ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

A. STATICKÝ VÝPOČET

2019

Václav Černý

OBSAH

1. ÚVOD 8
1.1. Cíle práce 8
1.2. Informace o konstrukci 8
2. ZATÍŽENÍ 9
2.1. Stálé zatížení 9
2.2. Nahodilé zatížení 10
2.3. Kombinace zatížení 19
3. VNITŘNÍ SÍLY NA VAZNÍKU 22
4. NÁVRH A POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ 24
4.1. Materiálové charakteristiky 24
4.2. Návrhové pevnosti materiálu 24
4.3. Vnitřní spojitá vaznice 25
4.4. Horní pás 29
4.5. Spodní pás 34
4.6. Svislice 39
4.7. Diagonály 41
4.8. Stojina vnější 43
4.9. Stojina vnitřní 47
4.10. Ocelové Táhlo 50
4.11. Sloupky štítové stěny 51
5. NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ 57
5.1. Materiálové charakt. – svorníkové spoje 58
5.2. Spoj A (roh haly u horního pásu) 58
5.3. Spoj B (roh haly s ocelovým táhlem) 62
5.4. Spoj C (vnější stojina) 66
5.5. Spoj D (vnitřní stojina) 72
5.6. Spoj E (horní pás) 78
5.7. Spoj F (roh spodního pásu) 83
5.8. Spoj G (vrcholový čep) 87
5.9. Spoj H (vnější a vnitřní stojina v patě) 93
5.10. Připojení vaznice 96
6. ZTUŽIDLA 97
6.1. Ztužení ve střešní rovině 97
6.2. Ztužení v podélné stěně 102
6.3. Ztužení spodního pásu 104
6.4. Ztužení vnitřní stojiny 105
7. PŘEHLED PRVKŮ A SPOJŮ 106
7.1. Přehled prvků 106
7.2. Přehled spojů 106
8. ZDROJE 109

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schématický řez konstrukcí 8
Obrázek 2 - Skladba střešního pláště 9
Obrázek 3 - Skladba obvodového pláště 9
Obrázek 4 - Mapa sněhových oblastí 10
Obrázek 5 - Rozdělení na zatěžovací stavy 11
Obrázek 6 - Rozdělení na zatěžovací stavy dle skutečných hodnot 11
Obrázek 7 - Mapa větrných oblastí 12
Obrázek 8 - Schéma oblastí pro zatížení větrem na stěny 13
Obrázek 9 - Oblasti zatížení podélným větrem na stěny 14
Obrázek 10 - Oblasti zatížení příčným větrem 14
Obrázek 11 - Průběh zatížení větrem po výšce objektu 15
Obrázek 12 - Schéma oblastí pro zatížení větrem na střechu 16
Obrázek 13 - Oblasti zatížení podélným větrem na střechu 16
Obrázek 14 - Oblasti zatížení příčným větrem na střechu 17
Obrázek 15 - Schéma zajištění stability v rovině vazníku 31
Obrázek 16 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku 31
Obrázek 17 - Schéma zajištění stability v rovině vazníku 36
Obrázek 18 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku 36
Obrázek 19 - Schéma ztužení spodního pásu 37
Obrázek 20 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku 48
Obrázek 21 - Schéma ztužení vnitřní stojiny 49
Obrázek 22 - Vnější ocelové táhlo 50
Obrázek 23 - Typy porušení spoje 57
Obrázek 24 - Vzdálenosti řad svorníků 57
Obrázek 25 - Vzdálenosti svorníků od okrajů a konců 57
Obrázek 26 - Schéma posuzovaných spojů 58
Obrázek 27 - Schéma spoje A 58
Obrázek 28 – Schéma rozmístění svorníků (spoj A) 62
Obrázek 29 - Schéma spoje B 62
Obrázek 30 – Schéma rozmístění svorníků (spoj B) 65
Obrázek 31 - Schéma spoje C 66
Obrázek 32 - Schéma rozmístění svorníků (spoj C) 72
Obrázek 33 - Schéma spoje D 72
Obrázek 34 - Schéma rozmístění svorníků (spoj D) 78
Obrázek 35 - Schéma spoje E 78
Obrázek 36 - Schéma rozmístění svorníků (spoj E) 82
Obrázek 37 - Schéma spoje F 83
Obrázek 38 - Schéma rozmístění svorníků (spoj F) 86
Obrázek 39 - Schéma spoje G 87
Obrázek 40 - Schéma rozmístění svorníků (spoj G) 90
Obrázek 41 - Schéma čepového spoje (plechu) 91
Obrázek 42 - Schéma spoje H 93
Obrázek 43 - Schéma rozmístění svorníků (spoj H) 95
Obrázek 44 - Gerberova spojka GERW 240 96
Obrázek 45 - Schéma štítových sloupků 97
Obrázek 46 - Táhlo Detan 99

Obrázek 47 - Schéma ztužení v podélné stěně 102
Obrázek 48 - Schéma ztužení spodního pásu 104
Obrázek 49 - Schéma ztužení vnitřní stojiny 105
Obrázek 50 - Přehled spojů na stojinách, horním a spodním pásu 106
Obrázek 51 - Přehled spojů v diagonálách 107
Obrázek 52 - Přehled spojů ve svislicích 108

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Součinitel expozice 11
Tabulka 2 - Tvarový součinitel 11
Tabulka 3 - Hodnoty součinitelů pro jednotlivé oblasti stěn 15
Tabulka 4 - Hodnoty součinitelů pro podélný vítr 16
Tabulka 5 - Hodnoty součinitelů pro příčný vítr 17
Tabulka 6 - Rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců 57
Tabulka 7 - Přehled prvků 106

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Písmena velké latinské abecedy:

A - plocha
A_{eff} - efektivní plocha
A_s - plocha jádra šroubu
$E_{0,g,05}$ - hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti
$E_{0,g,mean}$ - průměrná hodnota modulu pružnosti
$F_{a,x,Rk,i}$ charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku
F_{max} - maximální síla
F_{Ed} - maximální síla
$F_{v,Rk}$ - charakteristická únosnost jednoho prvku pro jeden střih
$F_{v,Rd}$ - návrhová únosnost čepu pro dvě střihové roviny
$G_{k,j}$ - zatížení stálé
I_y - moment setrvačnosti k ose y
I_z - moment setrvačnosti k ose z
$L_{cr,y}$ - vzpěrná délka ve směru y
$L_{cr,z}$ - vzpěrná délka ve směru z
M_{Rd} - maximální ohybový moment únosnosti
M_y - ohybový moment k ose y
$M_{y,Ed}$ - návrhový ohybový moment k ose y
$M_{y,Rk}$ - charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku
M_z - ohybový moment k ose z
$M_{z,Ed}$ - návrhový ohybový moment k ose z
$N_{Ed,c}$ - návrhová normálová tlaková síla
$N_{Ed,t}$ - návrhová normálová tahová síla
N_{max} - maximální návrhová normálová síla
$Q_{k,i}$ - zatížení proměnné
S - síla
V_z - posouvající síla k ose z
V_{Ed} - návrhová posouvající síla
W_{el} - elastický průřezový modul
W_y - průřezový modul k ose y
W_z - průřezový modul k ose z

Písmena malé latinské abecedy:

a_i - vzdálenost svorníků (dle tabulky)
b - šířka
b_{eff} - efektivní šířka
$c_0(z)$ - součinitel orografie
c_{dir} - součinitel směru větru
c_e - součinitel expozice
$c_{pe,1}$ - součinitel tlaků větru
$c_{pe,10}$ - součinitel tlaků větru
c_{season} - součinitel ročního období
c_t - součinitel teploty
$c_r(z)$ - součinitel drsnosti terénu
d - délka

d - průměr
d_o - průměr otvoru
$f_{c,0,g,d}$ - návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,0,g,k}$ - charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,g,d}$ návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{c,90,g,k}$ charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{h,0,k}$ - charakteristická pevnost v otlačení v dřev. prvku
$f_{h,1,k}$ - charakteristická pevnost v otlačení v dřev. prvku zohledňující úhel
$f_{m,d,red}$ redukovaná návrhová pevnost v ohybu
$f_{m,g,d}$ - návrhová pevnost v ohybu
$f_{m,g,k}$ - charakteristická pevnost v ohybu
$f_{t,0,g,d}$ - návrhová pevnost v tahu rovnoběžně k vláknům
$f_{t,0,g,k}$ - charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně k vláknům
$f_{t,90,g,d}$ návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{t,90,g,k}$- charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům
f_u - pevnost oceli v tahu
f_{ub} - pevnosti tahu pro šroubové spoje
$f_{v,g,d}$ - návrhová pevnost ve smyku
$f_{v,g,k}$ - charakteristická pevnost ve smyku
f_y - mez kluzu oceli
f_{yb} - mez kluzu oceli pro šroubové spoje
g_k - charakteristické stálé zatížení
h - výška
i_y - poloměr setrvačnosti k ose y
i_z - poloměr setrvačnosti k ose z
k_1 - součinitel turbulence
k_{90} - součinitel pro výpočet charakteristické pevnosti v otlačení
k_{cr} - součinitel zohledňující výsušné trhliny
k_{crit} - součinitel klopení
k_{f3} - modifikační součinitel
k_l - součinitel pro výpočet stabilizačního zatížení
k_m - tvarový součinitel
k_{mod} - modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
k_r - součinitel terénu
$k_{c,y}$ - součinitel vzpěrnosti ve směru y
$k_{c,z}$ - součinitel vzpěrnosti ve směru z
k_y - součinitel vzpěrnosti ve směru y
k_z - součinitel vzpěrnosti ve směru z
l - délka
l_{eff} - efektivní délka
l_v - vliv turbulencí
n - počet
n_{ef} - účinný počet svorníků
q - stabilizační zatížení
q_k - charakteristické proměnné zatížení
$q_p(z)$ - maximální dynamický tlak
s_i - síla od zatížení sněhem

s_k - charakteristická hodnota zatížení sněhem
t - tloušťka
$u_{i,inst}$ - okamžitý průhyb
$u_{inst,lim}$ limitní okamžitý průhyb
u_y - průhyb k ose y
$u_{y,g,inst}$ průhyb od stálého zatížené v ose y
$u_{y,s,inst}$ průhyb od zatížení sněhem v ose y
$u_{y,Q,inst}$ průhyb od užitného zatížení v ose y
$u_{y,w,inst}$ průhyb od zatížení větrem v ose y
u_z - průhyb k ose z
$u_{z,g,inst}$ průhyb od stálého zatížené v ose z
$u_{z,s,inst}$ průhyb od zatížení sněhem v ose z
$u_{z,Q,inst}$ průhyb od užitného zatížení v ose z
$u_{z,w,inst}$ průhyb od zatížení větrem v ose z
$v_{b,0}$ - rychlost větru dle mapy větrných oblastí
v_b - výchozí základní rychlost větru
$v_m(z)$ - charakteristická střední rychlost větru
$w_{e,i}$ - zatížení větrem
z - výška objektu
z_0 - parametr drsnosti terénu (dle kat. terénu)
$z_{0,II}$ - parametr drsnosti terénu (kat. II)
z_{min} - minimální výška (dle kat. terénu)
z_{max} - maximální výška (dle kat. terénu)

<u>Písmena malé řecké abecedy:</u>
α - úhel
β - součinitel pro prvky namáhané vzpěrným tlakem
ρ - objemová hmotnost
$\rho_{g,k}$ - hustota
ρ_v - hustota vzduchu
μ_i - tvarový součinitel
γ_g - součinitel stálého zatížení
γ_m - součinitel materiálu
γ_q - součinitel proměnného zatížení
$\Psi_{0,i}$ - součinitel průhybu nahodilého zatížení
$\sigma_{c,0,d}$ - návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{c,crit}$ - kritické napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{m,y,d}$ - návrhové napětí v ohybu v ose y
$\sigma_{m,crit}$ - kritické napětí v ohybu
$\sigma_{m,z,d}$ - návrhové napětí v ohybu v ose z
$\sigma_{t,0,d}$ - návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny
$\lambda_{rel,m}$ - relativní štíhlost v ohybu
$\lambda_{rel,y}$ - relativní štíhlostní poměr ve směru osy y
$\lambda_{rel,z}$ - relativní štíhlostní poměr ve směru osy z
λ_y - štíhlostní poměr ve směru osy y
λ_z - štíhlostní poměr ve směru osy z
$\tau_{v,Ed}$ - návrhové napětí ve smyku za ohybu

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh a posouzení nosné velko-rozponové konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Navrhovaná hala bude sloužit jako jízdárna pro koně. Hlavní nosná konstrukce se bude skládat z příhradových vazníků, stojin a táhel (viz. schéma na obr. 1). Objekt bude situován v obci Rokycany, která leží v Plzeňském kraji.

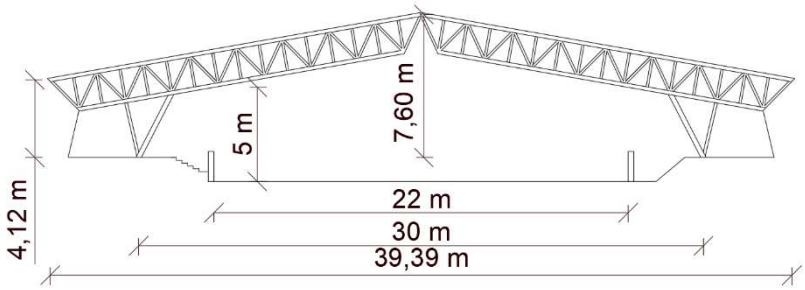
1.1. Cíle práce

Práce se zaměřuje na návrh a posouzení hlavních nosných prvků objektu. Dílčími úkoly tohoto projektu je pak stanovení zatížení, tvorba statického modelu a výpočet vnitřních sil. Dále pak návrh a posouzení hlavních prvků, navržení vybraných detailů (spojů), zpracování vybraných konstrukčních výkresů a technická zpráva.

1.2. Informace o konstrukci

Celkový půdorysný rozměr konstrukce je 77 m (s přesahem střechy 80 m) x 39,39 m. Výška objektu ve vrcholu je 7,6 m.

Umístění:	Rokycany (Plzeňský kraj)	
Rozměry:	Délka konstrukce:	77,00 m
	Šířka konstrukce:	39,39 m
	Výška konstrukce ve vrcholu:	7,60 m
	Výška konstrukce na okrajích:	4,12 m
	Vzdálenost příčných vazeb:	7,00 m
	Vzdálenost vaznic:	2,50 m
	Sklon střechy	10°



Obrázek 1 - Schématický řez konstrukcí

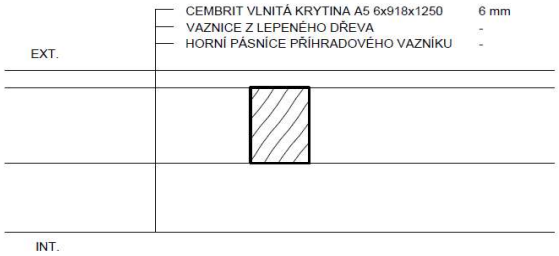
2. ZATÍŽENÍ

2.1. Stálé zatížení

2.1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha všech prvků bude automaticky spočtena v programu Scia Engineer 18.0.2033 – studentská licence.

2.1.2. Střešní plášť

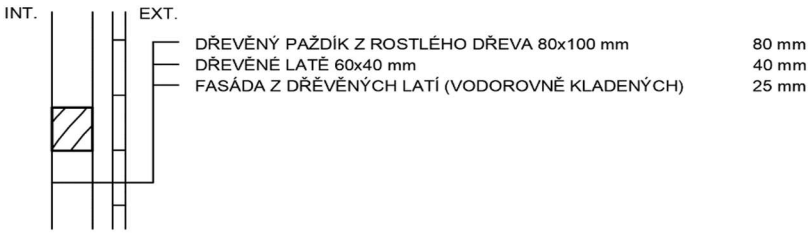


Obrázek 2 - Skladba střešního pláště

Název	ρ [kN/m^3]	Výpočet	g_k [kN/m^2]
Vláknocementová vlnitá krytina Cembrit A5 tl. 6 mm	10	0,006*10	0,06
Celk. zatížení od střešního pláště g_k [kN/m^2]:			0,06

Tabulka 1 - Zatížení od střešního pláště

2.1.3. Obvodový plášť



Obrázek 3 - Skladba obvodového pláště

Název	ρ [kN/m^3]	Výpočet	g_k [kN/m]
Fasáda z dřevěných palubek tl. 25 mm	3,5	0,025*3,5*7	0,613
Dř. latě 40x60 mm (á 500 mm)	3,5	14*3,5*0,04* 0,06*2,88/7	0,048
Paždík 80x100 mm (á 1000 mm)	3,5	3*3,5*0,10* 0,08*7/2,88	0,204
Celkové zatížení od střešního pláště g_k [kN/m]:			0,865

Tabulka 2 - Zatížení od obvodového pláště

Zatížení od obvodového pláště bylo spočítáno v kN/m z důvodu působení dřevěných latí a paždíku. V tab. je vypočteno zatížení pláštěm na stojinu. Hodnota pro opláštění spodního pásu a diagonály (ze strany) je 0,89 kN/m.

2.1.4. Zatížení od instalací

Na spodní pás je uvažováno zatížení 0,5 kN/m, jelikož se předpokládá zatížení instalacemi (např. osvětlení).

V navržených skladbách není počítáno se zateplením, jelikož tento druh provozu (jízdárna pro koně) to nevyžaduje.

2.2. Nahodilé zatížení

2.2.1. Užitné

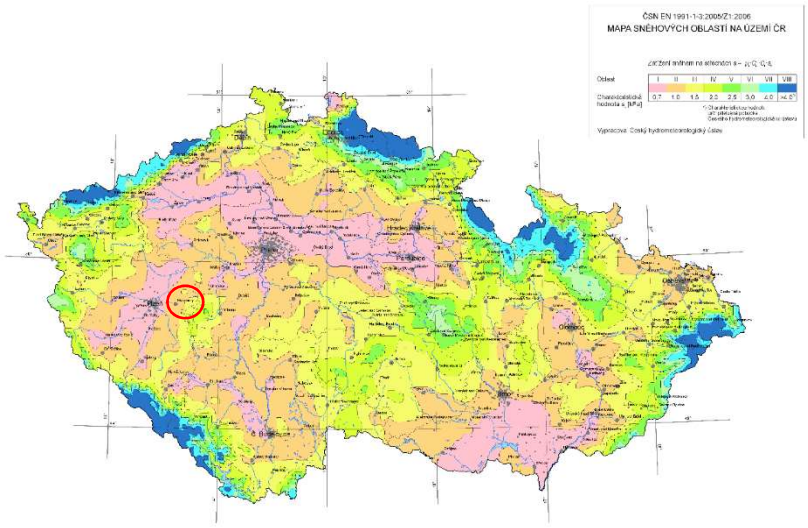
Pro střechu je stanoveno užitné zatížení: q_k = 0,75 kN/m^2.
Je uvažována kategorie H – nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby a oprav. Zatížení bude dle normy rozpočítáno na plochu 10 m^2 a to do tří zatěžovacích stavů, kde budou působit nejnepříznivěji. Zatěžovací stavy se mezi sebou nebudou kombinovat, jelikož takovéto působení se nepředpokládá.

2.2.2. Sníh

Vstupní údaje:
s_k = 1 kN/m^2
c_e = 1,0 (s. expozice)
c_t = 1,0 (teplotní s.)
μ_i (tvarový s.)

Stavba je umístěna ve městě Rokycany, která je zařazena dle sněhové mapy do II. sněhové oblasti. Výpočet proveden dle normy ČSN EN1991-1-3. Dle sněhové mapy (Obr. 4) byla stanovena charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k.

Stanovení tvarových součinitelů:



Obrázek 4 - Mapa sněhových oblastí

Podle tab. 3 byl stanoven součinitel expozice c_e. Hodnota teplotního součinitele c_t byla určena pro normální případ.

Typ krajiny	C_e
otevřená [a)]	0,8
normální [b)]	1,0
chráněná [c)]	1,2

a) *Otevřený typ krajiny*: rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terénem, vyššími stavbami nebo stromy.

b) *Normální typ krajiny*: plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům.

c) *Chráněný typ krajiny*: plochy, kde je uvažovaná stavba výrazně nižší než okolní terén nebo je stavba obklopena vysokými stromy a/nebo vyššími stavbami.

Tabulka 3 - Součinitel expozice

Tvarové součinitele se stanoví podle sklonu střešní konstrukce, dle tab. 4.

$\mu_1 = 0{,}8$
$\mu_2 = 0{,}8 + 0{,}8*\alpha/30 = 0{,}8 + 0{,}8*10/30 = 1{,}067$

úhel sklonu střechy α	$0° \leq \alpha \leq 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \geq 60°$
μ_1	0,8	$0{,}8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0{,}8 + 0{,}8\alpha/30$	1,6	--

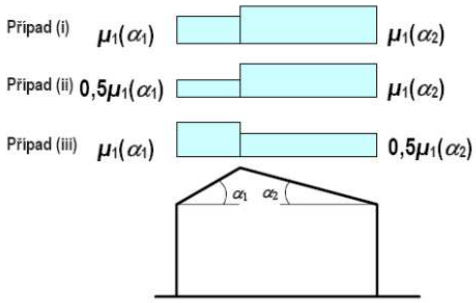
Tabulka 4 - Tvarový součinitel

Zatížení sněhem se stanoví dle vztahu:

$s_1=\mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k=0{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=0{,}8\ kN/m^2$
$s_2=\mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k=1{,}067 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=1{,}067\ kN/m^2$

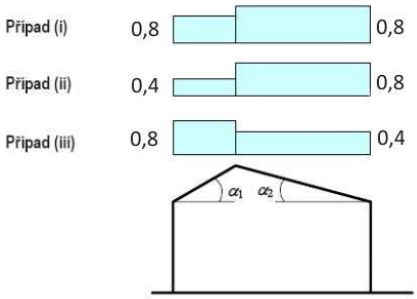
Rozdělení na zatěžovací stavy:

Případ (i) znázorňuje namáhání nenavátým sněhem.
Případ (ii) a (iii) znázorňuje namáhání navátým sněhem.



Obrázek 5 - Rozdělení na zatěžovací stavy

Při použití vypočtených hodnot dostaneme tyto stavy:



Obrázek 6 - Rozdělení na zatěžovací stavy dle skutečných hodnot

Zatížení sněhem je přenášeno přes střešní plášť do vaznic a poté na příhradový vazník. V zatěžovacích stavech bude zatížení působit těmito bodovými silami:

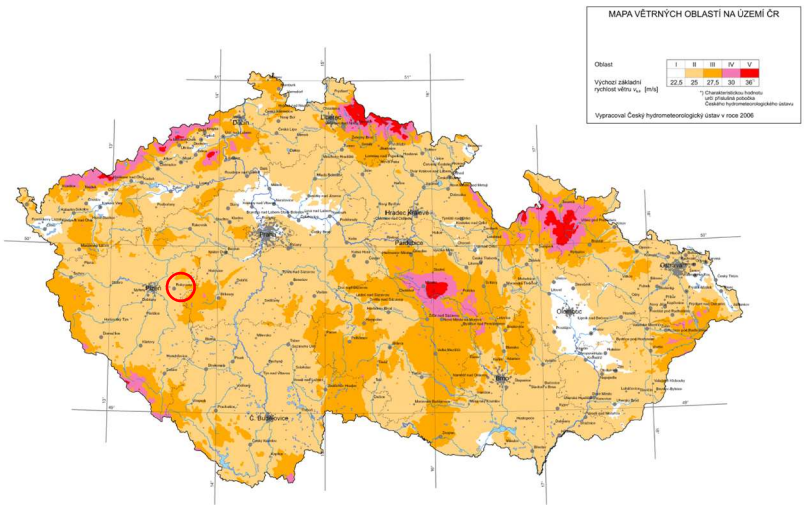
B…rozpětí vazníků
L…vzdálenost vaznic

$F_1 = s_1 * B * L = 0{,}8 * 7 * 1{,}05 = 5{,}88\ \mathrm{kN}$ (nenavátý sníh)
$F_2 = s_1 * B * L = 0{,}4 * 7 * 1{,}05 = 2{,}94\ \mathrm{kN}$ (navátý sníh)

2.2.3. Vítr

Vstupní údaje:
$V_{b,o}$=25 m/s –
ρ_v=1,25 kg/m^3
z=7,6 m
z_0=0,3 m
z_{min}=5 m
z_{max}=200 m
$c_0(z)$=1

Stavba je umístěna ve městě Rokycany, která je zařazena dle mapy větrných oblastí (Obr. 7) do 2. větrné oblasti. Kategorie terénu je určena třetí. Výpočet proveden dle normy ČSN EN1991-1-4. Dle mapy větrných oblastí (obr. 7) byla určena větrná oblast a podle ní základní rychlost větru $v_{b,0}$.



Obrázek 7 - Mapa větrných oblastí

Výchozí základní rychlost větru:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25\ \mathrm{m/s}$$

Charakteristická střední rychlost větru $v_m(z)$:

Součinitel terénu k_r:

$$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07}$$

$$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{0{,}3}{0{,}05}\right)^{0{,}07} = 0{,}22$$

Součinitel drsnosti terénu c_r (z):

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

$$c_r(z) = 0{,}22 * \ln\left(\frac{7{,}6}{0{,}3}\right) = 0{,}71$$

Charakteristická střední rychlost větru $v_m(z)$:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$
$$v_m(z) = 0{,}71 * 1 * 25 = 17{,}78\ \mathrm{m/s}$$

$k_1 = 1$

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$:

Vliv turbulence:

$$I_v = \frac{k_1}{c_o(z) * \ln(\frac{z}{z_0})}$$

$$I_v = \frac{1}{1 * \ln(\frac{7,6}{0,3})} = 0,31$$

Maximální dynamický tlak $q_p(z)$:

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

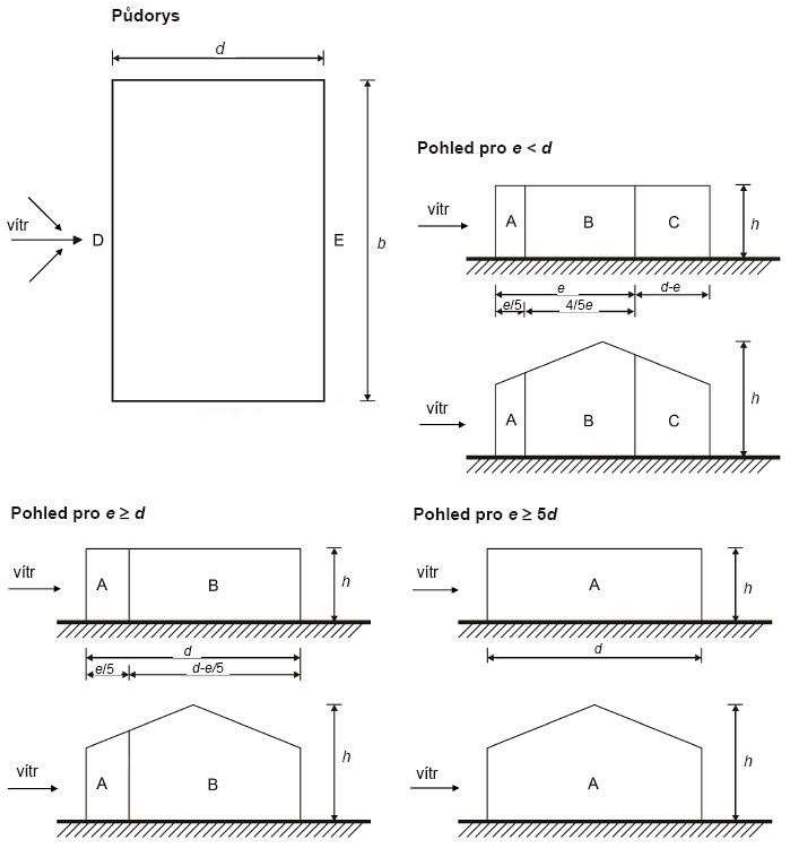
$$q_p(z) = [1 + 7 * 0,31] * \frac{1}{2} * 1,25 * 17,78^2 * 10^{-3}$$

$$q_p(z) = 0,626\ kN/m^2$$

Zatížení větrem na stěny:

Ve výpočtu uvažuji dva typy působení větru:
A) vítr působící na štítovou stěnu objektu
B) vítr působící na podélnou stěnu objektu.

Mohou zde nastat tři situace, které jsou závislé na rozměrech objektu:



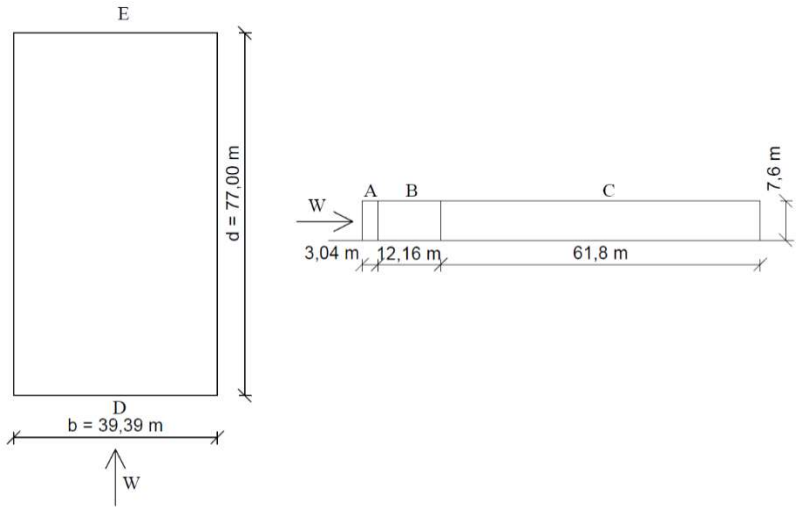
Obrázek 8 - Schéma oblastí pro zatížení větrem na stěny

e…menší z hodnot *b* nebo *2h*
b…rozměr kolmý na směr větru

A) zatížení větrem na štítovou stěnu

b=39,39 m
d=77 m
2h=2*7,6=15,2 m
e=15,2 m

e<d



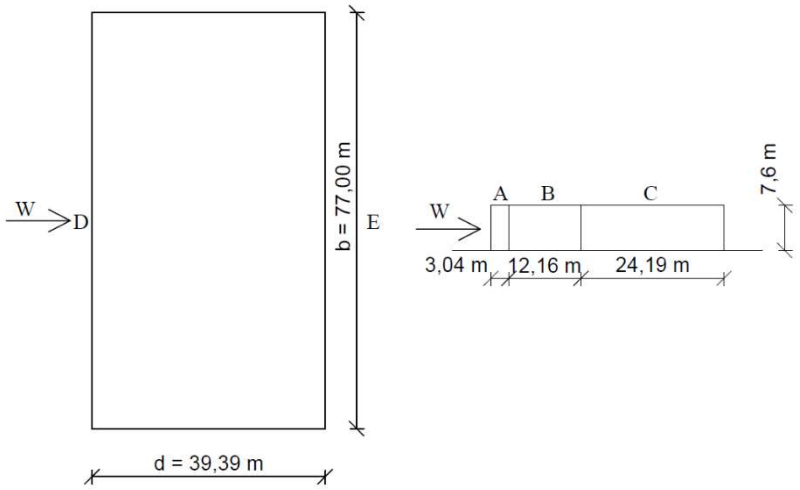
Obrázek 9 - Oblasti zatížení podélným větrem na stěny

ČÁST D a E působí na celou plochu štítu
ČÁST A=e/5=15,2/5=3,04 m
ČÁST B=4/5e=4/5*15,2=12,16 m
ČÁST C=d-e=77-15,2=61,8 m

B) zatížení větrem na podélnou stěnu

b=77 m
d=39,39 m
2h=2*7,6=15,2 m
e=15,2 m

e<d



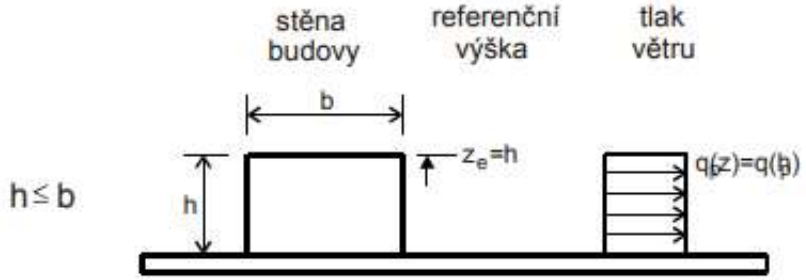
Obrázek 10 - Oblasti zatížení příčným větrem na stěny

ČÁST D a E působí na celou plochu stěny
ČÁST A=e/5=15,2/5=3,04 m
ČÁST B=4/5e=4/5*15,2=12,16 m
ČÁST C=d-e=39,39-15,2=24,19 m

Referenční výška budovy

h=7,6 m
b=77 m a 39,39 m

V obou případech (vítr působící na štítovou stěnu a vítr působící na podélnou stěnu) je h<b, lze tedy předpokládat konstantní průběh zatížení větrem po výšce budovy (viz. obr. 11).



Obrázek 11 - Průběh zatížení větrem po výšce objektu

<u>Výpočet tlaků větru na jednotlivé povrchy stěn:</u>

Pro d=77 m -> h/d=7,6/77=0,10

Pro d=39,39 m -> h/d=7,6/39,39=0,19

Jelikož oba výsledky jsou pod hodnotou 0,25, budou tlaky větrů jednotlivých oblastí stejné pro oba směry působícího větru.

Uvažuji $c_{pe,10}$, jelikož plocha je >10 m^2

Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabulka 5 - Hodnoty součinitelů pro jednotlivé oblasti stěn

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10}$$

ČÁST A:

$C_{pe,10}$ = -1,2

$w_{e,A}$= 0,626*(-1,2) = -0,75 kN/m^2

ČÁST B:

$C_{pe,10}$ = -0,8

$w_{e,B}$= 0,626*(-0,8) = -0,50 kN/m^2

ČÁST C:

$C_{pe,10}$ = -0,5

$w_{e,C}$= 0,626*(-0,5) = -0,31 kN/m^2

ČÁST D:

$C_{pe,10}$ = 0,7

$w_{e,D}$= 0,626*0,7 = 0,44 kN/m^2

ČÁST E:

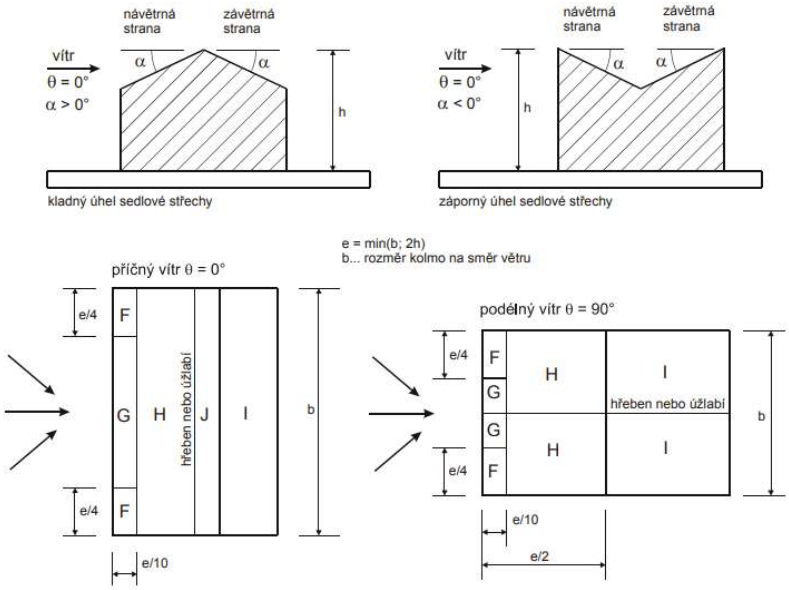
$C_{pe,10}$ = -0,3

$w_{e,E}$= 0,626*(-0,3) = -0,19 kN/m^2

<u>Zatížení větrem na střechu</u>

V případě výpočtu zatížení větrem na sedlovou střechu budou uvažovány dvě situace, zatížení příčným větrem a zatížení podélným větrem.

Ve výpočtu uvažuji kladný úhel sedlové střechy, konkrétně 10°. Bude tedy nutné hodnoty z tabulky (viz. tab.6 a tab.7) interpolovat.



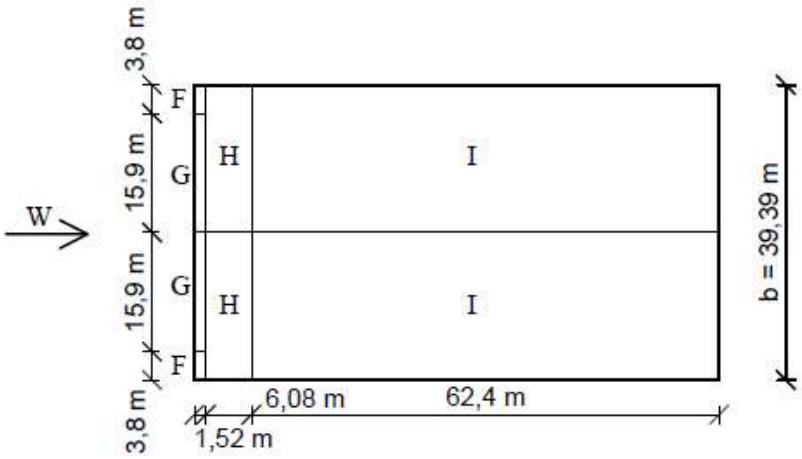
Obrázek 12 - Schéma oblastí pro zatížení větrem na střechu

e…menší z hodnot *b* nebo *2h*
b…rozměr kolmý na směr větru

<u>A) Zatížení podélným větrem na sedlovou střechu</u>

b=39,39 m
2h=2*7,6=15,2 m
e=15,2 m

e<d



Obrázek 13 - Oblasti zatížení podélným větrem na střechu

Uvažuji $c_{pe,10}$, jelikož plocha je >10 m^2

Úhel sklonu střechy je 10°

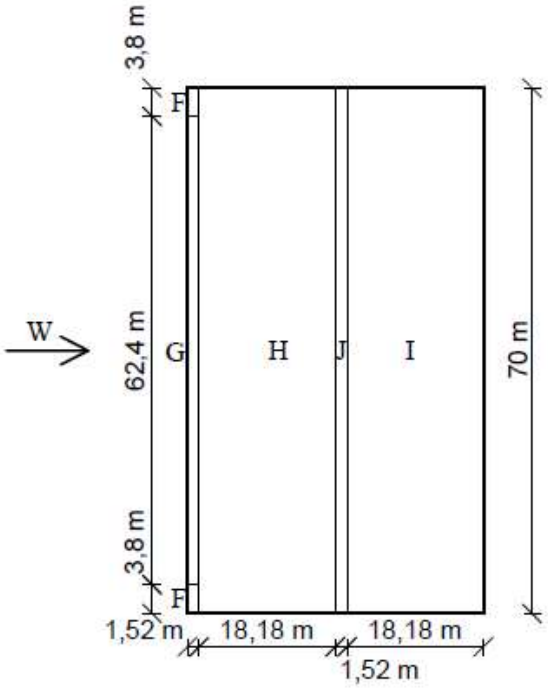
Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru θ = 90°							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Tabulka 6 - Hodnoty součinitelů pro podélný vítr

b=77 m
2h=2*7,6=15,2 m
e=15,2 m

e<d

B) Zatížení příčným větrem na sedlovou střechu



Obrázek 14 - Oblasti zatížení příčným větrem na střechu

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru θ = 0°									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe>1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe>1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe>1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe>1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe>1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Tabulka 7 - Hodnoty součinitelů pro příčný vítr

Uvažuji $c_{pe,10}$, jelikož plocha je >10 m^2

Úhel sklonu střechy je 10°

Výpočet tlaků větru na jednotlivé povrchy sedlové střechy:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe,10}$$

Hodnoty pro směr větru θ = 90° (podélný vítr):

ČÁST F:

$C_{pe,10}$ =-1,45

$w_{e,F}$=0,626*(-1,45)=-0,91 kN/m^2

ČÁST G:

$C_{pe,10}$ =-1,30

$w_{e,G}$=0,626*(-1,30)=-0,81 kN/m^2

ČÁST H:

$C_{pe,10}$ =-0,65

$w_{e,H}$=0,626*(-0,65)=-0,41 kN/m^2

ČÁST I:

$C_{pe,10}$ =-0,55

$w_{e,I}$=0,626*(-0,55)=-0,34 kN/m^2

<u>Hodnoty pro směr větru θ = 0° (příčný vítr):</u>

ČÁST F:

$C_{pe,10}$ =-1,30

$w_{e,F}$=0,626*(-1,30)=-0,81 kN/m^2

$C_{pe,10}$ =0,10

$w_{e,F}$=0,626*0,10=0,06 kN/m^2

ČÁST G:

$C_{pe,10}$ =-1,00

$w_{e,G}$=0,626*(-1,00)=-0,63 kN/m^2

$C_{pe,10}$ =0,10

$w_{e,G}$=0,626*0,10=0,06 kN/m^2

ČÁST H:

$C_{pe,10}$ =-0,45

$w_{e.H}$=0,626*(-0,45)=-0,28 kN/m^2

$C_{pe,10}$ =0,10

$w_{e,H}$=0,626*0,10=0,06 kN/m^2

ČÁST I:

$C_{pe,10}$ =-0,50

w_e=0,626*(-0,50)=-0,31 kN/m^2

$C_{pe,10}$ =-0,30

w_e=0,626*(-0,30)=-0,19 kN/m^2

ČÁST J:

$C_{pe,10}$ =-0,80

w_e=0,626*(-0,80)=-0,50 kN/m^2

$C_{pe,10}$ =0,10

w_e=0,626*(0,10)=0,06 kN/m^2

	Podélný vítr θ=90°	Příčný vítr θ=0°	
$w_{e,F}$	-0,91 kN/m^2	-0,81 kN/m^2	+0,06 kN/m^2
$w_{e,G}$	-0,81 kN/m^2	-0,63 kN/m^2	+0,06 kN/m^2
$w_{e,H}$	-0,41 kN/m^2	-0,28 kN/m^2	+0,06 kN/m^2
$w_{e,I}$	-0,34 kN/m^2	-0,31 kN/m^2	-0,19 kN/m^2
$w_{e,J}$	-	-0,50 kN/m^2	+0,06 kN/m^2

Tabulka 8 - Přehled hodnot zatížení větrem na střechu

Zatížení musí být přepočteno do liniového zatížení přes příslušné zatěžovací šířky podle zón, ve kterých se nachází. U podélného větru je nejzatíženější 1. vazník (od kraje). U příčného větru je nejzatíženější 2. vazník (od kraje).

U příčného větru není jasné, zda bude rozhodovat sání nebo tlak, proto bude potřeba vytvořit dva zatěžovací stavy pro příčný vítr.

2.3. Kombinace zatížení

2.3.1. Zatěžovací stavy

ZS1 – Vlastní tíha
ZS2 – Stálé zatížení – střešní plášť, vaznice
ZS3 – Užitné zatížení – na krajích
ZS4 – Užitné zatížení – v hřebeni
ZS5 – Užitné zatížení – nad stojinami
ZS6 – Nahodilé zatížení – sníh rovnoměrný
ZS7 – Nahodilé zatížení – sníh navátý
ZS8 – Nahodilé zatížení – vítr podélný 90°
ZS9 – Nahodilé zatížení – vítr příčný 0° sání
ZS10 – Nahodilé zatížení – vítr příčný 0° tlak

2.3.2. Kombinace zatížení

<u>Kombinace pro mezní stav únosnosti (MSÚ):</u>

Vztah pro určení kombinací zatížení byl určen podle stavu ČSN EN 1990 (rovnice 6.10).

$$F_d = \sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\gamma_{G,j} = 1{,}35$
$\gamma_{Q,1} = 1{,}5$
$\gamma_{Q,i} = 1{,}5$
$\psi_{0,i} = 0{,}7 - \text{sníh}$
$\psi_{0,i} = 0{,}6 - \text{vítr}$

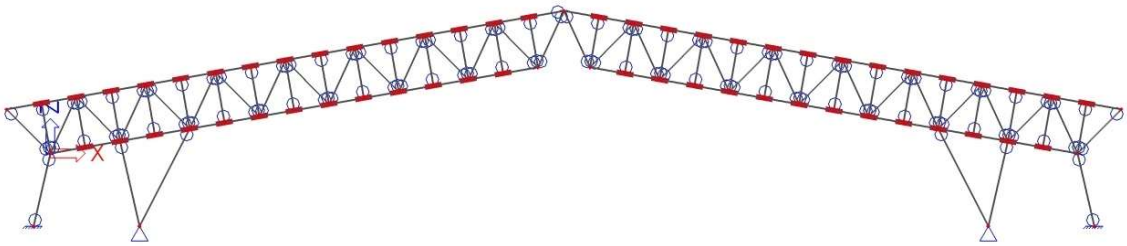
Ručně bylo vytvořeno 21 kombinací včetně přiřazení jednotlivých součinitelů v programu Scia. Byly vytvořeny lineární i nelineární kombinace a následně porovnány jejich výsledky vnitřních sil. Použity byly výsledky z nelinárních kombinací, které byl nejnepříznivější.

<u>Kombinace pro mezní stav použitelnosti (MSP):</u>

Vztah pro určení kombinací zatížení byl určen podle stavu ČSN EN 1990 (rovnice 6.16).

$$F_d = \sum_{j>1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

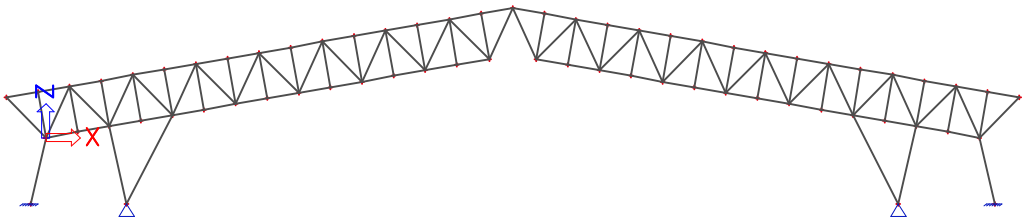
2.3.3. Statické schéma



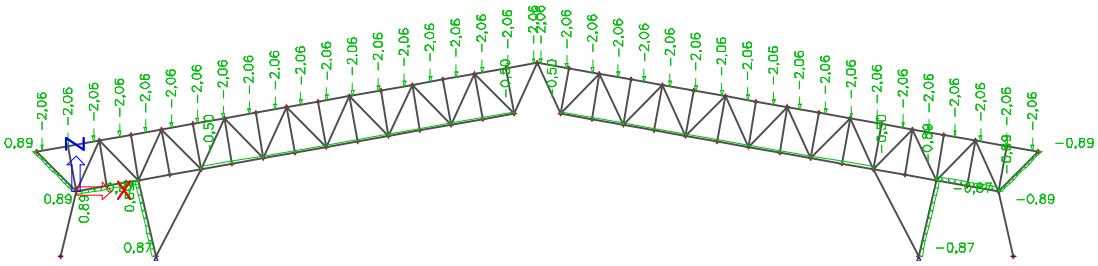
2.3.4. Působení jednotlivých zatížení

ZS1 – vlastní tíha

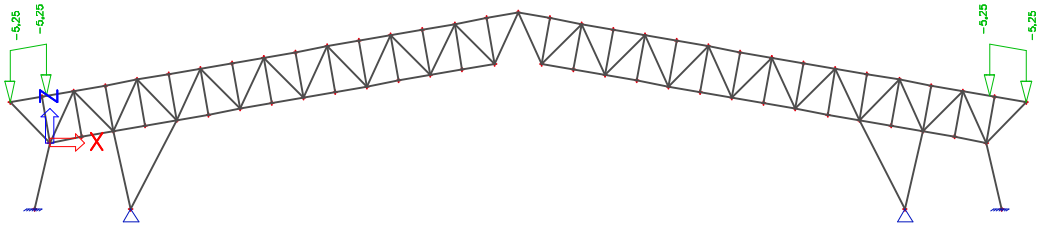
- vlastní tíha vypočtena programem Scia engineer 18



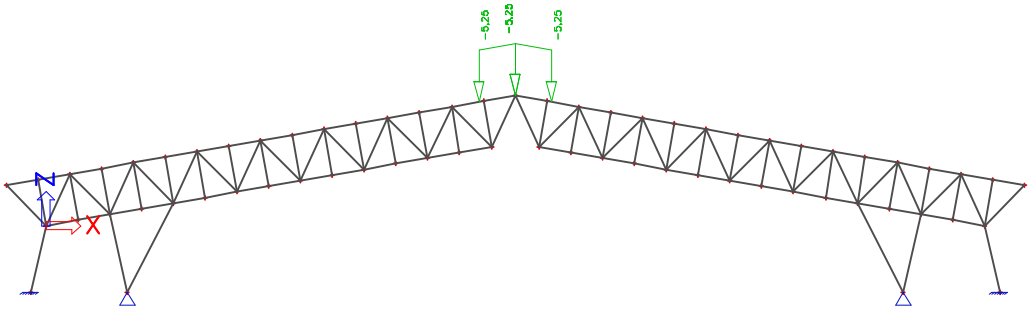
ZS2 – Stálé zatížení – střešní plášť, vaznice



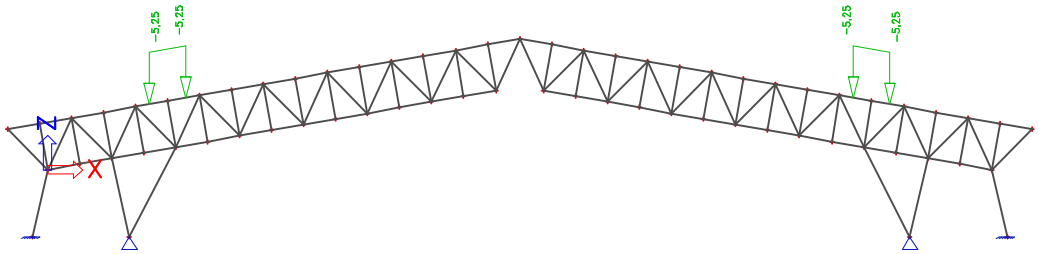
ZS3 – Užitné zatížení – na krajích



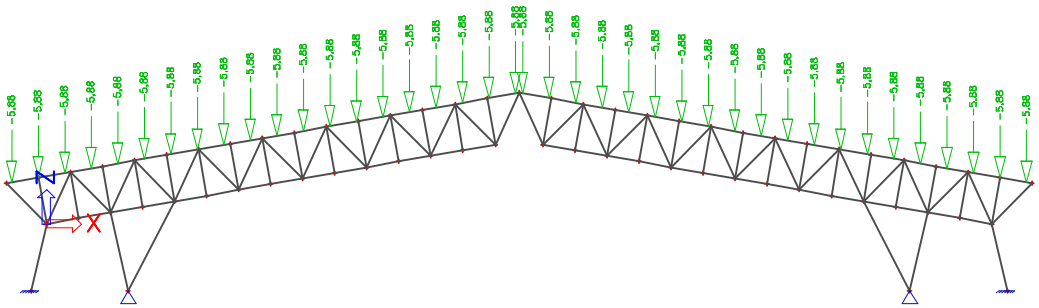
ZS4 – Užitné zatížení – v hřebeni



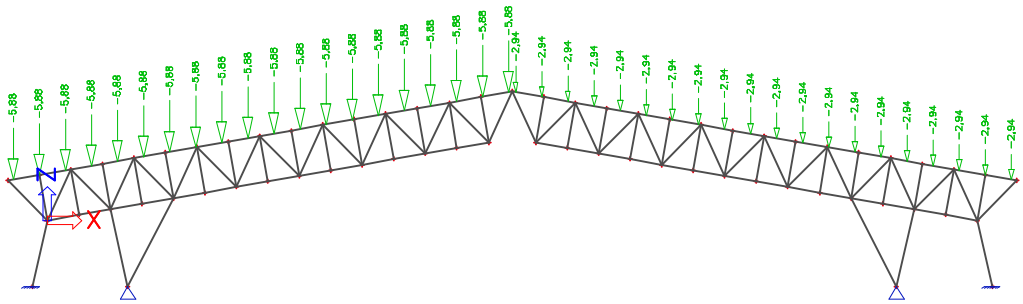
ZS5 – Užitné zatížení – nad stojinami



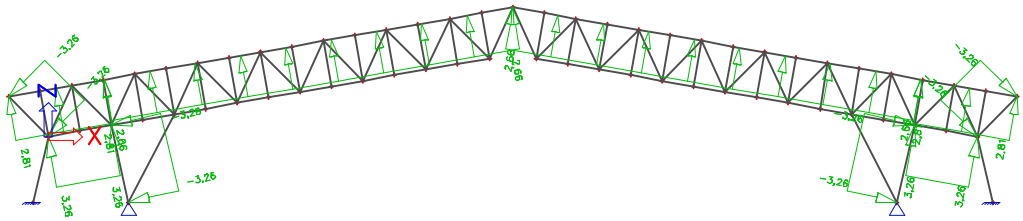
ZS6 – Nahodilé zatížení – sníh rovnoměrný



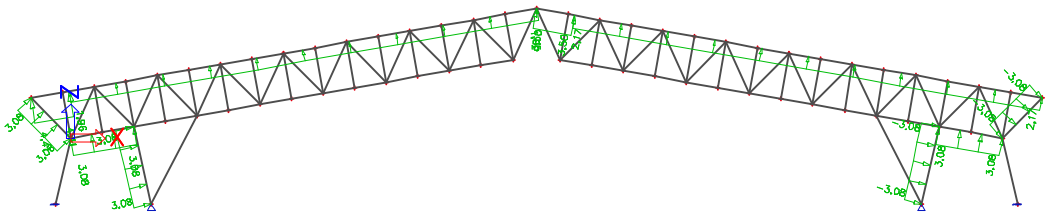
ZS7 – Nahodilé zatížení – sníh navátý



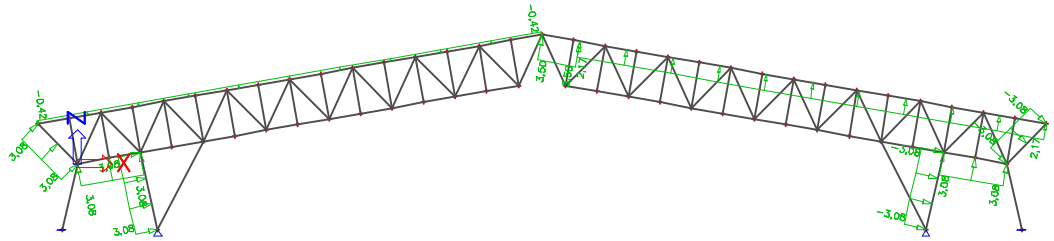
ZS8 – Nahodilé zatížení – vítr podélný 90°



ZS9 – Nahodilé zatížení – vítr příčný 0° sání

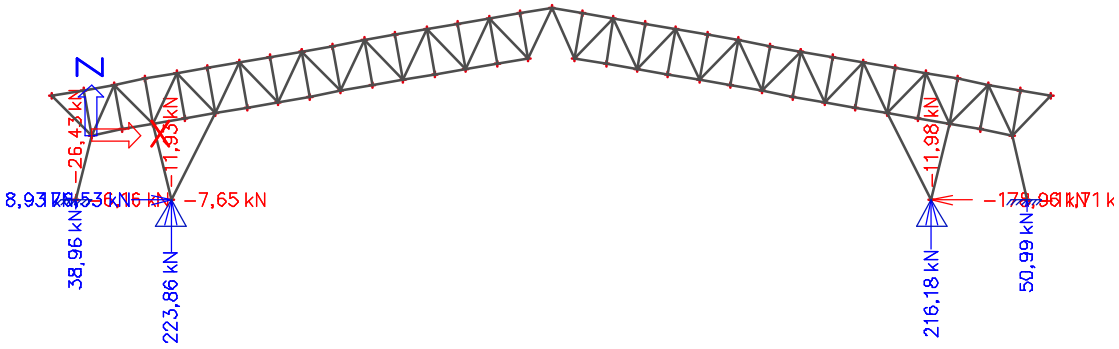


ZS10 – Nahodilé zatížení – vítr příčný 0° tlak

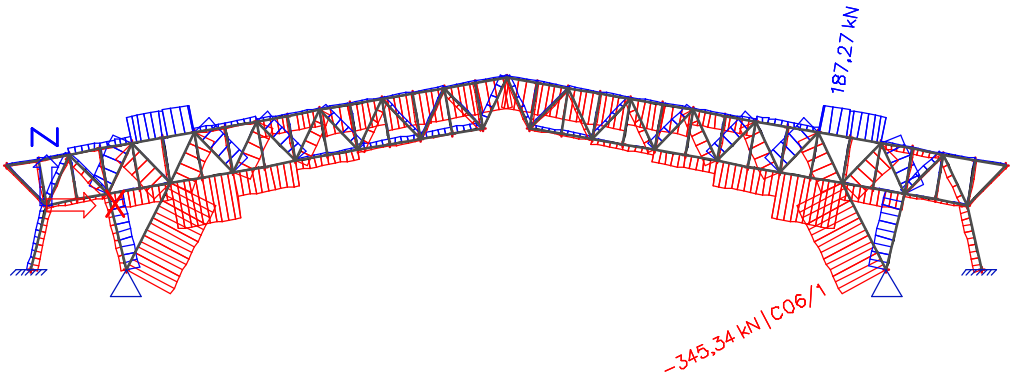


3. VNITŘNÍ SÍLY NA VAZNÍKU

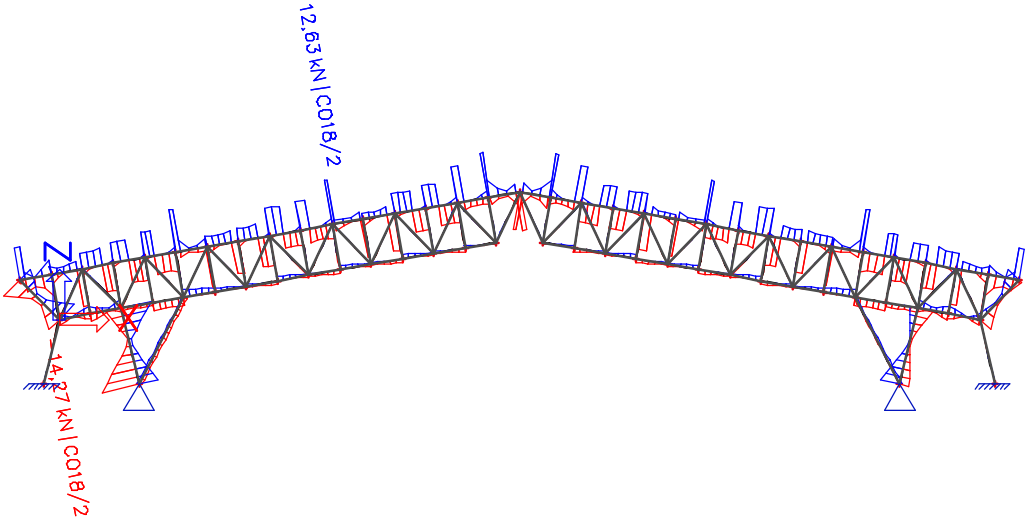
Reakce (Ry, Rz):



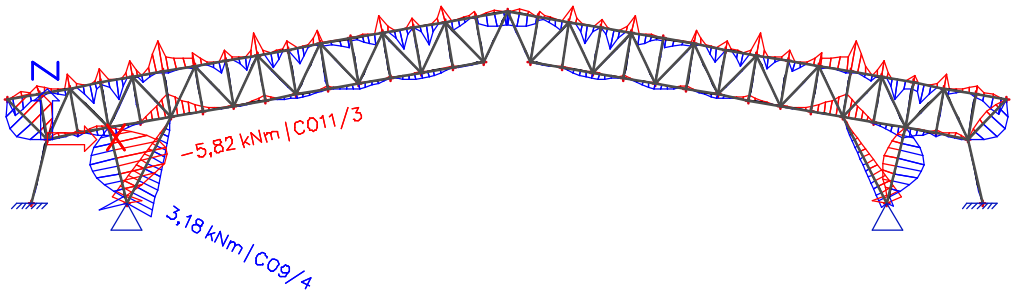
Normálové síly (N):



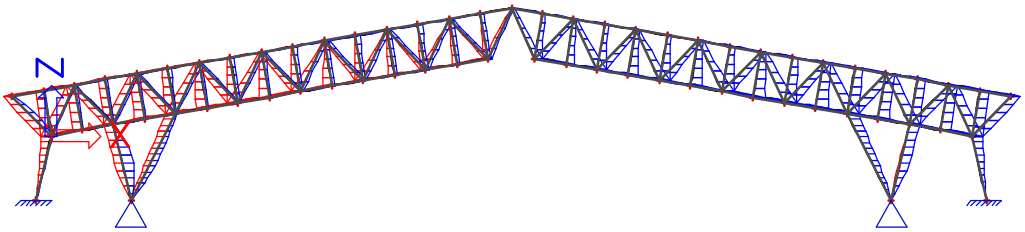
Posouvající síly (V):

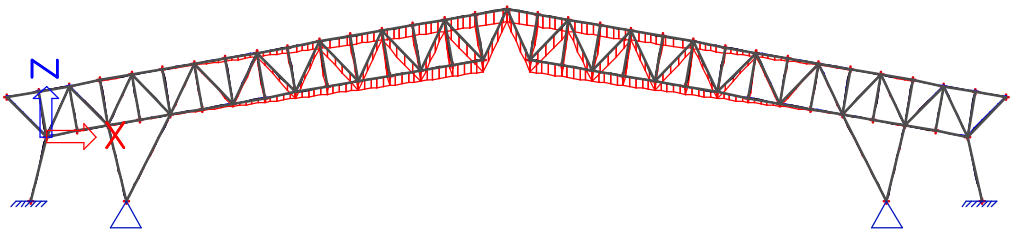


Ohybové momenty (M_y):



Průhyby (u_x, u_z):





Znázorněny pouze průběhy vnitřních sil na celém příhradovém rámu od obálky vnitřních sil. Následně jsou uvedeny extrémy jednotlivých vnitřních sil na celém modelu. Extrémy vnitřních sil na jednotlivých prvcích budou uvedeny vždy u jednotlivých výpočtů prvků.

4. NÁVRH A POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH PRVKŮ

4.1. Materiálové charakteristiky

Všechny prvky kromě štítových sloupků a táhla budou navrženy z lepeného lamelového dřeva LLD-GL32h. Při návrhu bude zohledněna tloušťka lamel 40 mm.

Třída pevnosti dřeva: **LLD-GL32h**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$=32 MPa
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně k vláknům:	$f_{t,0,g,k}$=25,6 MPa
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$=0,5 MPa
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$=32 MPa
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$=2,5 MPa
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$=3,5 MPa
Modul pružnosti:	$E_{0,g,mean}$=14,2 kN/mm^2
	$E_{0,g,05}$=11,8 kN/mm^2
Hustota:	$\rho_{g,k}$=440 kg/m^3

4.2. Návrhové pevnosti materiálu

γ_m=1,25
(lamelové dřevo)

k_{mod}=0,9

třída provozu: 2

trvání zatížení:
krátkodobé

Pevnost v ohybu:

$$f_{m,g,d}=k_{mod}*f_{m,k}/\gamma_m=0,9*32/1,25=23,04 \text{ MPa}$$

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d}=k_{mod}*f_{t,o,g,k}/\gamma_m=0,9*25,6/1,25=18,43 \text{ MPa}$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d}=k_{mod}*f_{t,9o,g,k}/\gamma_m=0,9*0,5/1,25=0,36 \text{ MPa}$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d}=k_{mod}*f_{c,o,g,k}/\gamma_m=0,9*32/1,25=23,04 \text{ MPa}$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

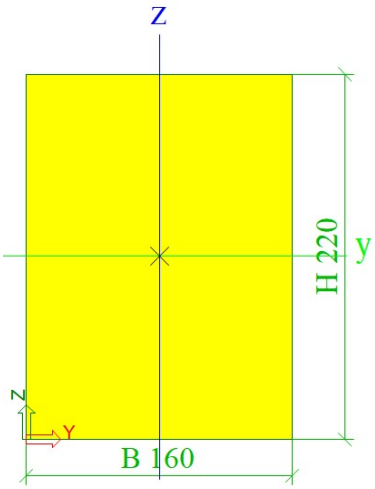
$$f_{c,90,g,d}=k_{mod}*f_{c,9o,g,k}/\gamma_m=0,9*2,5/1,25=1,8 \text{ MPa}$$

Pevnost ve smyku:

$$f_{v,g,d}=k_{mod}*f_{v,g,k}/\gamma_m=0,9*3,5/1,25=2,52 \text{ MPa}$$

4.3. Vnitřní spojitá vaznice

4.3.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky



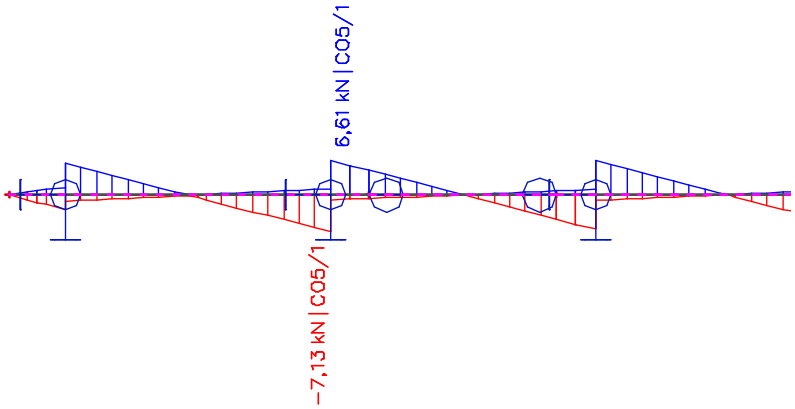
Předb. návrh vaznice (b x h):
160x240 mm

b=160 mm
h=240 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=38 400 mm^2
I_y=184,32*10^6 mm^4
I_z=81,92*10^6 mm^4
W_y=153,60*10^4 mm^3
W_z=102,40*10^4 mm^3
i_y=69,28 mm
i_z=46,19 mm

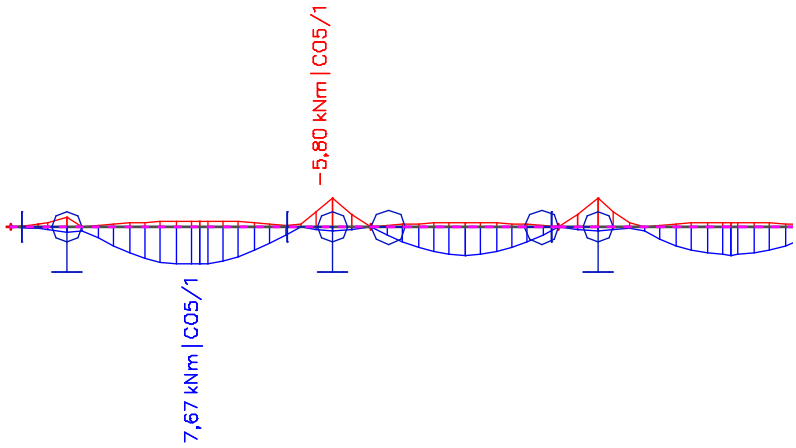
4.3.2. Vnitřní síly a deformace

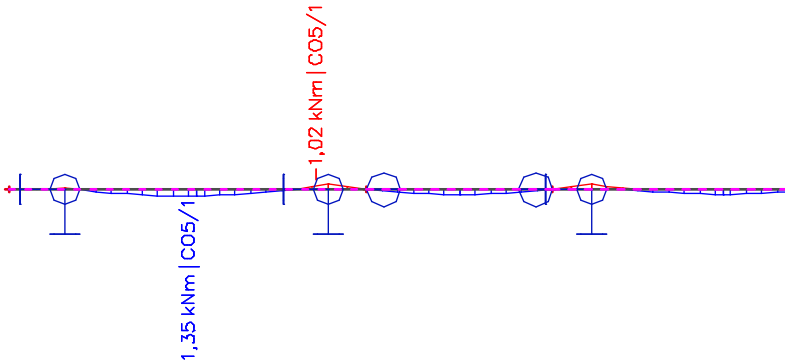
V programu Scia Engineer 18 byly namodelovány 3 druhy vaznic (na kraji, v hřebeni a uprostřed), na které působí různé zatížení a různé zatěžovací šířky. Z výsledků vnitřních sil vyšla nejnepříznivější varianta vaznice uprostřed. Vaznice působí jako Gerberův nosník po celé délce jízdárny. Tato varianta byla zvolena z důvodu připevnění vláknocementové krytiny. Vaznice jsou od sebe vzdáleny 1,05 m kvůli kotvení krytiny. Veškeré působící zatížení bylo přenásobeno zatěžovací šířkou 1,05m (vzdálenost vaznic). Ve statickém modelu je zohledněno natočení vaznice o 10°. Proto bude vaznice navržena na šikmý ohyb, klopení a smyk za ohybu. Nejnepříznivější zatížení působící na vaznici je z kombinace 5 (ZS1, ZS2, ZS5). Reakce od vaznic (působení pouze vlastní tíhy a tíhy krytiny) budou přeneseny na příhradový rám. Na obrázcích jsou vyznačeny vnitřní síly na výseku vaznice, kde působí vždy maximální zatížení.

Posouvající síly:

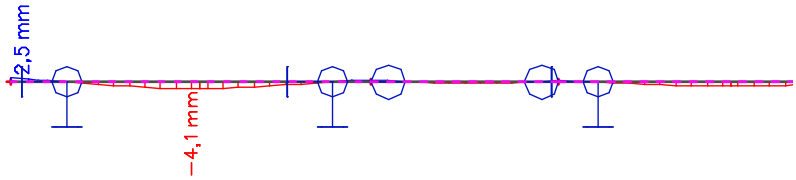


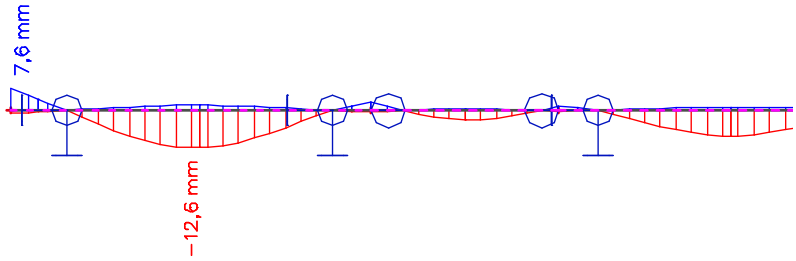
Ohybové momenty (My, Mz):





Průhyby (uy, uz):





4.3.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$M_{y,Ed}$ = 7,67 kNm
$M_{z,Ed}$ = 1,35 kNm

V_{Ed}= 7,13 kN

Šikmý ohyb:

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{7{,}67*10^6}{153{,}60*10^4}=4{,}99\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d}=\frac{M_{z,Ed}}{W_z}=\frac{1{,}35*10^6}{102{,}40*10^4}=1{,}32\ \text{MPa}$$

k_m = 0,7 (obdélník)

$$\frac{k_m.\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}+\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}\leq 1$$

$$\frac{0{,}7*4{,}99}{23{,}04}+\frac{1{,}32}{23{,}04}\leq 1$$

0,21 < 1 => **VYHOVUJE**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}+\frac{k_m.\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}\leq 1$$

$$\frac{4{,}99}{23{,}04}+\frac{0{,}7*1{,}32}{23{,}04}\leq 1$$

0,26 < 1 => **VYHOVUJE**

Klopení:

L_{ef} = 0,9*l

$$l_{ef}=0{,}9*l=0{,}9*7000=6300\ \text{mm}$$

$$\sigma_{m,crit}=0{,}78*\frac{E_{0,05}*b^2}{h*l_{ef}}=0{,}78*\frac{11{,}8*10^3*160^2}{240*6300}=155{,}83\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{REL,m}=\sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{155{,}83}}=0{,}45$$

$\lambda_{REL,m}$=0,45 < 0,75 => k_{crit} = 1

$$f_{m,d,red}=k_{crit}*f_{m,d}=1*23{,}04=23{,}04\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{y,d}<f_{m,d,red}$$

4,99 < 23,04 MPa => **VYHOVUJE**

k_{cr} = 0,67

$b_{eff} = k_{cr}*b$
b_{eff} = 0,67*160
b_{eff} = 107,2 mm

A_{eff} = 107,2*240
A_{eff} = 25728 mm^2

Smyk za ohybu:

$$\tau_{v,Ed}=\frac{3\cdot V_d}{2\cdot A_{eff}}=\frac{3*7,13*10^3}{2*25728}=0,42\ \mathrm{MPa}$$

$\tau_{v,Ed}<f_{v,d}$

0,42 < 2,52 MPa => **VYHOVUJE**

VAZNICE VYHOVUJE NA 1.MS

4.3.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Okamžitý průhyb:

V ose y:

$u_{y,g,inst}$ = 0,7 mm (průhyb od stálého zatížení)
$u_{y,s,inst}$ = 2,7 mm (průhyb od zatížení sněhem)
$u_{y,Q,inst}$ = 3,4 mm (průhyb od užitného zatížení)
$u_{y,w,inst}$ = 0 mm (průhyb od zatížení větrem)

V ose z:

$u_{z,g,inst}$ = 2,2 mm (průhyb od stálého zatížení)
$u_{z,s,inst}$ = 6,2 mm (průhyb od zatížení sněhem)
$u_{z,Q,inst}$ = 8,4 mm (průhyb od užitného zatížení)
$u_{z,w,inst}$ = 3,9 mm (průhyb od zatížení větrem)

Posouzení:

$\psi_{0,i}$ = 0

$$u_{i,inst}=\sum_{j>1}G_{k,j}+Q_{k,1}+\sum_{i>1}\psi_{0,i}\cdot Q_{k,i}$$

$u_{y,inst}$ = 0,7 + 2,7 + 3,4 + 0 + 2,7*0 + 3,4*0 + 0*0 = 6,8 mm
$u_{z,inst}$ = 2,2 + 6,2 + 8,4 + 3,9 + 6,2*0 + 8,4*0 + 3,9*0 = 20,7 mm

$$u_{inst}=\sqrt{u_{y,inst}^2+u_{z,inst}^2}=\sqrt{6,8^2+20,7^2}=21,78\ \mathrm{mm}$$

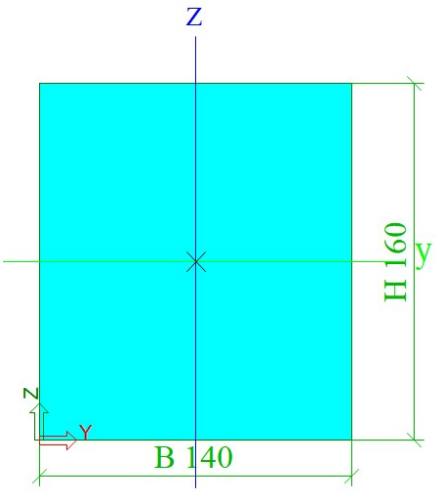
$u_{inst} \leq u_{inst,lim}$

$$u_{inst}\leq\frac{l}{300}=\frac{7000}{300}$$

21,78 mm < 23,33 mm =>**VYHOVUJE**

4.4. Horní pás

4.4.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

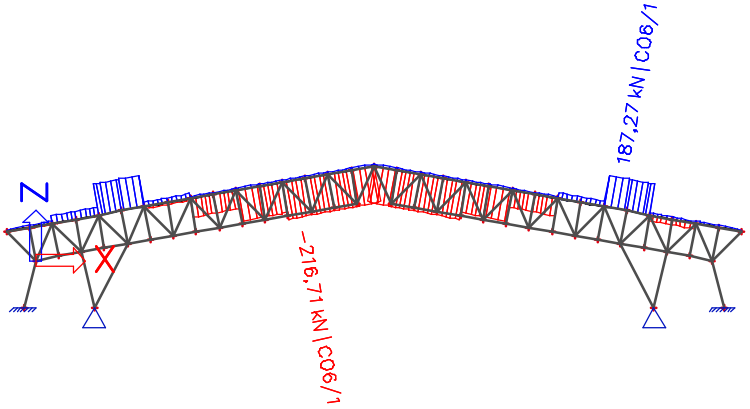


Předběžný návrh horního pásu (b x h):
140x160 mm:

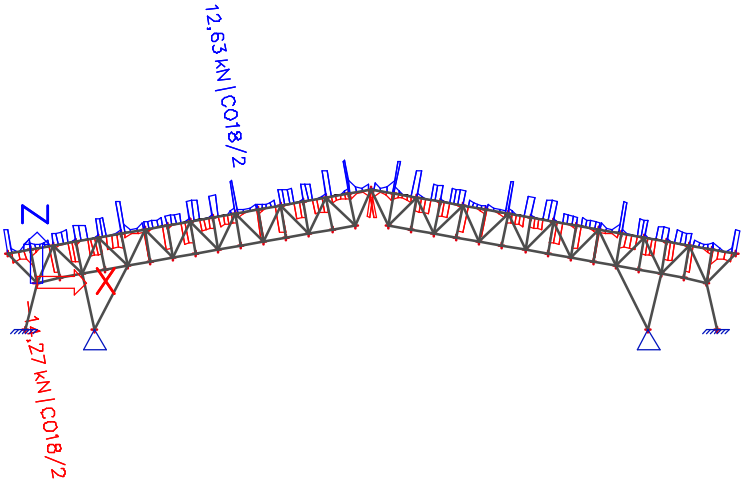
b=140 mm
h=160 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=22 400 mm^2
I_y=47,79*10^6 mm^4
I_z=36,59*10^6 mm^4
W_y=59,73*10^4 mm^3
W_z=52,27*10^4 mm^3
i_y=46,19 mm
i_z=40,41 mm

4.4.2. Vnitřní síly a deformace

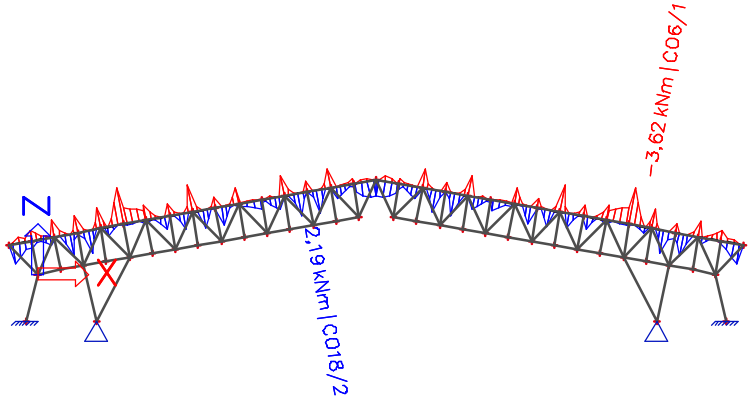
Normálové síly:



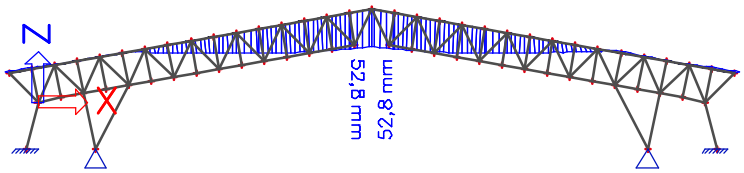
Posouvající síly:



Ohybové momenty:



Průhyby:



4.4.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 216,71 kN
$N_{Ed,t}$ = 187,27 kN

$M_{y,Ed}$ = 2,19 kNm

<u>Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):</u>

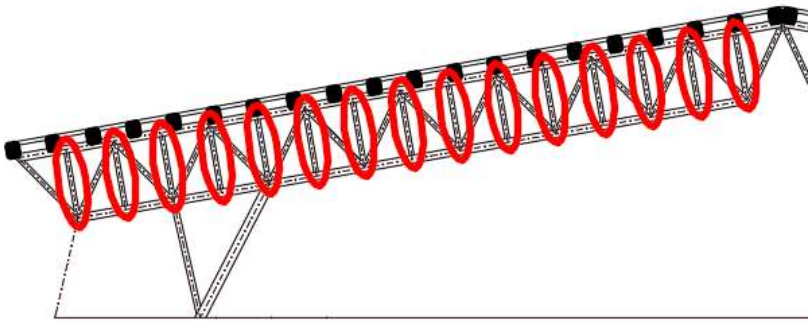
<u>Zajištění stability horního pásu:</u>
V rovině vazníku bude stabilita zajištěna pomocí svislic (vzd. 1,25 m) dle schématu na obr. 15. Kritická vzpěrná délka bude určena pomocí programu Scia Engineer. Stanoví se pomocí koeficientu, který vznikne ze stabilitních kombinací, které byly pro tento účel vytvořeny. Dle vztahu pro Eulerovo kritické břemeno bude dopočítána vzpěrná délka.

N_{cr}...kritická síla
k...scia (stab.výp.)
N_d...max. síla z CO

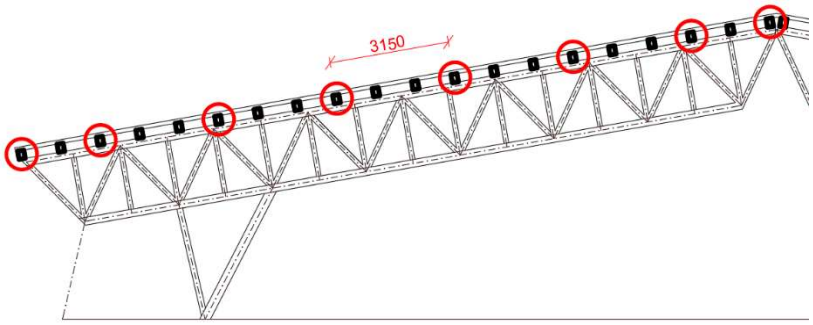
$$N_{cr} = k * N_d = 15{,}4 * 216{,}71 = 3337{,}33 \text{ kN}$$

$$L_{cr} = \pi * \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}} = \pi * \sqrt{\frac{14{,}2 * 47{,}78 * 10^6}{3337{,}33}} = 1416 \text{ mm}$$

Zajištění stability horního pásu z roviny vazníku budou zajišťovat vaznice a ztužení na každých třech polích dle obr. 16.



Obrázek 15 - Schéma zajištění stability v rovině vazníku



Obrázek 16 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{216{,}71*10^3}{22\,400}=9{,}67\ \text{MPa}$$

<u>a) v rovině vazníku</u>

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{1416}{46{,}19}=30{,}66$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2}=\pi^2*\frac{11{,}8*10^3}{30{,}66^2}=123{,}91\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{123{,}91}}=0{,}508$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_y=0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,y}{}^2\right]=0{,}5[1+0{,}1*(0{,}508-0{,}3)+0{,}508^2$$

k_y = 0,64

$$k_{c,y}=\frac{1}{k_y+\sqrt{k_y{}^2-\lambda_{rel,y}^2}}=\frac{1}{0{,}64+\sqrt{0{,}64^2-0{,}508^2}}=0{,}97$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{9{,}67}{0{,}97\cdot 23{,}04}\leq 1$$

<u>0,43 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

b) z roviny vazníku

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3150}{40,41} = 77,94$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_z{}^2} = \pi^2 * \frac{11,8*10^3}{77,94^2} = 19,17 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{19,17}} = 1,29$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_z = 0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0,3\right)+\lambda_{rel,z}{}^2\right] = 0,5[1+0,1*(1,29-0,3)+1,29^2$$

k_z = 1,38

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z{}^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,38+\sqrt{1,38^2-1,29^2}} = 0,53$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{9,67}{0,53 \cdot 23,04} \leq 1$$

0,79 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

Tah rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{187,27*10^3}{22\,400} = 8,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,o,d}$$

8,36 < 18,43 MPa => **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{2,19 * 10^6}{59,73 * 10^4} = 3,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{216,71*10^3}{22\,400} = 9,67 \text{ MPa}$$

k_m = 0,7

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{9,67}{0,53*23,04} + 0,7*\frac{3,67}{23,04} \leq 1$$

0,90 < 1 => **VYHOVUJE**

HORNÍ PÁS VYHOVUJE NA 1.MS

4.4.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Okamžitý průhyb:

$u_{g,inst}$ = 11,6 mm (průhyb od stálého zatížení)
$u_{s,inst}$ = 25,1 mm (průhyb od zatížení sněhem)
$u_{Q,inst}$ = 5,7 mm (průhyb od užitného zatížení)
$u_{w,inst}$ = 8,7 mm (průhyb od zatížení větrem)

Posouzení:

$\Psi_{0,i} = 0$

$$u_{i,inst} = \sum_{j>1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

u_{inst} = 11,6 + 25,1 + 5,7 + 8,7 + 25,1*0 + 5,7*0 + 8,7*0 = 51,1 mm

$u_{inst} \leq u_{inst,lim}$

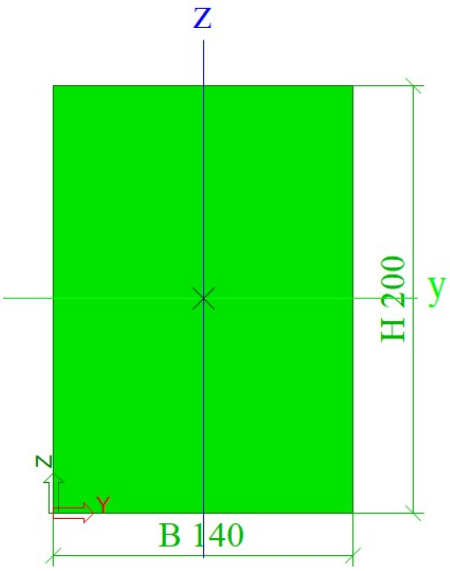
$$u_{inst} \leq \frac{l}{300} = \frac{20000}{300}$$

51,1 mm < 66,7 mm =>**VYHOVUJE**

HORNÍ PÁS VYHOVUJE NA 2.MS

4.5. Spodní pás

4.5.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

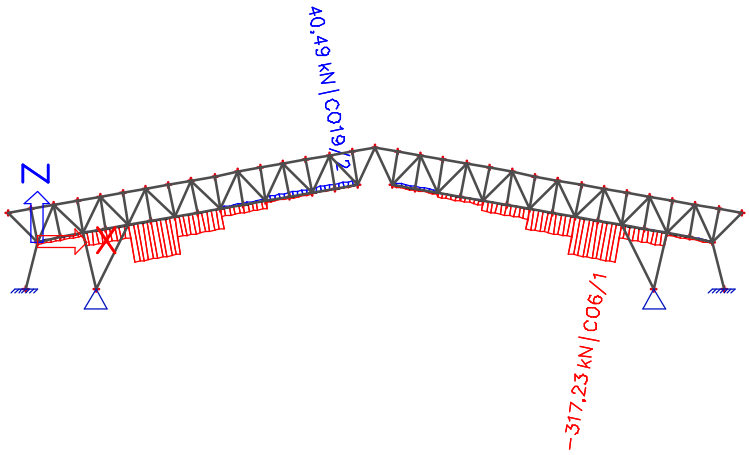


Předb. návrh spodního pásu (b x h):
140x200 mm

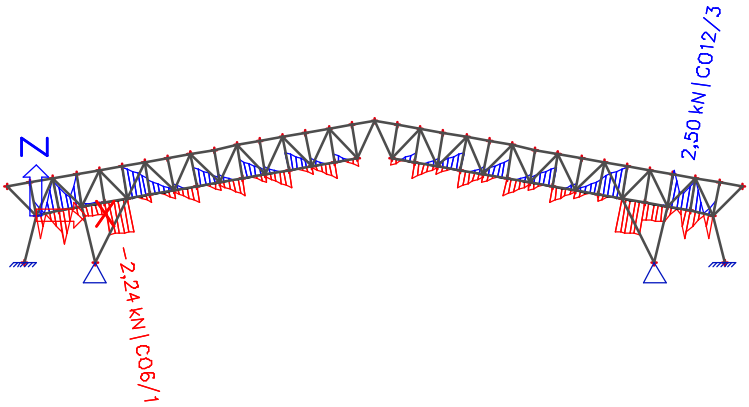
b=140 mm
h=200 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=28 000 mm^2
I_y=93,33*10^6 mm^4
I_z=45,73*10^6 mm^4
W_y=93,33*10^4 mm^3
W_z=65,33*10^4 mm^3
i_y=57,74 mm
i_z=40,41 mm

4.5.2. Vnitřní síly a deformace

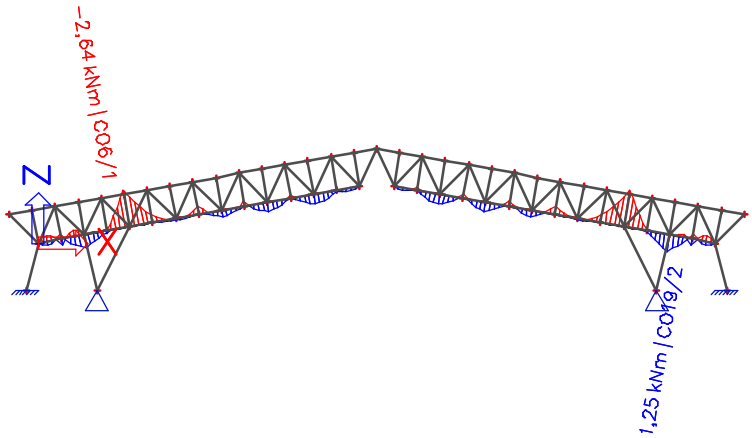
Normálové síly:



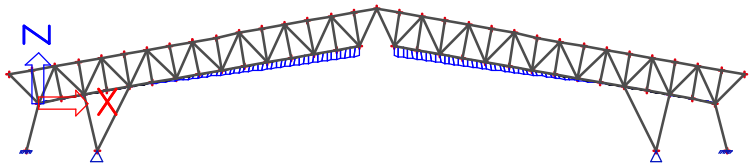
Posouvající síly:



Ohybové momenty:



Průhyb:



4.5.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 317,23 kN
$N_{Ed,t}$ = 40,49 kN

$M_{y,Ed}$ = 2,64 kNm

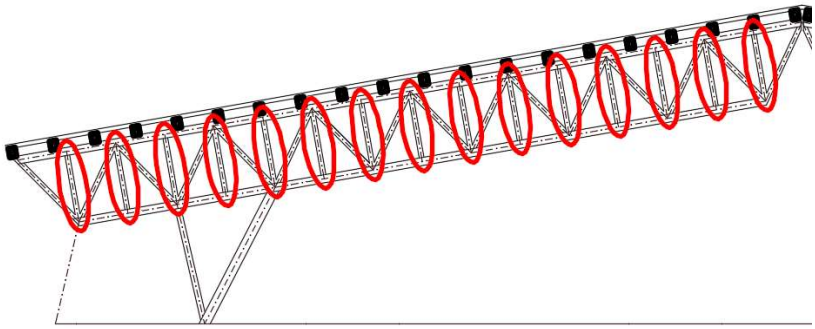
<u>Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):</u>

<u>Zajištění stability spodního pásu:</u>
V rovině vazníku bude stabilita zajištěna pomocí svislic (vzd. 1,25 m) dle schématu na obr. 17. Kritická vzpěrná délka bude určena pomocí programu Scia Engineer. Stanoví se pomocí koeficientu, který vznikne ze stabilitních kombinací, které byly pro tento účel vytvořeny. Dle vztahu pro Eulerovo kritické břemeno bude dopočítána vzpěrná délka.

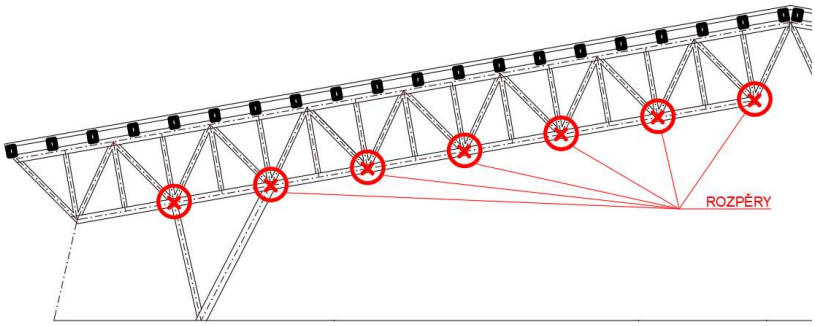
$$N_{cr} = k * N_d = 19{,}9 * 317{,}23 = 6312{,}88 \text{ kN}$$

$$L_{cr} = \pi * \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}} = \pi * \sqrt{\frac{14{,}2 * 93{,}33 * 10^6}{6312{,}88}} = 1439 \text{ mm}$$

Zajištění stability spodního pásu z roviny vazníku budou zajišťovat rozpěry vzdálené 2,5m od sebe (dle obr. 18).



Obrázek 17 - Schéma zajištění stability v rovině vazníku



Obrázek 18 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{317,23*10^3}{28000}=11,33\ \text{MPa}$$

<u>a) v rovině vazníku</u>

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{1439}{57,74}=24,92$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2}=\pi^2*\frac{11,8*10^3}{24,92^2}=187,47\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{187,47}}=0,41$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_y=0,5\left[1+\beta\cdot(\lambda_{rel}-0,3)+\lambda_{rel}{}^2\right]=0,5[1+0,1*(0,41-0,3)+0,41^2$$

k_y = 0,59

$$k_{c,y}=\frac{1}{k_y+\sqrt{k_y{}^2-\lambda_{rel,y}^2}}=\frac{1}{0,59+\sqrt{0,59^2-0,41^2}}=0,99$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{11,33}{0,99\cdot 23,04}\leq 1$$

<u>0,50 ≤ 1</u> **<u>=> VYHOVUJE</u>**

b) z roviny vazníku

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2500}{40,41} = 61,86$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_z^{\ 2}} = \pi^2 * \frac{11,8*10^3}{61,86^2} = 30,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{30,44}} = 1,03$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_z = 0,5\left[1+\beta\cdot(\lambda_{rel}-0,3)+\lambda_{rel}^{\ 2}\right] = 0,5[1+0,1*(1,03-0,3)+1,03^2$$

k_z = 1,06

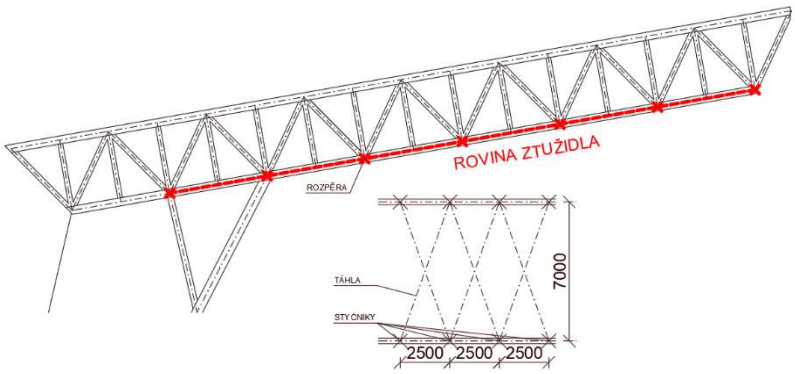
$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^{\ 2} - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,06+\sqrt{1,06^2-1,03^2}} = 0,75$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,33}{0,75 \cdot 23,04} \leq 1$$

0,66 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

Při výpočtu vzpěrného tlaku z roviny vazníku byla zkrácena vzpěrná délka na 2,5 m rozpěrami. Tyto rozpěry budou v 1., 6. a 11. poli ztuženy ocelovými táhly (více v kapitole 6.3).



Obrázek 19 - Schéma ztužení spodního pásu

Tah rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{40,49*10^3}{28000} = 1,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,o,d}$$

1,45 < 18,43 MPa => **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{2{,}64*10^6}{93{,}33*10^4}=2{,}83\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{317{,}23*10^3}{28000}=11{,}33\ \text{MPa}$$

$k_m = 0{,}7$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}}+k_m*\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\leq 1$$

$$\frac{11{,}33}{0{,}75*23{,}04}+0{,}7*\frac{2{,}83}{23{,}04}\leq 1$$

0,74 < 1 => **VYHOVUJE**

SPODNÍ PÁS VYHOVUJE NA 1.MS

4.5.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Okamžitý průhyb:

$u_{g,inst}$ = 11,4 mm (průhyb od stálého zatížení)
$u_{s,inst}$ = 24,6 mm (průhyb od zatížení sněhem)
$u_{Q,inst}$ = 5,2 mm (průhyb od užitného zatížení)
$u_{w,inst}$ = 8,6 mm (průhyb od zatížení větrem)

Posouzení:

$\Psi_{0,i} = 0$

$$u_{i,inst}=\sum_{j>1}G_{k,j}+Q_{k,1}+\sum_{i>1}\psi_{0,i}\cdot Q_{k,i}$$

u_{inst} = 11,4 + 24,6 + 5,2 + 8,6 + 24,6*0 + 5,2*0 + 8,6*0 = 49,8 mm

$u_{inst} \leq u_{inst,lim}$

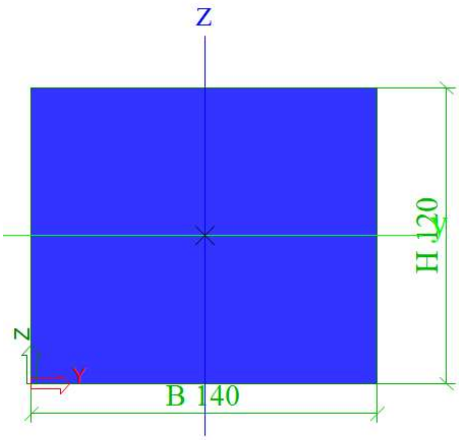
$$u_{inst}\leq\frac{l}{300}=\frac{17500}{300}$$

49,8 mm < 58,3 mm =>**VYHOVUJE**

SPODNÍ PÁS VYHOVUJE NA 2.MS

4.6. Svislice

4.6.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

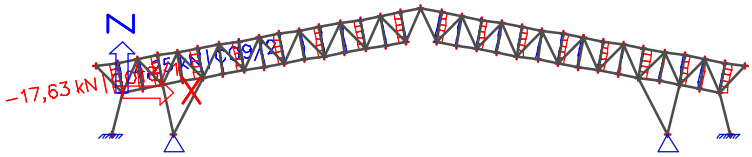


Předb. návrh spodního pásu (b x h):
140x120 mm

b=140 mm
h=120 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=16 800 mm^2
I_y=20,16*10^6 mm^4
I_z=27,44*10^6 mm^4
W_y=33,60*10^4 mm^3
W_z=39,20*10^4 mm^3
i_y=34,64 mm
i_z=40,41 mm

4.6.2. Vnitřní síly

Normálové síly:



Svislice jsou namáhány pouze osovou (normálovou) silou. Není potřeba dalších vnitřních sil.

4.6.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 17,63 kN
$N_{Ed,t}$ = 4,25 kN

<u>Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):</u>

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{17{,}63*10^3}{14400}=1{,}22\ \text{MPa}$$

<u>a) v rovině vazníku</u>

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{1800}{34{,}64}=51{,}96$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2}=\pi^2*\frac{11{,}8*10^3}{51{,}96^2}=43{,}13\ MPa$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{43{,}13}}=0{,}86$$

β = 0,1 pro LLD

$k_y = 0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,y}^{\ 2}\right] = 0{,}5[1+0{,}1*(0{,}86-0{,}3)+0{,}86^2$

$k_y = 0{,}90$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y+\sqrt{k_y^{\ 2}-\lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0{,}90+\sqrt{0{,}90^2-0{,}86^2}} = 0{,}86$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}22}{0{,}86\cdot 23{,}04} \leq 1$$

<u>0,05 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>b) z roviny vazníku</u>

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1800}{40{,}41} = 44{,}54$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_z^{\ 2}} = \pi^2 * \frac{11{,}8*10^3}{44{,}54^2} = 58{,}71\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{58{,}71}} = 0{,}74$$

β = 0,1 pro LLD

$k_z = 0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,z}^{\ 2}\right] = 0{,}5[1+0{,}1*(0{,}74-0{,}3)+0{,}74^2$

$k_z = 0{,}79$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^{\ 2}-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0{,}79+\sqrt{0{,}79^2-0{,}74^2}} = 0{,}92$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}22}{0{,}92\cdot 23{,}04} \leq 1$$

<u>0,05 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>Tah rovnoběžně s vlákny:</u>

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{4{,}25*10^3}{16\,800} = 0{,}25\ \text{MPa}$$

$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,o,d}$

<u>0,25 < 18,43</u> MPa => **<u>VYHOVUJE</u>**

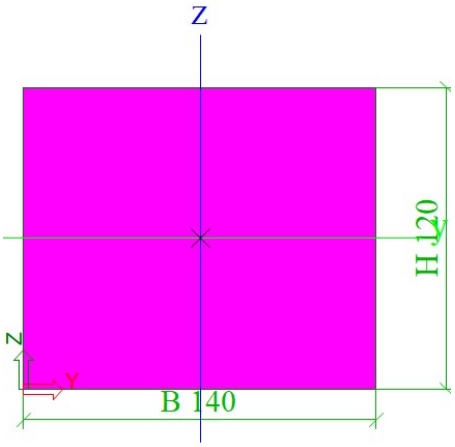
<u>SVISLICE VYHOVUJE NA 1.MS</u>

4.6.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

U tohoto prvku není použitelnost rozhodující, není třeba posuzovat na II. MS.

4.7. Diagonály

4.7.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

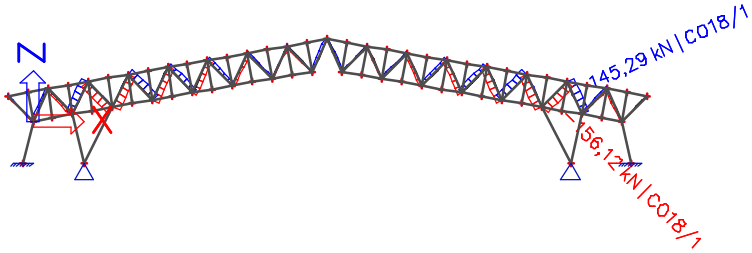


Př. návrh diagonály (b x h):
140x120 mm

b=140 mm
h=120 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=16 800 mm^2
I_y=20,16*10^6 mm^4
I_z=27,44*10^6 mm^4
W_y=33,60*10^4 mm^3
W_z=39,20*10^4 mm^3
i_y=34,64 mm
i_z=40,41 mm

4.7.2. Vnitřní síly

Normálové síly:



Svislice jsou namáhány pouze osovou (normálovou) silou. Není potřeba dalších vnitřních sil.

4.7.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 156,12 kN
$N_{Ed,t}$ = 145,29 kN

<u>Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):</u>

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{156{,}12*10^3}{16\,800}=9{,}29\ \text{MPa}$$

<u>a) v rovině vazníku</u>

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{2191}{34{,}64}=63{,}25$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2}=\pi^2*\frac{11{,}8*10^3}{63{,}25^2}=29{,}11\ MPa$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{29{,}11}}=1{,}05$$

β = 0,1 pro LLD

$k_y=0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,y}{}^2\right]=0{,}5[1+0{,}1*(1{,}05-0{,}3)+1{,}05^2$

k_y = 1,09

$$k_{c,y}=\frac{1}{k_y+\sqrt{k_y{}^2-\lambda_{rel,y}^2}}=\frac{1}{1{,}09+\sqrt{1{,}09^2-1{,}05^2}}=0{,}73$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{9{,}29}{0{,}73\cdot 23{,}04}\leq 1$$

<u>0,55 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>b) z roviny vazníku</u>

$$\lambda_z=\frac{L_{cr,z}}{i_z}=\frac{2191}{40{,}41}=54{,}21$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_z{}^2}=\pi^2*\frac{11{,}8*10^3}{54{,}21^2}=39{,}63\text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{39{,}63}}=0{,}90$$

β = 0,1 pro LLD

$k_z=0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,z}{}^2\right]=0{,}5[1+0{,}1*(0{,}90-0{,}3)+0{,}90^2$

k_z = 0,93

$$k_{c,z}=\frac{1}{k_z+\sqrt{k_z{}^2-\lambda_{rel,z}^2}}=\frac{1}{0{,}93+\sqrt{0{,}93^2-0{,}90^2}}=0{,}84$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{9{,}29}{0{,}84\cdot 23{,}04}\leq 1$$

<u>0,48 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>Tah rovnoběžně s vlákny:</u>

$$\sigma_{t,0,d}=\frac{N_{Ed,t}}{A}=\frac{145{,}29*10^3}{16\,800}=8{,}65\text{ MPa}$$

$\sigma_{t,0,d}\leq f_{t,o,d}$

<u>8,65 < 18,43</u> MPa => **<u>VYHOVUJE</u>**

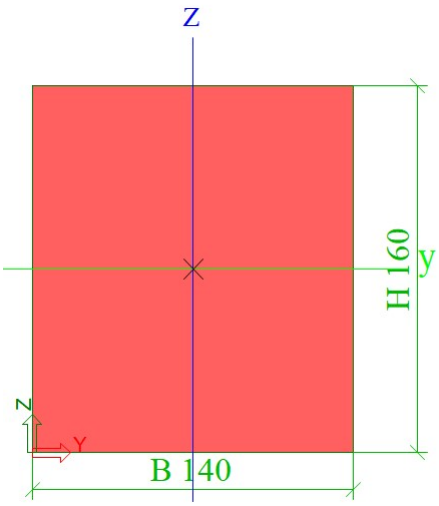
<u>DIAGONÁLA VYHOVUJE NA 1.MS</u>

4.7.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

U tohoto prvku není použitelnost rozhodující, není třeba posuzovat na II. MS.

4.8. Stojina vnější

4.8.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

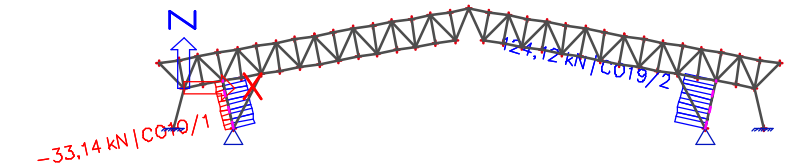


Předběžný návrh vnější stojiny (b x h): **140x160** mm

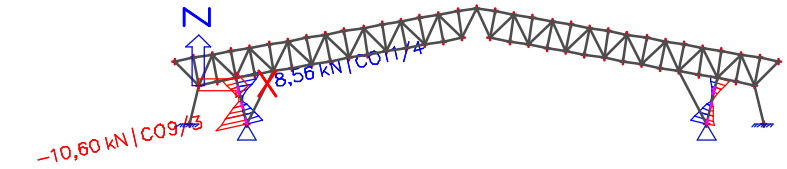
b=140 mm
h=160 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=22 400 mm^2
I_y=47,79*10^6 mm^4
I_z=36,59*10^6 mm^4
W_y=59,73*10^4 mm^3
W_z=52,27*10^4 mm^3
i_y=46,19 mm
i_z=40,41 mm

4.8.2. Vnitřní síly

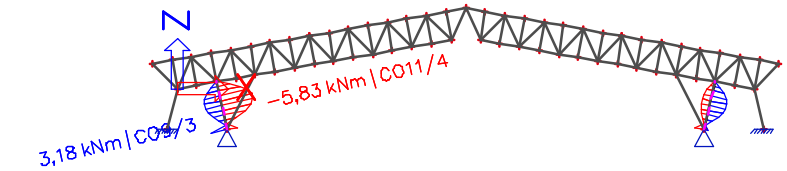
Normálové síly:



Posouvající síly:



Ohybové momenty:



4.8.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 33,14 kN
$N_{Ed,t}$ = 124,12 kN

V_{Ed} = 10,60 kN

$M_{y,Ed}$ = 5,83 kNm

Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{c,o,d}}{A}=\frac{33,14*10^3}{22\,400}=1,48\ \text{MPa}$$

a) v rovině vazníku

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{3078}{46,19}=66,64$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{{\lambda_y}^2}=\pi^2*\frac{11,8*10^3}{66,64^2}=26,22\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{26,22}}=1,10$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_y=0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0,3\right)+{\lambda_{rel,y}}^2\right]=0,5[1+0,1*(1,10-0,3)+1,10^2$$

k_y = 1,15

$$k_{c,y}=\frac{1}{k_y+\sqrt{{k_y}^2-\lambda_{rel,y}^2}}=\frac{1}{1,15+\sqrt{1,15^2-1,10^2}}=0,68$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{1,48}{0,68\cdot 23,04}\leq 1$$

0,09 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

b) z roviny vazníku

$$\lambda_z=\frac{L_{cr,z}}{i_z}=\frac{3078}{40,41}=76,16$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2}=\pi^2*\frac{11,8*10^3}{76,16^2}=20,08\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,z}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{20,08}}=1,26$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_z=0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0,3\right)+{\lambda_{rel,z}}^2\right]=0,5[1+0,1*(1,26-0,3)+1,26^2$$

k_z = 1,35

$$k_{c,z}=\frac{1}{k_z+\sqrt{k_z{}^2-\lambda_{rel,z}^2}}=\frac{1}{1{,}35+\sqrt{1{,}35^2-1{,}26^2}}=0{,}55$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{1{,}48}{0{,}55\cdot 23{,}04}\leq 1$$

0,12 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

Tah rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{t,0,d}=\frac{N_{Ed,t}}{A}=\frac{124{,}12*10^3}{22400}=5{,}54\text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d}\leq f_{t,o,d}$$

5,54 < 18,43 MPa => **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{5{,}83*10^6}{59{,}73*10^4}=9{,}76\text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{33{,}14*10^3}{22400}=1{,}48\text{ MPa}$$

k_m = 0,7

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}}+k_m*\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\leq 1$$

$$\frac{1{,}48}{0{,}55*23{,}04}+0{,}7*\frac{9{,}76}{23{,}04}\leq 1$$

0,41 < 1 => **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a tahu rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{5{,}83*10^6}{59{,}73*10^4}=9{,}76\text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d}=\frac{N_{Ed,t}}{A}=\frac{124{,}12*10^3}{22400}=5{,}54\text{ MPa}$$

k_m = 0,7

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}+k_m*\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\leq 1$$

$$\frac{5{,}54}{18{,}43}+0{,}7*\frac{9{,}76}{23{,}04}\leq 1$$

0,60 < 1 => **VYHOVUJE**

k_{cr} = 0,67

$b_{eff} = k_{cr}*b$
b_{eff} = 0,67*140
b_{eff} = 93,8 mm

A_{eff} = 93,8*160
A_{eff} = 15008 mm^2

Smyk za ohybu:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A_{eff}} = \frac{3*10{,}60*10^3}{2*15008} = 1{,}06 \text{ MPa}$$

$\tau_{v,Ed} < f_{v,d}$

1,06 < 2,52 MPa => **VYHOVUJE**

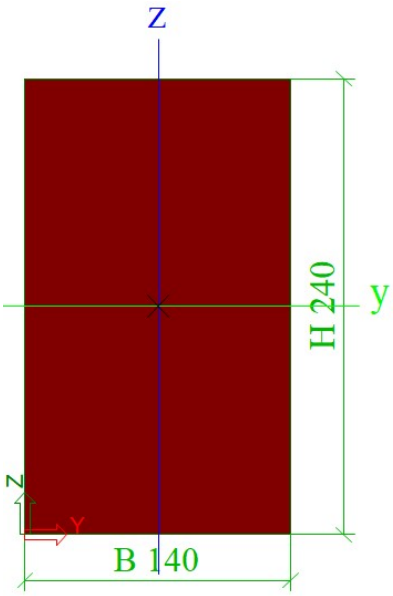
VNĚJŠÍ STOJINA VYHOVUJE NA 1.MS

4.8.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

U tohoto prvku není použitelnost rozhodující, není třeba posuzovat na II. MS.

4.9. Stojina vnitřní

4.9.1. Geometrická data a průřezové charakteristiky

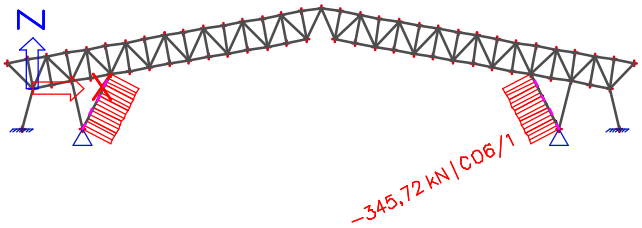


Předběžný návrh vnější stojiny (b x h): **140x240** mm

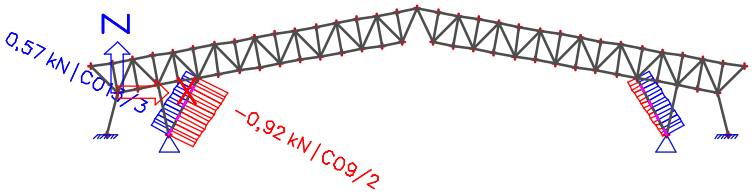
b=140 mm
h=240 mm
t=40 mm (tloušťka lamel)
A=33 600 mm^2
I_y=161,28*10^6 mm^4
I_z=54,88*10^6 mm^4
W_y=134,40*10^4 mm^3
W_z=78,40*10^4 mm^3
i_y=69,28 mm
i_z=40,41 mm

4.9.2. Vnitřní síly

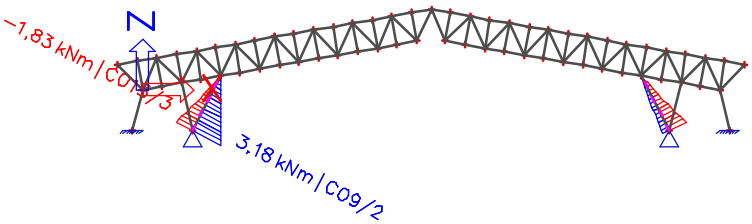
Normálové síly:



Posouvající síly:



Ohybové momenty:



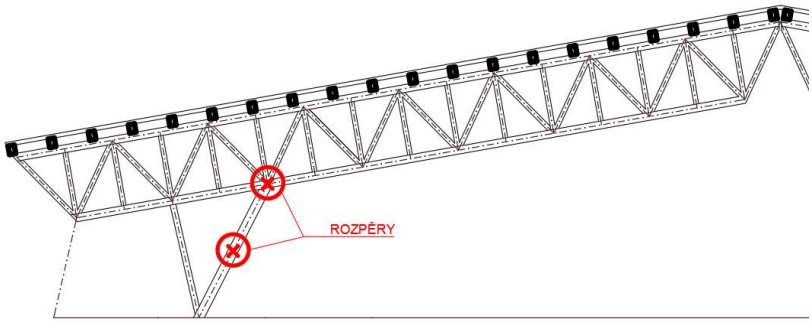
4.9.3. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 345,72 kN

$M_{y,Ed}$ = 3,18 kNm

Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):

Zajištění stability vnitřní stojiny:
Zajištění stability vnitřní stojiny z roviny budou zajišťovat rozpěry umístěné v polovině rozpětí a ve vrcholu vnitřní stojiny (dle obr.20). Proto bude uvažována vzpěrná délka 1,93m.



Obrázek 20 - Schéma zajištění stability z roviny vazníku

$$\sigma_{c,o.d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{345,72*10^3}{33600}=10,29\ \text{MPa}$$

a) v rovině vazníku

$$\lambda_y=\frac{L_{cr,y}}{i_y}=\frac{3864}{69,28}=55,77$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2}=\pi^2*\frac{11,8*10^3}{55,77^2}=37,44\ MPa$$

$$\lambda_{rel,y}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{37,44}}=0,92$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_y=0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0,3\right)+\lambda_{rel,y}{}^2\right]=0,5[1+0,1*(0,92-0,3)+0,92^2$$

k_y = 0,96

$$k_{c,y}=\frac{1}{k_y+\sqrt{k_y{}^2-\lambda_{rel,y}^2}}=\frac{1}{0,96+\sqrt{0,96^2-0,92^2}}=0,83$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{10,29}{0,83\cdot 23,04}\leq 1$$

0,54 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

b) z roviny vazníku

$$\lambda_z=\frac{L_{cr,z}}{i_z}=\frac{1932}{40,41}=47,80$$

$$\sigma_{c,crit}=\pi^2\cdot\frac{E_{0,05}}{\lambda_z{}^2}=\pi^2*\frac{11,8*10^3}{47,80^2}=50,96\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{rel,z}=\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}=\sqrt{\frac{32}{50,96}}=0,79$$

β = 0,1 pro LLD

$$k_z=0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0,3\right)+\lambda_{rel,z}^{\ 2}\right]=0,5[1+0,1*(0,79-0,3)+0,79^2$$

k_z = 0,84

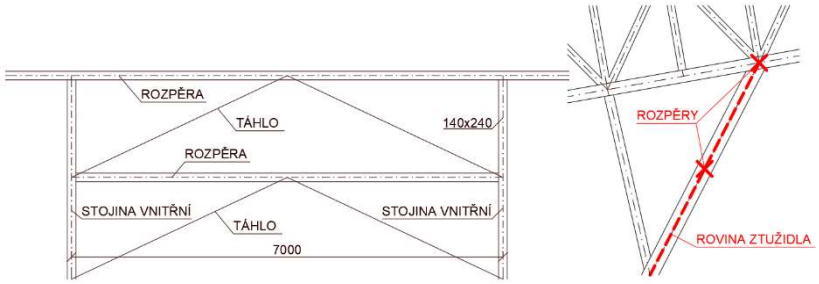
$$k_{c,z}=\frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^{\ 2}-\lambda_{rel,z}^2}}=\frac{1}{0,84+\sqrt{0,84^2-0,79^2}}=0,90$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,g,0,d}}\leq 1$$

$$\frac{10,29}{0,90\cdot 23,04}\leq 1$$

<u>0,50 ≤ 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

Při výpočtu vzpěrného tlaku z roviny stojiny byla zkrácena vzpěrná délka na 1,93 m. V tomto směru budou stojiny rozepřeny a ztuženy dle následujícího schématu.



Obrázek 21 - Schéma ztužení vnitřní stojiny

<u>Kombinace ohybu a tlaku rovnoběžně s vlákny:</u>

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{3,18*10^6}{134,4*10^4}=2,37\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}=\frac{N_{c,0,d}}{A}=\frac{345,72*10^3}{33600}=10,29\ \text{MPa}$$

k_m = 0,7

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}}+k_m*\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\leq 1$$

$$\frac{10,29}{0,90*23,04}+0,7*\frac{2,37}{23,04}\leq 1$$

<u>0,57 < 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>VNITŘNÍ STOJINA VYHOVUJE NA 1.MS</u>

4.9.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

U tohoto prvku není použitelnost rozhodující, není třeba posuzovat na II. MS.

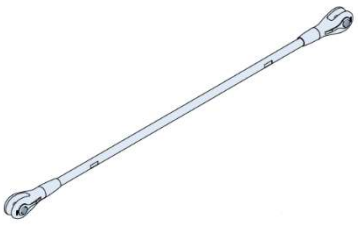
4.10. Ocelové Táhlo

Pro tento typ průřezu bude navrženo táhlo ze systémových prvků (táhel) Detan od společnosti Halfen.

4.10.1. Materiálové charakteristiky

Předb. návrh táhla:
d = 20 mm

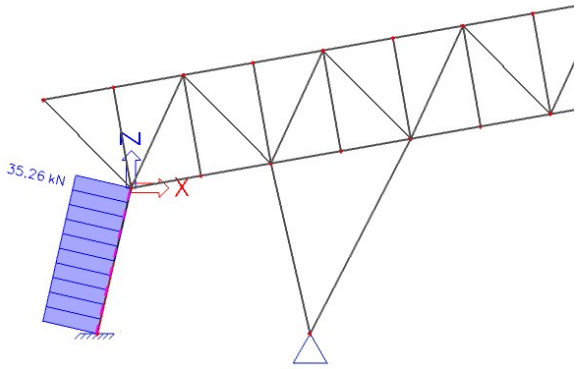
Ocel: S460 N (dle výrobce)
Pov. rozpětí: 440 - 12100 mm



Obrázek 22 - Vnější ocelové táhlo

4.10.2. Vnitřní síly

Normálové síly:



Ostatní vnitřní síly jsou nulové.

4.10.3. Mezní stav únosnosti (1MS)

$N_{Ed,t}$ = 35,26 kN

<u>Tah:</u>

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{35{,}26 * 10^3}{\pi * \frac{20^2}{4}} = 112{,}24 \text{ MPa}$$

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

<u>112,24 ≤ 460 MPa</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>OCELOVÉ TÁHLO VYHOVUJE NA 1.MS</u>

4.10.4. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

U tohoto prvku není použitelnost rozhodující, není třeba posuzovat na II. MS.

4.11. Sloupky štítové stěny

Bude posouzen štítový sloupek s největší délkou z důvodu ověření na vzpěrný tlak, který v tomto posudku bude rozhodující. Sloupky budou připojeny kluzně k hornímu pásu z boku.

4.11.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$=24 MPa
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně k vláknům:	$f_{t,0,g,k}$=14,5 MPa
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$=0,4 MPa
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$=21 MPa
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$=2,5 MPa
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$=4,0 MPa
Modul pružnosti:	$E_{0,g,mean}$=11 kN/mm^2
	$E_{0,g,05}$=7,4 kN/mm^2
Hustota:	$\rho_{g,k}$=420 kg/m^3

4.11.2. Návrhové pevnosti materiálů

γ_m=1,30
(rostlé dřevo)

k_{mod}=0,9

třída provozu: 2

trvání zatížení:
krátkodobé

Pevnost v ohybu:

$$f_{m,g,d}=k_{mod}*f_{m,k}/\gamma_m=0,9*24/1,3=16,62 \text{ MPa}$$

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d}=k_{mod}*f_{t,o,g,k}/\gamma_m=0,9*14,5/1,3=10,04 \text{ MPa}$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d}=k_{mod}*f_{t,9o,g,k}/\gamma_m=0,9*0,4/1,3=0,28 \text{ MPa}$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d}=k_{mod}*f_{c,o,g,k}/\gamma_m=0,9*21/1,3=14,54 \text{ MPa}$$

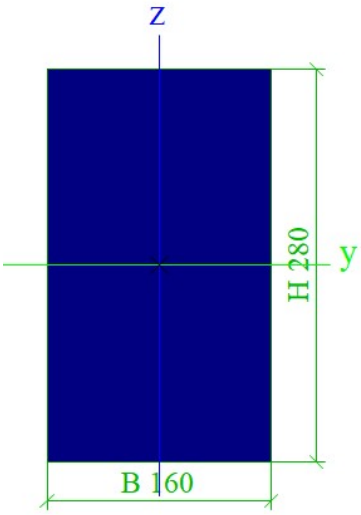
Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d}=k_{mod}*f_{c,9o,g,k}/\gamma_m=0,9*2,5/1,3=1,73 \text{ MPa}$$

Pevnost ve smyku:

$$f_{v,g,d}=k_{mod}*f_{v,g,k}/\gamma_m=0,9*4,0/1,3=2,77 \text{ MPa}$$

4.11.3. Geometrická data a průřezové charakteristiky



Předb. návrh vaznice (b x h):
160x280 mm

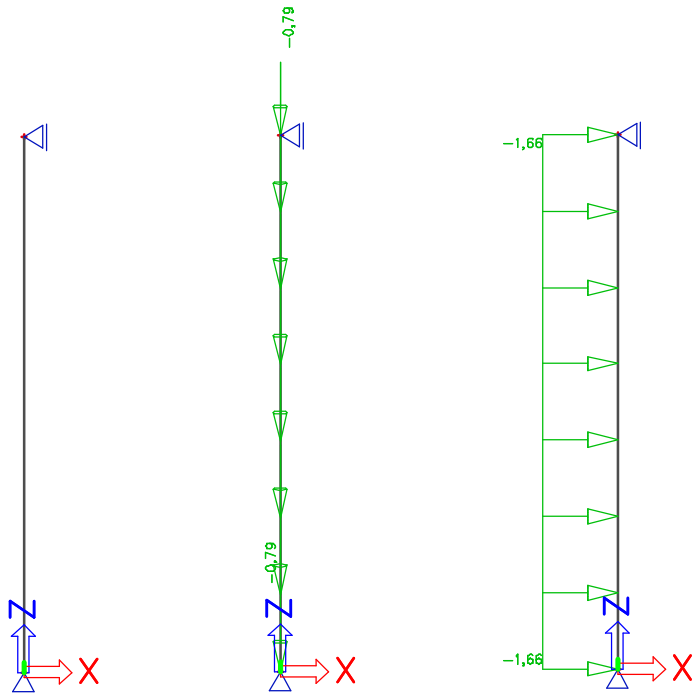
b=160 mm
h=280 mm
A=44800 mm^2
I_y=292,69*10^6 mm^4
I_z=95,57*10^6 mm^4
W_y=209,07*10^4 mm^3
W_z=119,47*10^4 mm^3
i_y=80,83 mm
i_z=46,19 mm

4.11.4. Zatížení na prvek, vnitřní síly a deformace

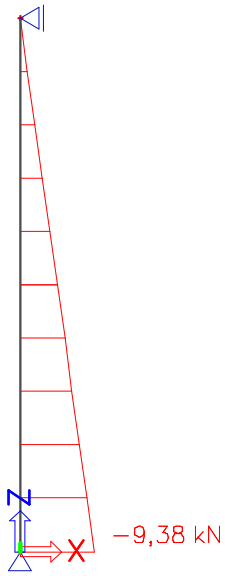
Z.Š. = 3,78 m
$W_{D,k}$ = 0,44 kN/m^2

Zatížení skladbou stěny: $g_{k,stěna}$ = 0,79 kN/m
Zatížení větrnou plochou: w_k = 0,44*3,78 = 1,66 kN/m

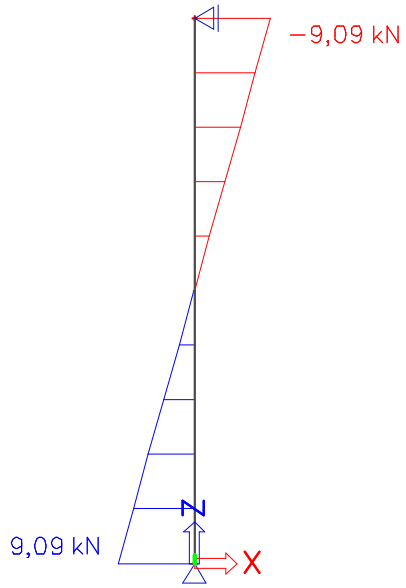
ZS1 – vlastní tíha ZS2 – ostatní stálé ZS3 - vítr



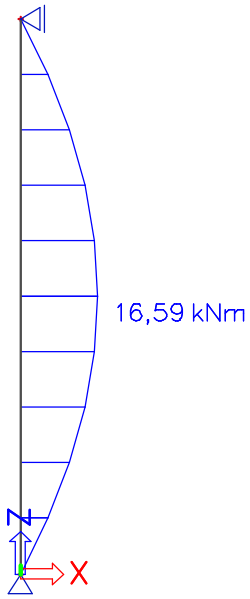
Normálové síly:



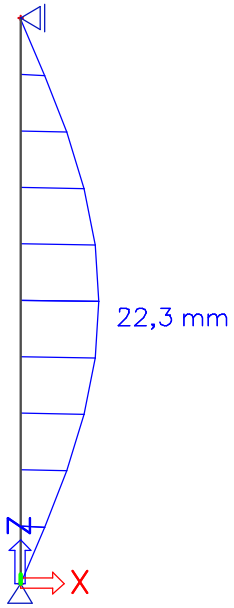
Posouvající síly:



Ohybové momenty:



Průhyby:



4.11.5. Mezní stav únosnosti (1.MS)

$N_{Ed,c}$ = 9,38 kN

V_{Ed} = 9,09 kN

$M_{y,Ed}$ = 16,59 kNm

<u>Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):</u>

$$\sigma_{c,o.d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{9{,}38*10^3}{44800} = 0{,}21 \text{ MPa}$$

a) v rovině sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7300}{80,83} = 90,31$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_y^{\ 2}} = \pi^2 * \frac{7,4*10^3}{90,31^2} = 8,95 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{8,95}} = 1,53$$

β = 0,2 (rostlé dřevo)

$$k_y = 0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,y}-0,3\right)+\lambda_{rel,y}^{\ 2}\right] = 0,5[1+0,2*(1,53-0,3)+1,53^2$$

k_y = 1,80

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^{\ 2} - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,80+\sqrt{1,80^2-1,53^2}} = 0,37$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,21}{0,37 \cdot 14,54} \leq 1$$

0,04 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

b) z roviny sloupu

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7300}{46,19} = 158,05$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_z^{\ 2}} = \pi^2 * \frac{7,4*10^3}{158,05^2} = 2,92 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{2,92}} = 2,68$$

β = 0,2 (rostlé dřevo)

$$k_z = 0,5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0,3\right)+\lambda_{rel,z}^{\ 2}\right] = 0,5[1+0,2*(2,68-0,3)+2,68^2$$

k_z = 4,33

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^{\ 2} - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{4,33+\sqrt{4,33^2-2,68^2}} = 0,13$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,21}{0,13 \cdot 14,54} \leq 1$$

0,11 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{m,y,d}=\frac{M_{y,Ed}}{W_y}=\frac{16{,}59*10^6}{209{,}07*10^4}=7{,}94\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}=\frac{N_{Ed,c}}{A}=\frac{9{,}38*10^3}{44800}=0{,}21\ \text{MPa}$$

$k_m = 0{,}7$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}}+k_m*\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\leq 1$$

$$\frac{0{,}21}{0{,}13*14{,}54}+0{,}7*\frac{7{,}94}{16{,}62}\leq 1$$

0,45 < 1 => **VYHOVUJE**

Klopení:

$l_{ef} = 0{,}9*l$

$$l_{ef}=0{,}9*l=0{,}9*7300=6570\ \text{mm}$$

$$\sigma_{m,crit}=0{,}78*\frac{E_{0,05}*b^2}{h*l_{ef}}=0{,}78*\frac{7{,}4*10^3*280^2}{160*6570}=80{,}32\ \text{MPa}$$

$$\lambda_{REL,m}=\sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}=\sqrt{\frac{24}{80{,}32}}=0{,}55$$

$\lambda_{REL,m}=0{,}55 < 0{,}75$ => $k_{crit} = 1$

$$f_{m,d,red}=k_{crit}*f_{m,d}=1*16{,}62=16{,}62\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{y,d}<f_{m,d,red}$$

7,94 < 16,62 MPa => **VYHOVUJE**

Smyk za ohybu:

$k_{cr} = 0{,}67$

$b_{eff} = k_{cr}*b$
$b_{eff} = 0{,}67*160$
$b_{eff} = 107{,}2$ mm

$A_{eff} = 107{,}2*160$
$A_{eff} = 30016\ mm^2$

$$\tau_{v,Ed}=\frac{3\cdot V_d}{2\cdot A_{eff}}=\frac{3*9{,}09*10^3}{2*30016}=0{,}45\ \text{MPa}$$

$$\tau_{v,Ed}<f_{v,d}$$

0,45 < 2,77 MPa => **VYHOVUJE**

ŠTÍTOVÝ SLOUPEK VYHOVUJE NA 1.MS

4.11.6. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Okamžitý průhyb:

$u_{g,inst}$ = 0 mm (průhyb od stálého zatížení)
$u_{w,inst}$ = 19,5 mm (průhyb od zatížení větrem)

Posouzení:

$\Psi_{0,i} = 0$

$$u_{i,inst} = \sum_{j>1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

u_{inst} = 19,5 + 19,5*0 = 19,5 mm

$u_{inst} \leq u_{inst,lim}$

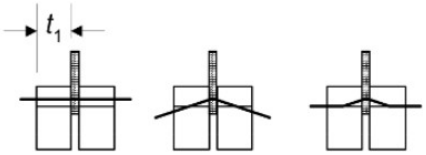
$$u_{inst} \leq \frac{l}{300} = \frac{7300}{300}$$

19,5 mm < 24,33mm =>**VYHOVUJE**

ŠTÍTOVÝ SLOUPEK VYHOVUJE NA 2.MS

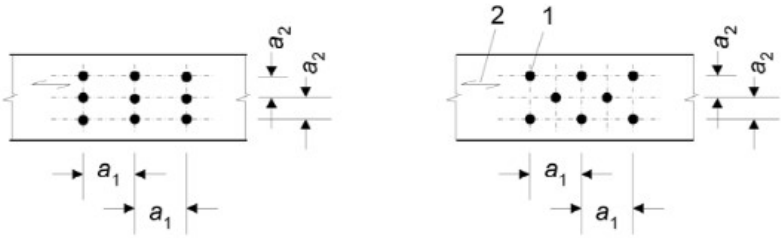
5. NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ

Veškeré spoje dřevěných prvků budou provedeny pomocí ocelových svorníků a vložené ocelové desky tloušťky 15 mm. Svorníky budou pevnostní třídy 5.8, typ M16. Na obr. 23 jsou znázorněny různé možnosti poškození spoje. Všechny spoje budou navrhovány na 70% - 80% využití.



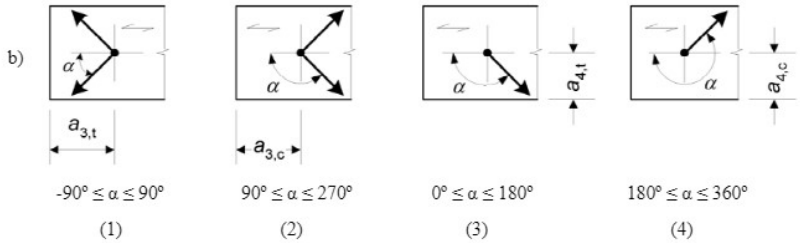
Obrázek 23 - Typy porušení spoje

Rozmístění a vzdálenosti řad svorníků jsou znázorněny na obr. 24.



Obrázek 24 - Vzdálenosti řad svorníků

Důležitým požadavkem je i dodržení vzdáleností svorníků od okrajů a konců prvků, což znázorňuje obr. 25.

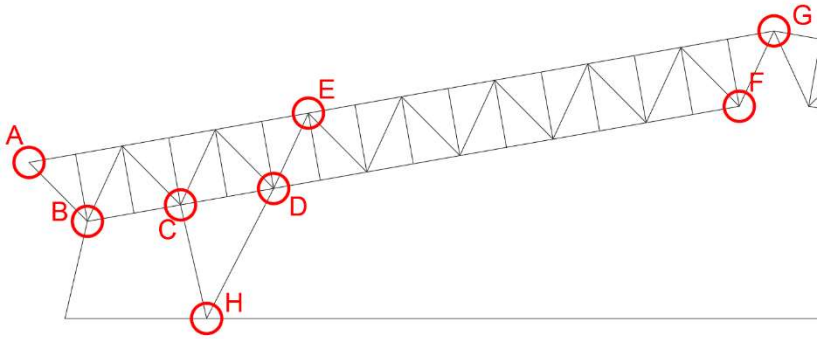


Obrázek 25 - Vzdálenosti svorníků od okrajů a konců

1) zatížený konec, 2) nezatížený konec, 3) zatížený okraj, 4) nezatížený okraj

Rozteče a vzdálenosti od konců/okrajů (viz *obr. 8.7*)	Úhel	Minimální rozteče nebo vzdálenosti
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0° \leq \alpha \leq 360°$	$(4 + \lvert\cos\alpha\rvert)\, d$
a_2 (kolmo k vláknům)	$0° \leq \alpha \leq 360°$	$4d$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90° \leq \alpha \leq 90°$	max ($7d$; 80 mm)
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90° \leq \alpha < 150°$ $150° \leq \alpha < 210°$ $210° \leq \alpha \leq 270°$	max $[(1 + 6 \sin\alpha)\, d;\ 4d]$ $4d$ max $[(1 + 6 \sin\alpha)\, d;\ 4d]$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0° \leq \alpha \leq 180°$	max $[(2 + 2 \sin\alpha)\, d;\ 3d]$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180° \leq \alpha \leq 360°$	$3d$

Tabulka 9 - Rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců

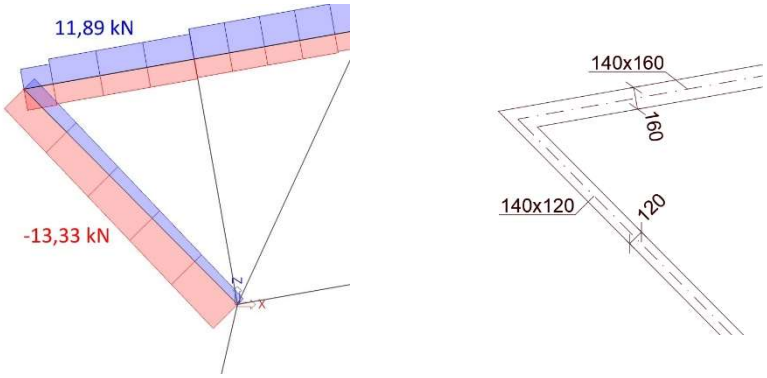


Obrázek 26 - Schéma posuzovaných spojů

5.1. Materiálové charakt. – svorníkové spoje

Na všechny spoje bude použito jednoho typu šroubu a to M16.

Typ šroubu:	M16 (d = 16 mm)
Pevnostní třída svorníku:	5.8
Char. pevnost v tahu $f_{u,b}$:	500 N/mm^2
Char. pevnost v tlaku $f_{y,b}$:	400 N/mm^2
Průměr podložky (vnější/vnitřní):	58/18 mm
Plocha jádra šroubu:	157 mm^2
Char. pevnost dřeva v tlaku $f_{c,90,k}$:	2,5 N/mm^2



Obrázek 27 - Schéma spoje A

5.2. Spoj A (roh haly u horního pásu)

V tomto spoji se nenachází průběžné prvky, proto bude spoj navržen na maximální osovou sílu. Na tomto spoji bude uveden postup výpočtu. Z důvodu množství spojů bude zbytek spojů vypočten pomocí programu Excel.

5.2.1. Vstupní údaje - diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	13,33 kN

5.2.2. Návrh svorníků - diagonála

Počet řad: 1
Počet svorníků v řadě: 2

Char. únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostř.:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{Bmatrix} f_{h,1,k} * t_1 * d \\ f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}}\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2{,}3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{Bmatrix}$$

Pro výpočet charakteristické únosnosti je nejprve potřeba spočítat několik dalších potřebných veličin.

Charakteristická pevnost v otlačení v dřevěném prvku:

$f_{h,0,k}$=0,082*(1-0,01*d)*$\rho_k = 0{,}082 * (1 - 0{,}01 * 16) * 440$
$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa

k_{90} = 1,35+0,015*d
k_{90} = 1,35+0,015*16
k_{90} = 1,59
(lepené dřevo)

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin\alpha^2 + \cos\alpha^2} = \frac{30{,}31}{1{,}59 * \sin 0^2 + \cos 0^2}$$

$f_{h,1,k}$=30,31 MPa

Char. plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$M_{y,Rk}$=0,3*$f_{u,k}$*$d^{2,6}$=0,3*500*$16^{2,6}$=202676,4 Nmm

Char. Únosnost na vytažení spojovacího prostředku:

Hodnota této síly se rovná:

a) 25% první části vzorce (Johansenova část)
b) 25% otlačení pod podložkou nebo přetržení svorníku

a) $F_{ax,Rk,1} = \frac{16917{,}5}{4} = 4229{,}39$ N

$F_{ax,Rk,2} = \frac{22801{,}4}{4} = 5700{,}36$ N

b) $F_{ax,Rk,3} = \frac{\frac{A_s * f_{uk}}{1{,}25}}{4} = \frac{\frac{157*500}{1{,}25}}{4} = 15700$ N

$F_{ax,Rk,4} = \frac{\frac{A_s * f_{yk}}{1{,}15}}{4} = \frac{\frac{157*400}{1{,}15}}{4} = 13652{,}17$ N

$F_{ax,Rk,5} = A_{net} * 3 * f_{c,90,d} = 2387{,}16 * 3 * 1{,}6 = 2865{,}13$ N

$A_{net} = \pi * r_2^2 - \pi * r_1^2 = \pi * 29^2 - \pi * 9^2$

$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

Nyní máme potřebné hodnoty a můžeme dosadit do vzorce:

$$F_{v,Rk}=\min\begin{Bmatrix} 30,31*52,5*16 \\ 30,31*62,5*16*\left[\sqrt{2+\frac{4*202676,4}{30,31*16*62,5^2}}\right]+2865,13 \\ 2,3*\sqrt{202676,4*30,31*16}+2865,13 \end{Bmatrix}$$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix} 30307,2 \\ 19782,7 \\ 25666,6 \end{Bmatrix} = 19782,7\ \mathrm{N}$$

5.2.3. Posouzení - diagonála

$a_1 = (4+\cos\alpha)*d$
$a_1 = (4+\cos 0)*16$
$a_1 = 80$ mm (min.)

uvažuji 150 mm

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} n \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{Bmatrix}$$

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 2 \\ 2^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{150}{13*16}} \end{Bmatrix} = \min\begin{Bmatrix} 2 \\ 1,72 \end{Bmatrix} = 1,72$$

F = 13,33 kN (maximální normálová síla dle Scia)

$k_{mod} = 0,9$
$\gamma_M = 1,25$

$$F_{max} = \text{střižnost} * \text{počet řad} * n_{ef} * F_{v,Rk} * \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$F_{max} = 2 * 1 * 1,72 * 19782,7 * \frac{0,8}{1,25} = 48,99\ \mathrm{kN}$$

$F < F_{max}$
<u>13,33 < 48,99</u> kN => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>1 řada svorníků po 2 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.2.4. Vstupní údaje – horní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	11,89 kN

V následujících výpočtech budou vypsány jen výsledné hodnoty a počty svorníků. Výpočet byl proveden v Excelu.

5.2.5. Návrh svorníků – horní pás

Počet řad: 1
Počet svorníků v řadě: 2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.2.6. Posouzení – horní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

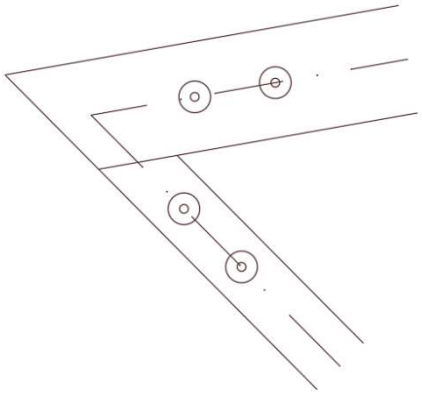
F =11,89 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
<u>11,89 < 48,99 kN</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>2 řady svorníků po 2 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

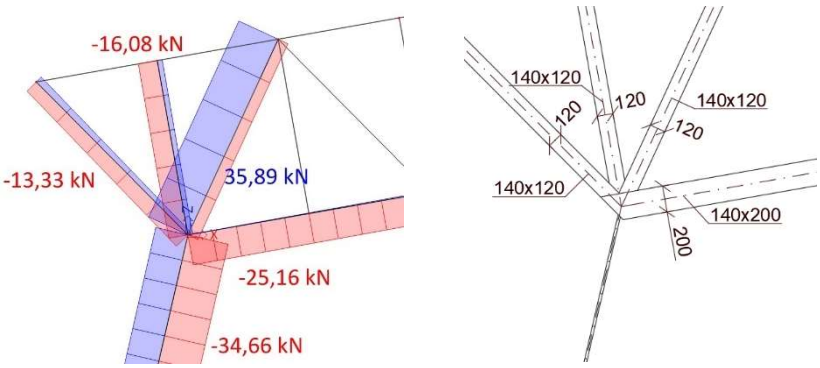
Vzdálenosti svorníků dle tab.9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 28 – Schéma rozmístění svorníků (spoj A)

Je potřeba změnit průřez prvku horního pásu na rozměr 140x200 mm (navýšení o 40 mm z důvodu tloušťky lamel 40 mm). Není nutné přepočítávat původní návrh, jelikož byl průřez zvětšen a bezpečně vyhoví.

5.3. Spoj B (roh haly s ocelovým táhlem)



Obrázek 29 - Schéma spoje B

V tomto spoji se nenachází průběžné prvky, proto bude spoj navržen na maximální osovou sílu.

5.3.1. Vstupní údaje – diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	35,89 kN

5.3.2. Návrh svorníků – diagonála

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.3.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =35,89 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
35,89 < 48,99 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.3.4. Vstupní údaje – spodní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	18,9 °
Maximální normálová síla v diagonále:	25,16 kN

5.3.5. Návrh svorníků – spodní pás

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,26 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4224,61 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5696,09 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30261{,}8\\19763{,}6\\25649{,}5\end{Bmatrix} = 19763{,}6\ N$$

5.3.6. Posouzení – spodní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =25,16 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 97,88 kN

F < F_{max}
25,16 < 97,88 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou. (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.3.7. Vstupní údaje – svislice

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	16,08 kN

5.3.8. Návrh svorníků – svislice

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.3.9. Posouzení – svislice

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

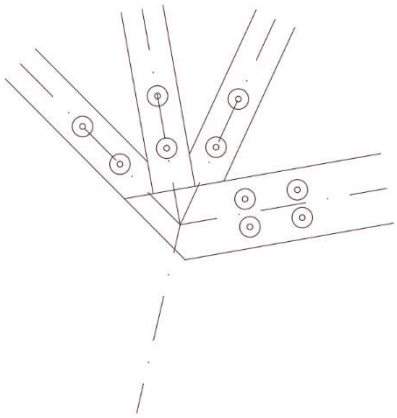
F =16,08 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
16,08 < 48,99 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

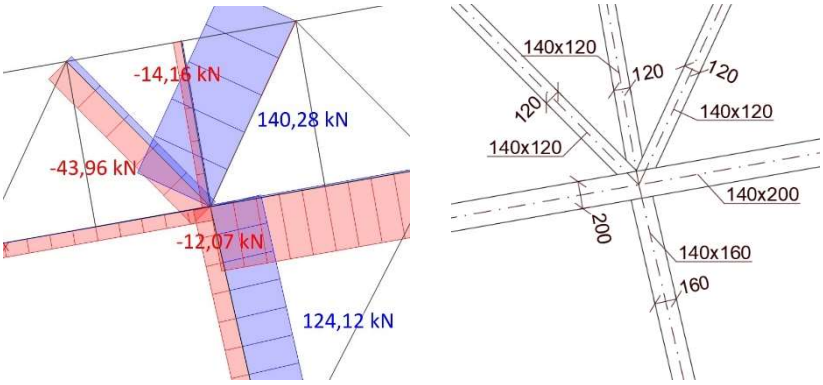
Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 30 – Schéma rozmístění svorníků (spoj B)

Není potřeba měnit průřez prvku. Spojovací prostředky se na daný průřez vejdou, na minimální vzdálenosti svorníků dle předchozího výpočtu.

5.4. Spoj C (vnější stojina)

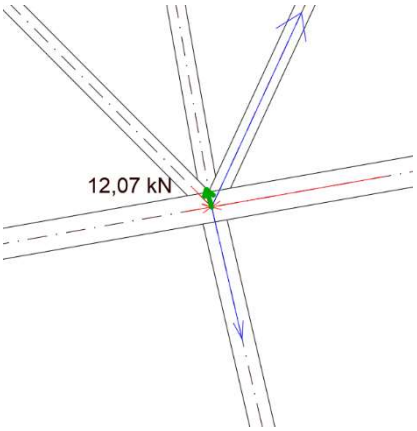


Obrázek 31 - Schéma spoje C

V tomto spoji se nachází průběžný prvek, proto bude nutné z rozhodujících kombinací najít tu nejnepříznivější výslednici vnitřních normálových sil a její úhel vzhledem k průběžnému spodnímu pásu. Spodní pás tedy bude navržen na nejnepříznivější výslednici vnitřních sil, ostatní prvky budou navrženy na maximální osovou sílu působící na příslušném prvku.

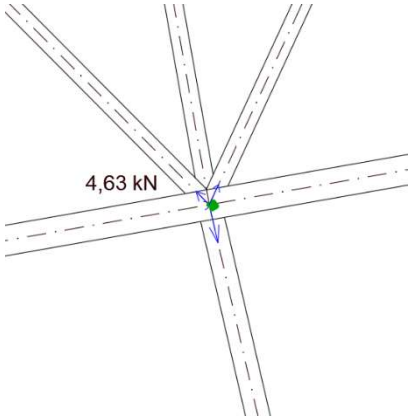
Rozhodující kombinace:
CO6, CO8, CO9, CO18, CO19

Normálové síly od CO 6:



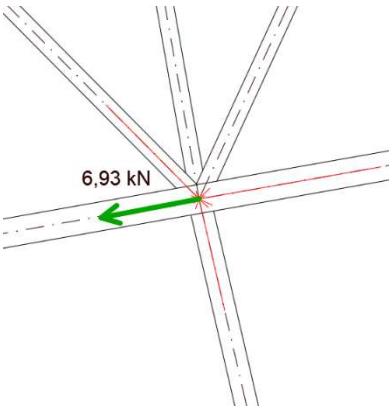
Odchylka výslednice
od dolního pásu je 83,41°

Normálové síly od C0 8:



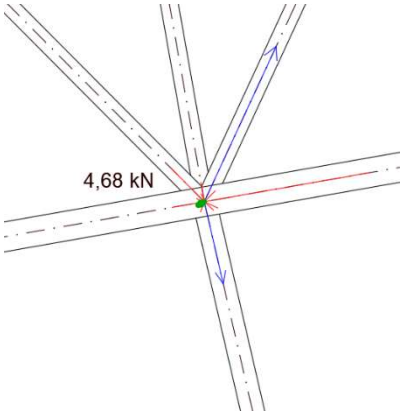
Odchylka výslednice
od dolního pásu je 21,12°

Normálové síly od CO 9:



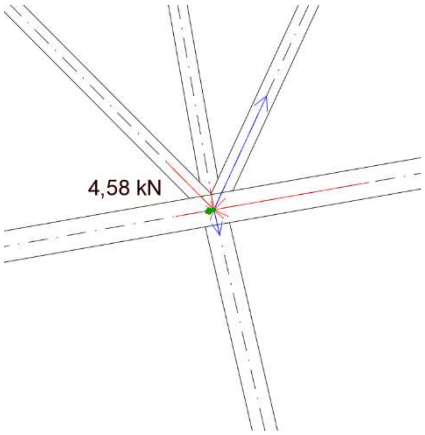
Odchylka výslednice
od dolního pásu je 0,79°

Normálové síly od CO 18:



Odchylka výslednice
od dolního pásu je 18,70°

Normálové síly od CO 19:



Odchylka výslednic
Dolního pásu je 5,94°

5.4.1. Vstupní údaje – diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	140,28 kN

5.4.2. Návrh svorníků - diagonála

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	4

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1} = 4229{,}39$ N
$F_{ax,Rk,2} = 5700{,}36$ N

b) $F_{ax,Rk,3} = 15700$ N
$F_{ax,Rk,4} = 13652{,}17$ N
$F_{ax,Rk,5} = 2865{,}13$ N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.4.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}4\\3{,}21\end{Bmatrix} = 3{,}21$$

F =140,28 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 182,83 kN

F < F_{max}
140,28 < 182,83 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 4 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.4.4. Vstupní údaje – spodní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	83,41°
Maximální normálová síla v diagonále:	12,07 kN

Bereme nejméně příznivou výslednici normálových sil z jednotlivých kombinací (CO 6) a její odklon od osy spodního pásu.

5.4.5. Návrh svorníků – spodní pás

Počet řad: 2
Počet svorníků v řadě: 2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 19,24 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 3055,48 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 4541,54 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}19237{,}4\\15087{,}1\\21031{,}3\end{Bmatrix} = 15087{,}1\ N$$

5.4.6. Posouzení – spodní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =12,07 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 74,72 kN

F < F_{max}
12,07 < 74,72 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.4.7. Vstupní údaje – svislice

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	14,16 kN

5.4.8. Návrh svorníků – svislice

Počet řad: 1
Počet svorníků v řadě: 2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.4.9. Posouzení – svislice

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =14,16 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
<u>14,16 < 48,99</u> kN => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>1 řada svorníků po 2 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.4.10. Vstupní údaje – stojina vnější

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	124,12 kN

5.4.11. Návrh svorníků – stojina vnější

Počet řad: 2
Počet svorníků v řadě: 4

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.4.12. Posouzení – stojina vnější

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}4\\3{,}21\end{Bmatrix} = 3{,}21$$

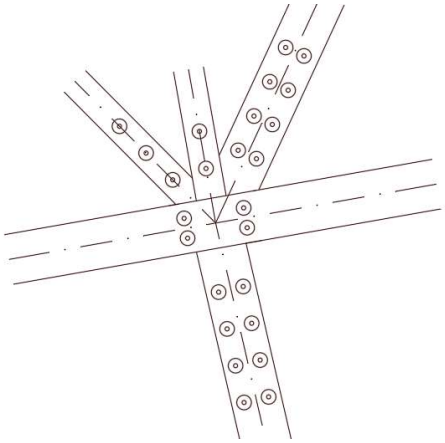
F =124,12 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 182,83 kN

F < F_{max}
124,12 < 182,83 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 4 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

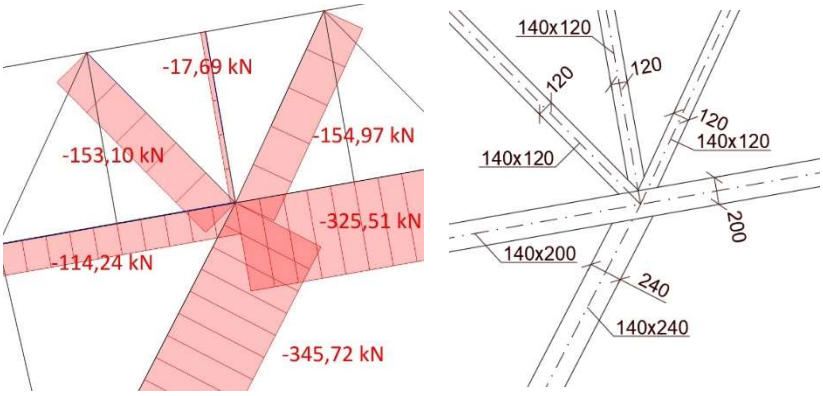
Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 32 - Schéma rozmístění svorníků (spoj C)

Je potřeba zvětšit průřez diagonály na 140x200 mm. Prvek není potřeba znovu posuzovat, jelikož se zvětšil průřez. Ostatní prvky vyhovují na původní rozměry.

5.5. Spoj D (vnitřní stojina)

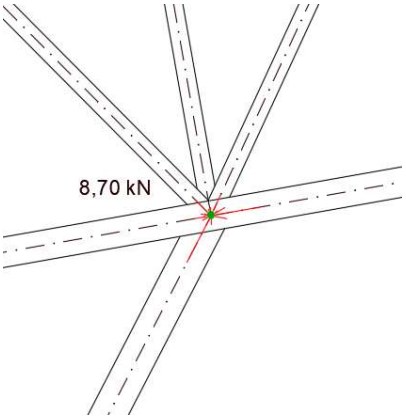


Obrázek 33 - Schéma spoje D

V tomto spoji se nachází průběžný prvek, proto bude nutné z rozhodujících kombinací najít tu nejnepříznivější výslednici vnitřních normálových sil a její úhel vzhledem k průběžnému spodnímu pásu. Spodní pás tedy bude navržen na nejnepříznivější výslednici vnitřních sil, ostatní prvky budou navrženy na maximální osovou sílu působící na příslušném prvku.

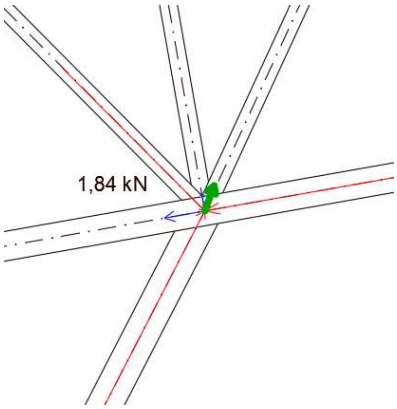
Rozhodující kombinace:
CO6, CO8, CO9, CO18

Normálové síly od CO 6:



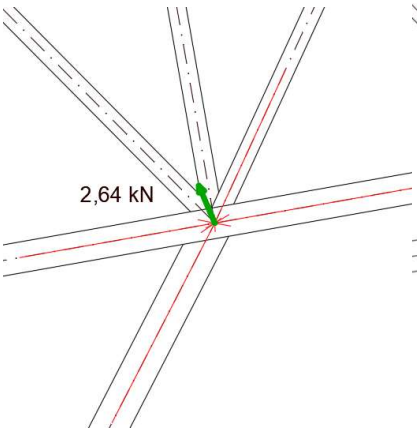
Odchylka výslednice
od dolního pásu je 89,00°

Normálové síly od CO 8:



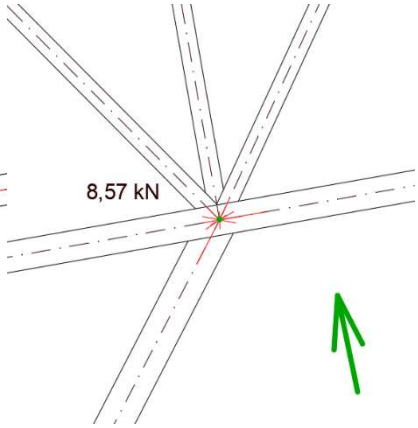
Odchylka výslednice
od dolního pásu je 59,62°

Normálové síly od CO 9:



Odchylka výslednice
od dolního pásu je 76,84°

Normálové síly od CO 18:



Odchylka výslednice
od dolního pásu je 88,22°

5.5.1. Vstupní údaje – diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	154,97 kN

5.5.2. Návrh svorníků – diagonála

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	5

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1} = 4229{,}39\ \mathrm{N}$
$F_{ax,Rk,2} = 5700{,}36\ \mathrm{N}$

b) $F_{ax,Rk,3} = 15700\ \mathrm{N}$
$F_{ax,Rk,4} = 13652{,}17\ \mathrm{N}$
$F_{ax,Rk,5} = 2865{,}13\ \mathrm{N}$
$A_{net} = 2387{,}61\ \mathrm{mm}^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ \mathrm{N}$$

5.5.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}5\\3{,}92\end{Bmatrix} = 3{,}92$$

F = 154,97 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 223,49 kN

$F < F_{max}$
154,97 < 223,49 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 5 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.5.4. Vstupní údaje – spodní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	89°
Maximální normálová síla v diagonále:	8,70 kN

Je brána nejméně příznivá výslednice normálových sil z jednotlivých kombinací (CO 6) a její odklon od osy spodního pásu.

5.5.5. Návrh svorníků – spodní pás

Počet řad: 1
Počet svorníků v řadě: 2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 21,10 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 3254,66 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 4756,19 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}21098{,}9\\15883{,}8\\21889{,}9\end{Bmatrix} = 15883{,}8\ N$$

5.5.6. Posouzení – spodní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =8,70 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 39,33 kN

F < F_{max}
<u>8,70 < 39,33</u> kN => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>1 řada svorníků po 2 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.5.7. Vstupní údaje – svislice

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	17,69 kN

5.5.8. Návrh svorníků – svislice

Počet řad: 1
Počet svorníků v řadě: 2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.5.9. Posouzení – svislice

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1{,}72\end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =17,69 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
17,69 < 48,99 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.5.10. Vstupní údaje – stojina vnitřní

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	20 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	60 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	345,72 kN

Tento prvek je namáhán velkou osovou silou. Pouze pro tento spoj budou navrženy svorníky o průměru **d=24 mm**.

5.5.11. Návrh svorníků – stojina vnitřní

Počet řad: 2
Počet svorníků v řadě: 8

$f_{h,0,k}$ = 27,42 MPa
$f_{h,1,k}$ = 27,42 MPa

$M_{y,Rk}$=581 621,5 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 7175,03 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 11249,51 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=35300 N
$F_{ax,Rk,4}$=7340,02 N
$F_{ax,Rk,5}$=30695,65 N
$A_{net} = 6116{,}68\ \mathrm{mm}^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}39486{,}0\\35875{,}1\\52338{,}1\end{Bmatrix} = 35875{,}1\ \mathrm{N}$$

5.5.12. Posouzení – stojina vnitřní

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}8\\5{,}41\end{Bmatrix} = 5{,}41$$

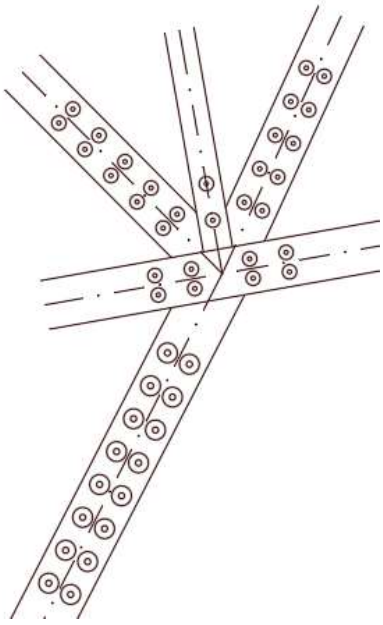
F =345,72 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 559,05 kN

F < F_{max}
<u>345,72 < 559,05</u> kN => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>2 řady svorníků po 8 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

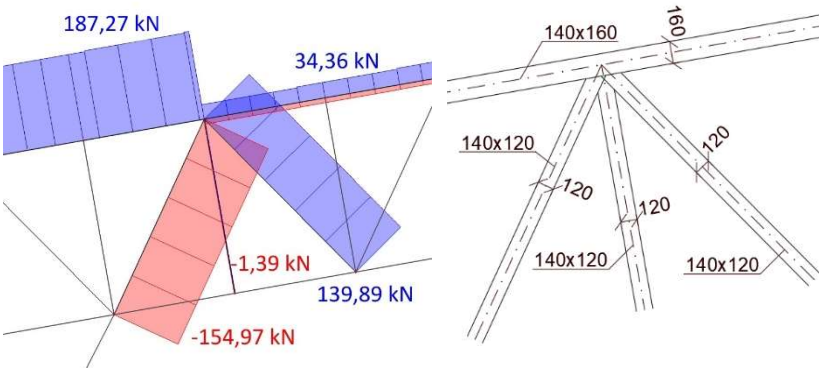
Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 96 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 168 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 72 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 34 - Schéma rozmístění svorníků (spoj D)

Je potřeba zvětšit průřez diagonály na 140x200 mm. Prvek není potřeba znovu posuzovat, jelikož se zvětšil průřez. Ostatní prvky vyhovují na původní rozměry.

5.6. Spoj E (horní pás)

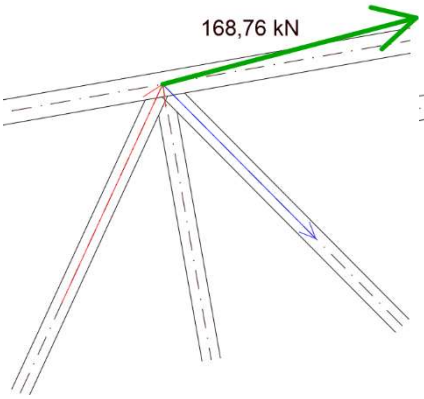


Obrázek 35 - Schéma spoje E

V tomto spoji se nachází průběžný prvek, proto bude nutné z rozhodujících kombinací najít tu nejnepříznivější výslednici vnitřních normálových sil a její úhel vzhledem k průběžnému hornímu pásu. Horní pás tedy bude navržen na nejnepříznivější výslednici vnitřních sil, ostatní prvky budou navrženy na maximální osovou sílu působící na příslušném prvku.

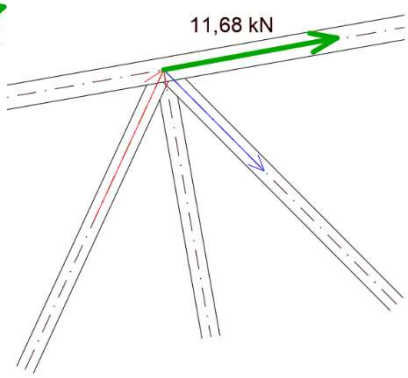
Rozhodující kombinace:
CO6, CO9

Normálové síly od CO 6:



Odchylka výslednice od dolního pásu je 4,68°

Normálové síly od CO 9:



Odchylka výslednice od dolního pásu je 0,41°

5.6.1. Vstupní údaje – diagonála

Ve výpočtu bude uvažována maximální normálová síla z obou diagonál, tedy 154,97 kN.

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	154,97 kN

5.6.2. Návrh svorníků – diagonála

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	5

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.6.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 5 \\ 3{,}92 \end{Bmatrix} = 3{,}92$$

F = 154,97 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 223,49 kN

$F < F_{max}$
154,97 < 223,49 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 5 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.6.4. Vstupní údaje – svislice

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	1,39 kN

5.6.5. Návrh svorníků – svislice

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307,2\\19782,7\\25666,6\end{Bmatrix} = 19782,7\ \mathrm{N}$$

5.6.6. Posouzení – svislice

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}2\\1,72\end{Bmatrix} = 1,72$$

F =1,39 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
1,39 < 48,99 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.6.7. Vstupní údaje – horní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	4,68°
Maximální normálová síla v diagonále:	187,27 kN

V úvahu je brána nejméně příznivá výslednice normálových sil z jednotlivých kombinací (CO 6) a její odklon od osy horního pásu.

5.6.8. Návrh svorníků – horní pás

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	8

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 19,07 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 3037,36 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 4521,56 N

b) $F_{ax,Rk,3}=15700$ N
$F_{ax,Rk,4}=13652{,}17$ N
$F_{ax,Rk,5}=2865{,}13$ N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}19068{,}6\\15014{,}6\\20951{,}4\end{Bmatrix} = 15014{,}6\ N$$

5.6.9. Posouzení – horní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}8\\5{,}99\end{Bmatrix} = 5{,}99$$

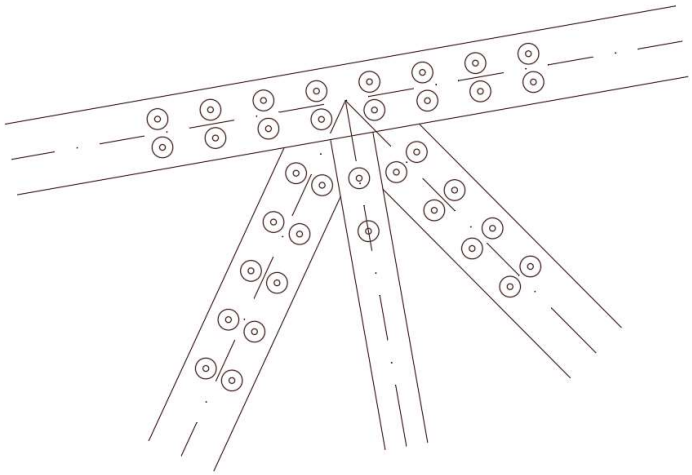
F =187,27 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 258,94 kN

F < F_{max}
187,27 < 258,94 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 8 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

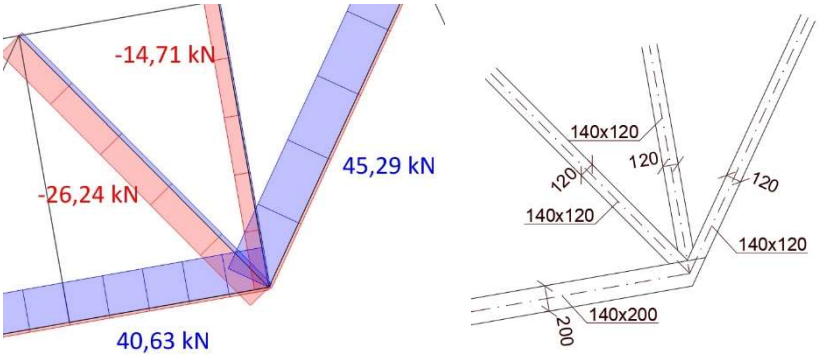
Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 36 - Schéma rozmístění svorníků (spoj E)

Je potřeba změnit průřez prvku horního pásu na 140x200 (navýšení o 40 mm z důvodu tloušťky lamel 40mm). Dále je potřeba zvětšit průřez diagonály na 140x200 mm. Není nutné přepočítávat původní návrhy, jelikož byly oba průřezy zvětšeny a bezpečně vyhoví. Ostatní prvky vyhovují na původní rozměry.

5.7. Spoj F (roh spodního pásu)



Obrázek 37 - Schéma spoje F

V tomto spoji se nenachází průběžné prvky, proto budou prvky navrženy na maximální osové síly.

5.7.1. Vstupní údaje – diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	45,29 kN

5.7.2. Návrh svorníků – diagonála

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	3

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N

$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.7.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 3 \\ 2{,}48 \end{Bmatrix} = 2{,}48$$

F =45,29 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 70,56 kN

F < F_{max}
45,29 < 70,56 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 3 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.7.4. Vstupní údaje – svislice

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	14,71 kN

5.7.5. Návrh svorníků – svislice

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix} 30307{,}2 \\ 19782{,}7 \\ 25666{,}6 \end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.7.6. Posouzení – svislice

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 2 \\ 1{,}72 \end{Bmatrix} = 1{,}72$$

F =14,71 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 48,99 kN

F < F_{max}
14,71 < 48,99 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.7.7. Vstupní údaje – spodní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	40,63 kN

5.7.8. Návrh svorníků – spodní pás

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	2

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix} 30307{,}2 \\ 19782{,}7 \\ 25666{,}6 \end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.7.9. Posouzení – spodní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 2 \\ 1{,}72 \end{Bmatrix} = 1{,}72$$

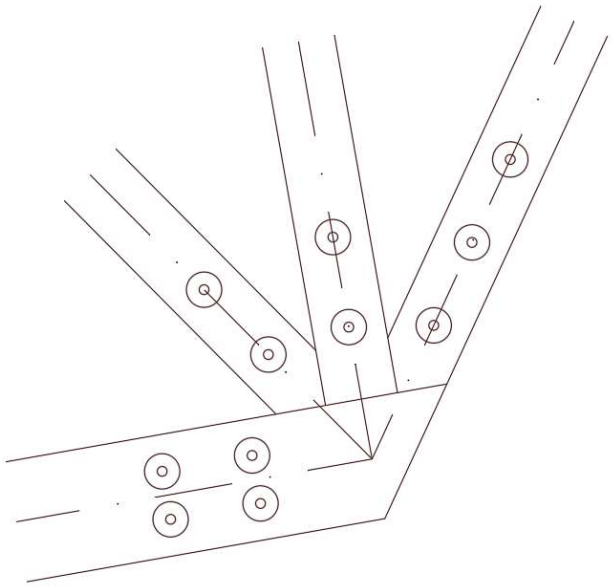
F =40,63 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 97,97 kN

F < F_{max}
40,63 < 97,97 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 2 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

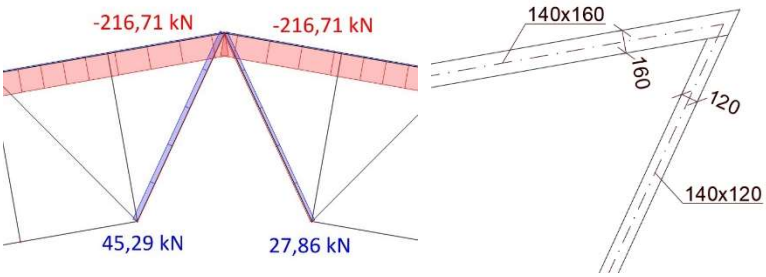


Obrázek 38 - Schéma rozmístění svorníků (spoj F)

Není potřeba měnit průřezy prvků. Spojovací prostředky se na daný průřez vejdou, na minimální vzdálenosti svorníků dle předchozího výpočtu.

5.8. Spoj G (vrcholový čep)

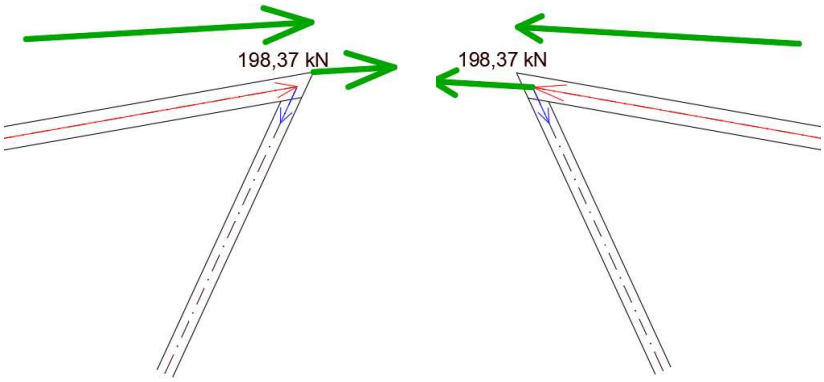
Pro výpočet vrcholové čepu je nejprve potřeba zjistit maximální sílu ve styčníku, dle nejnepříznivější kombinace. Ocelový čep bude navržen právě na nejnepříznivější sílu z kombinací. Jednotlivé prvky budou navrženy na jejich maximální normálové namáhání.



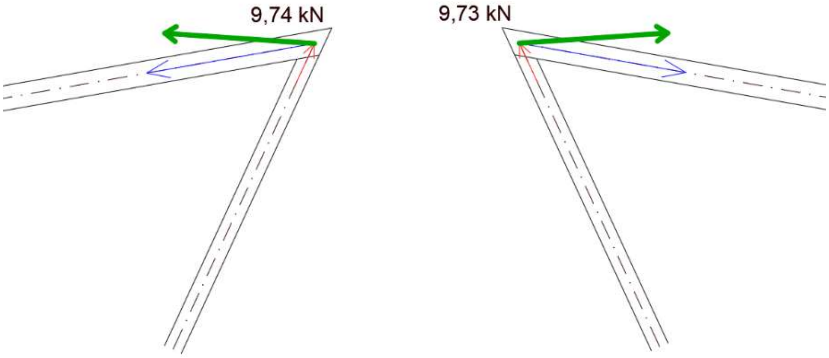
Obrázek 39 - Schéma spoje G

Rozhodující kombinace:
CO 6, CO 8, CO 12, CO 19

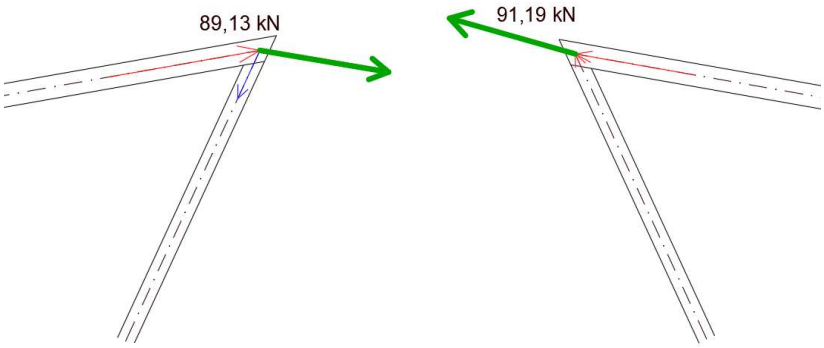
Normálové síly od CO 6:



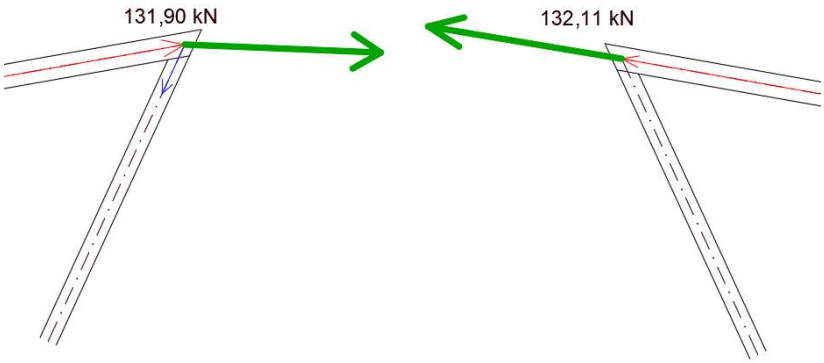
Normálové síly od CO 8:



Normálové síly od CO 12:



Normálové síly od CO 19:



Nejnepříznivější síla ve styčníku vyšla z kombinace 6, a rovná se 198,37 kN. Tato síla bude použita pro výpočet čepového spoje.

5.8.1. Vstupní údaje – diagonála

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	45,29 kN

5.8.2. Návrh svorníků – diagonála

Počet řad:	1
Počet svorníků v řadě:	3

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}=15700$ N
$F_{ax,Rk,4}=13652{,}17$ N
$F_{ax,Rk,5}=2865{,}13$ N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.8.3. Posouzení – diagonála

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}3\\2{,}48\end{Bmatrix} = 2{,}48$$

F =45,29 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 70,56 kN

F < F_{max}
45,29 < 70,56 kN => **VYHOVUJE**

1 řada svorníků po 3 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)

5.8.4. Vstupní údaje – horní pás

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0°
Maximální normálová síla v diagonále:	216,71 kN

5.8.5. Návrh svorníků – horní pás

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	6

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}=202676{,}4$ Nmm

a) $F_{ax,Rk,1} = 4229{,}39$ N
$F_{ax,Rk,2} = 5700{,}36$ N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}30307{,}2\\19782{,}7\\25666{,}6\end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.8.6. Posouzení – horní pás

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix}6\\4{,}62\end{Bmatrix} = 4{,}62$$

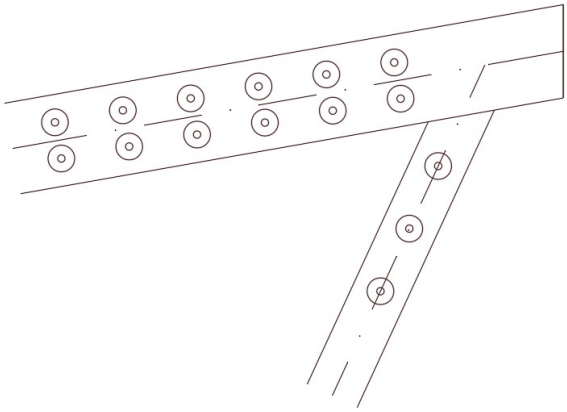
F =216,71 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 263,34 kN

F < F_{max}
216,71 < 263,34 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 6 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 40 - Schéma rozmístění svorníků (spoj G)

Je potřeba změnit průřez prvku horního pásu na 140x200 (navýšení o 40 mm z důvodu tloušťky lamel 40mm). Není nutné přepočítávat původní návrh, jelikož byl průřez zvětšen a bezpečně vyhoví. Ostatní prvky vyhovují na původní rozměry.

5.8.7. Vstupní údaje – čep

Čep bude navržen na maximální sílu ve styčníku, která byla zjištěna pomocí výslednic rozhodujících kombinací. Maximální síla ve styčníku vzešla z kombinace CO 6 a to o velikosti 198,37 kN.

Materiál plechů:	ocel S355
Mez kluzu oceli	f_y = 355 MPa
Mez pevnosti v tahu	f_u = 510 MPa

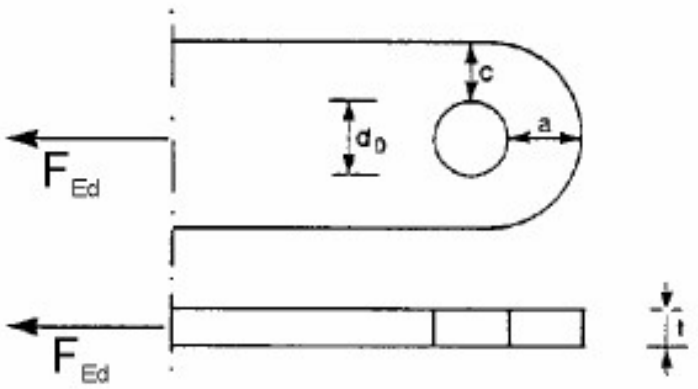
Materiál čepu:	ocel 5.8
Mez kluzu	f_{yb} = 400 MPa
Mez pevnosti	f_{ub} = 500 MPa

5.8.8. Návrh čepového spoje

Navrhuji:

tloušťku středního plechu	t = 25 mm
průměr čepu	d = 34 mm
průměr otvoru pro čep:	d_0 = 36 mm

Byla zvolena tloušťka středního plechu (dle normy ČSN EN 1993-1-8 se jedná o typ A).



Obrázek 41 - Schéma čepového spoje (plechu)

Stanovení parametrů pro střední plech:

γ_{M0} = 1,0

$$a > \frac{F_{Ed} * \gamma_{M0}}{2 * t * f_y} + \frac{2 * d_o}{3} = \frac{198{,}37 * 10^3 * 1}{2 * 25 * 355} + \frac{2 * 36}{3}$$

$a > 35{,}18\ \mathrm{mm}$ => **NAVRHUJI 40 mm**

$$c \geq \frac{F_{Ed} * \gamma_{M0}}{2 * t * f_y} + \frac{d_o}{3} = \frac{198{,}37 * 10^3 * 1}{2 * 25 * 355} + \frac{36}{3}$$

$c \geq 23{,}18\ \mathrm{mm}$ => **NAVRHUJI 30 mm**

5.8.9. Posouzení čepového spoje

Únosnost čepu ve střihu pro dvě střihové roviny:

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

$$F_{v,Rd} = 2 * 0{,}6 * A * \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 * 0{,}6 * \frac{\pi * 34^2}{4} * \frac{500}{1{,}25}$$

$$F_{v,Rd} = 435{,}80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

435,80 ≥ 198,37 kN => **VYHOVUJE**

Únosnost ocelové desky a čepu v otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5 * d * t * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 * 34 * 25 * 355}{1}$$

$$F_{b,Rd} = 452{,}63 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

452,63 ≥ 198,37 kN => **VYHOVUJE**

Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} * (t + 4 * t_0 + 2 * t_1)$$

$$M_{Ed} = \frac{198{,}37 * 10^3}{8} * (25 + 4 * 1 + 2 * 15)$$

$$M_{Ed} = 1{,}46 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi * d^3}{32} = \frac{\pi * 34^3}{32} = 3858{,}66 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 1{,}5 * W_{el} * \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1{,}5 * 3858{,}66 * \frac{400}{1}$$

$$M_{Rd} = 2{,}32 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

2,32 ≥ 1,46 kNm => **VYHOVUJE**

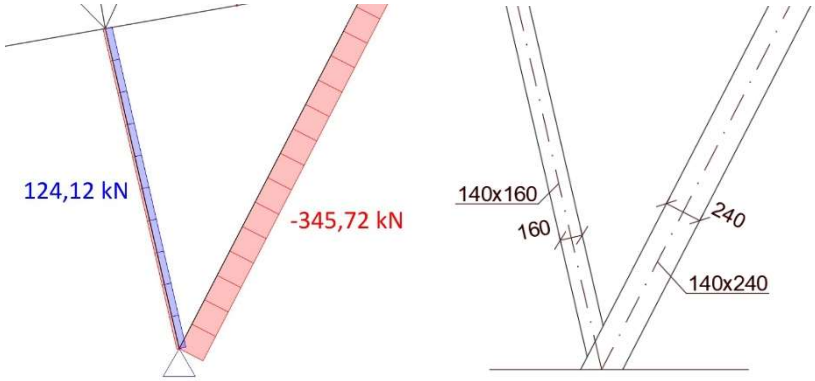
Posouzení čepu na kombinaci ohybu a smyku:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{1{,}96}{2{,}32}\right]^2 + \left[\frac{198{,}37}{435{,}80}\right]^2 \leq 1$$

0,92 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

5.9. Spoj H (vnější a vnitřní stojina v patě)



Obrázek 42 - Schéma spoje H

V tomto spoji se nenachází průběžné prvky, proto budou prvky navrženy na maximální osové síly.

5.9.1. Vstupní údaje - vnitřní stojina

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	345,72 kN

Tento prvek je namáhán velkou osovou silou. Pouze pro tento spoj budou navrženy svorníky o průměru **d=24 mm**.

5.9.2. Návrh svorníků – vnitřní stojina

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	8

$f_{h,0,k}$ = 27,42 MPa
$f_{h,1,k}$ = 27,42 MPa

$M_{y,Rk}$=581621,5 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 7175,03 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 11249,51 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=35300 N
$F_{ax,Rk,4}$=7340,02 N
$F_{ax,Rk,5}$=30695,65 N
$A_{net} = 6116{,}68\ \mathrm{mm}^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix}39486{,}0\\35875{,}1\\52338{,}1\end{Bmatrix} = 35875{,}1\ \mathrm{N}$$

5.9.3. Posouzení – vnitřní stojina

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 8 \\ 5{,}41 \end{Bmatrix} = 5{,}41$$

F =345,72 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 559,05 kN

F < F_{max}
<u>345,72 < 559,05</u> kN => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>2 řady svorníků po 8 kusech.</u>

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou (umístění svorníků a ověření na konci posuzovaného spoje).

Vzdálenosti svorníků dle tab. 9:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 96 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 168 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 72 mm (nezatížený okraj)

5.9.4. Vstupní údaje – vnější stojina

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka ocelové desky:	15 mm
Tloušťka menšího dřevěného prvku (t1)	62,5 mm
Úhel zatížení vzhledem k vláknům:	0 °
Maximální normálová síla v diagonále:	124,12 kN

5.9.5. Návrh svorníků – vnější stojina

Počet řad:	2
Počet svorníků v řadě:	4

$f_{h,0,k}$ = 30,31 MPa
$f_{h,1,k}$ = 30,31 MPa

$M_{y,Rk}$=202676,4 Nmm

a) $F_{ax,Rk,1}$ = 4229,39 N
$F_{ax,Rk,2}$ = 5700,36 N

b) $F_{ax,Rk,3}$=15700 N
$F_{ax,Rk,4}$=13652,17 N
$F_{ax,Rk,5}$=2865,13 N
$A_{net} = 2387{,}61\ mm^2$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{Bmatrix} 30307{,}2 \\ 19782{,}7 \\ 25666{,}6 \end{Bmatrix} = 19782{,}7\ N$$

5.9.6. Posouzení – vnější stojina

$$n_{ef} = \min\begin{Bmatrix} 4 \\ 3{,}21 \end{Bmatrix} = 3{,}21$$

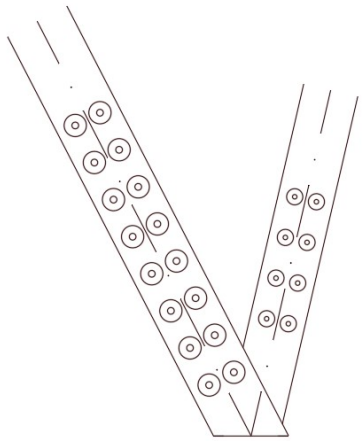
F =124,12 kN (maximální normálová síla dle Scia)
F_{max} = 182,83 kN

F < F_{max}
124,12 < 182,83 kN => **VYHOVUJE**

2 řady svorníků po 4 kusech.

Je nutné vykreslit detail spoje a ověřit, zda se svorníky do daného průřezu vejdou.

Vzdálenosti svorníků dle tab. 6:
a_1 = 150 mm (vzdálenost řad-svislých)
a_2 = 64 mm (vzdálenost řad-vodorovných)
$a_{3,t}$ = 112 mm (zatížený konec)
$a_{4,c}$ = 48 mm (nezatížený okraj)



Obrázek 43 - Schéma rozmístění svorníků (spoj H)

Je potřeba změnit průřez prvku vnější stojiny na 140x200 mm (navýšení o 40 mm z důvodu tloušťky lamel 40 mm). Není nutné přepočítávat původní návrh, jelikož byl průřez zvětšen a bezpečně vyhoví. Ostatní prvky vyhovují na původní rozměry.

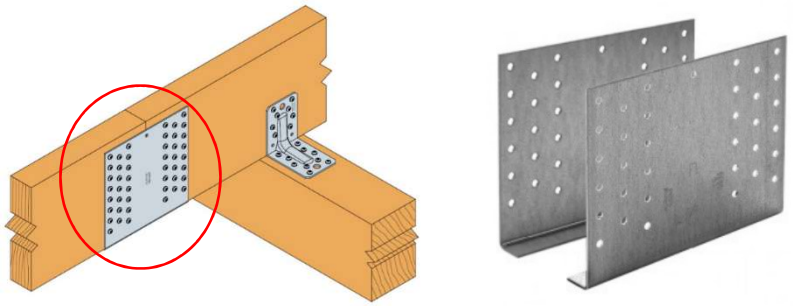
5.10. Připojení vaznice

5.10.1. Připojení vaznice k hornímu pásu

Vaznice bude kotvena k hornímu pásu pomocí dvou ocelových úhelníků, které budou svařeny ze dvou plechů o tloušťce 10 mm. Úhelníky budou připojeny k hornímu pásu pomocí čtyř šroubů M10 5.8 z každé strany vaznice. Připojení plechu k vaznici bude zajištěno pomocí šesti svorníků M10 5.8. Tyto spojovací prostředky byly navrženy odhadem.

5.10.2. Spojení vaznic uprostřed pole

Vaznice jsou řešeny jako spojitý (Gerberův) nosník. Je proto nutné zajistit spojení nejen s horním pásem, ale i spojení vaznic mezi sebou. Spojení dvou vaznic bude provedeno pomocí tzv. Gerberovy spojky GERW240 od výrobce Simpson Strong-Tie (viz. obrázek 44). Materiál této spojky je z oceli S250 GD+Z 275 dle DIN EN. Počet spojovacích prostředků je určen výrobcem, podle velikosti namáhání. Řešení tohoto spoje je uvedeno v detailu J.



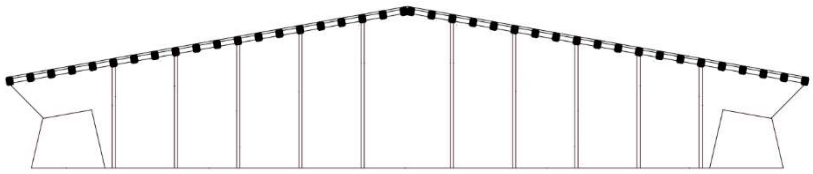
Obrázek 44 - Gerberova spojka GERW 240

6. ZTUŽIDLA

Na tento typ objektu je navrženo několik druhů ztužidel:

1) Ztužení ve střešní rovině
2) Ztužení v podélné stěně
4) Ztužení spodního pásu z důvodu zkrácení vzpěrné délky
5) Ztužení vnitřní stojiny z důvodu zkrácení vzpěrné délky

6.1. Ztužení ve střešní rovině



Obrázek 45 - Schéma štítových sloupků

Štítová stěna bude zatížena pouze větrem z oblasti D. Zatížení bude působit přes štítové sloupky do příhradového vazníku. Štítové sloupky jsou umístěny dle pohledu (vždy v místě uložení vaznic). Na krajní ztužidlo v rovině střešní konstrukce bude působit zatížení od větru a přilehlých vazeb. Na středová ztužidla bude uvažováno působení zatížení od vnitřních vazeb.

6.1.1. Zatížení – krajní ztužidla

Výpočet sil do jednotlivých styčníků od větru:

Přepočet zat. větrem (obl. D) na návrhové zatížení:

$w_{D,d} = w_{D,k} * \gamma_Q = 0{,}44*1{,}5 = 0{,}66$ kN/m^2

Zatěžovací plochy byly vypočítány v programu AutoCAD. V úvahu je brán roznos zatížení z ½ ze sloupků do základové konstrukce a z ½ ze sloupků právě do příhradové konstrukce.

Zat. plochy:

$A_1 = 0{,}87$ m^2
$A_2 = 5{,}19$ m^2
$A_3 = 6{,}82$ m^2
$A_4 = 8{,}78$ m^2
$A_5 = 9{,}63$ m^2
$A_6 = 10{,}48$ m^2
$A_7 = 14{,}01$ m^2
$A_8 = 0$

$F_1 = w_{D,d} * A_1 = 0{,}66*0{,}87 = 0{,}57$ kN
$F_2 = w_{D,d} * A_2 = 0{,}66*5{,}19 = 3{,}42$ kN
$F_3 = w_{D,d} * A_3 = 0{,}66*6{,}82 = 4{,}50$ kN
$F_4 = w_{D,d} * A_4 = 0{,}66*8{,}78 = 5{,}79$ kN
$F_5 = w_{D,d} * A_5 = 0{,}66*9{,}63 = 6{,}36$ kN
$F_6 = w_{D,d} * A_6 = 0{,}66*10{,}48 = 6{,}92$ kN
$F_7 = w_{D,d} * A_7 = 0{,}66*14{,}01 = 9{,}25$ kN
$F_8 = 0$

N_d – návrhová síla v horním pásu

n – poč. přiléhajících vazeb

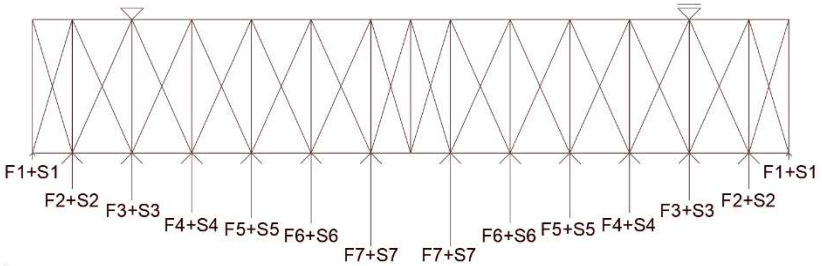
Výpočet sil od stabilizace ostatních vazeb:

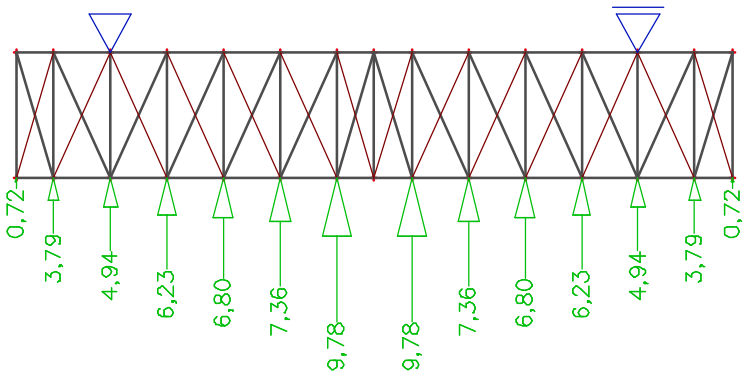
$$q = k_l * \frac{N_d * n}{k_{f3} * l} = 1 * \frac{215{,}82 * 2}{80 * 39{,}39} = 0{,}14\ \mathrm{kN/m}$$

Konzervativně uvažuji tlakovou sílu konstrukce o hodnotě 215,82 kN po celé délce horního pásu.

Přepočet na bodové síly:
S_1 = q*ZŠ1 = 0,14*1,05 = 0,15 kN
S_2 = q*ZŠ2 = 0,14*2,63 = 0,37 kN
S_3 = q*ZŠ3 = 0,14*3,15 = 0,44 kN
S_4 = q*ZŠ3 = 0,14*3,15 = 0,44 kN
S_5 = q*ZŠ3 = 0,14*3,15 = 0,44 kN
S_6 = q*ZŠ3 = 0,14*3,15 = 0,44 kN
S_7 = q*ZŠ4 = 0,14*3,80 = 0,53 kN
S_8 = q*ZŠ5 = 0,14*0 = 0

Konstrukce je symetrická, proto budou stejné síly působit i na druhé straně vazníků.

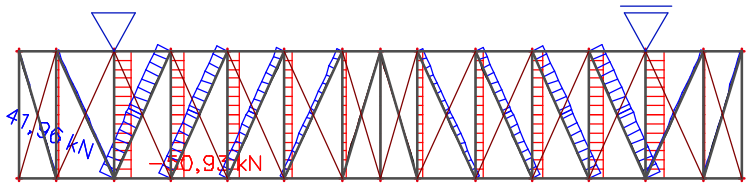




6.1.2. Vnitřní síly – krajní ztužidla

Normálové síly:

$N_{Ed,c}$ = 50,93 kN
$N_{Ed,t}$ = 41,96 kN



Další vnitřní síly nejsou pro výpočet potřeba. Z vykreslených vnitřních sil pro výpočet táhla budou důležité pouze normálové tahové síly, jelikož tlakové síly budou přeneseny vaznicemi. Střešní ztužení bude umístěno na krajích a uprostřed objektu.

6.1.3. Zatížení – střední ztužidla

Střední ztužidla jsou zatíženy pouze silami od stabilizace ostatních vazeb. Je uvažováno s tlakovou silou na spodním pásu z kombinace stálé zatížení + sníh.

<u>Výpočet sil od stabilizace ostatních vazeb:</u>

$$q = k_l * \frac{N_d * n}{k_{f3} * l} = 1 * \frac{215{,}82 * 4}{80 * 39{,}39} = 0{,}27\ \mathrm{kN/m}$$

Konzervativně uvažuji tlakovou sílu konstrukce o hodnotě 215,82 kN po celé délce horního pásu.

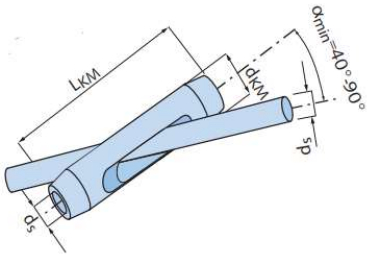
Přepočet na bodové síly:
S_1 = q*ZŠ1 = 0,27*1,05 = 0,28 kN
S_2 = q*ZŠ2 = 0,27*2,63 = 0,71 kN
S_3 = q*ZŠ3 = 0,27*3,15 = 0,85 kN
S_4 = q*ZŠ3 = 0,27*3,15 = 0,85 kN
S_5 = q*ZŠ3 = 0,27*3,15 = 0,85 kN
S_6 = q*ZŠ3 = 0,27*3,15 = 0,85 kN
S_7 = q*ZŠ4 = 0,27*3,80 = 1,03 kN
S_8 = q*ZŠ5 = 0,27*0 = 0

Působící zatížení je výrazně menší než zatížení působící na krajní ztužidla. Táhlo bude navržené o stejném průměru jako táhlo pro krajní ztužidla.

6.1.4. Materiálové charakteristiky – táhlo

Pro střešní ztužení budou navržena táhla Detan od společnosti Halfen.

Táhlo Detan o průměru 16 mm, ocel S355J2.



Obrázek 46 - Táhlo Detan

6.1.5. Mezní stav únosnosti (1.MS) – krajní ztužidla

Tah:

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{41{,}96 * 10^3}{\pi * \frac{16^2}{4}} = 208{,}69 \text{ MPa}$$

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

208,69 ≤ 355 MPa => **VYHOVUJE**

Parametry vaznice:
b = 160 mm
h = 240 mm
A = 38 400 mm^2
I_y = 184,32*10^6 mm^4
I_z = 81,92*10^6 mm^4
W_y = 1536000 mm^3
W_z = 1024000 mm^3
i_y = 69,28 mm
i_z = 46,19 mm

$N_{c,0,d}$ = 50,93 kN
$M_{y,Ed}$ = 7,67 kNm

Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěrný tlak):

$$\sigma_{c,o.d} = \frac{N_{c,o,d}}{A} = \frac{50{,}93*10^3}{38400} = 1{,}33 \text{ MPa}$$

a) v rovině vaznice

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7000}{69{,}28} = 101{,}04$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2} = \pi^2 * \frac{11{,}8 * 10^3}{101{,}04^2} = 11{,}41 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{11{,}41}} = 1{,}67$$

$$k_y = 0{,}5\left[1+\beta\cdot(\lambda_{rel}-0{,}3)+\lambda_{rel}{}^2\right] = 0{,}5[1+0{,}1*(1{,}67-0{,}3)+1{,}67^2$$

k_y = 1,97

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y{}^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1{,}97+\sqrt{1{,}97^2-1{,}67^2}} = 0{,}33$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}33}{0{,}33 \cdot 23{,}04} \leq 1$$

0,17 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

b) z roviny vaznice

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7000}{46{,}19} = 151{,}55$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda_z{}^2} = \pi^2 * \frac{11{,}8*10^3}{151{,}55^2} = 5{,}07 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{5{,}07}} = 2{,}51$$

$k_z = 0{,}5\left[1+\beta\cdot\left(\lambda_{rel,z}-0{,}3\right)+\lambda_{rel,z}^{\ 2}\right] = 0{,}5[1+0{,}1*(2{,}51-0{,}3)+2{,}51^2$

$k_z = 3{,}77$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^{\ 2}-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3{,}77+\sqrt{3{,}77^2-2{,}51^2}} = 0{,}15$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,g,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}33}{0{,}15\cdot 23{,}04} \leq 1$$

<u>0,38 < 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku rovnoběžně s vlákny:</u>

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7{,}67*10^6}{153{,}60*10^4} = 4{,}99\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A} = \frac{50{,}93*10^3}{38400} = 1{,}33\ \text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}*f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}33}{0{,}38*23{,}04} + 0{,}7*\frac{4{,}99}{23{,}04} \leq 1$$

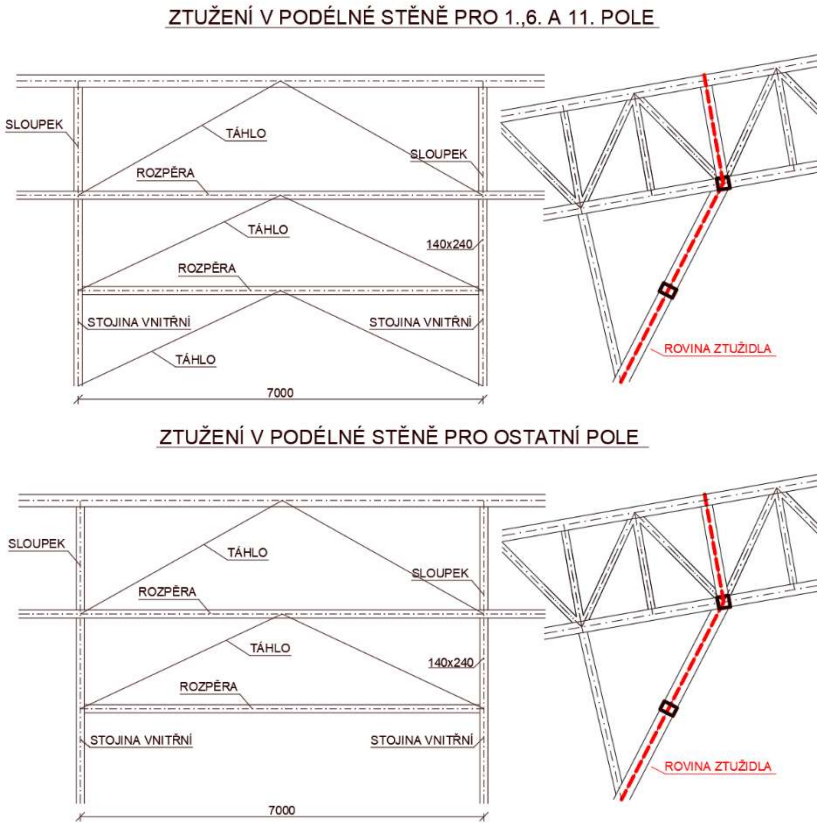
<u>0,30 < 1</u> => **<u>VYHOVUJE</u>**

<u>STŘEŠNÍ ZTUŽENÍ VYHOVUJE NA 1.MS</u>

6.1.6. Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Průhyby táhel nejsou pro konstrukci rozhodující. Vaznice byly posouzeny na 2.MS v kapitole 4.3.4.

6.2. Ztužení v podélné stěně



Obrázek 47 - Schéma ztužení v podélné stěně

Pro výpočet podélných ztužidel byla uvažována schémata výše. Mezi vnitřními stojinami musí být zkonstruována rozpěra z důvodu zkrácení vzpěrné délky vnitřní stojiny. Z tohoto důvodu nemůže ztužení působit na celé pole, ale musí být rozděleno na dvě části. Ztužení v jednotlivých polích je znázorněno dle schématu výše. Počítáno bude ztužidlo v krajním poli (1. nebo 11.), kde bude působit největší zatížení.

6.2.1. Zatížení – krajní ztužidla

<u>Výpočet sil do jednotlivých styčníků od větru:</u>

Zatěžovací síla působící od větru z oblasti D (síla spočtena v kapitole 6.1.1.):

F_3 = 4,50 kN

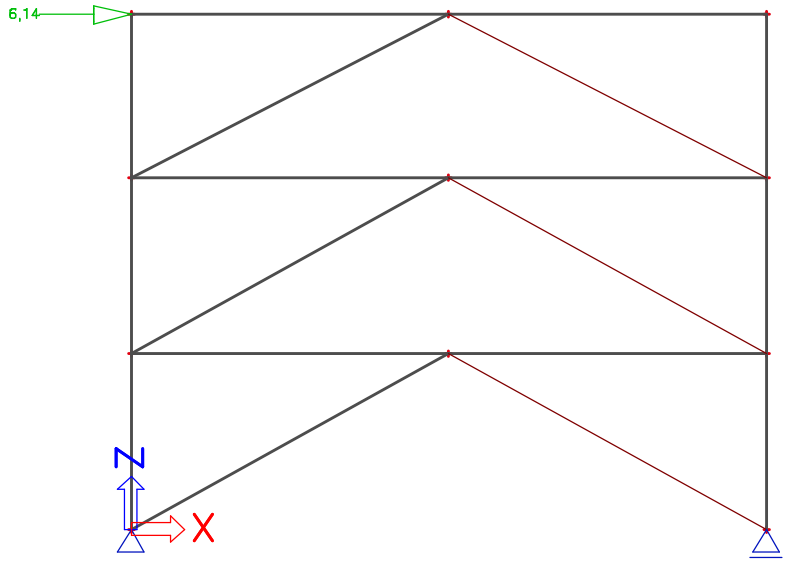
<u>Výpočet sil od stabilizace ostatních vazeb:</u>

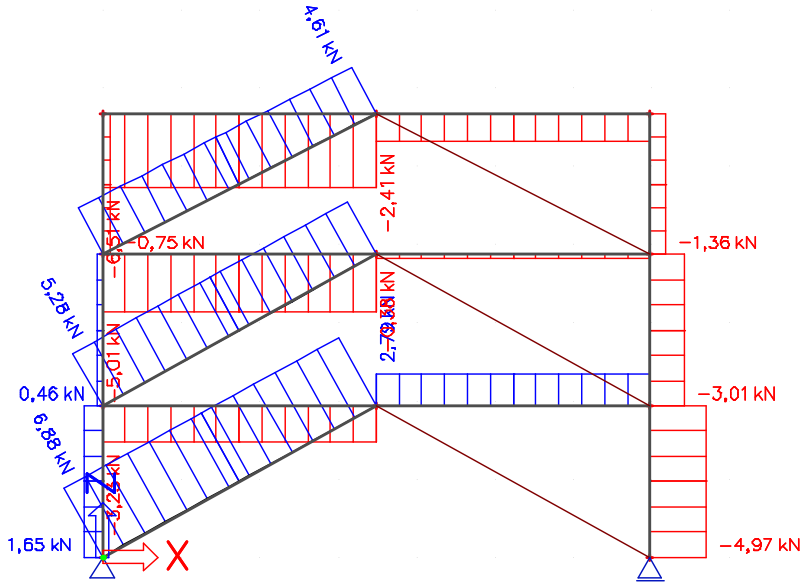
$$q = k_l * \frac{N_d * n}{k_{f3} * l} = 1 * \frac{345{,}72 * 1}{80 * 11{,}36} = 0{,}38\ \mathrm{kN/m}$$

Konzervativně uvažuji tlakovou sílu konstrukce o hodnotě 345,72 kN po celé délce horního pásu.

S_3 = q*l =0,32*5,11 = 1,64 kN

6.2.2. Vnitřní síly – krajní ztužidla

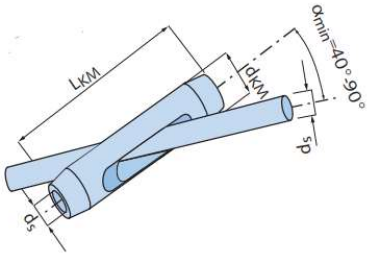




6.2.3. Materiálové charakteristiky – táhlo

Pro podélné ztužení budou navržena táhla Detan od společnosti Halfen.

Táhlo Detan o průměru 16 mm, ocel S355J2.



6.2.4. Mezní stav únosnosti (1.MS) – krajní ztužidla

Tah:

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{6{,}88 * 10^3}{\pi * \frac{16^2}{4}} = 34{,}22 \text{ MPa}$$

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

34,22 ≤ 355 MPa => **VYHOVUJE**

Stejný průměr táhla bude navržen i ve vnitřních vazbách, jelikož bude působit menší zatížení, proto bezpečně vyhoví.

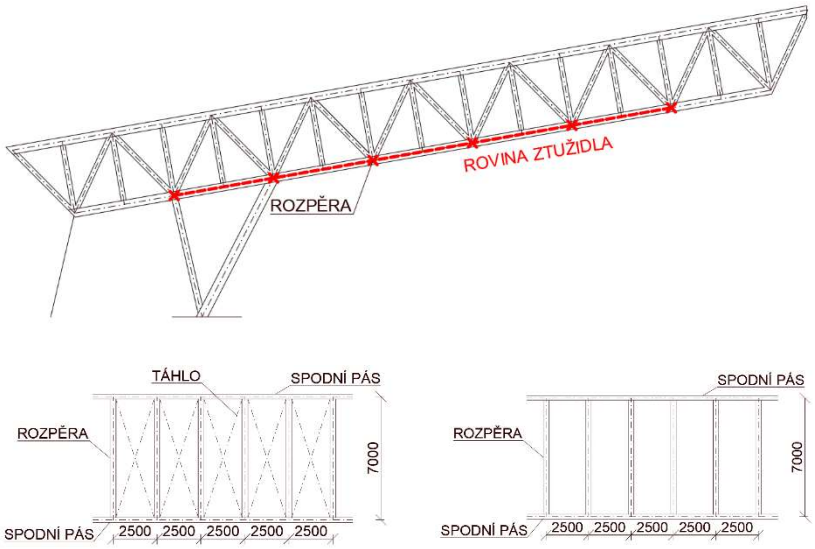
Rozpěry budou navrženy o průřezu 160x160 mm. Do rozpěr působí minimální zatížení dle výpočtu vnitřních sil, nebude proto posuzováno.

6.2.5. Mezní stav použitelnosti (2. MS) – krajní ztužidla

Průhyby táhel nejsou pro konstrukci rozhodující. Vaznice byly posouzeny na 2.MS v kapitole 4.3.4.

6.3. Ztužení spodního pásu

Spodní pás musí být ztužen z důvodu zkrácení vzpěrné délky z roviny vazníku. Ztužení bude zajištěno pomocí dřevěných rozpěr po každých 2,5m. V 1., 6. a 11. poli navíc bude ztuženo pomocí ocelových táhel.

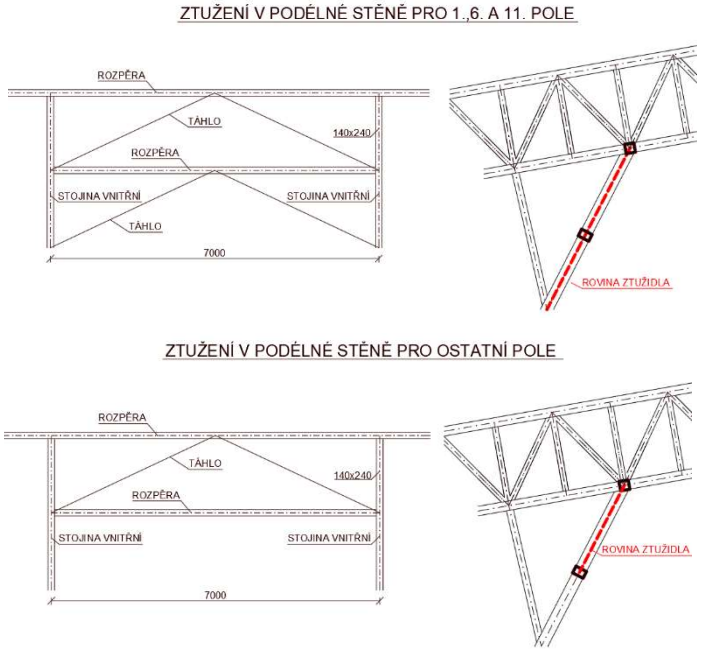


Obrázek 48 - Schéma ztužení spodního pásu

Na tento typ ztužení je navrženo ocelové táhlo Detan o průměru 16 mm, ocel S355J2 (stejné jako v kapitole 6.2). Rozpěry budou z lepeného lamelového dřeva o průřezu 160x160 mm. Pro tento typ prvku nebyly počítány vnitřní síly. Prvky byly navrženy odhadem a bezpečně vyhoví na 1.MS.

6.4. Ztužení vnitřní stojiny

Vnitřní stojina musí být ztužena z důvodu zkrácení vzpěrné délky. Ztužení bude zajištěno pomocí dřevěných rozpěr a bude součástí podélného ztužení celého objektu, které je řešeno v kapitole 6.2. V 1., 6. a 11. poli budou táhla v obou polích, v ostatních polích pouze v horním poli (dle schématu).



Obrázek 49 - Schéma ztužení vnitřní stojiny

Na tento typ ztužení je navrženo ocelové táhlo Detan o průměru 16 mm, ocel S355J2 (stejné jako v kapitole 6.2). Rozpěry budou z lepeného lamelového dřeva o průřezu 160x160 mm. Návrh byl proveden v kapitole 6.2.

7. PŘEHLED PRVKŮ A SPOJŮ

V následujících tabulkách jsou přehledně vypsány finální rozměry prvků a počty svorníků. Ve výpočtu je uvedeno pouze několik typů spojů, v ostatních spojích budou svorníky rozumně odhadnuty dle působícího zatížení (odhady uvedeny v tabulce).

7.1. Přehled prvků

V následujících tabulkách jsou finální navržené rozměry prvků. Některé průřezy prvků musely být zvětšeny z důvodu požadavků na minimální vzdálenosti svorníkových spojů. U návrhu prvků byla zohledněna tloušťka lamel t = 40 mm.

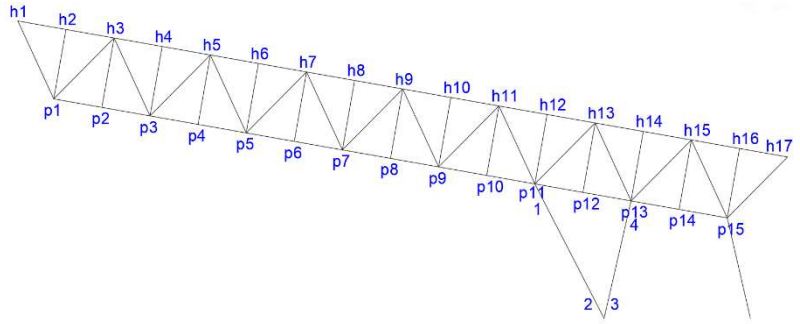
NÁZEV PRVKU	OZNAČENÍ VE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI	ROZMĚRY [MM]
Vaznice	V	160 x 240
Horní pás	HP	140 x 200
Spodní pás	SP	140 x 200
Svislice	S	140 x 120
Diagonála	D1	140 x 120
Diagonála	D2	140 x 200
Stojina vnější	-	140 x 200
Stojina vnitřní	-	140 x 240
Štítový sloupek	-	160 x 220
Ocelové táhlo	T1	d = 20

Tabulka 10 - Přehled prvků

7.2. Přehled spojů

Všechny spoje kromě připojení vnitřních stojin jsou navrženy ze svorníků M16 5.8. Svorníkové spoje vnitřních stojin jsou navrženy ze svorníků M24 5.8 kvůli velkému zatížení spoje.

7.2.1. Spoje na stojinách, horním a spodním pásu

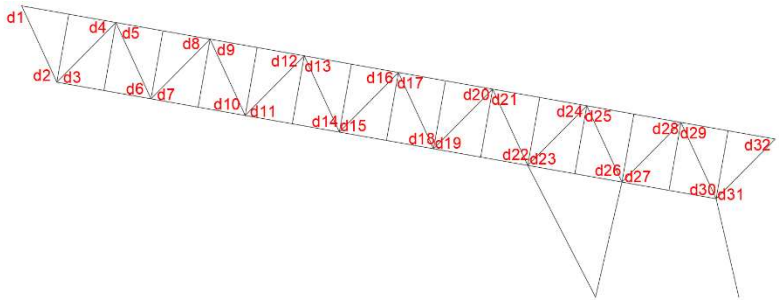


Obrázek 50 - Přehled spojů na stojinách, horním a spodním pásu

Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks)	Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks)
h1	2 x 5	h12	2 x 2
h2	2 x 2	h13	2 x 8
h3	2 x 4	h14	2 x 2
h4	2 x 2	h15	2 x 4
h5	2 x 4	h16	2 x 2
h6	2 x2	h17	1 x 2
h7	2 x 6	1	2 x 8 (M24)
h8	2 x2	2	2 x 8 (M24)
h9	2 x 8	3	2 x 4
h10	2 x 2	4	2 x 4
h11	2 x 8		

Tabulka 11 - Přehled svorníků na stojinách, horním a spodním pásu

7.2.2. Spoje v diagonálách

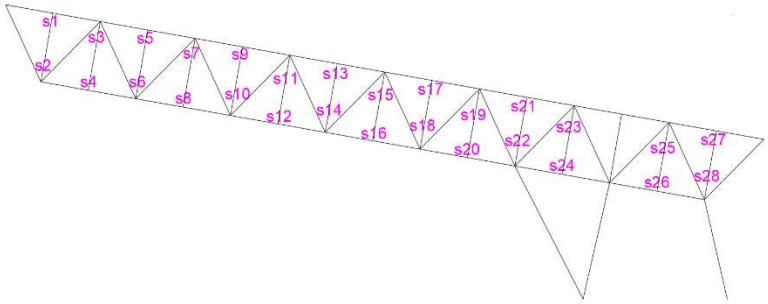


Obrázek 51 - Přehled spojů v diagonálách

Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks)	Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks
d1	1 x 3	d17	2 x 4
d2	1 x 3	d18	2 x 4
d3	1 x 2	d19	2 x 4
d4	1 x 2	d20	2 x 4
d5	1 x 2	d21	2 x 5
d6	1 x 2	d22	2 x 5
d7	1 x 2	d23	2 x 5
d8	1 x 2	d24	2 x 5
d9	1 x 3	d25	2 x 4
d10	1 x 3	d26	2 x 4
d11	1 x 4	d27	1 x 3
d12	1 x 4	d28	1 x 3
d13	2 x 3	d29	1 x 2
d14	2 x 3	d30	1 x 2
d15	2 x 4	d31	1 x 2
d16	2 x 4	d32	1 x 2

Tabulka 12 - Přehled svorníků v diagonálách

7.2.3. Spoje ve svislicích



Obrázek 52 - Přehled spojů ve svislicích

Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks)	Ozn.	Počet svorníků (počet řad x počet ks)
s1	1 x 2	s15	1 x 2
s2	1 x 2	s16	1 x 2
s3	1 x 2	s17	1 x 2
s4	1 x 2	s18	1 x 2
s5	1 x 2	s19	1 x 2
s6	1 x 2	s20	1 x 2
s7	1 x 2	s21	1 x 2
s8	1 x 2	s22	1 x 2
s9	1 x 2	s23	1 x 2
s10	1 x 2	s24	1 x 2
s11	1 x 2	s25	1 x 2
s12	1 x 2	s26	1 x 2
s13	1 x 2	s27	1 x 2
s14	1 x 2	s28	1 x 2

Tabulka 13 - Přehled svorníků ve svislicích

8. ZDROJE

Použitý software:

MS Word 2016 – studentská licence

MS Excel 2016 – studentská licence

Scia Engineer 18.0.0 – studentská licence

AutoCAD 2017 – studentská licence

Normy:

[1] *ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 44 s.

[2] *ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2013, 52 s.

[3] *ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2013, 124 s. [2] *ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 76 s.

[4] *ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 128 s.

[5] *ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 114 s.

[6] *ČSN EN 14080 Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2013, 88 s.

Literatura:

[7] KUKLÍK, Petr, Anna KUKLÍKOVÁ a Karel MIKEŠ. *Dřevěné konstrukce 1: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03980-9.

[8] VRANÝ, Tomáš, Martina ELIÁŠOVÁ, Karel PELEŠKA a Milena HOBLÍKOVÁ. *Ocelové konstrukce 20: pomůcka pro navrhování hal*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-2066-5.

[9] PORTEOUS, Jack a Abdy KERMANI. *Structural timber design to Eurocode 5*. Malden, MA: Blackwell Pub., 2007. ISBN 978-14051-4638-8.

[10] MIKEŠ, Karel. *Stabilita prutových soustav: akademická přednáška* [online]. Praha, 2019.

Katalogové listy

[11] *Cembrit* [online]. Beroun, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.cembrit.cz/ke-stažení/střešní-krytina/

[12] *Simpson Strong-Tie* [online]. Pleasanton, CA, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.strongtie.cz/products/detail/gerberova-spojka-gerw/539

[13] *Halfen* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.halfen.com/cz/2156/product-ranges/stavba/system-tahel/system-tahel-detan/informace-o-produktech/