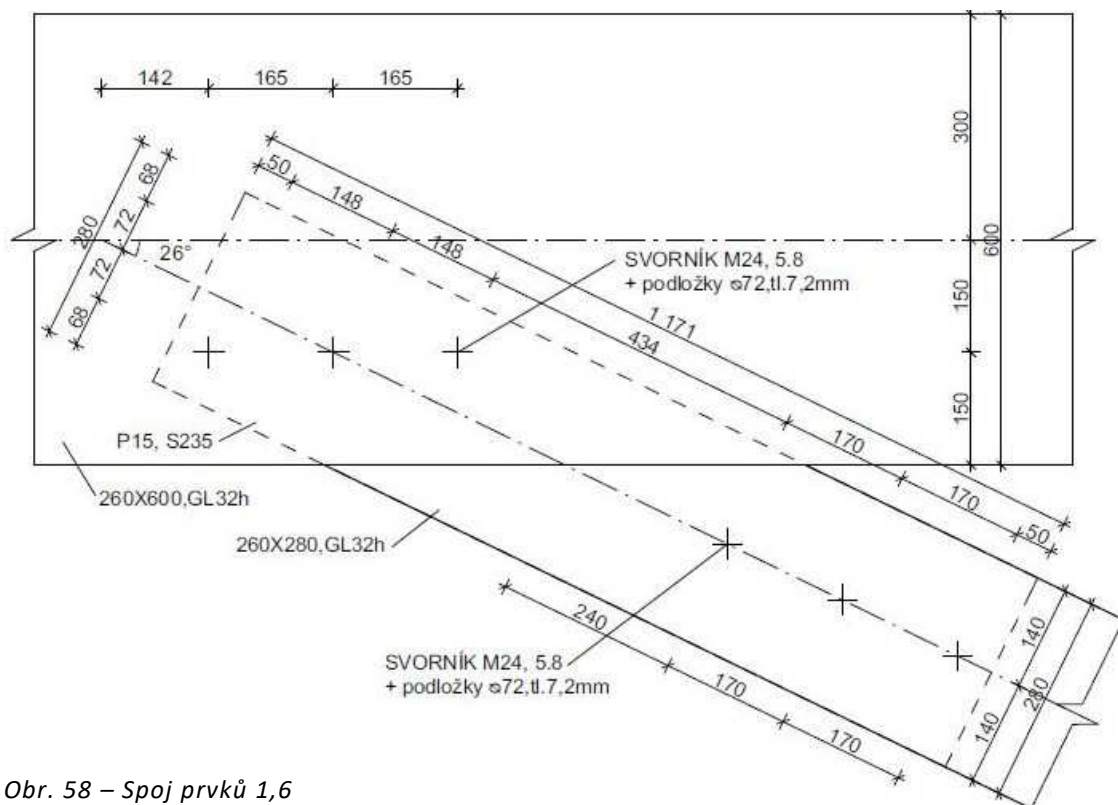
$$\sigma_d = N_d / A = 617 / 0,00381 = 161943 \text{ kPa} = 162,0 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

$$204,3 \text{ MPa} > 162,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

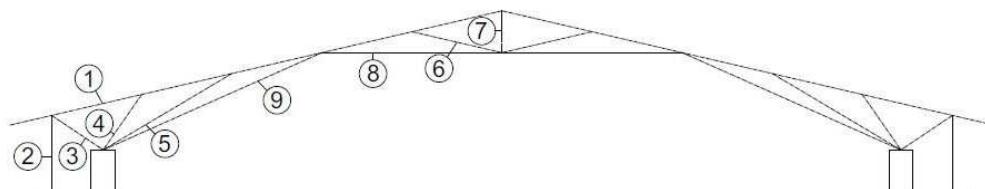
-> Průřez prvku 6 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	26	[°]	
d (průměr svorníku):	24	[mm]	
a ₁ (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	161	[mm]
a ₂ (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	96	[mm]
a _{3t} (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	168	[mm]
a _{3c} (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	96	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	96	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	96	[mm]
a _{4t} (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	72	[mm]
a _{4c} (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	72	[mm]



Obr. 58 – Spoj prvků 1,6

4.15 Spoj prvků 1,1,7



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.15.1 Spoj prvek 7 – plech

Prvek 7:

$$N_{\max, \text{tlak}} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 269 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_o=26\text{mm}$)

$$F_{V, Rd} = 108,6\text{kN} \cdot 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstřížně)}$$

$$n_{\min} = N_d / F_{V, Rd} = 269 / 217,2 = 1,24$$

-> Navrhuji 2 svorníky.



Návrh: Plech S235 tl.15mm, oslabený průřez 174 x 15mm ($A = 0,00261 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = N_d/A = 269/0,00261 = 103066 \text{ kPa} = 103,1 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 103,1 MPa -> Vyhovuje

-> Průřez prvku 7 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

4.15.2 Spoj prvek 1 – plech

Prvek 1 (v místě vrcholového spoje):

$$N_{\max, \text{tlak}} = 1281 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_o=26\text{mm}$)

$$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} * 2 = 217,2 \text{ kN (dvojstřižně)}$$

$$n_{\min} = N_d/F_{v, Rd} = 1281/217,2 = 5,90$$

-> Navrhují 3 svorníky (prvek 1 s prvkem 1 jsou umístěny na sraz – tlak se mezi nimi nepřenáší přes svorníky a plech.

Návrh: Plech S235 tl.15mm, oslabený průřez 274 x 15mm ($A = 0,00411 \text{ m}^2$)

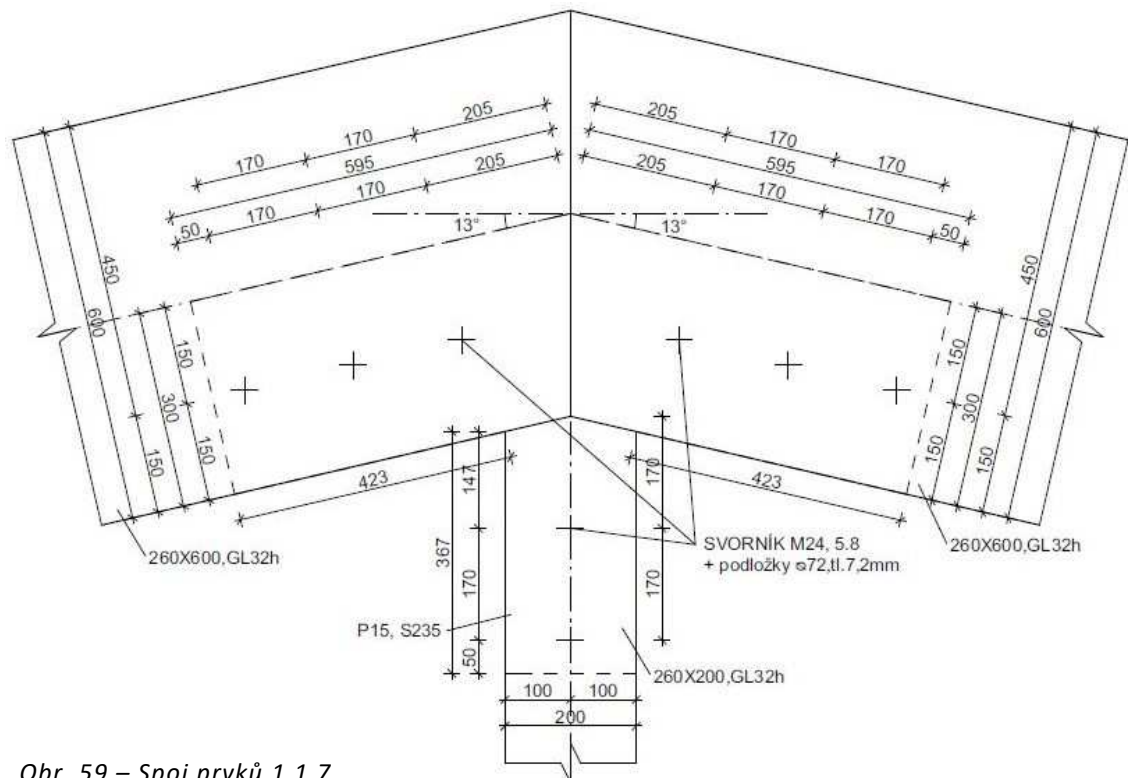
$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = N_d/A = 1281/0,00411 = 311679 \text{ kPa} = 311,7 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

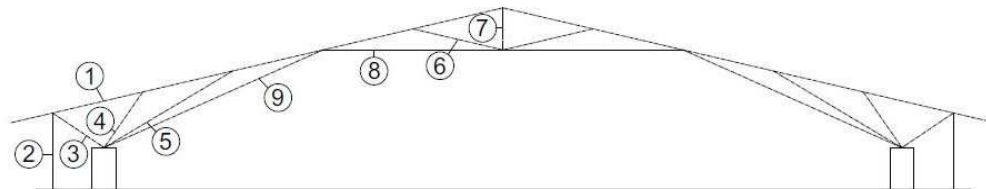
204,3 MPa < 311,7 MPa -> Vyhovuje, protože tlak se přenáší mezi prvky 1 a 1 na přímo.

-> Průřez prvku 1 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.



Obr. 59 – Spoj prvků 1,1,7

4.16 Spoj prvků 6,7,8



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.16.1 Spoj prvek 8 – plech spojující prvky 6,7

Prvek 8:

$N_{\max, \text{tlak}} = 395 \text{ kN}$ (obě pásnice dohromady) (tento styčník ale přenáší jen část)

$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

$F_{v, Rd} = 108,6\text{kN} * 2 = 217,2 \text{ kN}$ (dvojtřížně)

$n_{\min} = N_d / F_{v, Rd} = 395 / 217,2 = 1,82$

-> Navrhují 2 svorníky.



Návrh: Plech S235 tl.15mm, oslabený průřez 261 x 15mm ($A = 0,00391 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = N_d/A = 395/0,00391 = 101023 \text{ kPa} = 101,1 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

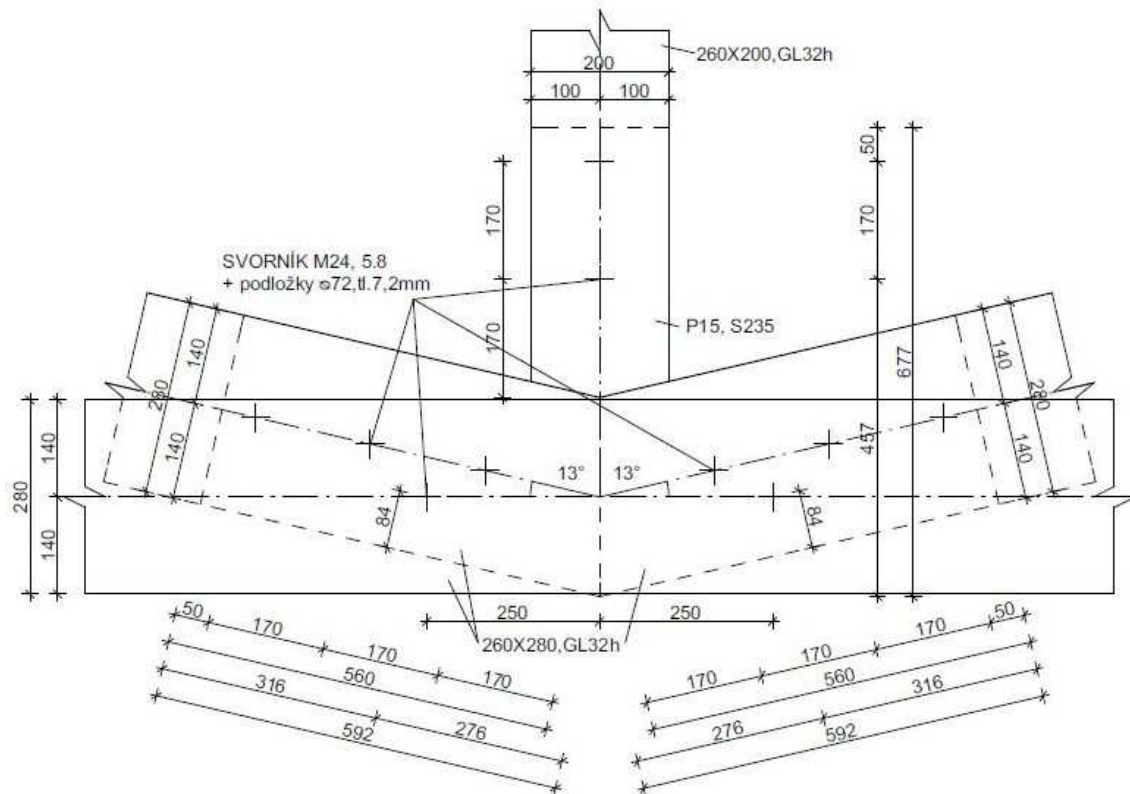
204,3 MPa > 101,1 MPa -> Vyhovuje

-> Průřezy prvku 8 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

- Spoj prvek 6 – plech viz 4.14.1 (3 svorníky, P15).

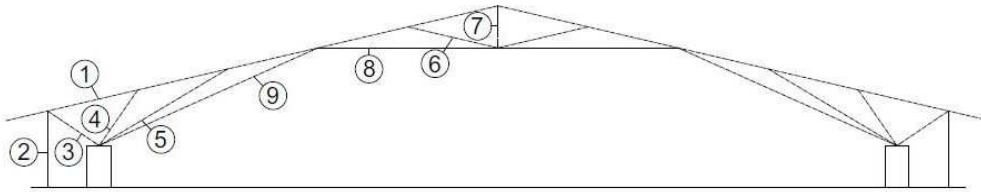
-> V tomto styčnicku je nutné ve spoji prvek 6 – plech zapustit matky kvůli prvku 8.

- Spoj prvek 7 – plech viz 4.15.1 (2 svorníky, P15).



Obr. 60 – Spoj prvků 6,7,8

4.17 Spoj prvků 1,8,9



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.17.1 Spoj prvek 9 – prvek 1

Prvek 9:

$N_{\max, \text{tlak}} = 1270 \text{ kN}$ (obě pásnice dohromady)

$N_{\max, \text{tah}} = 0 \text{ kN}$

Návrh: Svorník M24 5.8 ($d_0=26\text{mm}$)

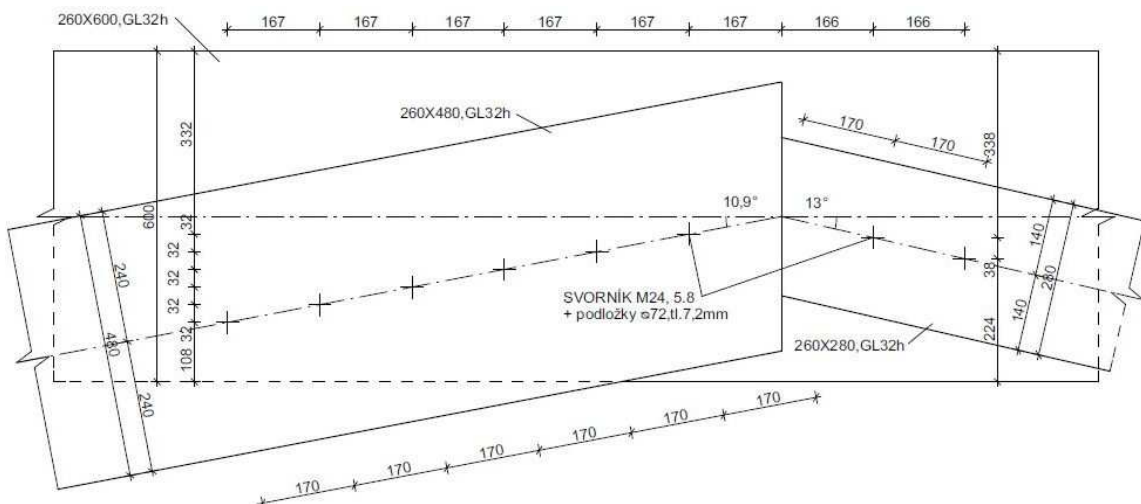
$F_{v, \text{Rd}} = 108,6\text{kN} * 2 = 217,2 \text{ kN}$ (dvojtřížně)

$n_{\min} = N_d / F_{v, \text{Rd}} = 1270 / 217,2 = 5,85$

-> Navrhuji 6 svorníků.

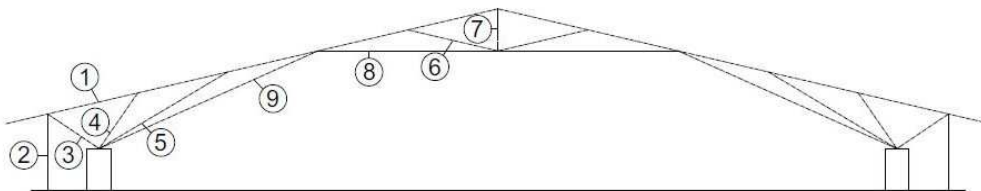
-> Průřezy prvku 9,1 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

- Na připojení prvku 8 je třeba 2 svorníky viz 4.16.1.



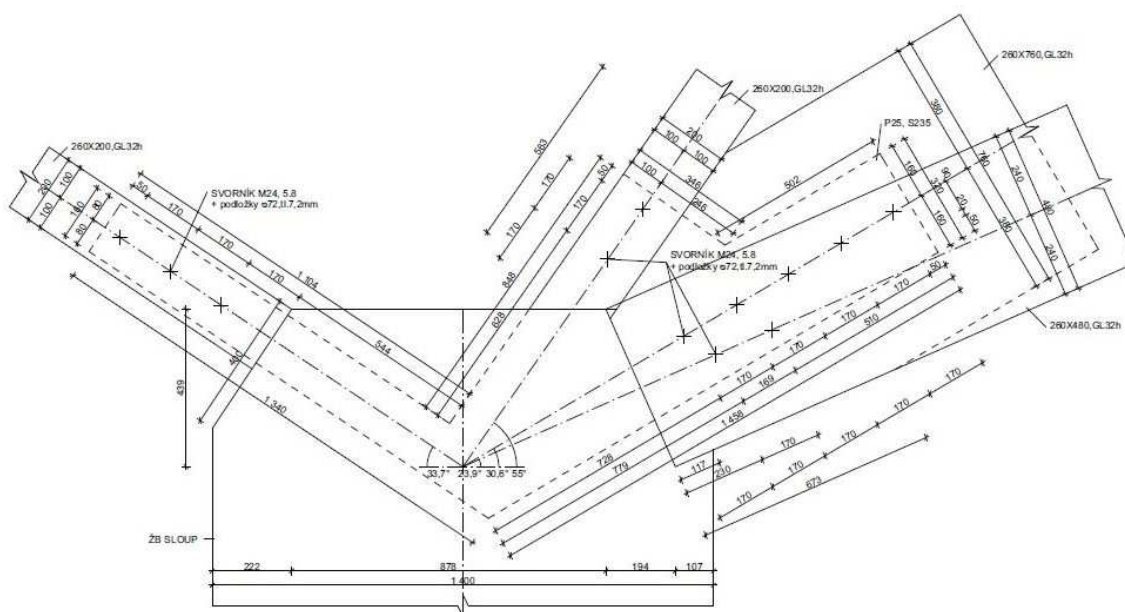
Obr. 61 – Spoj prvků 1,8,9

4.18 Spoj prvků 3,4,5,9 se ŽB sloupem



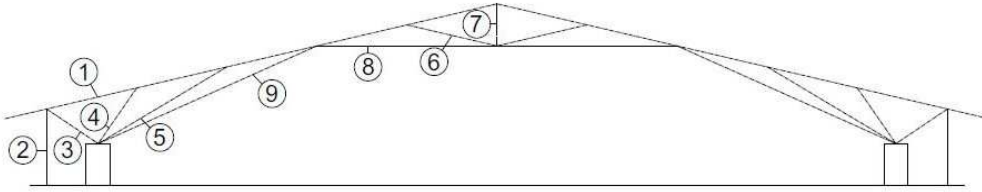
Obr. 34 – Označení prvků vazníku

- Spoj prvek 3 – plech viz 4.11.1 (3 svorníky, P25).
- Spoj prvek 4 – plech viz 4.12.1 (2 svorníky, P15).
- Spoj prvek 5 – plech viz 4.13.1 (5 svorníků, P20).
- > V tomto styčnicku je nutné ve spoji prvek 5 – plech zapustit matky kvůli prvku 9.
- Na připojení prvku 9 je třeba 6 svorníků viz 4.17.1.
- > V tomto styčnicku je prvek 9 opřený o betonový sloup, tudíž stačí pouze 2 svorníky pro stažení prvků k sobě (tah v prvku 9 nikdy nevzniká).



Obr. 62 – Spoj prvků 3,4,5,9 se ŽB sloupem

4.19 Spoj prvku 2 se ŽB základem



Obr. 34 – Označení prvků vazníku

4.19.1 Spoj plech – ŽB základ

Reakce:

$$R_x = 0 \text{ kN}$$

$$R_y = 0 \text{ kN}$$

$$R_{z, \max, \text{tlak}} = 652 \text{ kN} \text{ – přeneseno ocelovou deskou}$$

$$R_{z, \max, \text{tah}} = 142 \text{ kN}$$

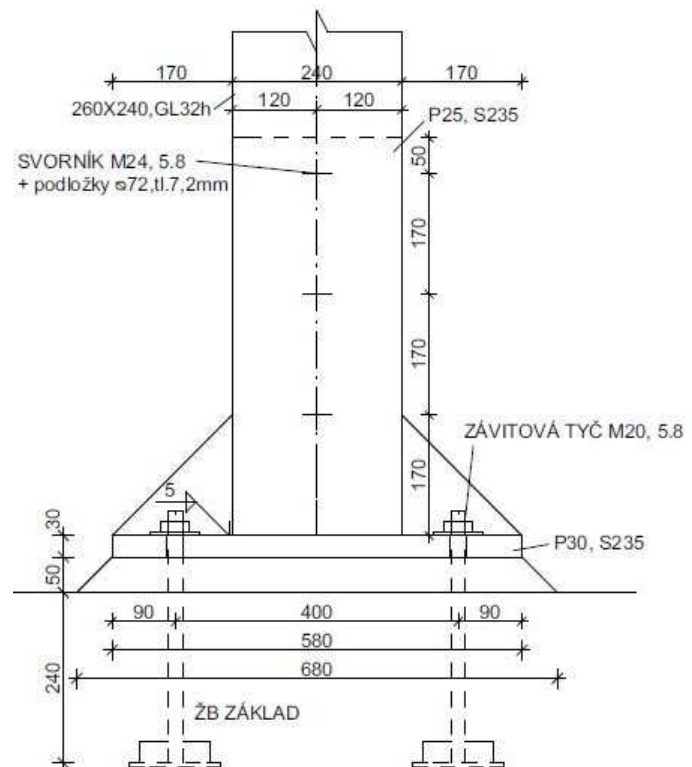
Návrh: Závitová tyč M20 5.8 ($d_0=22\text{mm}$)

$$F_{t, Rd} = 88,2 \text{ kN}$$

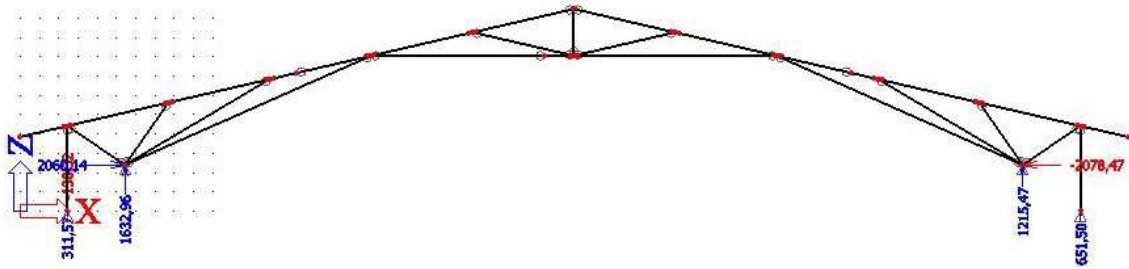
$$\eta_{\min} = N_d / F_{t, Rd} = 142 / 88,2 = 1,61$$

-> Navrhují 4 závitové tyče, které budou uloženy do betonu při betonáži základů.

- Spoj prvek 2 – plech viz 4.11.2
(3 svorníky, P25).



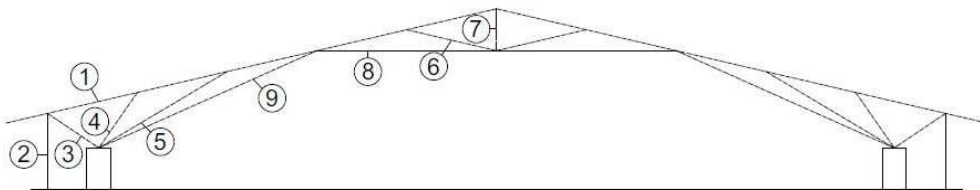
Obr. 63 – Spoj prvku 2 se ŽB základem



Obr. 64 – Reakce na vazníku

4.20 Shrnutí průřezů – Vazník

- Prvek 1: 0,26 x 0,6 m GL32h
- Prvek 2: 0,26 x 0,24 m GL32h
- Prvek 3: 0,26 x 0,2 m GL32h
- Prvek 4: 0,26 x 0,2 m GL32h
- Prvek 5: 0,26 x 0,76 m GL32h
- Prvek 6: 0,26 x 0,28 m GL32h
- Prvek 7: 0,26 x 0,2 m GL32h
- Prvek 8: 2x 0,26 x 0,28 m GL32h
- Prvek 9: 2x 0,26 x 0,48 m GL32h



Obr. 34 – Označení prvků vazníku



5 Posouzení – Štít

- Pro urychlení posouzení únosnosti prvků ve vzpěrném tlaku a pro rozteče svorníků jsem si vytvořil program v Microsoft Excel 2007.
- Při výpočtech uvažuji zatížení jako krátkodobé (rozhoduje nejkratší zatížení v kombinaci a sníh a vítr jsou dle normy krátkodobá zatížení).
- Při výpočtech uvažuji třídu provozu 1 (teplota 20°C a rel. vlhkost do 65%) – v hale je udržována teplota 15-20 °C a rel. vlhkost 50-60%.
- Spoje jsou navrženy jako svorníkové, plechy budou vkládány dovnitř.
- Svorníky působí dvojstřížně – uvažuji 2x větší únosnost.
- Spoje jsou navrženy na tah i na tlak, výsledný detail zohledňuje jak rozteče pro dřevěné prvky se svorníkovými spoji, tak rozteče pro ocelové plechy.
- Prvky navrhuji z lepeného lamelového dřeva třídy GL32h, které je velmi kvalitní.
- Výšku průřezů lepeného dřeva navrhuji po násobcích 40 mm, což jsou rozměry jednotlivých lamel. Šířka prvků je u vazníku jednotná a to 260mm, což je maximální vyráběná šířka.

5.1 Průhyby

$$U_{x,max} = 4,1 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{max} = h/200 = 4406/200 = 22 \text{ mm}$$

$$U_{z,max} \leq \Delta z_{max}$$

$$4,1 \text{ mm} < 22 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$U_{z,max} = 18,1 \text{ mm}$$

$$\Delta z_{max} = h/200 = 4406/200 = 22 \text{ mm}$$

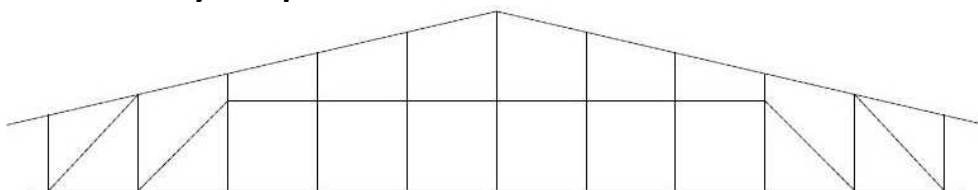
$$U_{z,max} \leq \Delta z_{max}$$

$$18,1 \text{ mm} < 22 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

- Výsledky ze Scie, která nezohledňuje prokluz spojů
-> Kvůli minimalizaci deformací se bude průměr otvoru pro každý svorník rovnat průměru svorníku.



5.2 Štítový sloup



Obr. 65 – Prvky štítu

$$N_{\max, \text{tlak}} = 86 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 13 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

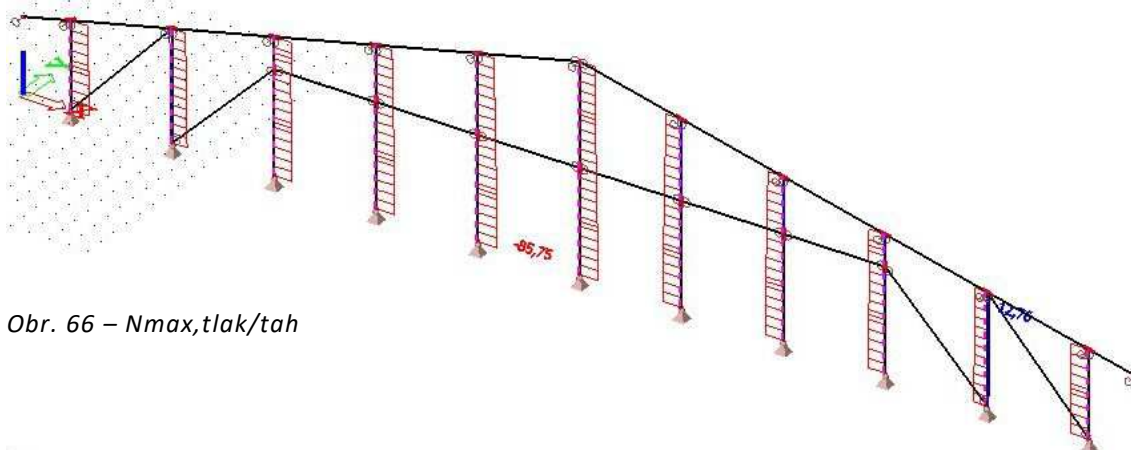
$$V_{y, \max} = 22 \text{ kN}$$

$$V_{z, \max} = 0 \text{ kN}$$

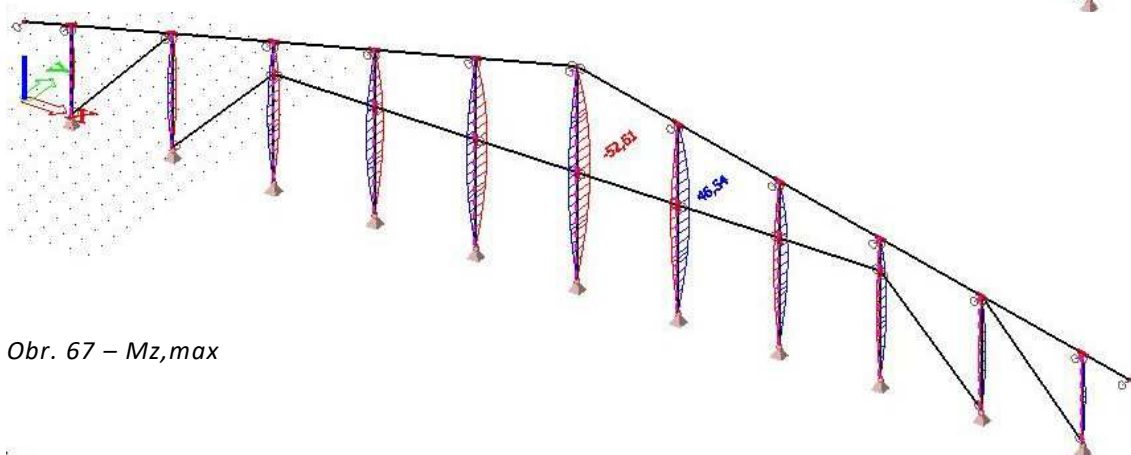
$$M_{x, \max} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{y, \max} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z, \max} = 53 \text{ kNm}$$



Obr. 66 – $N_{\max, \text{tlak/tah}}$



Obr. 67 – $M_{z, \max}$



Návrh: 0,2 x 0,36 m ($A = 0,072 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = 10,479 \text{ m}$

5.2.1 Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením

menší rozměr [m]:	0,2	A =	0,072 m ²
větší rozměr [m]:	0,36	I _{min} =	0,00024000 m ⁴
efektivní délka [m]:	5,24	i =	0,057735 m
		λ =	90,759 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	13,300 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,477 -
β _c =	0,1 -	k =	1,649 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,420 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	631 kN

$k_{c,y} = 0,42$ (viz výstup z excelu)

$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 11100 / (0,36 \cdot 5,24) = 183,6 \text{ MPa}$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 183,6} = 0,42$

$k_{crit} = 1$ (pro $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$)

$\sigma_{c,o,d} = N_d / A = 86 / 0,072 = 1195 \text{ kPa} = 1,195 \text{ MPa}$

$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 29 / 1,25 = 20,880 \text{ MPa}$

$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 53 / (1/6 \cdot 0,2 \cdot 0,36^2) = 12269 \text{ KPa} = 12,269 \text{ MPa}$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$

$(\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d})) + (\sigma_{c,o,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,o,d})) \leq 1$

$(12,269 / (1 \cdot 23,040)) + (1,195 / (0,42 \cdot 20,880)) \leq 1$

$0,67 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

5.2.2 Únosnost: vzpěr (ve směru tuhé osy) + ohyb s vybočením

menší rozměr [m]:	0,36	A =	0,072 m ²
větší rozměr [m]:	0,2	I _{min} =	0,00077760 m ⁴
efektivní délka [m]:	10,479	i =	0,103923 m
		λ =	100,834 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	10,775 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,641 -
β _c =	0,1 -	k =	1,913 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,345 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	519 kN



$k_{c,z} = 0,345$ (viz výstup z excelu)

$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 11100 / (0,36 \cdot 10,479) = 91,9 \text{ MPa}$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 91,9} = 0,59$

$k_{crit} = 1$ (pro $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$)

$\sigma_{c,o,d} = N_d / A = 86 / 0,072 = 1195 \text{ kPa} = 1,195 \text{ MPa}$

$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 29 / 1,25 = 20,880 \text{ MPa}$

$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 53 / (1/6 \cdot 0,2 \cdot 0,36^2) = 12269 \text{ kPa} = 12,269 \text{ MPa}$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$

$(\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d})) + (\sigma_{c,o,d} / (k_{c,z} \cdot f_{c,o,d})) \leq 1$

$(12,269 / (1 \cdot 23,040)) + (1,195 / (0,345 \cdot 20,880)) \leq 1$

$0,70 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

5.2.3 Únosnost na smyk

$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{max}) / (2 \cdot b_{eff} \cdot h) = (3 \cdot 22) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,36) = 685 \text{ kPa} = 0,685 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$

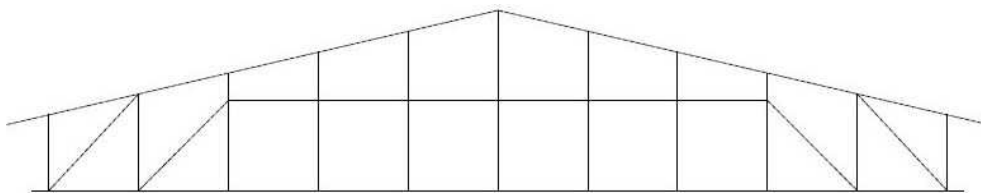
$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$

$0,685 / 2,736 \leq 1$

$0,26 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

\rightarrow Pro štítový sloup vyhovuje průřez 0,2 x 0,36 m GL32h. Rozhodující je únosnost ve směru tuhé osy ($0,70 < 1$) viz 5.2.2.

5.3 Vrchní trám štítu



Obr. 65 – Prvky štítu

$N_{max,tlak} = 10 \text{ kN}$ - nerozhoduje

$N_{max,tah} = 21 \text{ kN}$

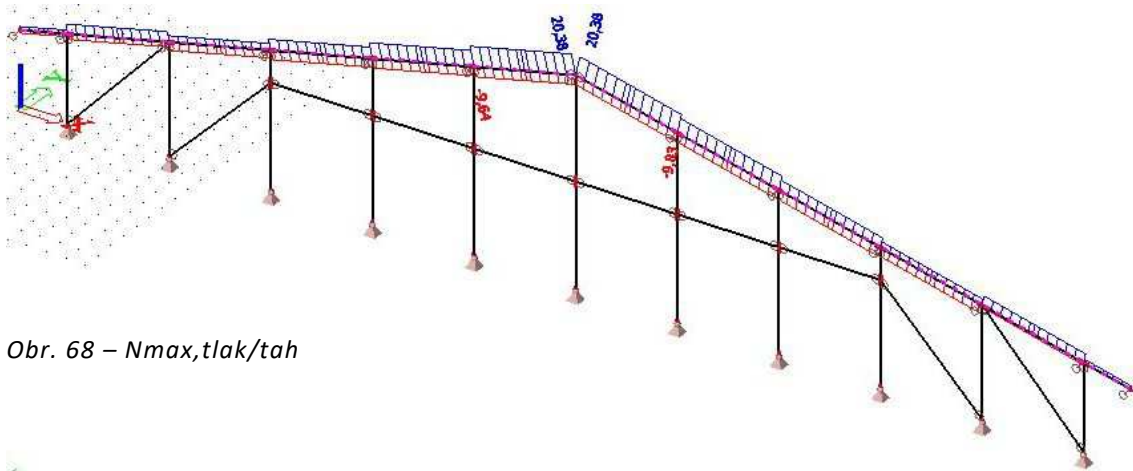
$V_{y,max} = 2 \text{ kN}$ - zanedbatelné

$V_{z,max} = 18 \text{ kN}$

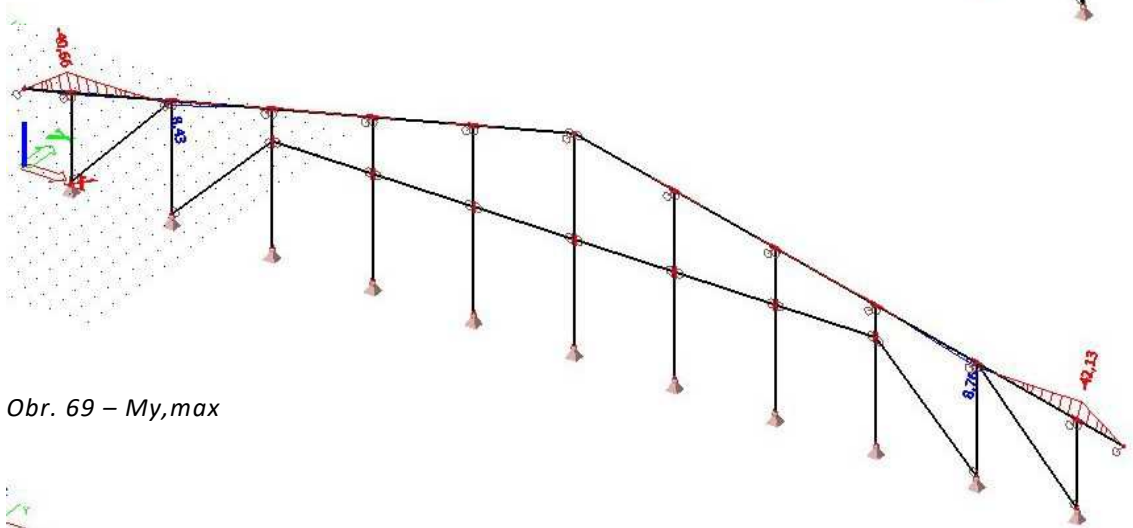
$M_{x,max} = 0 \text{ kNm}$

$$M_{y,max} = 43 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max} = 7 \text{ kNm} - \text{zanedbatelné}$$



Obr. 68 – $N_{max, tlak/tah}$



Obr. 69 – $M_{y,max}$

Návrh: 0,2 x 0,36 m ($A = 0,072 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{ef} = 5,4 \text{ m}$$

5.3.1 Únosnost: tah za ohybu bez vybočení (v místě styčnicku)

$$\sigma_{t,o,d} = N_d/A = 21/0,072 = 292 \text{ kPa} = 0,292 \text{ MPa}$$

$$f_{t,o,d} = k_{mod} \cdot f_{t,o,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 22,5 / 1,25 = 16,200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_d/W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 43 / (1/6 \cdot 0,2 \cdot 0,36^2) = 9954 \text{ kPa} = 9,954 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{t,o,d} / f_{t,o,d}) + (\sigma_{m,d} / f_{m,d}) \leq 1$$

$$(0,292 / 16,200) + (9,954 / 23,040) \leq 1$$

$$0,46 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$



5.3.2 Únosnost na smyk

$$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{\max}) / (2 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h) = (3 \cdot 18) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,36) = 560 \text{ kPa} = 0,560 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$$

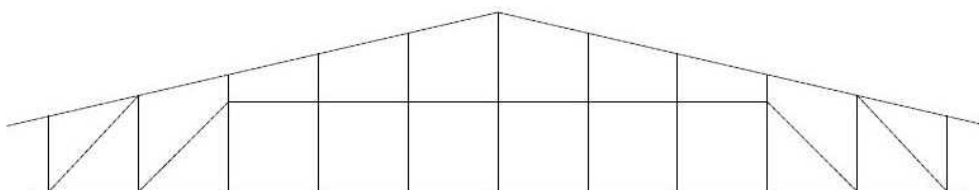
$$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$$

$$0,560 / 2,736 \leq 1$$

$$0,21 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vrchní trám štítu vyhovuje průřez 0,2 x 0,36 m GL32h.

5.4 Vzpěry štítu



Obr. 65 – Prvky štítu

$$N_{\max, \text{tlak}} = 15 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 3 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

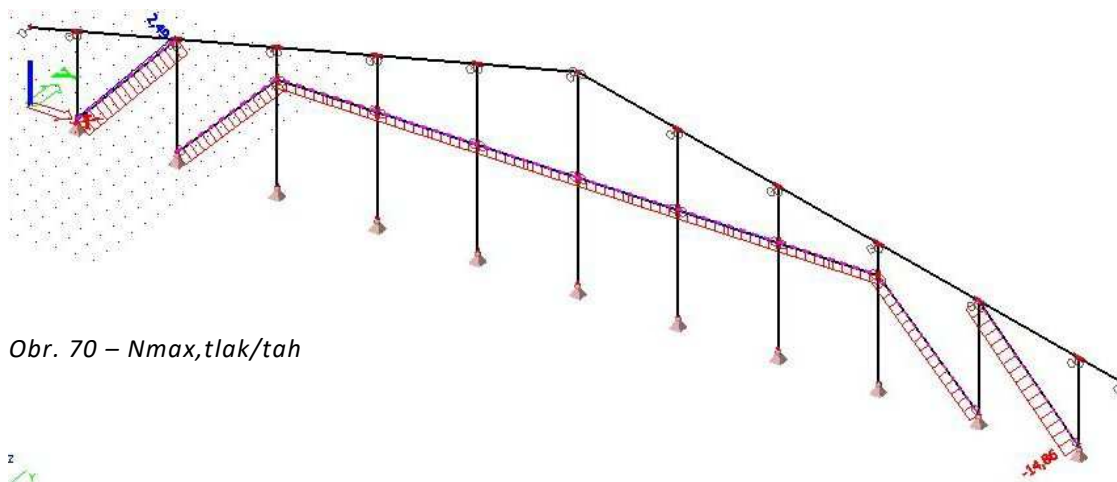
$$V_{y, \max} = 1 \text{ kN} - \text{zanedbatelné}$$

$$V_{z, \max} = 1 \text{ kN} - \text{zanedbatelné}$$

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

$$M_{y, \max} = 1 \text{ kNm} - \text{zanedbatelné}$$

$$M_{z, \max} = 3 \text{ kNm} - \text{zanedbatelné}$$



Obr. 70 – $N_{\max, \text{tlak}/\text{tah}}$



Návrh: 0,16 x 0,16 m ($A = 0,00256 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$L = L_{ef} = 7,699 \text{ m}$

5.4.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,16	$A =$	0,0256 m^2
větší rozměr [m]:	0,16	$I_{min} =$	0,00005461 m^4
efektivní délka [m]:	7,699	$i =$	0,046188 m
		$\lambda =$	166,688 -
$E_{0,05} =$	11100 Mpa	$\sigma_{c,crit} =$	3,943 Mpa
$f_{c,o,k} =$	29 Mpa	$\lambda_{rel} =$	2,712 -
$\beta_c =$	0,1 -	$k =$	4,298 -
$k_{mod} =$	0,9 -	$k_c =$	0,131 -
$\gamma_M =$	1,25 -	$N_{Rd} =$	70 kN

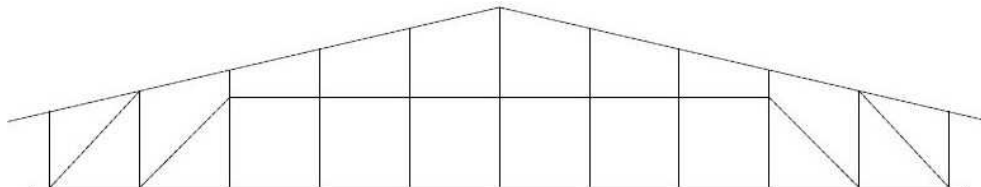
$$N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$15/70 \leq 1$$

0,22 < 1 -> Vyhovuje

-> Pro vzpěry štítu vyhovuje průřez 0,16 x 0,16 m GL32h.

5.5 Spoj štítový sloup – vrchní trám štítu



Obr. 65 – Prvky štítu

5.5.1 Spoj štítový sloup – plech

Štítový sloup:

$$N_{max,tlak} = 86 \text{ kN}$$

$$N_{max,tah} = 13 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

Návrh: Svorník M16 5.8 ($d_0=18\text{mm}$)

$$F_{v,Rd} = 48,3\text{kN} * 2 = 96,6 \text{ kN (dvojtřížně)}$$

$$\eta_{min} = N_d/F_{v,Rd} = 86/96,6 = 0,90$$

-> Navrhuji 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.12mm, oslabený průřez 182 x 12mm ($A = 0,002184 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = N_d/A = 86/0,002184 = 39378 \text{ kPa} = 39,4 \text{ MPa}$$

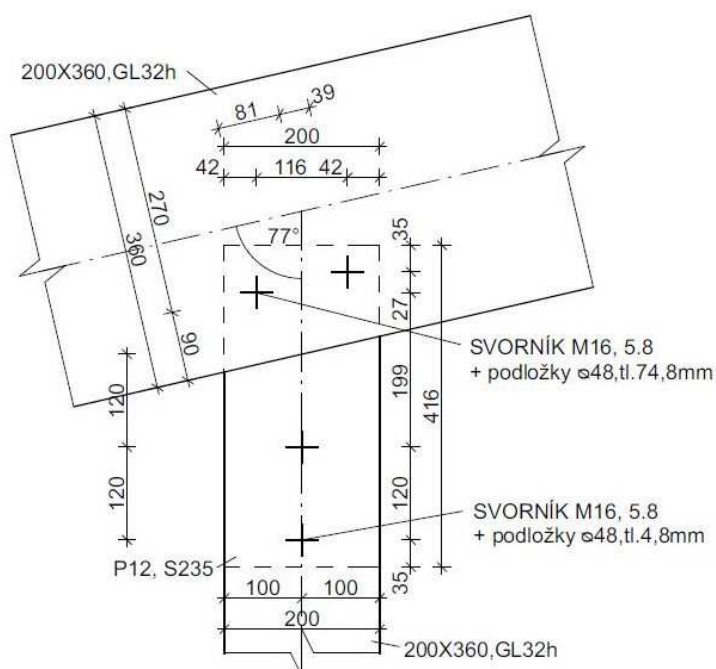
$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 39,4 MPa -> Vyhovuje

-> Průřez štítového sloupu a vrchního trámu štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	0	[°]	
d (průměr svorníku):	16	[mm]	
a1 (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	112	[mm]
a2 (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	64	[mm]
a3t (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	112	[mm]
a3c (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	64	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	64	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	64	[mm]
a4t (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	48	[mm]
a4c (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	48	[mm]

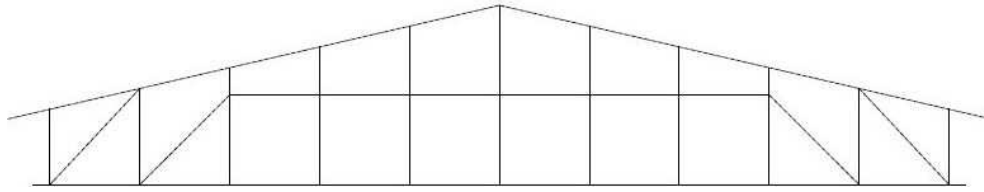
Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	77	[°]	
d (průměr svorníku):	16	[mm]	
a1 (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	75	[mm]
a2 (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	64	[mm]
a3t (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	112	[mm]
a3c (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	110	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	64	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	110	[mm]
a4t (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	63	[mm]
a4c (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	48	[mm]



Obr. 71 – Spoj štítový sloup – vrchní trám štítu



5.6 Spoj štítový sloup – 2x vrchní trám štítu



Obr. 65 – Prvky štítu

5.6.1 Spoj vrchní trám štítu – plech

Vrchní trám štítu:

$N_{\max, \text{tlak}} = 10 \text{ kN}$ - nerozhoduje

$N_{\max, \text{tah}} = 21 \text{ kN}$

Návrh: Svorník M16 5.8 ($d_0=18\text{mm}$)

$F_{v, \text{Rd}} = 48,3\text{kN} * 2 = 96,6 \text{ kN}$ (dvojtřížně)

$n_{\min} = N_d / F_{v, \text{Rd}} = 21 / 96,6 = 0,22$

-> Navrhují 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.12mm, oslabený průřez 162 x 12mm ($A = 0,001944 \text{ m}^2$)

$F_{yd} = F_{yk} / \gamma_M = 235 / 1,15 = 204,3 \text{ MPa}$

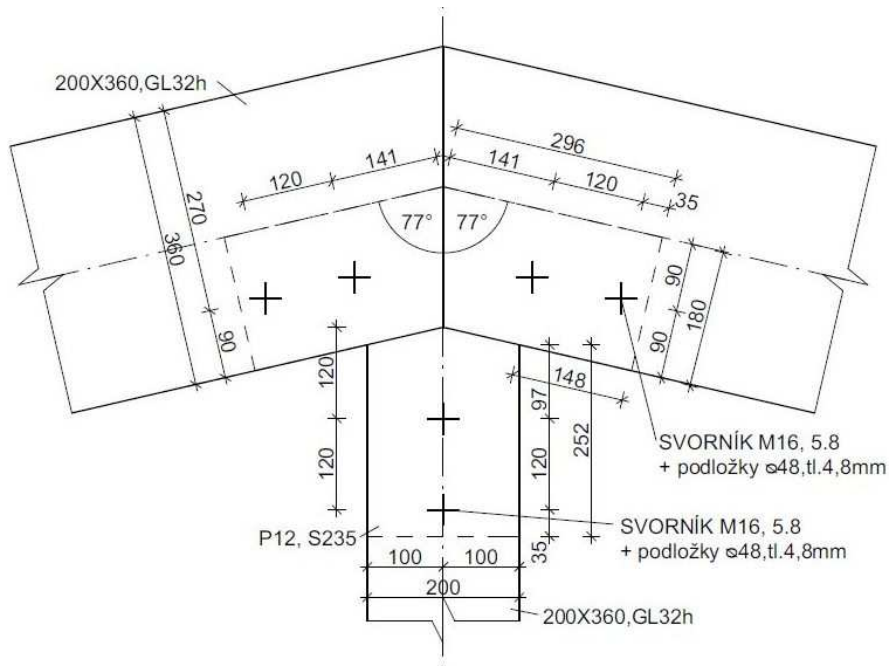
$\sigma_d = N_d / A = 21 / 0,001944 = 10803 \text{ kPa} = 10,9 \text{ MPa}$

$F_{yd} > \sigma_d$

$204,3 \text{ MPa} > 10,9 \text{ MPa}$ -> Vyhovuje

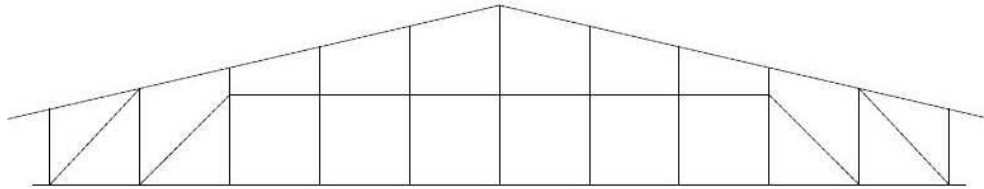
-> Průřez štítového sloupu a vrchního trámu štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

- Spoj štítový sloup - plech viz 5.5.1 (2 svorníky, P12).



Obr. 72 – Spoj štítový sloup – 2x vrchní trám štítu

5.7 Spoj štítový sloup – vzpěry štítu



Obr. 65 – Prvky štítu

5.7.1 Spoj vzpěra štítu – plech

Vzpěra štítu:

$$N_{\max, \text{tlak}} = 15 \text{ kN}$$

$$N_{\max, \text{tah}} = 3 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$)

$$F_{v, Rd} = 27,1\text{kN} \cdot 2 = 54,2 \text{ kN} \text{ (dvojstřížně)}$$

$$\eta_{\min} = N_d / F_{v, Rd} = 15 / 54,2 = 0,28$$

-> Navrhují 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.10mm, oslabený průřez 147 x 10mm ($A = 0,00147 \text{ m}^2$)

$$F_{yd} = F_{yk}/\gamma_M = 235/1,15 = 204,3 \text{ MPa}$$

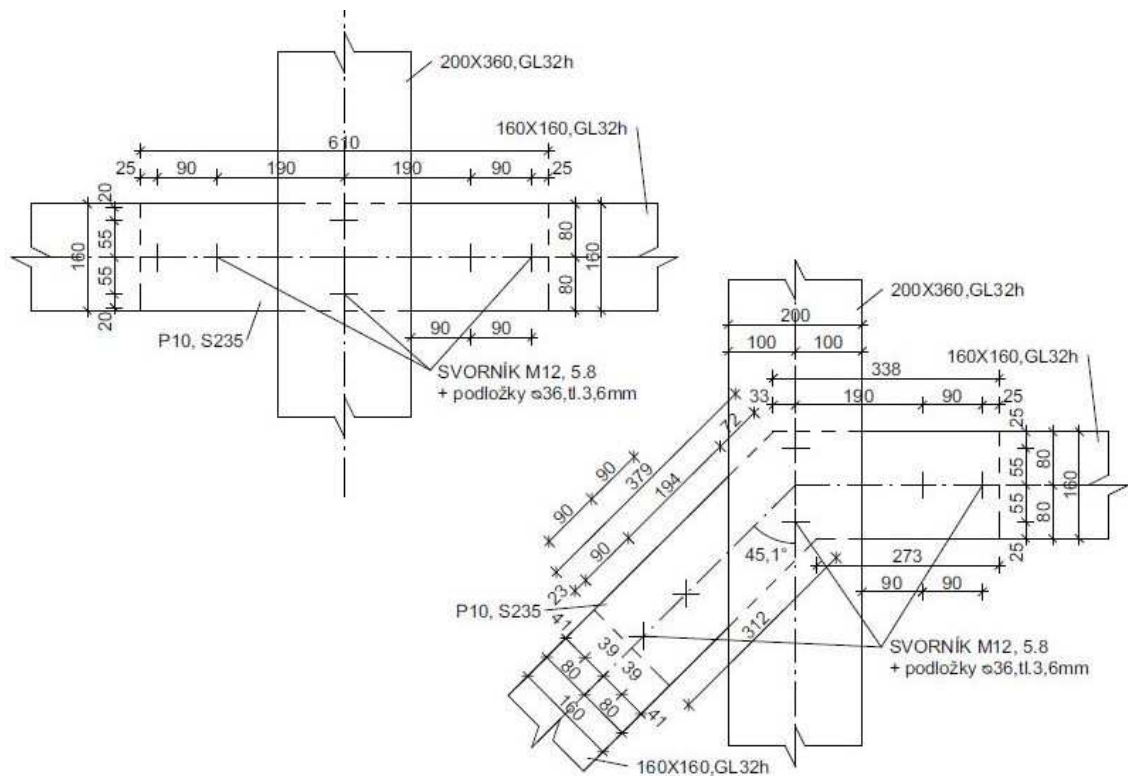
$$\sigma_d = N_d/A = 15/0,00147 = 10205 \text{ kPa} = 10,3 \text{ MPa}$$

$$F_{yd} > \sigma_d$$

204,3 MPa > 10,3 MPa -> Vyhovuje

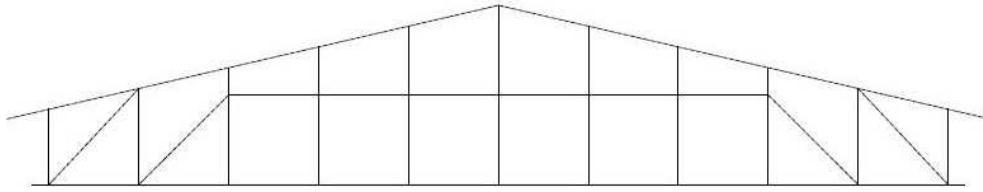
-> Průřez vzpěr štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	0	[°]	
d (průměr svorníku):	12	[mm]	
a ₁ (rovnoběžně s vláknem):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	84	[mm]
a ₂ (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	48	[mm]
a _{3t} (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	84	[mm]
a _{3c} (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	48	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	48	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	48	[mm]
a _{4t} (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	36	[mm]
a _{4c} (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	36	[mm]



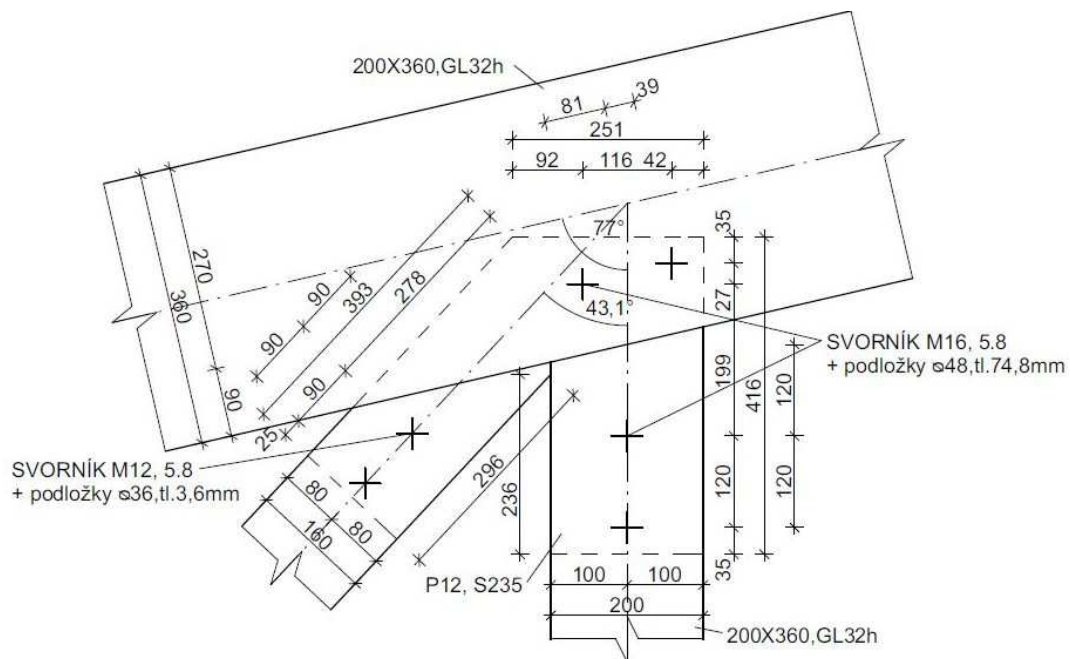
Obr. 73 – Spoj štítový sloup – vzpěry štítu

5.8 Spoj štítový sloup – vzpěra štítu – vrchní trám štítu



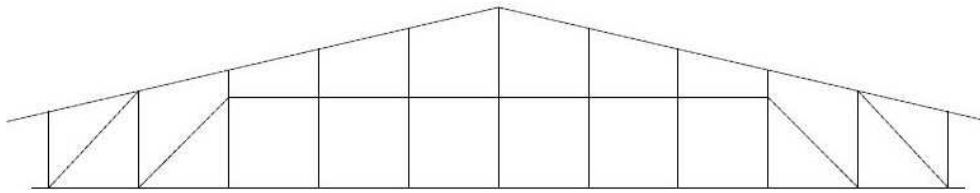
Obr. 65 – Prvky štítu

- Spoj štítový sloup - plech viz 5.5.1 (2 svorníky, P12).
- Spoj vzpěra štítu - plech viz 5.7.1 (2 svorníky, P10).



Obr. 74 – Spoj štítový sloup – vzpěra štítu – vrchní trám štítu

5.9 Spoj štítový sloup – ŽB stěna



Obr. 65 – Prvky štítu

5.9.1 Spoj plech – ŽB stěna

Reakce:

$$R_x = 0 \text{ kN}$$

$$R_y = 22 \text{ kN}$$

$$R_{z,\max,\text{tlak}} = 86 \text{ kN} - \text{přeneseno ocelovou deskou}$$

$$R_{z,\max,\text{tah}} = 13 \text{ kN} - \text{nerozhoduje}$$

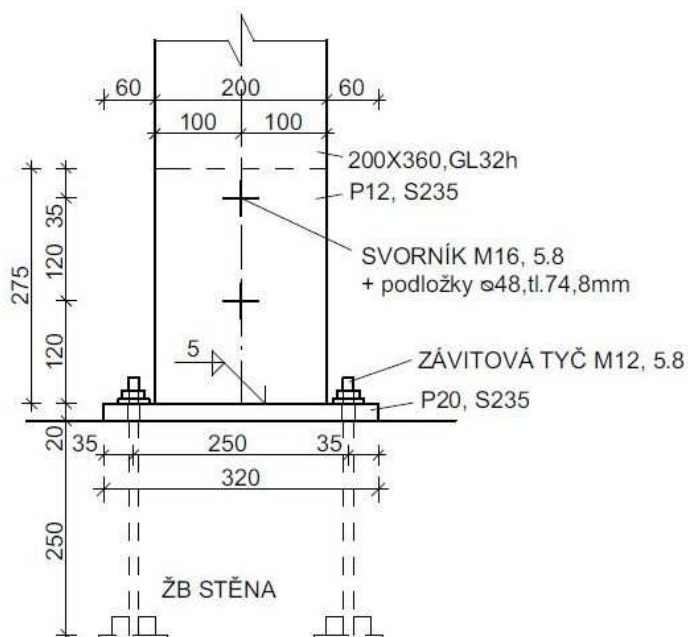
Návrh: Závitová tyč M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$)

$$F_{v,Rd} = 27,1 \text{ kN}$$

$$\eta_{\min} = N_d / F_{v,Rd} = 22 / 27,1 = 0,82$$

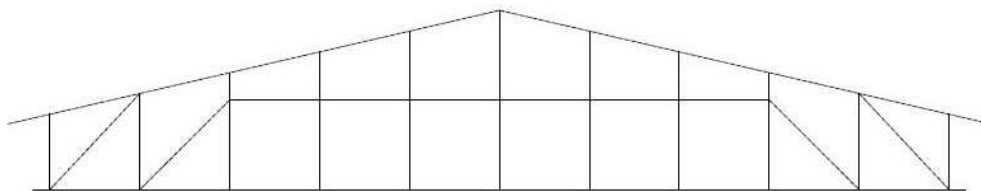
-> Navrhuji 4 závitové tyče, které budou uloženy do betonu při betonáži základů.

- Spoj štítový sloup - plech viz 5.5.1 (2 svorníky, P12).



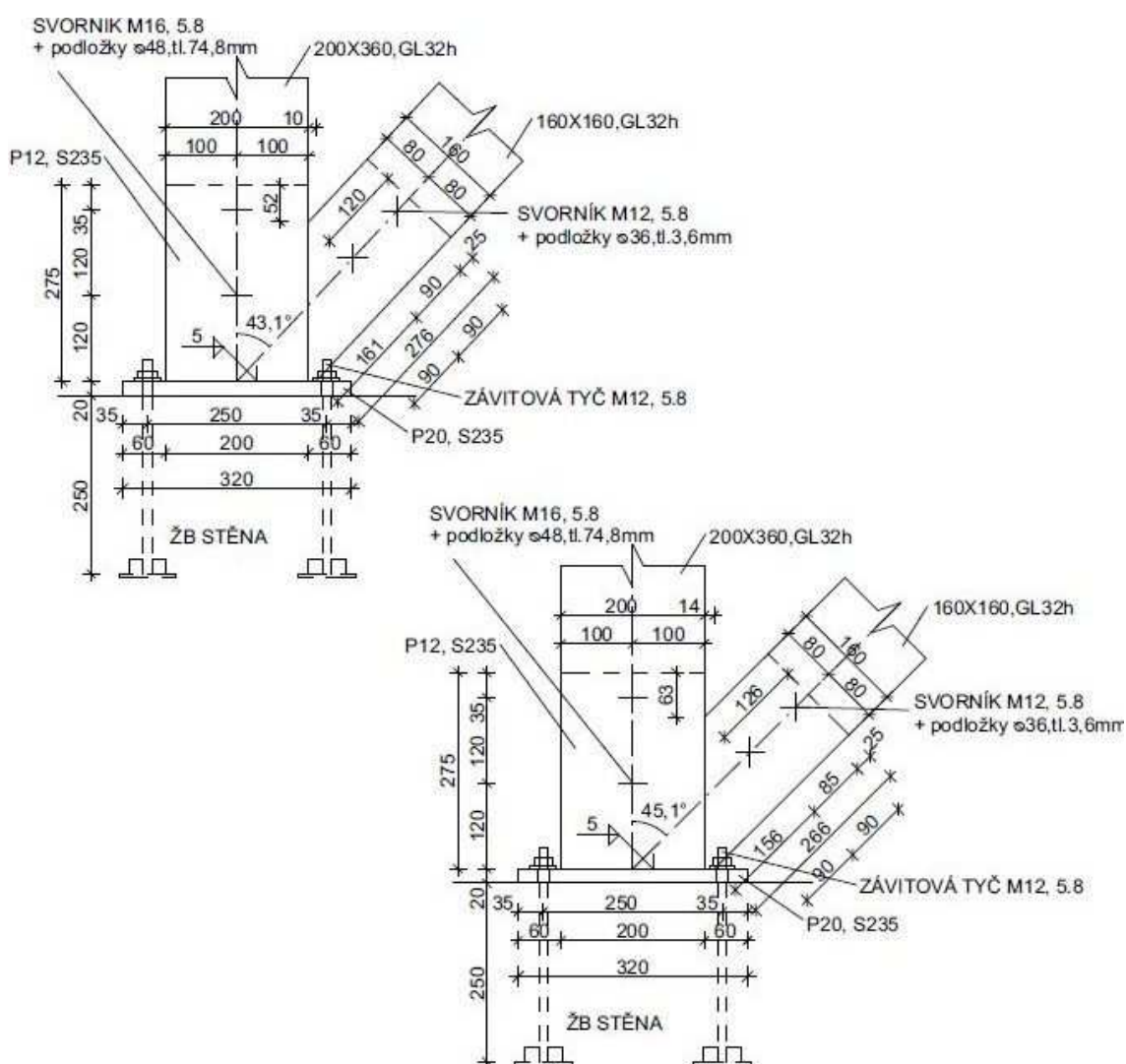
Obr. 75 – Spoj štítový sloup – ŽB stěna

5.10 Spoj štítový sloup – vzpěra štítu - ŽB stěna

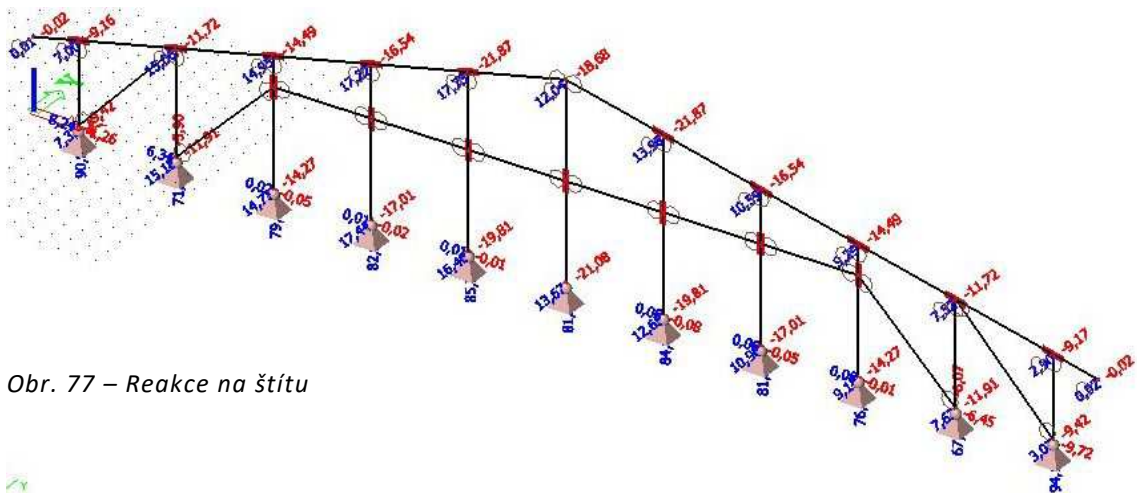


Obr. 65 – Prvky štítu

- Spoj štítový sloup - plech viz 5.5.1 (2 svorníky, P12).
- Spoj vzpěra štítu - plech viz 5.7.1 (2 svorníky, P10).
- Spoj plech – ŽB stěna viz 5.9.1 (4 závitové tyče, P20).



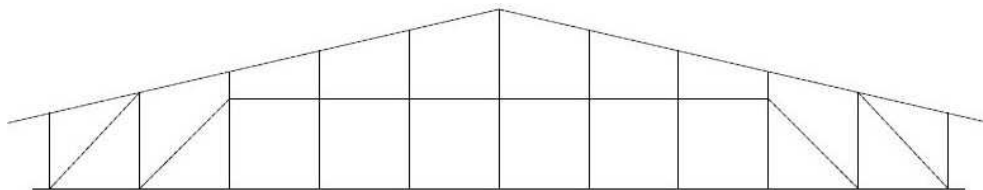
Obr. 76 – Spoj štítový sloup – vzpěra štítu - ŽB stěna



Obr. 77 – Reakce na štítu

5.11 Shrnutí průřezů – Štít

- Štítový sloup: 0,2 x 0,36 m GL32h
- Vrchní trám štítu: 0,2 x 0,36 m GL32h
- Vzpěry štítu: 0,16 x 0,16 m GL32h



Obr. 65 – Prvky štítu



6 Posouzení – Podélné prvky

- Pro urychlení posouzení únosnosti prvků ve vzpěrném tlaku a pro rozteče svorníků jsem si vytvořil program v Microsoft Excel 2007.
- Při výpočtech uvažuji zatížení jako krátkodobé (rozhoduje nejkratší zatížení v kombinaci a sníh a vítr jsou dle normy krátkodobá zatížení).
- Při výpočtech uvažuji třídu provozu 1 (teplota 20°C a rel. vlhkost do 65%) – v hale je udržována teplota 15-20 °C a rel. vlhkost 50-60%.
- Spoje jsou navrženy jako svorníkové, plechy budou vkládány dovnitř.
- Svorníky působí dvojstřížně – uvažuji 2x větší únosnost.
- Spoje jsou navrženy na tah i na tlak, výsledný detail zohledňuje jak rozteče pro dřevěné prvky se svorníkovými spoji, tak rozteče pro ocelové plechy.
- Prvky navrhuji z lepeného lamelového dřeva třídy GL32h, které je velmi kvalitní.
- Výšku průřezů lepeného dřeva navrhuji po násobcích 40 mm, což jsou rozměry jednotlivých lamel. Šířka prvků je u vazníku jednotná a to 260mm, což je maximální vyráběná šířka.

6.1 Šikmina mezi vaznicemi

$$N_{\max, \text{tah}} = 92 \text{ kN}$$

Návrh: 0,18 x 0,16 m ($A = 0,0288 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 7,360 \text{ m}$$

6.1.1 Únosnost: tah

$$\sigma_{t, o, d} \leq f_{t, o, d}$$

$$N_{\text{Ed}}/A \leq k_{\text{mod}} \cdot f_{t, o, k} / \gamma_M$$

$$N_{\text{Rd}} = A \cdot k_{\text{mod}} \cdot f_{t, o, k} / \gamma_M = 0,0288 \cdot 0,9 \cdot 22,5 / 1,25 = 0,467 \text{ MN} = 467 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$92/467 \leq 1$$

$$0,20 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro šikminu mezi vaznicemi vyhovuje průřez 0,18 x 0,16 m GL32h.

-> U tohoto prvku by rozhodovalo zatížení tlakem (od sání na štít). Pro tento průřez je únosnost ve vzpěrném tlaku 86 kN, což je bezpečná hodnota, kterou sání na štít nevyvine.



6.2 Vzpěra od ŽB sloupu

$$N_{\max, \text{tlak}} = 106 \text{ kN}$$

Návrh: 0,18 x 0,16 m ($A = 0,0288 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 6,363 \text{ m}$$

6.2.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,16	A =	0,0288 m ²
větší rozměr [m]:	0,18	I _{min} =	0,00006144 m ⁴
efektivní délka [m]:	6,363	i =	0,046188 m
		λ =	137,763 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	5,772 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	2,241 -
β _c =	0,1 -	k =	3,109 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,190 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	114 kN

$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$106/114 \leq 1$$

0,93 < 1 -> Vyhovuje

-> Pro vzpěru od ŽB sloupu vyhovuje průřez 0,18 x 0,16 m GL32h.

6.3 Vaznička

$$M_{y, \max} = 44 \text{ kNm}$$

$$V_{z, \max} = 34 \text{ kN}$$

Návrh: 0,2 x 0,24 m ($A = 0,048 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení, třída provozu 1

$$L = L_{\text{ef}} = 5,4 \text{ m}$$



6.3.1 Únosnost: ohyb s vybočením

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 11100 / (0,24 \cdot 5,4) = 267,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 267,3} = 0,35$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

$$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 44 / (1/6 \cdot 0,2 \cdot 0,24^2) = 22917 \text{ KPa} = 22,917 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) \leq 1$$

$$22,917 / (1 \cdot 23,040) \leq 1$$

$$0,99 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.3.2 Únosnost na smyk

$$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{max}) / (2 \cdot b_{eff} \cdot h) = (3 \cdot 34) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,24) = 1586 \text{ kPa} = 1,586 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$$

$$1,586 / 2,736 \leq 1$$

$$0,58 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vazničku vyhovuje průřez 0,2 x 0,24 m GL32h.

6.4 Vaznice u štítu

$$M_{x,max} = 84 \text{ kNm}$$

$$V_{z,max} = 34 \text{ kN}$$

$$N_{max,tlak} = 63 \text{ kN}$$

Návrh: 0,2 x 0,36 m ($A = 0,072 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení

$$L = L_{ef} = 5 \text{ m}$$



6.4.1 Únosnost: vzpěr (ve směru měkké osy) + ohyb s vybočením

menší rozměr [m]:	0,2	A =	0,072 m ²
větší rozměr [m]:	0,36	I _{min} =	0,00024000 m ⁴
efektivní délka [m]:	5	i =	0,057735 m
		λ =	86,603 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	14,607 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,409 -
β _c =	0,1 -	k =	1,548 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,457 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	687 kN

$$k_{c,y} = 0,457$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 11100 / (0,36 \cdot 5) = 192,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 192,4} = 0,41$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

$$\sigma_{c,o,d} = N_d / A = 63 / 0,072 = 875 \text{ kPa} = 0,875 \text{ MPa}$$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot f_{c,o,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 29 / 1,25 = 20,880 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 84 / (1/6 \cdot 0,2 \cdot 0,36^2) = 19444 \text{ kPa} = 19,444 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d})) + (\sigma_{c,o,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,o,d})) \leq 1$$

$$(19,444 / (1 \cdot 23,040)) + (0,875 / (0,457 \cdot 20,880)) \leq 1$$

$$0,94 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.4.2 Únosnost na smyk

$$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{max}) / (2 \cdot b_{eff} \cdot h) = (3 \cdot 34) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,36) = 1058 \text{ kPa} = 1,058 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$$

$$1,058 / 2,736 \leq 1$$

$$0,39 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vaznici u štítu vyhovuje průřez 0,2 x 0,36 m GL32h.



6.5 Vaznice běžná

$$M_{x,max} = 336 \text{ kNm}$$

$$V_{z,max} = 101 \text{ kN}$$

Návrh: 0,26 x 0,6 m ($A = 0,156 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení

$$L = L_{ef} = 10 \text{ m}$$

6.5.1 Únosnost: ohyb s vybočením

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05} / (h \cdot L_{ef}) = 0,78 \cdot 0,26^2 \cdot 11100 / (0,6 \cdot 10) = 97,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{32 / 97,6} = 0,58$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

$$\sigma_{m,d} = M_d / W = M_d / (1/6 \cdot b \cdot h^2) = 336 / (1/6 \cdot 0,26 \cdot 0,6^2) = 21539 \text{ kPa} = 21,539 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 32 / 1,25 = 23,040 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) \leq 1$$

$$21,539 / (1 \cdot 23,040) \leq 1$$

$$0,94 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6.5.2 Únosnost na smyk

$$\tau_{v,d} = (3 \cdot V_{max}) / (2 \cdot b_{eff} \cdot h) = (3 \cdot 101) / (2 \cdot 0,67 \cdot 0,26 \cdot 0,6) = 1450 \text{ kPa} = 1,450 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,9 \cdot 3,8 / 1,25 = 2,736 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} / f_{v,d} \leq 1$$

$$1,450 / 2,736 \leq 1$$

$$0,53 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vaznici běžnou vyhovuje průřez 0,26 x 0,6 m GL32h.



6.6 Vzpěra pro vazníkový prvek 8

$$N_{\max, \text{tlak}} = 10 \text{ kN}$$

Návrh: 0,12 x 0,12 m ($A = 0,0144 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení

$$L = L_{\text{ef}} = 3,436 \text{ m}$$

6.6.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,1	A =	0,01 m ²
větší rozměr [m]:	0,1	I _{min} =	0,00000833 m ⁴
efektivní délka [m]:	3,436	i =	0,028868 m
		λ =	119,027 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	7,733 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	1,937 -
β _c =	0,1 -	k =	2,457 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,252 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	53 kN

$$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}} \leq 1$$

$$10/53 \leq 1$$

$$0,19 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vzpěru pro vazníkový prvek 8 vyhovuje průřez 0,12 x 0,12 m GL32h.

6.7 Vzpěra pro vazníkový prvek 9

$$N_{\max, \text{tlak}} = 30 \text{ kN}$$

Návrh: 0,12 x 0,12 m ($A = 0,0144 \text{ m}^2$), GL32h

krátkodobé zatížení

$$L = L_{\text{ef}} = 1,439 \text{ m}$$



6.7.1 Únosnost: vzpěrný tlak

menší rozměr [m]:	0,1	A =	0,01 m ²
větší rozměr [m]:	0,1	I _{min} =	0,00000833 m ⁴
efektivní délka [m]:	1,439	i =	0,028868 m
		λ =	49,848 -
E _{0,05} =	11100 Mpa	σ _{c,crit} =	44,088 Mpa
f _{c,o,k} =	29 Mpa	λ _{rel} =	0,811 -
β _c =	0,1 -	k =	0,854 -
k _{mod} =	0,9 -	k _c =	0,890 -
γ _M =	1,25 -	N _{Rd} =	186 kN

$$N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1$$

$$30/186 \leq 1$$

$$0,17 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

-> Pro vzpěru pro vazníkový prvek 9 vyhovuje průřez 0,12 x 0,12 m GL32h.

6.8 Spoj vaznička – vaznice běžná/u štítu

6.8.1 Spoj vaznička – plech

Vaznička:

$$V_{z,max} = 34 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 (d₀=13mm),

$$F_{v,Rd} = 27,1 \text{ kN} * 2 = 54,2 \text{ kN (dvojstřížně)}$$

$$n_{min} = N_d/F_{v,Rd} = 34/54,2 = 0,63$$

-> Navrhují 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.10mm

-> Průřez vazničky není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

6.8.2 Spoj vaznice běžná/u štítu – plech

Vaznička:

$$V_{z,max} = 34 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$),

$$F_{v,Rd} = 27,1\text{kN}$$

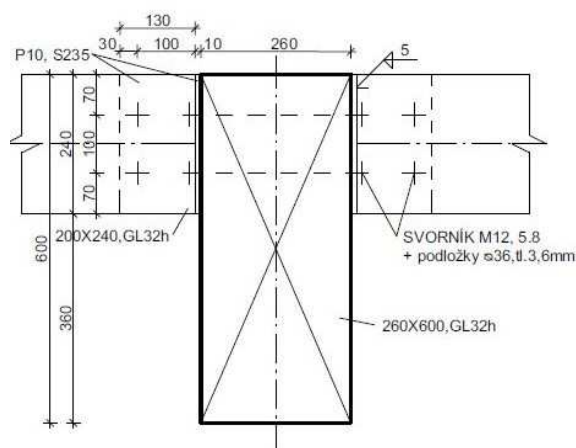
$$n_{min} = N_d/F_{v,Rd} = 34/27,1 = 1,3$$

-> Navrhují 4 svorníky.

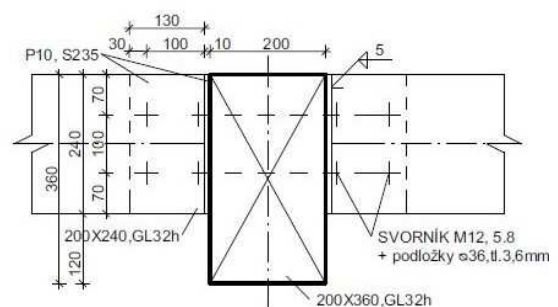
Návrh: Plech S235 tl.10mm

-> Průřez vaznice běžné/u štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

Minimální vzdálenosti pro rozmístění svorníků na dřevěných prvcích			
α (úhel mezi silou a prvkem):	90	[°]	
d (průměr svorníku):	12	[mm]	
a1 (rovnoběžně s vlákny):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	48	[mm]
a2 (kolmo k vláknům):	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	48	[mm]
a3t (zatížený konec):	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	84	[mm]
a3c (nezatížený konec):	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	84	[mm]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	48	[mm]
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	84	[mm]
a4t (zatížený okraj):	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	48	[mm]
a4c (nezatížený okraj):	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	36	[mm]



Obr. 78 – Spoj vaznička – vaznice běžná



Obr. 79 – Spoj vaznička – vaznice u štítu

6.9 Spoj vaznice běžná – vazníkový prvek 1

6.9.1 Spoj vaznice běžná – plech

Vaznice běžná:

$$V_{z,max} = 101 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$),

$$F_{v,Rd} = 27,1\text{kN} \cdot 2 = 54,2 \text{ kN (dvojtřížně)}$$

$$n_{min} = N_d / F_{v,Rd} = 101 / 54,2 = 1,88$$

-> Navrhují 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.15mm

-> Průřez vaznice běžné není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

6.9.2 Spoj vazníkový prvek 1 – plech

Vaznice běžná:

$$V_{z,max} = 101 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$),

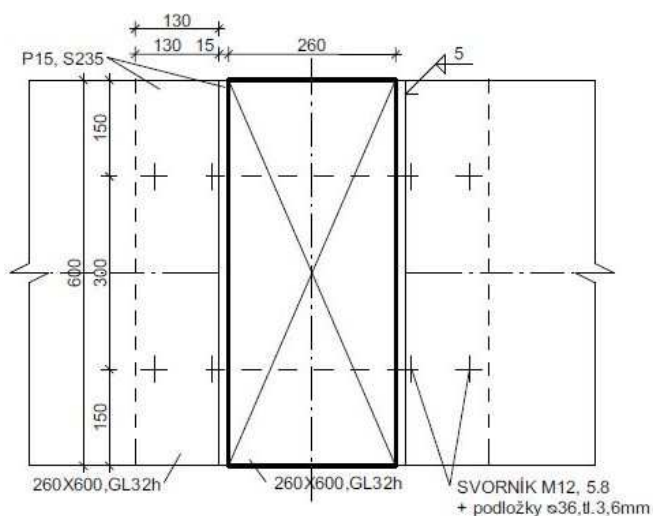
$$F_{v,Rd} = 27,1\text{kN}$$

$$n_{min} = N_d / F_{v,Rd} = 101 / 27,1 = 3,73$$

-> Navrhují 4 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.15mm

-> Průřez vazníkového prvku 1 není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.



Obr. 80 – Spoj vaznice běžná – vazníkový prvek 1



6.10 Spoj vaznice u štítu – vazníkový prvek 1/vrchní trám štítu

6.10.1 Spoj vaznice u štítu – plech

Vaznice u štítu:

$$V_{z,max} = 34 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$),

$$F_{v,Rd} = 27,1\text{kN} \cdot 2 = 54,2 \text{ kN (dvojstřížně)}$$

$$n_{min} = N_d / F_{v,Rd} = 34 / 54,2 = 0,63$$

-> Navrhuji 2 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.10mm

-> Průřez vaznice u štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.

6.10.2 Spoj vazníkový prvek 1/vrchní trám štítu – plech

Vaznice u štítu:

$$V_{z,max} = 34 \text{ kN}$$

Návrh: Svorník M12 5.8 ($d_0=13\text{mm}$),

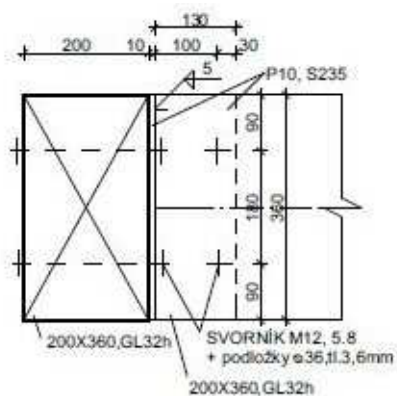
$$F_{v,Rd} = 27,1\text{kN}$$

$$n_{min} = N_d / F_{v,Rd} = 34 / 27,1 = 1,3$$

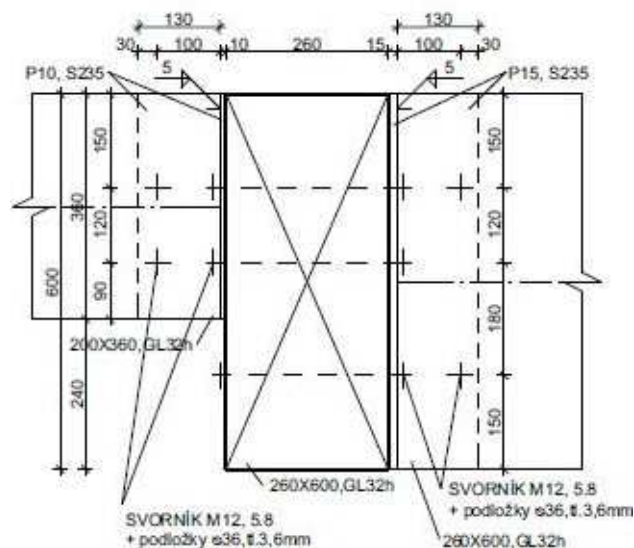
-> Navrhuji 4 svorníky.

Návrh: Plech S235 tl.10mm

-> Průřez vazníkového prvku 1/vrchního trámu štítu není třeba kvůli oslabení průřezu zvětšit díky dostatečné rezervě v únosnosti.



Obr. 81 – Spoj vaznice u štítu – vrchní trám štítu



Obr. 82 – Spoj vaznice u štítu – vazníkový prvek 1

6.11 Shrnutí průřezů – Podélné prvky

- Šikmina mezi vaznicemi:	0,18 x 0,16 m	GL32h
- Vzpěra od ŽB sloupu:	0,18 x 0,16 m	GL32h
- Vaznička:	0,2 x 0,24 m	GL32h
- Vaznice u štítu:	0,2 x 0,36 m	GL32h
- Vaznice běžná:	0,26 x 0,6 m	GL32h
- Vzpěra pro vazníkový prvek 8:	0,12 x 0,12 m	GL32h
- Vzpěra pro vazníkový prvek 9:	0,12 x 0,12 m	GL32h



7 Závěr

Zvolil jsem konstrukci vyhovující svými rozměry zimnímu stadionu. Řešil jsem ovlivnění návrhu haly mikroklimatem zimního stadionu. Navrhl jsem prvky a jejich průřezy a vypočítal stálá a proměnná zatížení. Objekt jsem umístil do Vrchlabí, což je šestá sněhová a druhá větrná oblast. V programu Scia Engineer jsem namodeloval vazník a štítovou stěnu, zadal zatěžovací stavy a jejich kombinace a nechal vypočítat vnitřní síly. Vnitřní síly na podélných prvcích haly jsem vypočítal bez využití softwaru. Nejprve jsem posoudil prvky a spoje vazníku, po té štítu a nakonec podélných prvků. Všechny prvky jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva. Prvky jsou spojovány pomocí plechů a svorníků. Plechy jsou vkládány dovnitř prvků. Ztužení konstrukce zajišťují dřevěné prvky.

Předmětem této diplomové práce bylo stanovení zatížení, kombinací, numerický model, výpočet vnitřních sil a deformací a též reakcí, dimenze hlavních konstrukčních prvků, návrh rozhodujících spojů, dispoziční výkresy vč. vybraných detailů (zejména spojů) a technická zpráva.

Výkresy a technická zpráva jsou umístěny v samostatné příloze. Ostatní body zadání jsou vypracované v této práci. Na závěr je možné konstatovat, že cíle práce byly splněny.