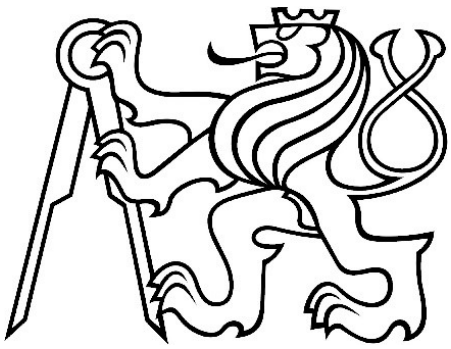
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

A) STATICKÝ VÝPOČET

2019 Tomáš Pohanka

OBSAH:

1. ÚVOD 10
   1.1. Cíle práce 10
   1.2. Informace o konstrukci 10
      1.2.1. Geometrie konstrukce 10
      1.2.2. Popis konstrukce 10
      1.2.3. Doprava a skladování materiálu 11
2. ZATÍŽENÍ 12
   2.1. Zatížení stálá 12
      2.1.1. Vlastní tíha 12
      2.1.2. Ostatní stálá zatížení 12
   2.2. Proměnná zatížení 14
      2.2.1. Zatížení sněhem 14
      2.2.2. Zatížení větrem 15
      2.2.3. Užitné zatížení 21
   2.3. Zatěžovací stavy a kombinace 22
      2.3.1. Zatěžovací stavy 22
      2.3.2. Kombinace zatížení 22
      2.3.3. Statické schéma a ZS 23
      2.3.4. Vnitřní síly na konstrukci 25
3. NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ 26
   3.1. Vaznice 26
      3.1.1. Materiálové charakteristiky 26
      3.1.2. Návrhové pevnosti materiálu 26
      3.1.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 27
      3.1.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 27
      3.1.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 30
      3.1.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 31
   3.2. Sloup 33
      3.2.1. Materiálové charakteristiky 33
      3.2.2. Návrhové pevnosti materiálu 33

3.2.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 34
3.2.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 34
3.2.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 35
3.2.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 37
3.3. Vazník 38
3.3.1. Materiálové charakteristiky 38
3.3.2. Návrhové pevnosti materiálu 38
3.3.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 39
3.3.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 39
3.3.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 40
3.3.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 44
3.4. Vzpěry – vzpínadlo 45
3.4.1. Materiálové charakteristiky 45
3.4.2. Návrhové pevnosti materiálu 45
3.4.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 46
3.4.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 46
3.4.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 47
3.4.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 48
3.5. Rozpěra mezi středovými sloupy 49
3.5.1. Materiálové charakteristiky 49
3.5.2. Návrhové pevnosti materiálu 49
3.5.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 50
3.5.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 50
3.5.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 51
3.5.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 54
3.6. Středové vzpěry 55
3.6.1. Materiálové charakteristiky 55
3.6.2. Návrhové pevnosti materiálu 55
3.6.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 56
3.6.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 56
3.6.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 57
3.6.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 59

3.7. Ocelové táhlo 60
3.7.1. Materiálové charakteristiky 60
3.7.2. Návrhové pevnosti materiálu 60
3.7.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 60
3.7.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 60
3.7.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 61
3.7.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 61
3.8. Štítové sloupky 62
3.8.1. Materiálové charakteristiky 62
3.8.2. Návrhové pevnosti 62
3.8.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data 63
3.8.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace 63
3.8.5. Posouzení mezního stavu únosnosti 64
3.8.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti 67
4. ZTUŽENÍ 68
4.1. Střešní ztužení 69
4.1.1. Schéma ztužení, zatížení a vnitřní síly 69
4.1.2. Posouzení mezního stavu únosnosti 71
4.1.3. Posouzení mezního stavu použitelnosti 74
4.2. Stěnové ztužení 75
4.2.1. Schéma ztužení, zatížení a vnitřní síly 75
4.2.2. Posouzení mezního stavu únosnosti 75
4.2.3. Posouzení mezního stavu použitelnosti 75
5. SPOJE KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ 76
5.1. Spoj středové vzpěry se sloupkem 77
5.1.1. Posouzení únosnosti spoje 77
5.2. Spoj vzpěrky vzpínadla s vazníkem 79
5.2.1. Vstupní údaje, materiálové char. 79
5.2.2. Posouzení únosnosti spoje 79
5.3. Spoj táhla a horního pásu 84
5.3.1. Posouzení únosnosti spoje 84

5.4. Spoj horního pásu – vnitřní kloub 87
5.4.1. Posouzení čepového spoje 88
5.5. Spoj vaznice a horního pásu 89
5.6. Spoj vazníku a sloupu 89
5.6.1. Posouzení únosnosti spoje 90
6. Přehled navržených prvků 91
7. Zdroje 92
7.1. Normy 92
7.2. Literatura 92
7.3. Katalogové listy 92
7.4. Použitý software 93

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Schéma geomterie konstrukce 10
Obrázek 2: Schéma dopravního prostředku 11
Obrázek 3: Skladba střešního pláště 12
Obrázek 4: Schéma obvodové stěny 13
Obrázek 5: Schéma zatížení sněhem 14
Obrázek 6: Sněhová mapa 14
Obrázek 7: Větrná mapa 15
Obrázek 8: Schéma zatížení větrem na stěny 17
Obrázek 9: Schéma zatížení střechy příčným větrem 18
Obrázek 10: Schéma zatížení střechy podélným větrem 19
Obrázek 11: Schéma nejnamáhanější vazby 20
Obrázek 12: Schéma rozmístění užitného zatížení 21
Obrázek 13: Otlačení, rozpěra - sloup 53
Obrázek 14: Schéma čelní stěny 68
Obrázek 15: Schéma střechy 68
Obrázek 16: Schéma zatížení ztužidel 70
Obrázek 17: Schéma početně řešených spojů 76
Obrázek 18: Uspořádání svorníků 76
Obrázek 19: Schéma spoje, středová vzpěra - sloupek 77
Obrázek 20: Schéma spoje vzpěrka - vazník 79
Obrázek 21: Výsledný spoj, vzpěrka – horní pás 83
Obrázek 22: Schéma spoje, táhlo – horní pás 84
Obrázek 23: Otlačení, táhlo – horní pás 84
Obrázek 24: Schéma čepového plechu 87
Obrázek 25: Schéma spoje vaznice - horní pás + trámová botka 89
Obrázek 26: Schéma spoje vazník - sloup 89
Obrázek 27: Otlačení sloup - vazník 90

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Zatížení střešním pláštěm 12
Tabulka 2: Zatížení střešním pláštěm 13
Tabulka 3: Tabulka tvarového součinitele 14
Tabulka 4: Hodnoty součinitelů pro oblasti stěn 17
Tabulka 5: Hodnoty součinitelů pro oblast střechy 19
Tabulka 6: Souhrn zatížení větrem 21
Tabulka 7: Zatížení vaznice 27
Tabulka 8: Posouzení únosnosti vzpěrek 48
Tabulka 9: Odstupové vzdálenosti svorníků 76
Tabulka 10: Přehled konstrukčních prvků 91
Tabulka 11: Přehled spojů 91

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ:

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
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
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	-	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
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
$u_{i,inst}$	-	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)
β	-	součinitel pro prvky namáhané vzpěrným tlakem
$\rho_{g,k}$	-	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 bakalářské práce je návrh a posouzení nosné konstrukce dřevěné výrobní haly. Navržená hala bude sloužit jako výrobní prostory firmy Jägermeister. Budova je umístěna v krajském městě Západních Čech – Plzni.

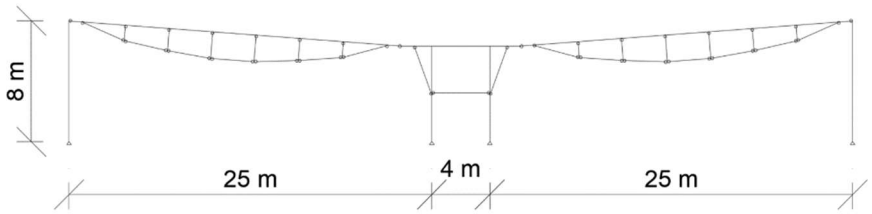
1.1. Cíle práce

Hlavním cílem práce je návrh prvků nosné konstrukce halového objektu. Dílčí cíle práce jsou pak stanovení zatížení na konstrukci, zpracování statického modelu ve zvoleném softwaru. Bude proveden výpočet vnitřních sil na vytvořeném modelu a poté následný návrh prvků, navržení vybraných spojů a zpracování vybraných výkresů konstrukce.

1.2. Informace o konstrukci

1.2.1. Geometrie konstrukce

délka:	D = 72 m
šířka:	Š = 54 m
výška:	V = 8 m
vzdálenost vazníků:	L = 4,8 m
vzdálenost vaznic:	B = 1 m



Obrázek 1: Schéma geomterie konstrukce

1.2.2. Popis konstrukce

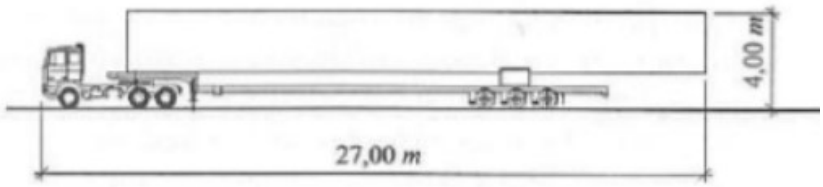
Navržená dřevěná konstrukce má půdorysné rozměry 72 x 54 m. Objekt se nachází v lokalitě Plzeň – Košutka. Navržená konstrukce je dvoulodní z lepených vazníků, které staticky fungují jako vzpínadlo. Mezi dvěma trakty haly se nachází ztužující dvojice sloupů s rozpěrou a vzpěrami středního nosníku. Konstrukce je ve spojích staticky řešena kloubovým napojením. Vzdálenost mezi jednotlivými příčnými vazbami konstrukce je 4,8 m. V podélném směru ztužení zajišťují vaznice, které jsou umístěny mezi lepenými vazníky v kombinaci s táhly.

1.2.3. Doprava a skladování materiálu

Doprava prvků na staveniště bude prováděna po běžných pozemních komunikacích. Pro běžné prvky z rostlého dřeva (např. vaznice, rozpěry) není jejich rozměr nijak omezující.

Speciální vozy pro dopravu budou muset být použity pro lepené vazníky o délkovém rozměru 23 m. Pro tuto manipulaci bude použit tahač a valníkový návěs s přemostěním. K nakládání prvků bude sloužit portálový jeřáb v místě výroby a pro menší prvky vysokozdvižný vozík. K vykládání slouží staveništní jeřáb.

Během skladování materiálu na staveništi musí být zajištěna jeho ochrana před porušením a klimatickými podmínkami.



Obrázek 2: Schéma dopravního prostředku

2. ZATÍŽENÍ

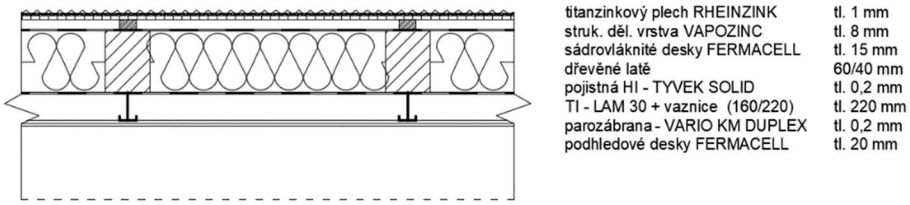
2.1. Zatížení stálá

2.1.1. Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou je automaticky počítáno a zahrnuto do průběhu vnitřních sil programem SCIA Engineer 18 – studentská verze.

2.1.2. Ostatní stálá zatížení

2.1.2.1. Střešní plášť



Obrázek 3: Skladba střešního pláště

Výpočet zatížení:

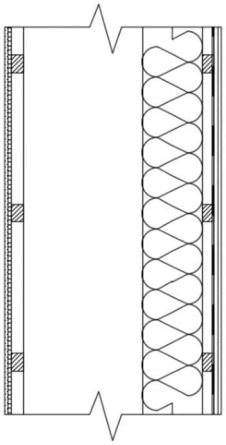
Název	Tloušťka [m]	Objemová tíha [kN/m^3]	Plošné zatížení [kN/m^2]	Liniové zatížení [kN/m]
titanzinkový plech	0,001	72	0,072	-
Strukturovaná dělící vrstva	0,008	1,17	0,009	-
desky FERMACELL	0,015	11,5	0,173	-
dřevěné latě	0,06/0,04	4,2	-	0,010
pojistná HI	-	-	0,001	
TI LAM 30	0,22	0,8	0,176	-
vaznice	0,22*0,16	4,2	-	0,148
parozábrana	-	-	0,001	-
podhled	2*0,010	11,5	0,230	-
			∑ = 0,662	∑ = 0,158

Tabulka 1: Zatížení střešním pláštěm

Přepočet na bodové zatížení:
od plošného zatížení: Zat * L * B = 0,662 * 4,8 * 1 = 3,178 kN
od liniového zatížení: Zat * B = 0,158 * 4,8 = 0,758 kN
celkové bodové zatížení od pláště: g_k = 3,178+0,758 = 3,945 kN
+ 20 % instalace, závěsná světla, apod…

$$\mathbf{F_{k,střecha}} = 3{,}945 * 1{,}2 = \mathbf{4{,}734\ kN}$$

2.1.2.2. Plášť obvodové stěny



Obrázek 4: Schéma obvodové stěny

Výpočet zatížení:

Název	Tloušťka [m]	Objemová tíha [kN/m^3]	Plošné zatížení [kN/m^2]	Liniové zatížení [kN/m]
ext. omítka	0,015	0,005	0,001	-
desky FERMACELL	0,0125	11,5	0,150	-
dřevěné paždíky	0,04/0,06	4,2	-	0,01
TI (mezi sloupy)	0,2	0,8	0,16	-
dřevěné paždíky	0,04/0,06	4,2	-	0,01
parozábrana	-	-	0,001	-
desky FERMACELL	0,0125	11,5	0,150	
interiérová omítka	0,002	0,005	0,001	-
			∑ = 0,463	∑ = 0,02

Tabulka 2: Zatížení střešním pláštěm

$d_{paž}$ – osová vzdálenost paždíků
$d_{paž}$ = 0,5 m

Přepočet na liniové zatížení:
od plošného zatížení: Zat * B = 0,463 * 4,8 = 2,222 kN/m
od liniového zatížení:
Zat * B / $d_{paž}$ = 0,02 * 4,8 / 0,5 = 0,192 kN/m
celkové bodové zatížení od pláště (po výšce):

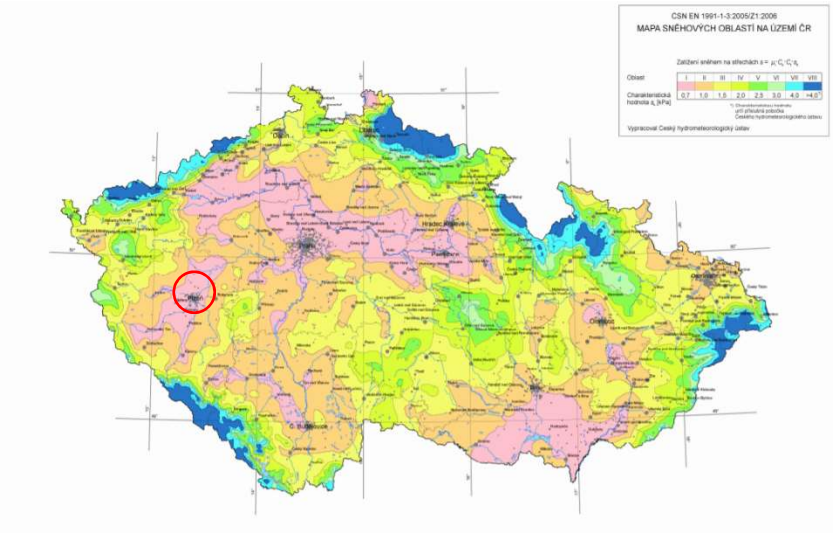
$$g_{k,stěna} = 2{,}222 + 0{,}192 = \mathbf{2{,}414\ kN/m}$$

2.2. Proměnná zatížení

2.2.1. Zatížení sněhem

dle
ČSN EN 1991-1-3

Lokalita: Plzeň -> sněhová oblast I. (dle sněhové mapy)

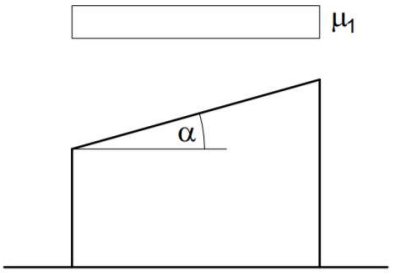


Obrázek 6: Sněhová mapa

Střecha má ve všech částech sklon < 5°, proto ji můžeme uvažovat jako plochou střechu (viz schéma pro součinitel μ_1). Tvarové součinitele μ_i jsou pak určeny dle následující tabulky pro úhel sklonu střechy.

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

Tabulka 3: Tabulka tvarového součinitele



Obrázek 5: Schéma zatížení sněhem

Sníh rovnoměrný:

s_k = 0,7 kN/m2

c_e = 1 (normální typ krajiny)

c_t = 1

$$s_1 = s_k . c_e . c_t . \mu_1$$

$$s_1 = 0{,}7.1.1.0{,}8$$

$$s_1 = 0{,}56\ kN/m^2$$

Navátý sníh se pro ploché střechy nevyskytuje. Zatížení sněhem se bude přenášet přes střešní plášť do vaznic a poté na vazník, proto pro vstupní hodnoty do SCIE převedeme sníh na bodové zatížení.

$$F_s = s_1 \,.\, B \,.\, L$$

$$F_s = 0{,}56 \,.\, 4{,}8 \,.\, 1$$

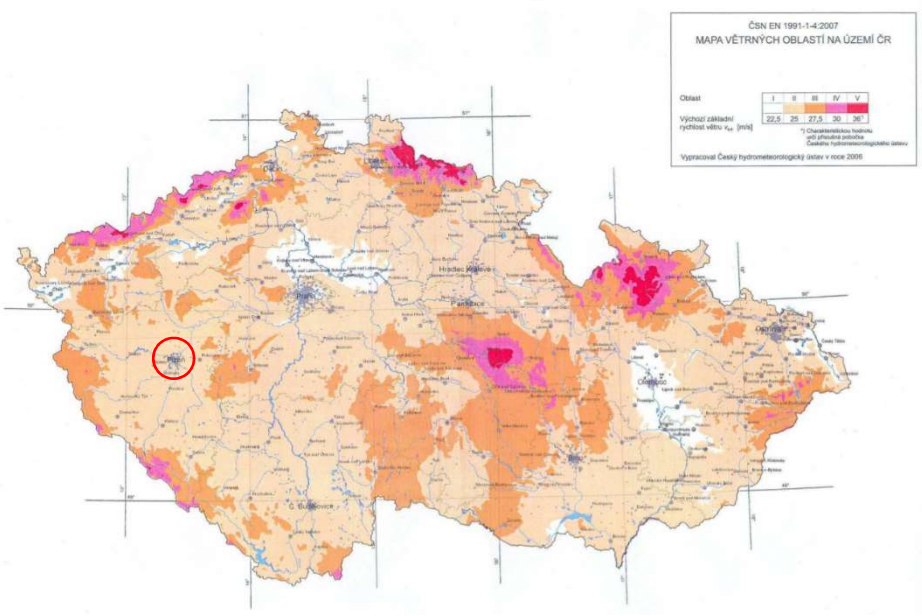
$$\boldsymbol{F_s = 2{,}69\ kN}$$

dle
ČSN EN 1991-1-4

2.2.2. Zatížení větrem

Lokalita: Plzeň -> větrná oblast II.

Kategorie terénu III.



Obrázek 7: Větrná mapa

Základní rychlost větru v_b:

$$v_b = c_{dir} . c_{season} . v_{b,0}$$

$$v_b = 1 \,.\, 1 \,.\, 25$$

$$v_b = 25\ m/s$$

$v_{b,0}$ = 25 m/s

c_{dir} = 1

c_{season} = 1

ρ = 1,25 kg/m^3

Charakteristická střední rychlost větru $v_{m(z)}$:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} . c_{0(z)} . v_b$$

$$v_{m(z)} = 0{,}706.1.25$$

$$v_{m(z)} = 17{,}65\ m/s$$

$c_{0(z)}$ = 1

$z_{0,II}$ = 0,05 m

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

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

$$k_r = 0{,}215$$

z = 8 m

z_{min} = 5 m

z_{max} = 200 m

pro z v intervalu <z_{min};z_{max}>: $c_{r(z)} = k_r . \ln(\frac{z}{z_0})$

$$c_{r(z)} = 0{,}215 . \ln(\frac{8}{0{,}3})$$

$$c_{r(z)} = 0{,}706$$

Maximální dynamický tlak $q_{p(z)}$:

$$q_{p(z)} = [1 + 7 . I_{v(z)}] . \frac{1}{2} . \rho . v_{m(z)}^2$$

$$q_{p(z)} = [1 + 7 . 0{,}305] . \frac{1}{2} . 1{,}25 . 17{,}65^2 . 10^{-3}$$

$$\boldsymbol{q_{p(z)} = 0{,}610\ kN/m^2}$$

k_1 = 1

vliv turbulence: $I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{0(z)} . \ln(\frac{z}{z_0})} = \frac{1}{1 . \ln(\frac{8}{0{,}3})} = 0{,}305$

Výsledný tlak větru:

$$\boxed{w_e = q_{p(z)} . c_{pe,10,i}}$$

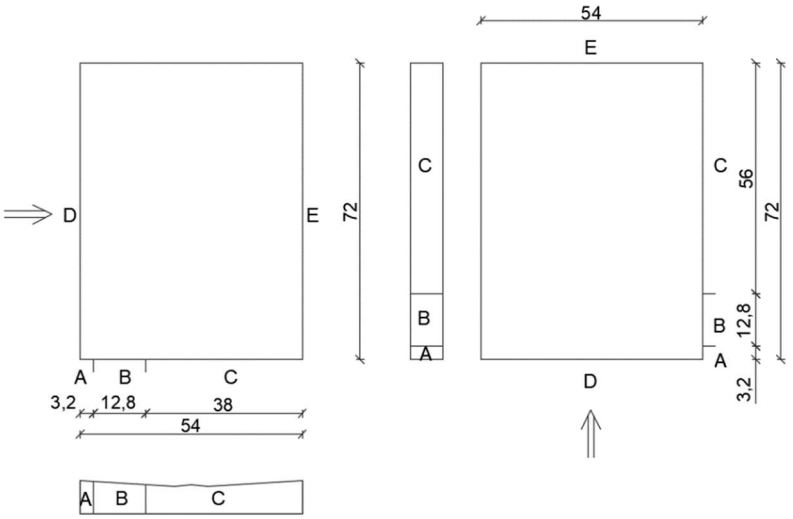
2.2.2.1. Zatížení větrem na stěny

Dle následujícího schématu mohou nastat dva případy zatížení. A to vítr na štítovou stěnu a vítr na podélnou stěnu.

A) Zatížení na svislé stěny

poměr $h/d_{štít} = 8/54 = 0,148$ $< 0,25$
poměr $h/d_{podélně} = 8/72 = 0,111$ $< 0,25$
e = min. (b;2h) = min. (72;16) = 16 m

Schéma v metrech pro konkrétní případ daného objektu – vítr působící na delší i kratší stranu objektu. Pro dané rozměry objektu lze předpokládat konstantní průběh větru po výšce budovy.



Obrázek 8: Schéma zatížení větrem na stěny

Hodnoty pro oblasti svislých stěn určíme dle následující tabulky. Pro plochu > 10 m^2 uvažujeme hodnoty $c_{pe,10}$.

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	
mezilehlé hodnoty lze interpolovat										

Tabulka 4: Hodnoty součinitelů pro oblasti stěn

Jelikož vstupní hodnoty jsou pro oba případy podobné a spadají do jedné kategorie, tak hodnoty budou pro oba směry stejné, jen s odlišnou orientací zatěžovacích ploch.

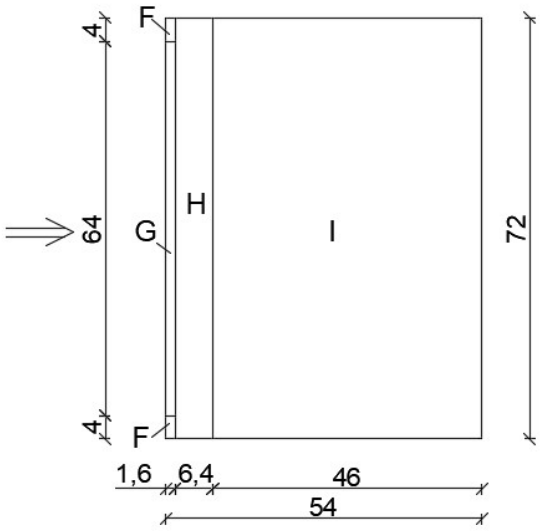
Hodnoty:

$C_{pe,10,A}$ = - 1,2	$w_{e,A}$ = 0,61 * (-1,2) = -0,732 kN/m^2
$C_{pe,10,B}$ = - 0,8	$w_{e,B}$ = 0,61 * (-0,8) = - 0,488 kN/m^2
$C_{pe,10,C}$ = - 0,5	$w_{e,C}$ = 0,61 * (-0,5) = - 0,305 kN/m^2
$C_{pe,10,D}$ = 0,7	$w_{e,D}$ = 0,61 * (0,7) = 0,427 kN/m^2
$C_{pe,10,E}$ = - 0,3	$w_{e,E}$ = 0,61 * (-0,3) = - 0,183 kN/m^2

2.2.2.2. Zatížení větrem na plochu střechy

Pro plochou střechu mohou nastat dva případy, příčný a podélný vítr.

A) Zatížení příčným větrem
poměr h/d = 8/54 = 0,148 < 0,25
e = min. (b;2h) = min. (72;16) = 16 m



Obrázek 9: Schéma zatížení střechy příčným větrem

Opět určíme hodnoty dle následující tabulky ve sloupci $c_{pe,10}$.

Typ ploché střechy		Oblast							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Ostré hrany		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2 / -0,2	
se zábradlím (atikou)	h_p/h= 0,025	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2 / -0,2	
	h_p/h= 0,05	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2 / -0,2	
	h_p/h= 0,10	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2 / -0,2	
zakřivené hrany	r/h= 0,05	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2 / -0,2	
	r/h= 0,10	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2 / -0,2	
	r/h= 0,20	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2 / -0,2	
mansardové hrany	α = 30°	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2 / -0,2	
	α = 45°	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2 / -0,2	
	α = 60°	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2 / -0,2	

Tabulka 5: Hodnoty součinitelů pro oblast střechy

Hodnoty:

$C_{pe,10,F}$ = - 1,8 $w_{e,F}$ = 0,61 * (-1,8) = - 1,098 kN/m^2

$C_{pe,10,G}$ = - 1,2 $w_{e,G}$ = 0,61 * (-1,2) = - 0,732 kN/m^2

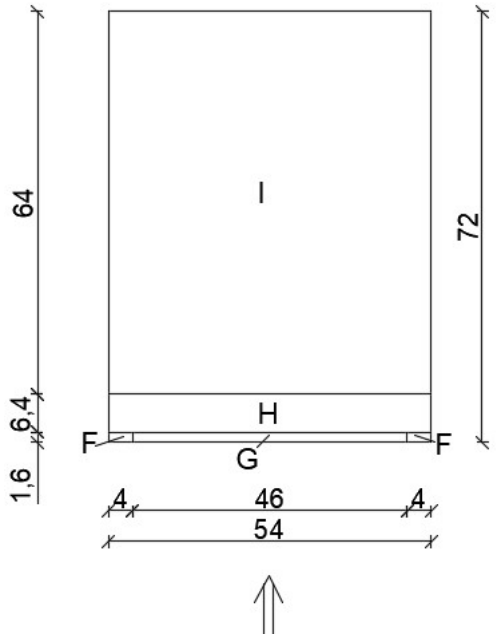
$C_{pe,10,H}$ = - 0,7 $w_{e,H}$ = 0,61 * (-0,7) = - 0,427 kN/m^2

$C_{pe,10,I}$ = ± 0,2 $w_{e,I}$ = 0,61 * (0,2) = ± 0,122 kN/m^2

B) Zatížení podélným větrem

poměr h/d = 8/72 = 0,111 < 0,25

e = min. (b;2h) = min. (54;16) = 16 m



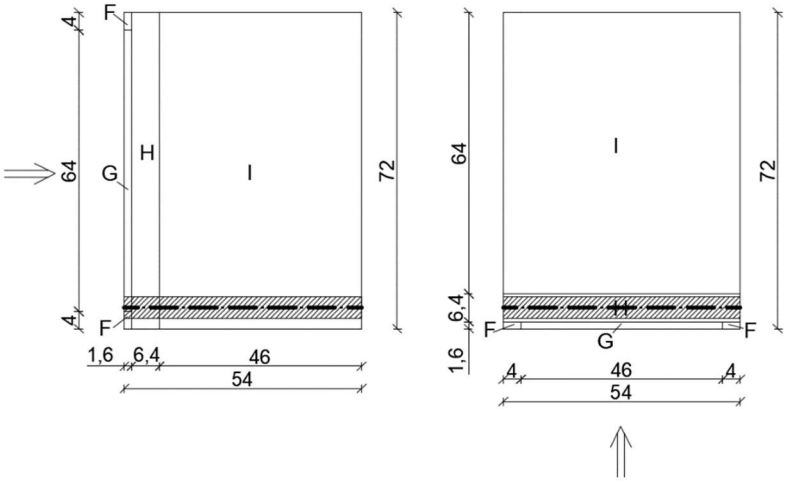
Obrázek 10: Schéma zatížení střechy podélným větrem

Hodnoty budou stejné jako u příčného větru, jen s opačným uspořádáním zón.

Hodnoty:

$C_{pe,10,F}$ = - 1,8	$w_{e,F}$ = 0,61 * (-1,8) = - 1,098 kN/m^2
$C_{pe,10,G}$ = - 1,2	$w_{e,G}$ = 0,61 * (-1,2) = - 0,732 kN/m^2
$C_{pe,10,H}$ = - 0,7	$w_{e,H}$ = 0,61 * (-0,7) = - 0,427 kN/m^2
$C_{pe,10,I}$ = ± 0,2	$w_{e,I}$ = 0,61 * (0,2) = ± 0,122 kN/m^2

Kritický vazník, pro který působí nejnepříznivější kombinace větrných zón je vazník č. 2 znázorněný ve schématu.



Obrázek 11: Schéma nejnamáhanější vazby

Ze schématu vidíme, že zatěžovací plocha vazníku zasahuje při příčném větru do zón: F, G, H, I. Dle normy u větrné zóny I nevíme, jestli bude na konstrukci působit tlakem nebo sáním, proto je pro příčný vítr potřeba vytvořit dva zatěžovací stavy.
U podélného působení větru je celá zatěžovací plocha vazníku v zóně H, postačí tedy pouze jeden zatěžovací stav.

Pro přesné hodnoty do výpočtového softwaru jsou ještě hodnoty násobeny příslušnými zatěžovacími plochami dle zón, ve kterých se vyskytují (viz obrázky 8, 9, 10).

Shrnutí zatížení větrem:

[kN/m^2]	stěny		střecha		
	příčný	podélný	příčný		podélný
$w_{e,A}$	-0,732	-0,732	/	/	/
$w_{e,B}$	-0,488	-0,488	/	/	/
$w_{e,C}$	-0,305	-0,305	/	/	/
$w_{e,D}$	0,427	0,427	/	/	/
$w_{e,E}$	-0,183	-0,183	/	/	/
$w_{e,F}$	/	/	-1,098	-1,098	-1,098
$w_{e,G}$	/	/	-0,732	-0,732	-0,732
$w_{e,H}$	/	/	-0,427	-0,427	-0,427
$w_{e,I}$	/	/	-0,122	0,122	-0,122

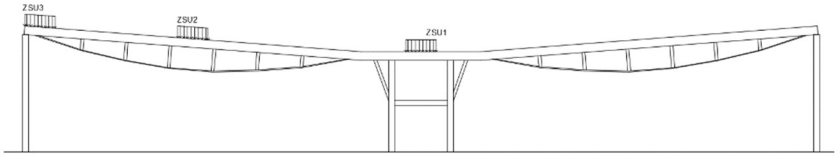
Tabulka 6: Souhrn zatížení větrem

2.2.3. Užitné zatížení

Užitné zatížení dle EN 1991-1-1
Kategorie střechy H – nepřístupné střechy s výjimkou oprav a běžné údržby.

$q_k = 0{,}75$ kN/m^2

Zatížení bylo dle normy rozmístěno na plochu 10 m^2 a to do 3 zatěžovacích stavů, aby bylo v kombinacích dosaženo nejnepříznivějšího účinku zatížení. Zatěžovací stavy užitného zatížení (ZSU) a jejich rozmístění jsou vidět na následujícím obrázku. Jednotlivé zatěžovací stavy se spolu však nekombinují, protože takové působení na střeše nevzniká. Zároveň se zatěžovací stavy užitného zatížení nekombinují s větrem a sněhem.



Obrázek 12: Schéma rozmístění užitného zatížení

2.3. Zatěžovací stavy a kombinace

2.3.1. Zatěžovací stavy

Celkem na konstrukci působí 9 zatěžovacích stavů označených následovně:

ZS1 – vlastní tíha
ZS2 – ostatní stálé zatížení
ZS3a – užitné zatížení (viz. kapitola 2.2.3.)
ZS3b – užitné zatížení 2 (viz. kapitola 2.2.3.)
ZS3c – užitné zatížení 3 (viz. kapitola 2.2.3.)
ZS4 – sníh
ZS5a – vítr, příčný (sání)
ZS5b – vítr, příčný 2 (tlak)
ZS6 – vítr, podélný

2.3.2. Kombinace zatížení

Kombinace pro MSÚ:

Dle ČSN EN 1990 (rce 6.10) platí následující vztah:

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

$\gamma_{G,j} = 1{,}35$

$\gamma_{\mathrm{Q},1} = 1{,}5$

$\gamma_{Q,i} = 1{,}5$

$\psi_{0,i} = 0{,}7$ - sníh

$\psi_{0,i} = 0{,}6$ - vítr

Pro výpočet bylo v softwaru vytvořeno 14 kombinací, ty již obsahují dané součinitele.

Byly vytvořeny kombinace lineární i nelineární – z důvodu ocelového táhla v konstrukci. Oba výsledky byly porovnány a návrh bude proveden z horších výsledků vnitřních sil.

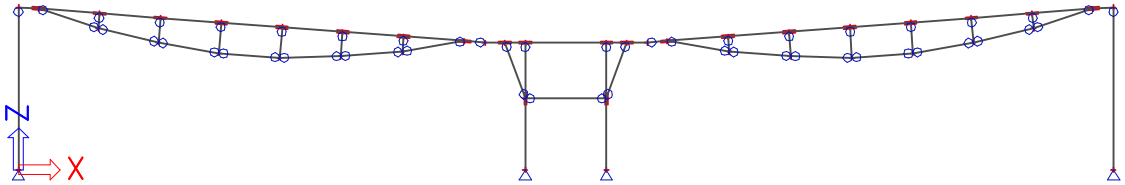
Kombinace pro MSP:

Dle ČSN EN 1990 (rce 6.16) platí pro charakteristickou kombinaci následující vztah:

$$F_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + \mathrm{P} + \mathrm{Q}_{\mathrm{k},1} + \sum_{i\geq 1} \psi_{0,i} . Q_{k,i}$$

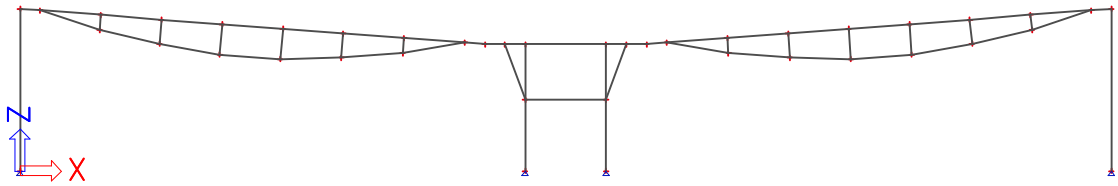
2.3.3. Statické schéma a ZS

Statické schéma

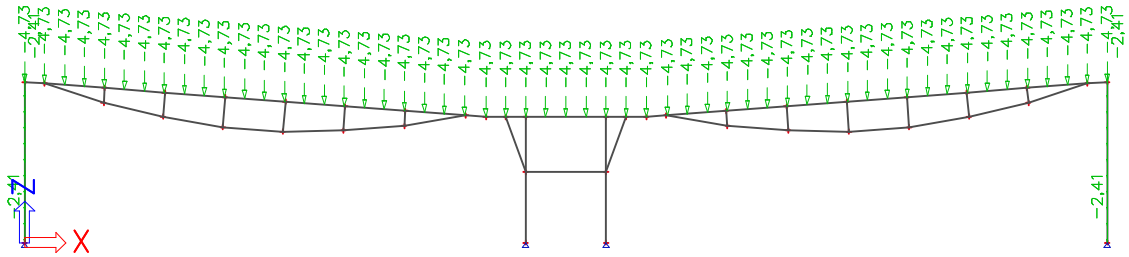


ZS1 – vlastní tíha

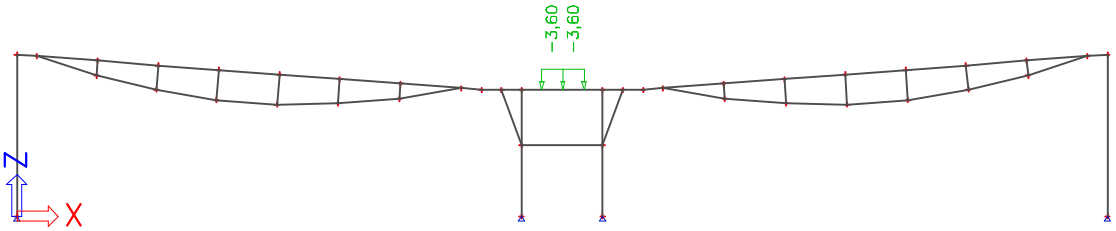
Vypočtena pomocí programu automaticky, není třeba vytvářet zatížení.



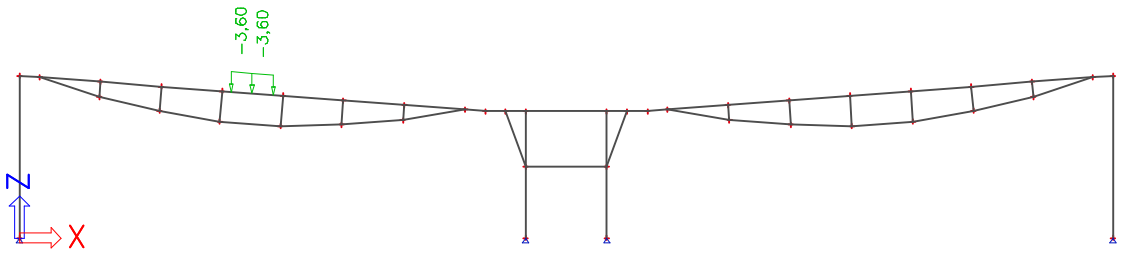
ZS2 – ostatní stálé zatížení



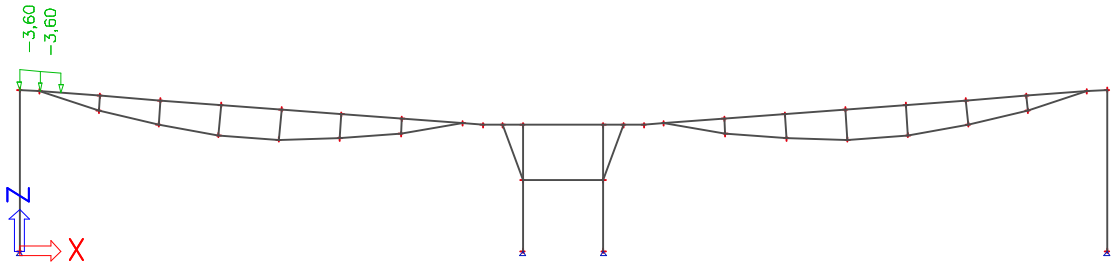
ZS3a – užitné zatížení



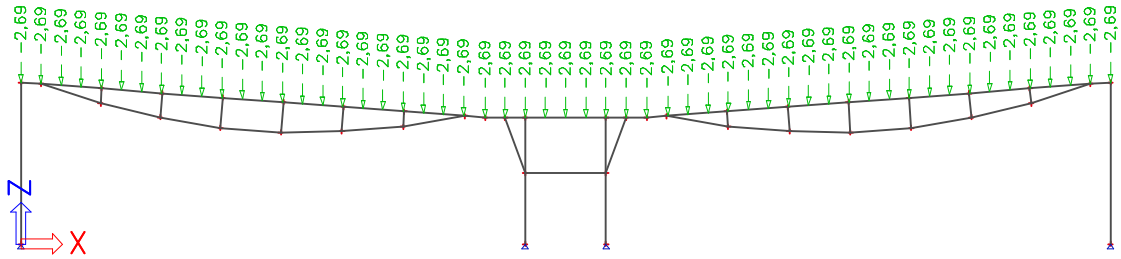
ZS3b – užitné zatížení 2



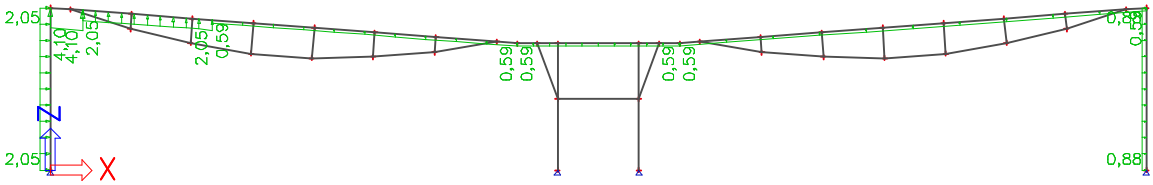
ZS3c – užitné zatížení 3



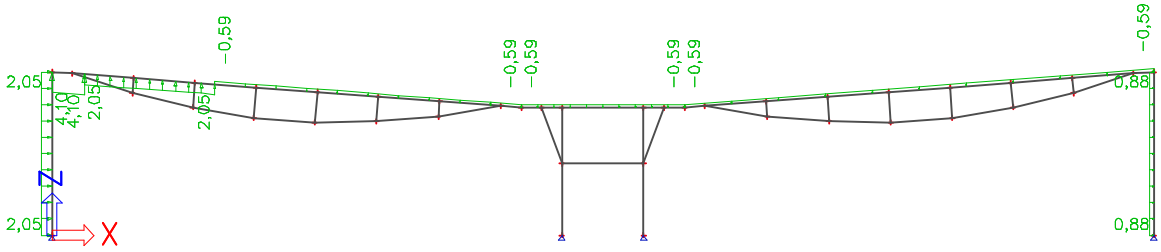
ZS4 – sníh



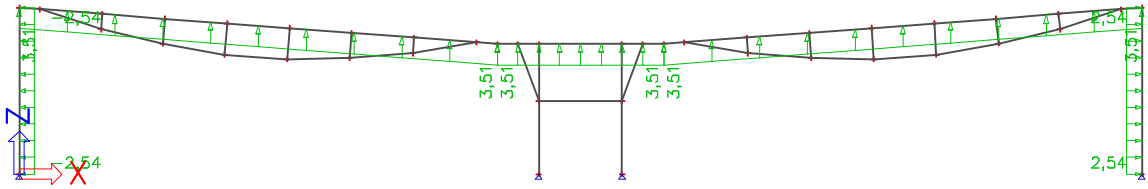
ZS5a – vítr, příčný



ZS5b – vítr, příčný 2



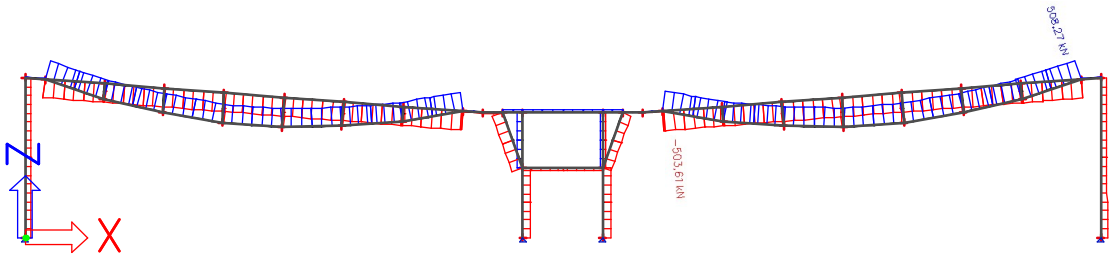
ZS6 – vítr, podélný



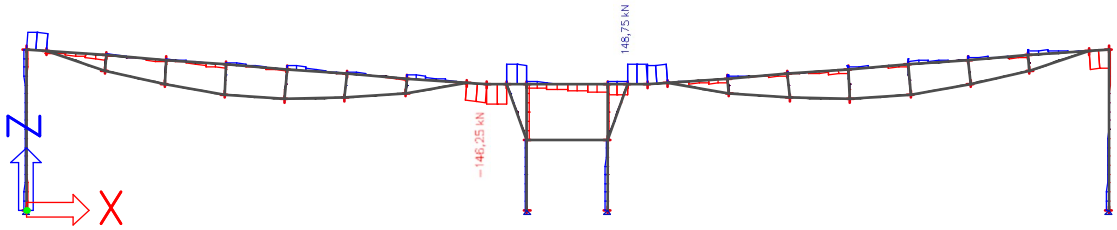
2.3.4. Vnitřní síly na konstrukci

Zde zobrazeny pouze průběhy vnitřních sil. Hodnoty budou umístěny u dílčích prvků.

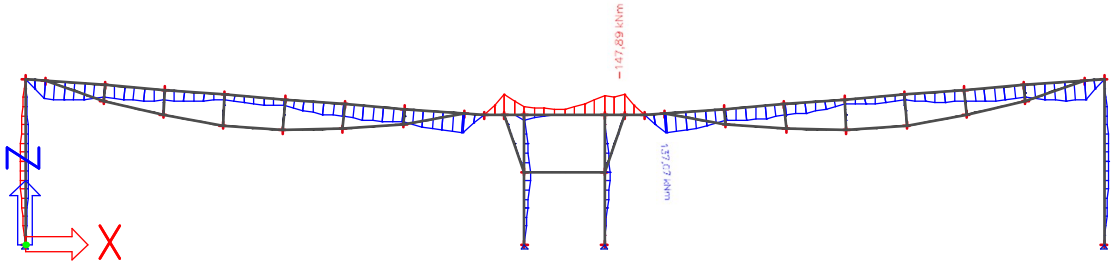
Normálové síly (kN)



Posouvající síly (kN)

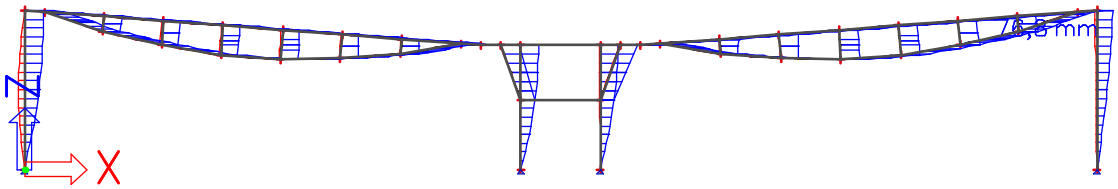


Ohybové momenty (kNm)

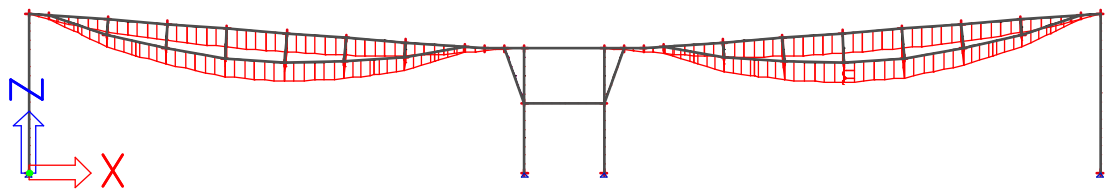


Průhyby (mm)

u_x:



u_z



3. NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ

3.1. Vaznice

3.1.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.1.2. Návrhové pevnosti materiálu

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9
γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

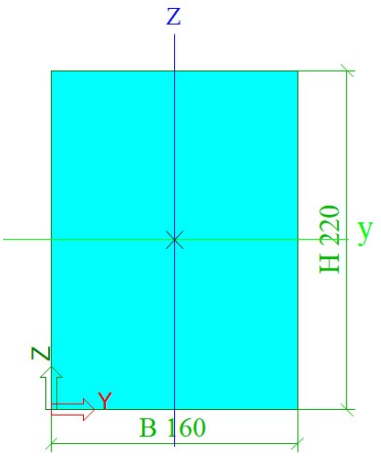
$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

Smyková pevnost:

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

3.1.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 160/220 mm



b = 160 mm
h = 220 mm
A = 35 200 mm^2
I_y = 141,97 * 10^6 mm^4
I_z = 75,09 * 10^6 mm^4
W_y = 1,29 * 10^6 mm^3
W_z = 0,94 * 10^6 mm^3
i_y = 63,51 mm
i_z = 46,19 mm
osová vzdálenost = 1 m
délka = 4,8 m

3.1.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Pro vaznici vzniká nejnepříznivější kombinace při působení zatěžovacích stavů: ZS1, ZS2, ZS3b, ZS4 a ZS5b. Víme však, že užitné zatížení nepůsobí dohromady s větrem ani sněhem a zároveň je převažujícím zatížením nad kombinací obou zbývajících. Proto pro návrh postačí kombinace: ZS1, ZS2 a ZS3b.

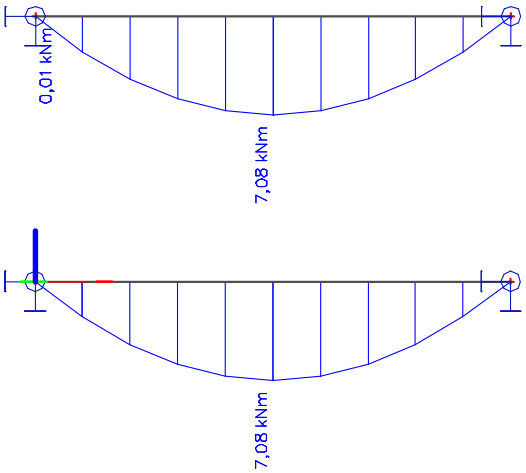
Hodnoty vychází z předchozích výpočtů zatížení (viz kapitola 2.)

zatížení	char. (kN/m)	souč.	návr. (kN/m)
vl. tíha + stálé	0,99	1,35	1,33
užitné zatížení	0,75	1,50	1,13
			2,46

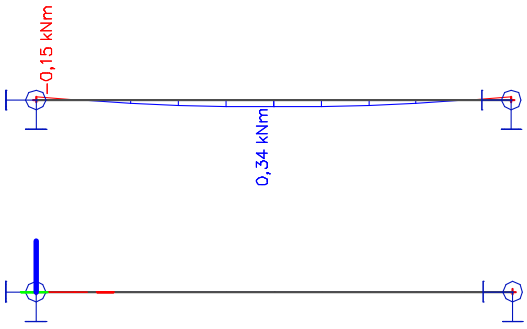
Tabulka 7: Zatížení vaznice

Na konstrukci se vyskytují vaznice, které jsou orientovány kolmo k působícímu zatížení a vaznice, které jsou pod úhlem 4° k danému zatížení. Proto byl vytvořen model pro obě varianty vaznic.

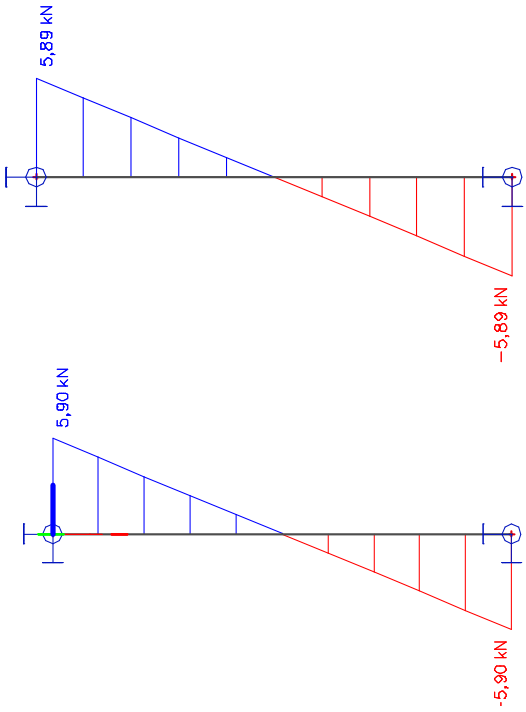
Ohybový moment – M_y (kNm)



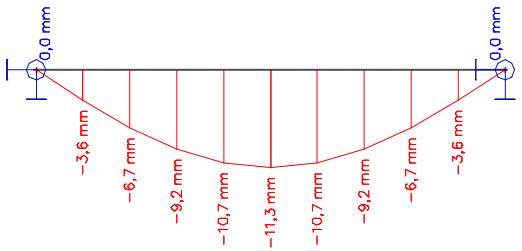
Ohybový moment – M_z (kNm)

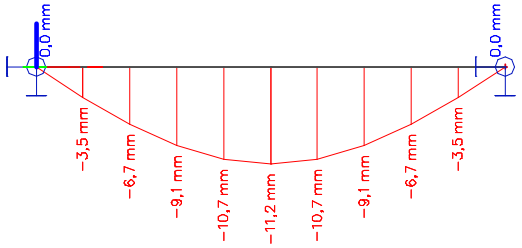


Posouvající síla – V_z (kN)



Průhyb – w_z (mm)





Z průběhu vnitřních sil vidíme, že natočení o 4° není pro průběhy vnitřních sil téměř znatelné.

I tak ale posoudíme vaznici na šikmý ohyb. Vaznici, která není natočená není třeba posuzovat, vzhledem k tomu, že vnitřní síly jsou ve směru Z shodné.

3.1.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

Vstupní hodnoty:
$M_{y,Ed}$ = 7,08 kNm
$M_{z,Ed}$ = 0,34 kNm

$V_{z,Ed}$ = 5,9 kN

Šikmý ohyb

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7{,}08 \,.\, 10^6}{1{,}29 \,.\, 10^6} = 5{,}49\ MPa$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{0{,}34 \,.\, 10^6}{0{,}94 \,.\, 10^6} = 0{,}36\ MPa$$

Posouzení:

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

k_m = 0,7 (pro obdélníkový průřez)

$$\frac{0{,}7.5{,}49}{16{,}62} + \frac{0{,}36}{16{,}62} \leq 1$$

$0{,}25 \leq 1\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

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

$$\frac{5{,}49}{16{,}62} + \frac{0{,}7.0{,}36}{16{,}62} \leq 1$$

$0{,}35 \leq 1\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

Smyk

k_{cr} = 2/3

$A_{ef} = k_{cr} . b. h$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = 0{,}308\ \text{MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot 5{,}9 \,.\, 10^3}{2 \cdot 0{,}67 \cdot 0{,}16 \cdot 0{,}22}$$

$$\tau_{v,Ed} = 0{,}38\ MPa$$

Posouzení:

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

$0{,}38 \leq 2{,}77\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

Klopení

k = 0,9 pro prostý nosník se spojitým zatížením

$$l_{ef} = k \,.\, l = 0{,}9 \,.\, 4{,}8 = 4{,}32\ m$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78 \,.\, b^2 . E_{0,05}}{h . l_{ef}}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78 \,.\, 160^2 . 7{,}4 . 10^3}{220.4320}$$

$$\sigma_{m,crit} = 155{,}47\ MPa$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{155{,}47}} = 0{,}39 \ \leq 0{,}75$$ -> $k_{crit} = 1$

Posouzení:

$$\sigma_{m,y,d} \ \leq \ k_{crit} . f_{m,d}$$

$$5{,}49 \ \leq \ 1 \,.\, 16{,}62$$

$$5{,}49 \ \leq \ 16{,}62\ [MPa]$$ -> **VYHOVUJE**

VAZNICE VYHOVUJE NA 1. MS

3.1.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

K ose y je velikost průhybu 0,1 mm zanedbatelná, proto není třeba k této ose průhyby posuzovat.

K ose Z:

od stálého zatížení:	$u_{z,g,inst}$ = 4,8 mm	(ZS1 + ZS2)
od užitného zatížení:	$u_{z,q,inst}$ = 3,4 mm	(ZS3b)
od zatížení sněhem:	$u_{z,s,inst}$ = 2,6 mm	(ZS4)
od zatížení větrem:	$u_{z,w,inst}$ = 0,5 mm	(ZS5b)

$\psi_{0,i} = 0$ souč. průhybu nahodilého zatížení

$$u_{inst} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \mathrm{Q_{k,1}} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} . Q_{k,i}$$

$$u_{inst} = 4{,}8 + 3{,}4 + 2{,}6 + 0{,}5 + 3{,}4 \,.\, 0 + 2{,}6 \,.\, 0 + 0{,}5 \,.\, 0$$

$$u_{inst} = 11{,}3\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{4800}{300} = 16\ mm$$

Posouzení:

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

$$11{,}3 \leq 16\ [mm] \qquad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

VAZNICE VYHOVUJE NA 2. MS

3.2. Sloup

3.2.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.2.2. Návrhové pevnosti materiálu

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9
γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

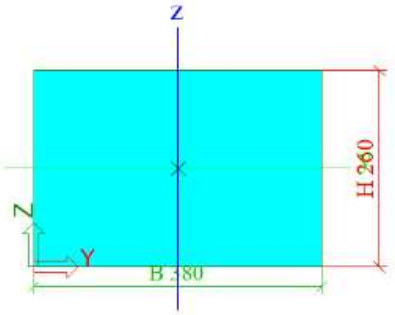
Smyková pevnost:

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

3.2.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 300/500 mm

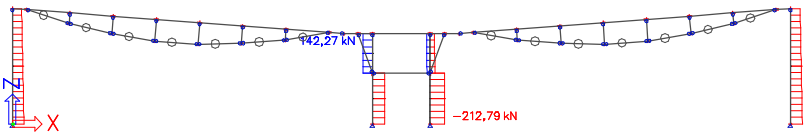
b = 260 mm
h = 380 mm
A = 98 800 mm^2
I_y = 557 * 10^6 mm^4
I_z = 1 189 * 10^6 mm^4
W_y = 4,3 * 10^6 mm^3
W_z = 6,3 * 10^6 mm^3
i_y = 75,1 mm
i_z = 109,7 mm
osová vzdálenost = 4,8 m
délka = 8 m



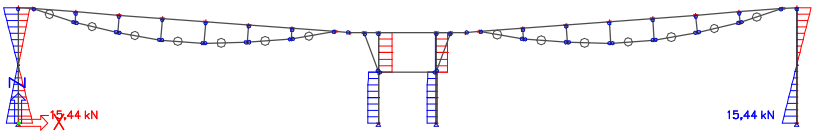
3.2.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení sloupů je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace)
Ve schématech jsou znázorněny pouze globální extrémy.

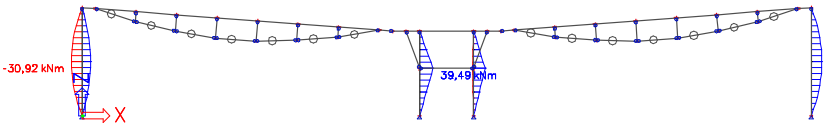
Normálové síly – N (kN)



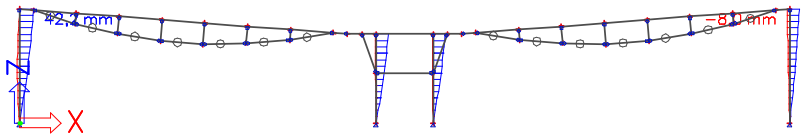
Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)



Průhyby – w_x (mm)



3.2.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

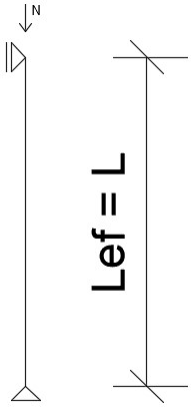
Vstupní hodnoty:

N_{Ed} = 212,79 kN

M_{Ed} = 39,49 kNm

V_{Ed} = 15,44 kN

Kombinace ohybu a tlaku



Menší odolnost proti vybočení ve směru osy z.

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{i_y} = \frac{8\,000}{75{,}1} = 106{,}5$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 . \frac{7\,400}{106{,}5^2} = 6{,}4\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{6{,}4}} = 1{,}8$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_y = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2)$$

β_c = 0,2 (rostlé dřevo)

$$k_y = 0{,}5 . (1 + 0{,}2 . (1{,}8 - 0{,}3) + 1{,}8^2)$$

$$k_y = 2{,}27$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{2{,}27 + \sqrt{2{,}27^2 - 1{,}8^2}}$$

$$k_{c,y} = 0{,}3$$

Návrhová napětí:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{212{,}79.10^3}{98\,800} = 2{,}15\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{39{,}49.10^6}{4{,}3.10^6} = 9{,}18\ MPa$$

Posouzení:

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

$$\frac{2{,}15}{0{,}3\ .\ 14{,}54} + 0{,}7.\frac{9{,}18}{16{,}62} \leq 1$$

$0{,}88 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

Smyk

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A_{ef}}$$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot 15{,}44\ .\ 10^3}{2 \cdot 0{,}67 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}26}$$

$$\tau_{v,Ed} = 0{,}35\ MPa$$

Posouzení:

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

$0{,}35\ \leq 2{,}77\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

SLOUP VYHOVUJE NA 1. MS

3.2.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Hlavním kritériem je splnění celkového vodorovného posunu konstrukce.

h = 8 m (výška budovy)

$$u_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{8000}{150} = 53{,}3\ mm$$

Maximální vodorovný posun zjištěn z průběhů deformací ve výpočtovém softwaru (viz kapitola 3.2.4.)

$$u = 42{,}2\ mm$$

Posouzení:

$$u_{lim} \geq u$$

$$53{,}3 \geq 42{,}2\ [mm] \qquad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

SLOUP VYHOVUJE NA 2. MS

3.3. Vazník

3.3.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **LLD – GL32h**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 32 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 25,6 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,5 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 32 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 3,5 N/mm^2
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

3.3.2. Návrhové pevnosti materiálu

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{25{,}6}{1{,}25} = 18{,}43\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}5}{1{,}25} = 0{,}36\ MPa$$

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9

γ_m = 1,25, pro lepené lamelové dřevo

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{32}{1{,}25} = 23{,}04MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}25} = 1{,}8\ MPa$$

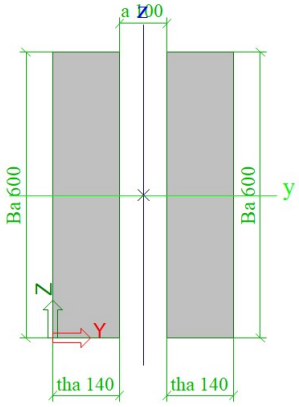
Smyková pevnost:

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

3.3.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 2x 140/600 mm

b = 280 mm
h = 600 mm
A = 168 000 mm^2
I_y = 5 040 * 10^6 mm^4
I_z = 1 097,6 * 10^6 mm^4
W_y = 16,8 * 10^6 mm^3
W_z = 7,84 * 10^6 mm^3
i_y = 173,21 mm
i_z = 80,83 mm
osová vzdálenost = 4,8 m
délka = 23 m

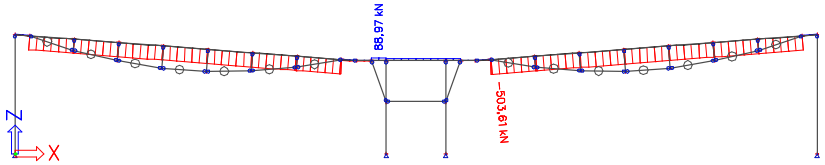


Vazník je tvořen dvěma dílčími nosníky, které jsou každých 1000 mm propojeny dřevěným pažděkem a konstrukčním svorníkem.

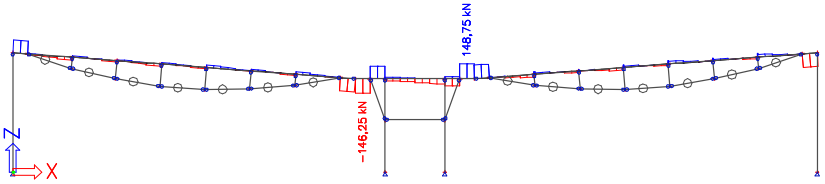
3.3.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení vazníků je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace). Ve schématech jsou znázorněny pouze globální extrémy.

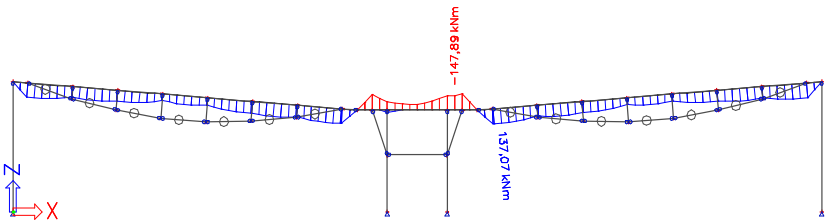
Normálové síly – N (kN)



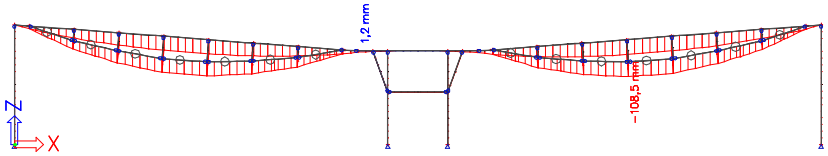
Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)



Průhyby – w_z (mm)



3.3.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

Vstupní hodnoty:
$N_{Ed,c}$ = 503,61 kN
$N_{Ed,t}$ = 88,97 kN
M_{Ed} = 147,9 kNm
V_{Ed} = 148,75 kN

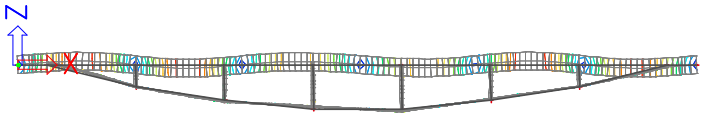
Vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{503{,}61.10^3}{168\,000} = 3{,}0\ MPa$$

A) v rovině vazníku

Výpočetním modelem lineární stability bylo ověřeno, že součet zatížení vlastní tíhou a ostatního stálého zatížení způsobí vždy vybočení nosníku směrem dolů. Vzhledem ke konstrukci vzpínadla se při vybočení daným směrem aktivuje táhlo, které pomůže společně se vzpěrkami zmenšit kritickou délku. Proto není třeba uvažovat celou délku nosníku. Kritická délka bude určena následujícím výpočtem:

Z výpočtu lineární stability byl zjištěn koeficient k = 51,91.



β_c = 0,1 (lepené dřevo)

$$L_{cr,y} = \pi . \sqrt{\frac{E . I_y}{N_{cr}}} \qquad kde\ N_{cr} = N_{Ed,c} . k$$

$$L_{cr,y} = \pi . \sqrt{\frac{11\,800\ .\ 5\,040.10^6}{503{,}61.10^3\ .\ 51{,}91}}$$

$$L_{cr,y} = 4\,738\ mm$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4\,738}{173{,}21} = 27{,}35$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{{\lambda_y}^2} = \pi^2 . \frac{11\,800}{27{,}35^2} = 155{,}7\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{155{,}7}} = 0{,}45$$

$$k_y = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$k_y = 0{,}5 . (1 + 0{,}1 . (0{,}45 - 0{,}3) + 0{,}45^2)$$

$$k_y = 0{,}61$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{0{,}61 + \sqrt{0{,}61^2 - 0{,}45^2}}$$

$$k_{c,y} = 0{,}98$$

Posouzení:

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

$$\frac{3{,}0}{0{,}98\ .\ 23{,}04} \leq 1$$

$0{,}13 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

B) z roviny vazníku

$L_{cr,z}$ = 4 000 mm – vzdálenost vaznic, které jsou součástí ztužení

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4\,000}{80{,}83} = 49{,}49$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2} = \pi^2 . \frac{11\,800}{49{,}49^2} = 47{,}55\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{47{,}55}} = 0{,}82$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + 0{,}1 . (0{,}82 - 0{,}3) + 0{,}82^2)$$

$$k_z = 0{,}86$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{0{,}86 + \sqrt{0{,}86^2 - 0{,}82^2}}$$

$$k_{c,z} = 0{,}89$$

Posouzení:

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

$$\frac{3{,}0}{0{,}89\ .\ 23{,}04} \leq 1$$

$0{,}15 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{503{,}61.10^3}{168\,000} = 3{,}5\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{147{,}9.10^6}{14{,}4.10^6} = 10{,}27\ MPa$$

Posouzení:

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

$$\frac{3{,}5}{0{,}98\,.\,18{,}43} + 0{,}7.\frac{10{,}27}{23{,}04} \leq 1$$

$0{,}51 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

k_m = 0,7 (pro obdélníkové průřezy)

Tah ve směru vláken

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{88{,}97.10^3}{144\,000} = 0{,}62\ MPa$$

Posouzení:

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

$0{,}62 \leq 18{,}43\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

Smyk

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = 0{,}308\ \text{MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{3 \cdot 148{,}75\,.\,10^3}{2 \cdot 0{,}67 \cdot 0{,}28 \cdot 0{,}6}$$

$$\tau_{v,Ed} = 1{,}98\ MPa$$

Posouzení:

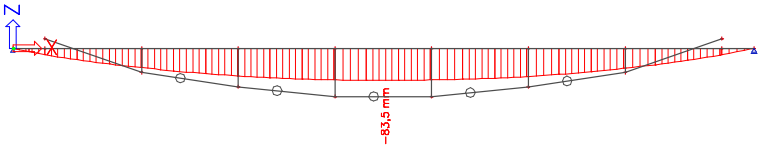
$$\tau_{v,Ed} \leq f_{v,d}$$

$1{,}98\ \leq 2{,}52\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

VAZNÍK VYHOVUJE NA 1. MS

3.3.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Původní zobrazení průhybů (kapitola 3.3.4.) je příliš velké. Skutečné působení horního vazníku je ale kvůli spoji táhla s vazníkem (kapitola 5.3.) u horního okraje odlišné. Proto byl vytvořen výpočetní model s tuhými rameny v místech kotvení táhla o velikosti 300 mm.



Průhyby na upraveném výpočetním modelu:

od stálého zatížení:	$u_{z,g,inst}$ = 49,4 mm	(ZS1 + ZS2)
od užitného zatížení:	$u_{z,q,inst}$ = 6,4 mm	(ZS3b + ZS3c)
od zatížení sněhem:	$u_{z,s,inst}$ = 25,6 mm	(ZS4)
od zatížení větrem:	$u_{z,w,inst}$ = 2,1 mm	(ZS5b)

$$u_{inst} = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + \mathrm{Q_{k,1}} + \sum_{i\geq 1} \psi_{0,i} . Q_{k,i}$$

$$u_{inst} = 49{,}4 + 6{,}4 + 25{,}6 + 2{,}1 + 6{,}4 \,.\, 0 + 25{,}6 \,.\, 0 + 2{,}1 \,.\, 0$$

$$u_{inst} = 83{,}5\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{23\,000}{300} = 76{,}7\ mm$$

Posouzení:

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

$$83{,}5 \leq 76{,}7\ [mm]$$

Průhyb konstrukce se výrazně zlepšil, přesto ještě nevyhovuje podmínce pro II. MS. Z účelu konstrukce však víme, že větší průhyb vazníku použitelnost konstrukce neovlivňuje, tudíž nesplnění podmínky nevadí.

Je třeba však vzít v úvahu ještě jedno hledisko omezování průhybů na střešních konstrukcích, a to odtok dešťové vody. Při překročení limitního průhybů by mohlo docházet k nedokonalému odtoku vody ze střešní konstrukce. Tomuto problému ale u řešené konstrukce předchází samotný tvar střechy, kde jsou nosníky ve spádu dostatečném pro odvodnění. Menší překročení limitního průhybu tedy nebude pro tuto konstrukci omezující a nemusíme neekonomicky zvětšovat průřez vazníku.

3.4. Vzpěry – vzpínadlo

3.4.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.4.2. Návrhové pevnosti materiálu

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9

γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

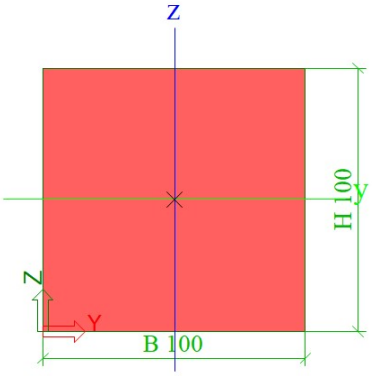
Smyková pevnost:

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

3.4.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 100/100 mm

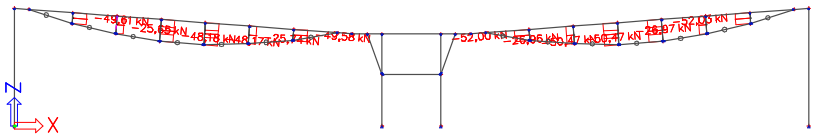
b = 100 mm
h = 100 mm
A = 10 000 mm^2
I_y = 8,3 * 10^6 mm^4
I_z = 8,3 * 10^6 mm^4
W_y = 0,17 * 10^6 mm^3
W_z = 0,17 * 10^6 mm^3
i_y = 28,87 mm
i_z = 28,87 mm



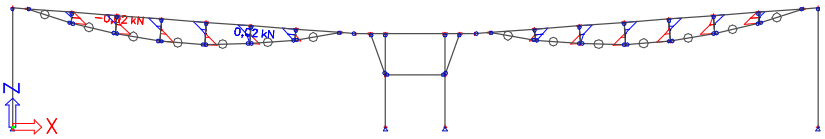
3.4.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení vzpěr je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace). Ve schématech jsou znázorněny pouze globální extrémy.

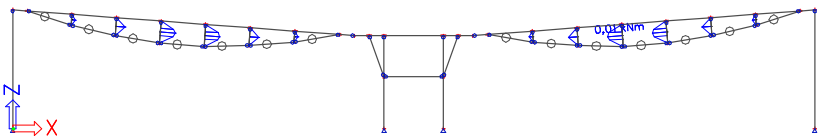
Normálové síly – N (kN)



Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)



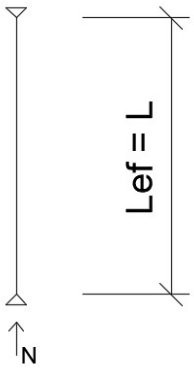
Z hodnot vnitřních sil je zřejmé, že posouvající síly a ohybové momenty nejsou pro vzpěry rozhodující. Proto posoudíme vzpěry pouze na vzpěrný tlak.

3.4.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

Vzpěrný tlak

Všechny vzpěry mají čtvercový průřez a jsou stabilizovány pouze v napojení k vazníku. Proto není nutno výpočet rozdělovat na vybočení z roviny a v rovině.

V přípoji k hornímu vazníku předpokládáme kloubové uložení, proto vztah pro vzpěrnou délku dle následujícího obrázku.



Obecně – pro i-tý prvek:

$$\sigma_{c,0,d,i} = \frac{N_{Ed,c,i}}{A}$$

$$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit,i} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{{\lambda_i}^2}$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,i} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,i}}}$$

β_c = 0,2 (pro rostlé dřevo)

$$k_i = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel,i} - 0{,}3) + \lambda_{rel,i}^2)$$

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}}$$

Posouzení:

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

Pro velké množství vzpěr byla vytvořena tabulka, kde jsou shrnuty hodnoty dle výše uvedených vzorců:

vzpěra	N_{ed} [kN]	$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	L [mm]	L_{cr} [mm]	λ [-]	$\sigma_{c,crit}$ [MPa]	λ_{rel} [-]	k [-]	k_c [-]	posouzení	
1	49,61	4,96	750	750	25,98	108,20	0,37	0,57	0,98	0,35	VYHOVUJE
2	25,65	2,57	1200	1200	41,57	42,27	0,59	0,70	0,92	0,19	VYHOVUJE
3	48,18	4,82	1500	1500	51,96	27,05	0,73	0,81	0,86	0,38	VYHOVUJE
4	48,17	4,82	1500	1500	51,96	27,05	0,73	0,81	0,86	0,38	VYHOVUJE
5	25,74	2,57	1200	1200	41,57	42,27	0,59	0,70	0,92	0,19	VYHOVUJE
6	49,58	4,96	750	750	25,98	108,20	0,37	0,57	0,98	0,35	VYHOVUJE
7	52,00	5,20	750	750	25,98	108,20	0,37	0,57	0,98	0,36	VYHOVUJE
8	26,96	2,70	1200	1200	41,57	42,27	0,59	0,70	0,92	0,20	VYHOVUJE
9	50,47	5,05	1500	1500	51,96	27,05	0,73	0,81	0,86	0,40	VYHOVUJE
10	50,47	5,05	1500	1500	51,96	27,05	0,73	0,81	0,86	0,40	VYHOVUJE
11	26,97	2,70	1200	1200	41,57	42,27	0,59	0,70	0,92	0,20	VYHOVUJE
12	52,03	5,20	750	750	25,98	108,20	0,37	0,57	0,98	0,36	VYHOVUJE

Tabulka 8: Posouzení únosnosti vzpěrek

VZPĚRY VYHOVUJÍ NA 1. MS

3.4.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhyb vzpěrek nemá na použitelnost konstrukce žádné omezující účinky, proto není třeba posuzovat mezní stav použitelnosti.

3.5. Rozpěra mezi středovými sloupy

3.5.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.5.2. Návrhové pevnosti materiálu

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9

γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

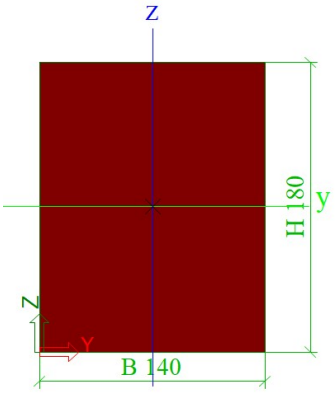
Smyková pevnost:

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

3.5.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 140/180 mm

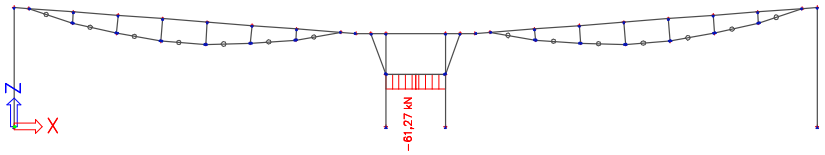
b = 140 mm
h = 180 mm
A = 25 200 mm^2
I_y = 68,04 * 10^6 mm^4
I_z = 41,16 * 10^6 mm^4
W_y = 0,756 * 10^6 mm^3
W_z = 0,588 * 10^6 mm^3
i_y = 51,96 mm
i_z = 40,41 mm
délka = 4 m



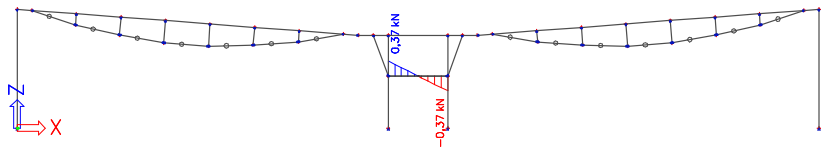
3.5.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení rozpěry je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace). Ve schématech jsou znázorněny pouze globální extrémy.

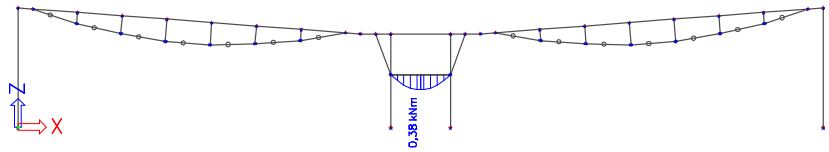
Normálové síly – N (kN)



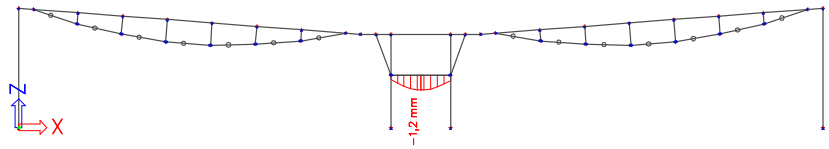
Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)

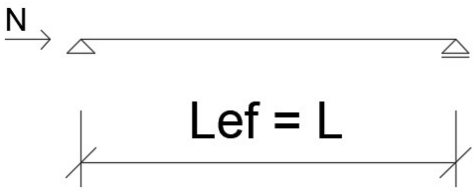


Průhyby – w_z (mm)



Z průběhů vnitřních sil opět vidíme, že namáhání posouvajícími silami a ohybovými momenty není pro konstrukci rozhodující. Proto je rozpěru nutné posoudit také jen na vzpěrný tlak, tentokrát však v obou směrech.

3.5.5. Posouzení mezního stavu únosnosti



Vstupní hodnoty:
$N_{Ed,c}$ = 61,27 kN

Vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{61{,}27.10^3}{25\,200} = 2{,}43\ MPa$$

A) v rovině rozpěry

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4000}{51{,}96} = 76{,}98$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2.\frac{E_{0,05}}{{\lambda_y}^2} = \pi^2.\frac{7400}{76{,}98^2} = 12{,}32\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{12{,}32}} = 1{,}31$$

β_c = 0,2 (pro rostlé dřevo)

$$k_y = 0{,}5.(1 + \beta_c.(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0{,}5.(1 + 0{,}2.(1{,}31 - 0{,}3) + 1{,}31^2)$$

$$k_y = 1{,}46$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{1{,}46 + \sqrt{1{,}46^2 - 1{,}31^2}}$$

$$k_{c,y} = 0{,}48$$

Posouzení:

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

$$\frac{3{,}14}{0{,}48\,.\,14{,}54} \leq 1$$

$$0{,}45 \leq 1 \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

B) <u>z roviny rozpěry</u>

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4000}{40{,}41} = 98{,}99$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2.\frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2} = \pi^2.\frac{7400}{98{,}99^2} = 7{,}45\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{7{,}45}} = 1{,}68$$

β_c = 0,2 (pro rostlé dřevo)

$$k_z = 0{,}5.(1 + \beta_c.(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5.(1 + 0{,}2.(1{,}68 - 0{,}3) + 1{,}68^2)$$

$$k_z = 2{,}05$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{2{,}05 + \sqrt{2{,}05^2 - 1{,}68^2}}$$

$$k_{c,z} = 0{,}31$$

Posouzení:

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

$$\frac{3{,}14}{0{,}31 \,.\, 14{,}54} \leq 1$$

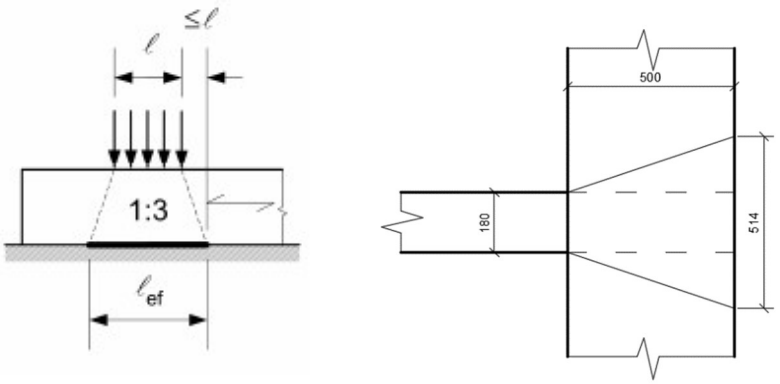
$0{,}7 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

<u>Otlačení</u>

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{61{,}27.10^3}{25\,200} = 2{,}43\ MPa$$

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l}$$

dle následujícího obrázku



Obrázek 13: Otlačení, rozpěra - sloup

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l} = \frac{514}{180} = 2{,}86$$

Posouzení:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$2{,}43 \leq 2{,}86 \cdot 1{,}73$$

$$2{,}43 \leq 4{,}95\ [MPa] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

ROZPĚRA VYHOVUJE NA 1. MS

3.5.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Vhledem k vnitřnímu umístění rozpěry na ni působí pouze stálé zatížení vlastní tíhou. Průhyb od stálého zatížení je vidět na schématu konstrukce v kapitole 3.5.4., z kombinační rovnice tedy vypadnou všechny ostatní členy.

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

$$u_{inst} = 1{,}2\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{4000}{300} = 13{,}3\ mm$$

Posouzení:

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

$$1{,}2 \leq 13{,}3\ [mm] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

ROZPĚRA VYHOVUJE NA 2. MS

3.6. Středové vzpěry

3.6.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.6.2. Návrhové pevnosti materiálu

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9

γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

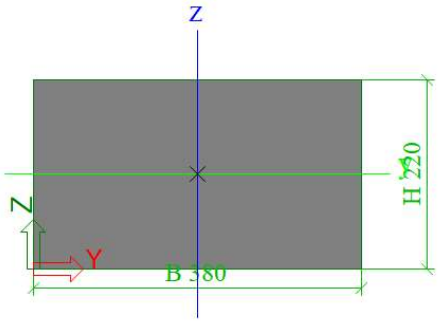
Smyková pevnost:

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

3.6.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 380/220 mm

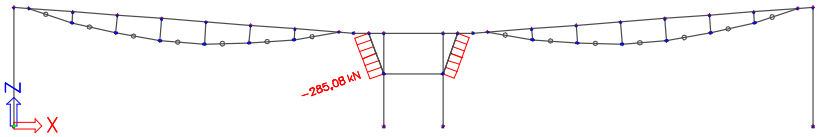
b = 380 mm
h = 220 mm
A = 83 600 mm^2
I_y = 337,2 * 10^6 mm^4
I_z = 1 006 * 10^6 mm^4
W_y = 3,06 * 10^6 mm^3
W_z = 5,29 * 10^6 mm^3
i_y = 63,51 mm
i_z = 109,7 mm
délka = 3 m



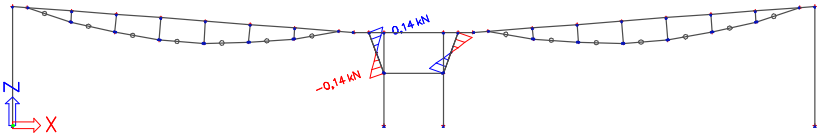
3.6.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení vzpěr je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace). Ve schématech jsou znázorněny pouze globální extrémy.

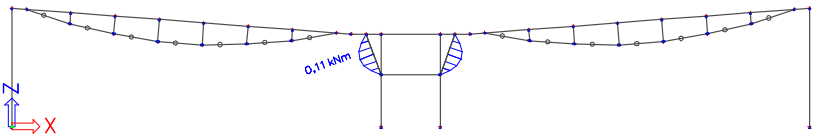
Normálové síly – N (kN)



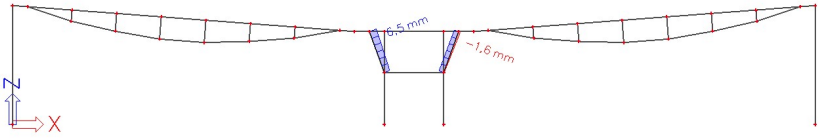
Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)



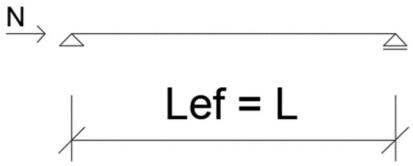
Průhyby – w_z (mm)



Z vnitřních sil opět vidíme, že rozhodující je vzpěrný tlak. Hodnoty ohybového momentu a posouvajících sil jsou pro prvek zanedbatelné.

Vstupní hodnoty:
$N_{Ed,c}$ = 285,08 kN

3.6.5. Posouzení mezního stavu únosnosti



Vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{285{,}08.10^3}{83\,600} = 3{,}4\ MPa$$

A) v rovině vzpěry

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{63{,}51} = 47{,}24$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2.\frac{E_{0,05}}{{\lambda_y}^2} = \pi^2.\frac{7400}{47{,}24^2} = 32{,}73\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{32{,}73}} = 0{,}8$$

$$k_y = 0{,}5.(1 + \beta_c.(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0{,}5.(1 + 0{,}2.(0{,}8 - 0{,}3) + 0{,}8^2)$$

$$k_y = 0{,}87$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{0{,}87 + \sqrt{0{,}87^2 - 0{,}8^2}}$$

$$k_{c,y} = 0{,}83$$

Posouzení:

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

$$\frac{7{,}2}{0{,}83\,.\,14{,}54} \leq 1$$

$$0{,}6 \leq 1 \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

B) <u>z roviny rozpěry</u>

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3000}{109{,}7} = 27{,}35$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2.\frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2} = \pi^2.\frac{7400}{27{,}35^2} = 97{,}6\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{97{,}6}} = 0{,}46$$

$$k_z = 0{,}5.\left(1 + \beta_c.\left(\lambda_{rel,z} - 0{,}3\right) + \lambda_{rel,z}^2\right)$$

$$k_z = 0{,}5.\left(1 + 0{,}2.\left(0{,}46 - 0{,}3\right) + 0{,}46^2\right)$$

$$k_z = 0{,}62$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{0{,}62 + \sqrt{0{,}62^2 - 0{,}46^2}}$$

$$k_{c,z} = 0{,}97$$

Posouzení:

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

$$\frac{7{,}2}{0{,}97 \, . \, 14{,}54} \leq 1$$

$0{,}51 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

Otlačení

Otlačení bude posouzeno v rámci spoje vzpěry a sloupku (viz kapitola 5.1.)

VZPĚRA VYHOVUJE NA 1. MS

3.6.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Průhyby:

od stálého zatížení:	$u_{z,g,inst}$ = 0,9 mm	(ZS1 + ZS2)
od užitného zatížení:	$u_{z,q,inst}$ = 1,3 mm	(ZS3b)
od zatížení sněhem:	$u_{z,s,inst}$ = 0,6 mm	(ZS4)
od zatížení větrem:	$u_{z,w,inst}$ = 3,7 mm	(ZS5b)

$$u_{inst} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \mathrm{Q_{k,1}} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} . Q_{k,i}$$

$$u_{inst} = 0{,}9 + 1{,}3 + 0{,}6 + 3{,}7 + 1{,}3 . 0 + 0{,}6 \, . \, 0 + 3{,}7 \, . \, 0$$

$$u_{inst} = 6{,}5 \; mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{3000}{300} = 10 \; mm$$

Posouzení:

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

$5{,}1 \leq 10 \; [mm]$ -> **VYHOVUJE**

VZPĚRA VYHOVUJE NA 2. MS

3.7. Ocelové táhlo

3.7.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti oceli: **S355**

Pevnost v tahu:	$f_{y,k}$ = 355 N/mm^2
Modul pružnosti:	E = 210 000 N/mm^2
Hustota:	$\rho_{g,k}$ = 7 850 kg/m^3

3.7.2. Návrhové pevnosti materiálu

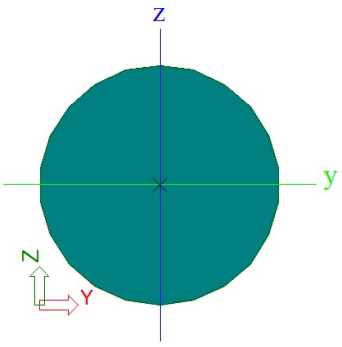
Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{355}{1} = 355\ MPa$$

3.7.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: Protah P48, ocel S355

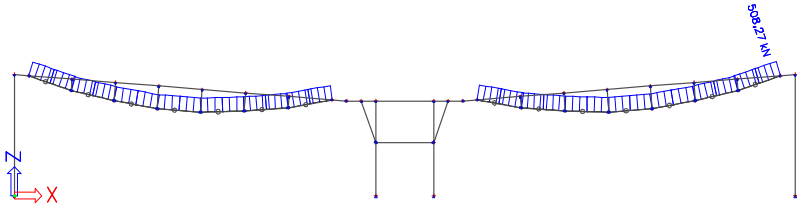
d = 48 mm
A = 1810 mm^2
I_y = 0,26 * 10^6 mm^4
I_z = 0,26 * 10^6 mm^4
W_y = 0,01 * 10^6 mm^3
W_z = 0,01 * 10^6 mm^3
i_y = 11,99 mm
i_z = 11,99 mm



3.7.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení táhla je patrné ze zatěžovacích stavů 2D modelu konstrukce (viz kapitola 2.3.: Zatěžovací stavy a kombinace). Ve schématu jsou znázorněny pouze globální extrémy.

Normálové síly – N (kN)



Ostatní vnitřní síly jsou nulové, posoudíme tedy pouze na tah.

3.7.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

Tah

Vstupní hodnoty:
$N_{Ed,t}$ = 508,27 kN

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{508{,}27.\,10^3}{\pi.\frac{48^2}{4}} = 280{,}9\ MPa$$

Posouzení:

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

$$280{,}9 \leq 355\ [MPa] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

3.7.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

U ocelového táhla není žádná použitelnost rozhodující. Není třeba posuzovat II. MS.

3.8. Štítové sloupky

3.8.1. Materiálové charakteristiky

Třída pevnosti dřeva: **C24**

Pevnost v ohybu:	$f_{m,g,k}$ = 24 N/mm^2
Pevnost v tahu	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,g,k}$ = 14 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{t,90,g,k}$ = 0,4 N/mm^2
Pevnost v tlaku	
- rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,g,k}$ = 21 N/mm^2
- kolmo k vláknům:	$f_{c,90,g,k}$ = 2,5 N/mm^2
Pevnost ve smyku:	$f_{v,g,k}$ = 4 N/mm^2
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

3.8.2. Návrhové pevnosti

krátkodobé zatížení
třída provozu: 2

k_{mod} = 0,9

γ_m = 1,3, pro rostlé dřevo

Ohybová pevnost:

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

Pevnost v tahu – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{14}{1{,}3} = 9{,}69\ MPa$$

Pevnost v tahu – kolmo k vláknům:

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{0{,}4}{1{,}3} = 0{,}28\ MPa$$

Pevnost v tlaku – rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{21}{1{,}3} = 14{,}54\ MPa$$

Pevnost v tlaku – kolmo k vláknům:

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod}.\frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_m} = 0{,}9.\frac{2{,}5}{1{,}3} = 1{,}73\ MPa$$

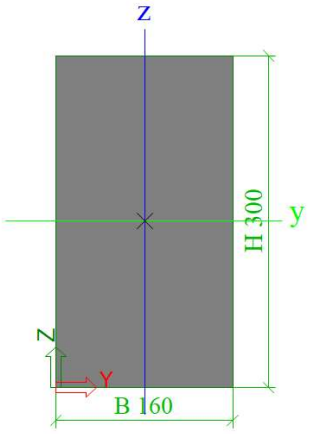
Smyková pevnost:

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

3.8.3. Průřezové charakteristiky, geometrická data

předběžný návrh: 160/300 mm

b = 160 mm
h = 300 mm
A = 48 000 mm^2
I_y = 360 * 10^6 mm^4
I_z = 102,4 * 10^6 mm^4
W_y = 2,4 * 10^6 mm^3
W_z = 1,28 * 10^6 mm^3
i_y = 86,6 mm
i_z = 46,19 mm
délka = 8 m



3.8.4. Zatížení prvku, vnitřní síly a deformace

Zatížení skladbou stěny: $g_{k,stěna}$ = **2,414 kN/m**
+ vl. tíha automaticky v softwaru SCIA
(viz kapitola 2.1.2.2.)

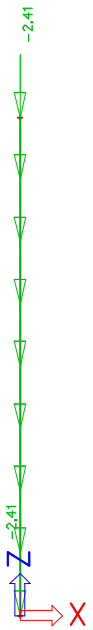
ZŠ – zatěžovací šířka sloupku

Zatížení větrnou plochou: $w_{D,k}$ = 0,427 kN/m^2

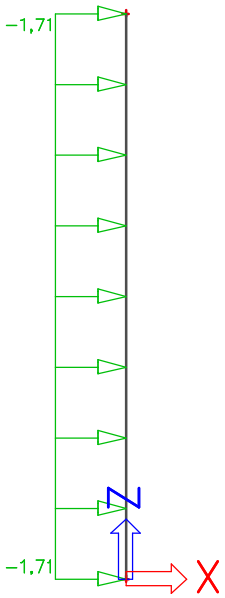
W_D = 0,427 * ZŠ
W_D = 0,427 * 4 = **1,71 kN/m**

ZS1 – vl. tíha

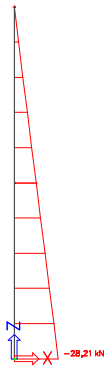
ZS2 – ostatní stálé



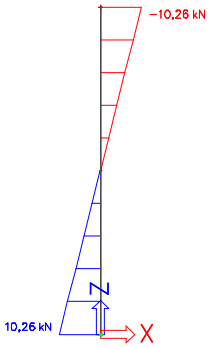
ZS3 – vítr



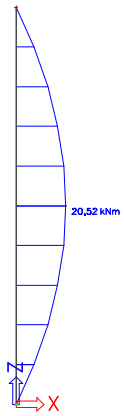
Normálové síly – N (kN)



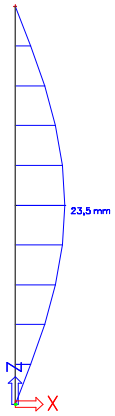
Posouvající síly – V_z (kN)



Ohybové momenty – M_y (kNm)



Průhyby – w_z (mm)



3.8.5. Posouzení mezního stavu únosnosti

Zatížení větrem na štítový sloupek působí pouze k ose y, proto k této ose posoudíme kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu. K ose z posoudíme pouze vzpěrný tlak, protože v tomto směru ohýbaný není.

Vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{28{,}21.\,10^3}{48\,000} = 0{,}59\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{20{,}52.\,10^6}{2{,}4.\,10^6} = 8{,}55\ MPa$$

A) v rovině sloupu (k ose z)

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{8\,000}{46{,}19} = 173{,}2$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2} = \pi^2 . \frac{7\,400}{173{,}2^2} = 2{,}43\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{2{,}43}} = 2{,}94$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + 0{,}2 . (2{,}94 - 0{,}3) + 2{,}94^2)$$

$$k_z = 5{,}09$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{5{,}09 + \sqrt{5{,}09^2 - 2{,}94^2}}$$

$$k_{c,z} = 0{,}11$$

Posouzení:

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

$$\frac{0{,}59}{0{,}11\ .\ 14{,}54} \leq 1$$

$0{,}37 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

<u>Kombinace ohybu a tlaku</u>

$$\lambda_y = \frac{L_{ef}}{i_y} = \frac{8\,000}{86{,}6} = 92{,}38$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = \pi^2 . \frac{7\,400}{92{,}38^2} = 8{,}56\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{8,56}} = 1,57$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5.(1 + \beta_c.(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$k_z = 0,5.(1 + 0,2.(1,57 - 0,3) + 1,57^2)$$

$$k_z = 1,68$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,68 + \sqrt{1,68^2 - 1,57^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,44$$

Posouzení:

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

$$\frac{3,5}{0,44 \,.\, 14,54} + 0,7.\frac{8,55}{16,62} \leq 1$$

$0,91 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

<u>ŠTÍTOVÉ SLOUPKY VYHOVUJÍ NA 1. MS</u>

3.8.6. Posouzení mezního stavu použitelnosti

Štítové sloupky jsou namáhány ohybem od větru na štítovou stěnu. Průhyb sloupků je číselně vyjádřen v kapitole 3.8.4..

Průhyby:

od zatížení větrem: $u_{z,w,inst}$ = 23,5 mm (ZS6)

$$u_{inst} = 23{,}5\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{8\,000}{300} = 26{,}7\ mm$$

Posouzení:

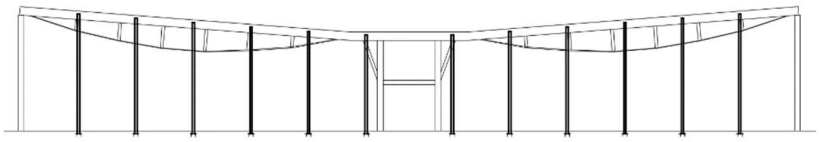
$$u_{inst} \leq u_{inst,lim}$$

$$23{,}5 \leq 26{,}7\ [mm] \quad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

ŠTÍTOVÉ SLOUPKY VYHOVUJÍ NA 2. MS

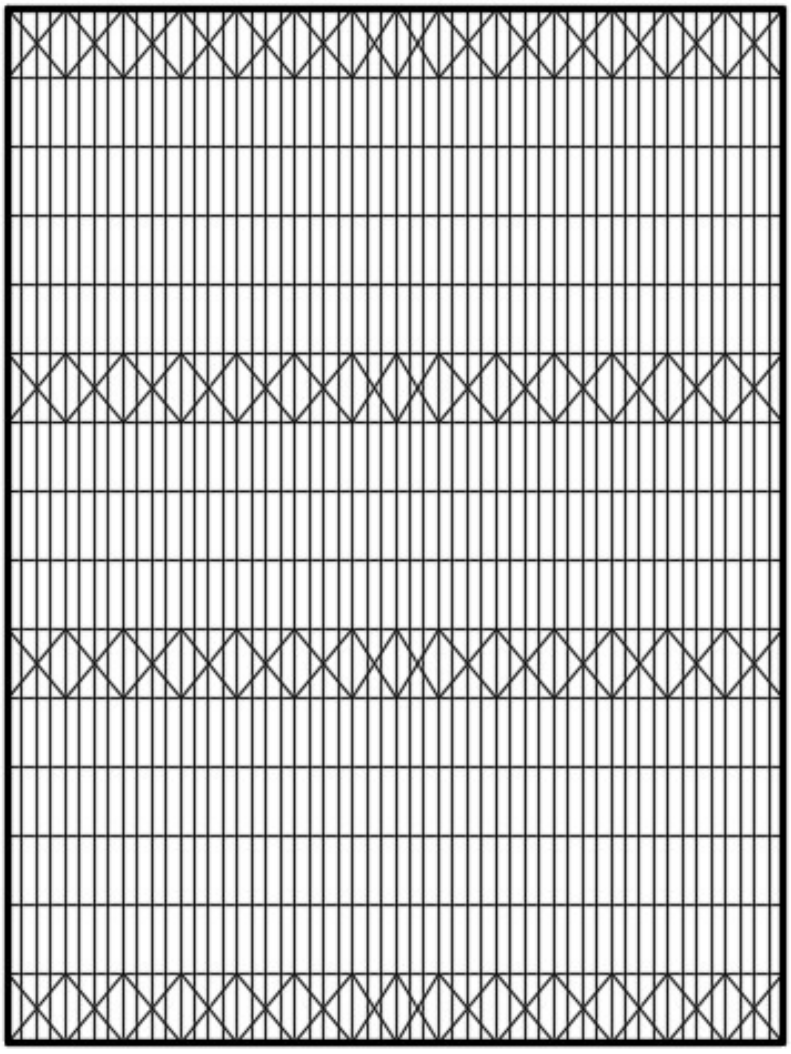
4. ZTUŽENÍ

Pohled na čelní stěnu:



Obrázek 14: Schéma čelní stěny

Pohled na střechu:



Obrázek 15: Schéma střechy

4.1. Střešní ztužení

Je potřeba stanovit zatížení na krajní střešní ztužidlo od větru a přilehlých vazeb. Pro středová střešní ztužidla je rozhodující zatížení od vnitřních vazeb.

4.1.1. Schéma ztužení, zatížení a vnitřní síly

Na krajní ztužidla

Zatížení na štítovou stěnu:
$w_{D,d} = w_{D,k}.\gamma_Q = 0{,}427.1{,}5 = 0{,}641\ kN/m^2$

Výpočet sil od větru do styčníků:

$$w_1 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_1\,.\frac{h_{s1}}{2} = 0{,}641\,.\,2\,.\frac{8}{2} = 5{,}13\ kN$$

$$w_2 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_2\,.\frac{h_{s2}}{2} = 0{,}641\,.\,4\,.\frac{7{,}7}{2} = 9{,}87\ kN$$

$$w_3 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_3\,.\frac{h_{s3}}{2} = 0{,}641\,.\,4\,.\frac{7{,}4}{2} = 9{,}49\ kN$$

$$w_4 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_4\,.\frac{h_{s4}}{2} = 0{,}641\,.\,4\,.\frac{7{,}1}{2} = 9{,}10\ kN$$

$$w_5 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_5\,.\frac{h_{s5}}{2} = 0{,}641\,.\,4\,.\frac{6{,}8}{2} = 8{,}72\ kN$$

$$w_6 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_6\,.\frac{h_{s6}}{2} = 0{,}641\,.\,4\,.\frac{6{,}5}{2} = 8{,}33\ kN$$

$$w_7 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_5\,.\frac{h_{s7}}{2} = 0{,}641\,.\,3{,}5\,.\frac{6{,}3}{2} = 7{,}07\ kN$$

$$w_8 = w_{D,k}\,.Z\check{S}_5\,.\frac{h_{s8}}{2} = 0{,}641\,.\,3\,.\frac{6{,}3}{2} = 6{,}06\ kN$$

Výšky jednotlivých sloupů:

h_{s1} = 8 m

h_{s2} = 7,7 m

h_{s3} = 7,4 m

h_{s4} = 7,1 m

h_{s5} = 6,8 m

h_{s6} = 6,5 m

h_{s7} = 6,3 m

h_{s8} = 6,3 m

Dále je konstrukce symetrická, proto jsou ostatní hodnoty shodné s již vypočtenými.

Výpočet sil od stabilizace ostatních vazeb:

$$q = k_l\,.\frac{N_d\,.\,n}{k_{f3}\,.\,l} = 1\,.\frac{483{,}16\,.\,2}{80\,.\,54} = 0{,}22\ kN/m$$

N_d – návrhová sílá ve stabilizovaném pásu

n – počet stabilizovaných přiléhajících vazeb

Bezpečně uvažuji N_d po celém délce pásu o maximální velikosti.

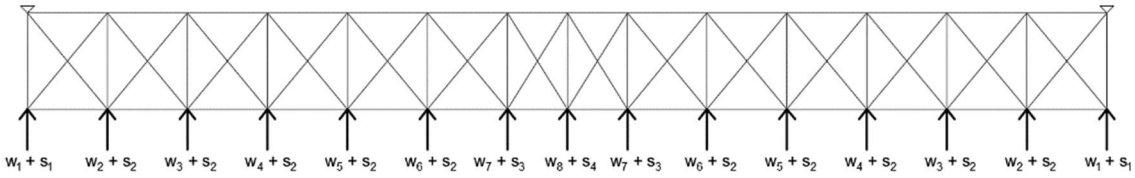
$$s_1 = q\,.Z\check{S}_1 = 0{,}22\,.\ 2 = 0{,}44\ kN$$

$$s_2 = q\,.Z\check{S}_2 = 0{,}22\,.\ 4 = 0{,}88\ kN$$

$$s_3 = q\,.Z\check{S}_3 = 0{,}22\,.\ 3{,}5 = 0{,}77\ kN$$

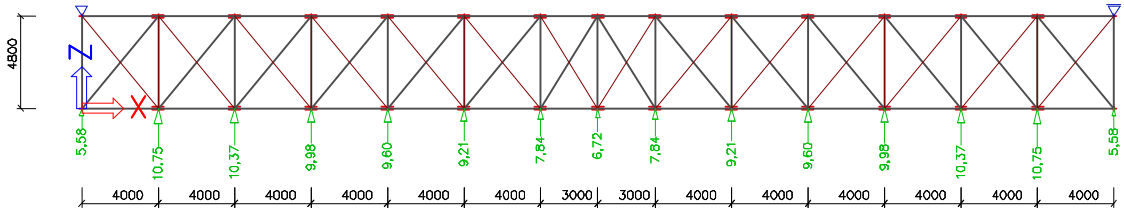
$$s_4 = q\,.Z\check{S}_4 = 0{,}22\,.\ 3 = 0{,}66\ kN$$

Zatížení pak v součtu dle následujícího schématu.



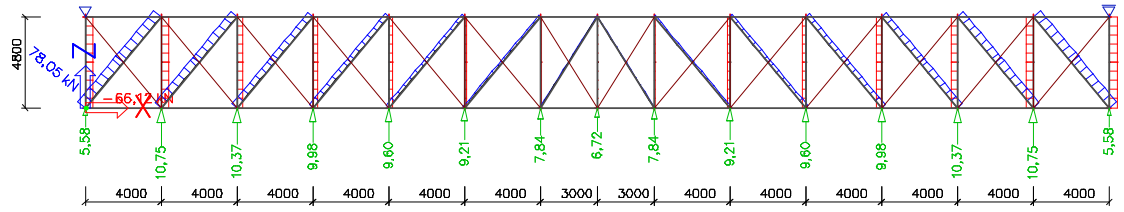
Obrázek 16: Schéma zatížení ztužidel

Ze součtu vypočtených dílčích sil získáme následující výpočetní model.



Dle statického schématu se stanovenými silami provedeme výpočet normálových sil pomocí softwaru. Účinná jsou pouze táhla namáhané tahem. Tlak je přenášen vaznicemi.

Normálové síly – N (kN)



Odsud zjištěné normálové síly:

$N_{Ed,c}$ = 66,12 kN
$N_{Ed,t}$ = 78,05 kN

Na střední ztužidla

Nejsou zatíženy větrem, pouze síly od stabilizace ostatních vazeb. Zatížení N_d vychází z kombinace stálého zatížení a sněhu.

Výpočet sil od stabilizace ostatních vazeb:

$$q = k_l \,.\frac{N_d \,.\, n}{k_{f3} \,.\, l} = 1 \,.\frac{465{,}17 \,.\, 3{,}5}{80 \,.\, 54} = 0{,}38\ kN/m$$

$$s_1 = q \,.Z\check{S}_1 = 0{,}38 \,.\, 2 = 0{,}76\ kN$$

$$s_2 = q \,.Z\check{S}_2 = 0{,}38 \,.\, 4 = 1{,}52\ kN$$

$$s_3 = q \,.Z\check{S}_3 = 0{,}38 \,.\, 3{,}5 = 1{,}33\ kN$$

$$s_4 = q \,.Z\check{S}_4 = 0{,}38 \,.\, 3 = 1{,}14\ kN$$

Pro tuto variantu je vidět, že síly jsou výrazně menší a táhlo i vaznice bezpečně vyhoví, pokud splní požadavky na krajní ztužidla.

4.1.2. Posouzení mezního stavu únosnosti

Návrh:

Táhlo: Protah P20, ocel S355
Vaznice: 160 x 220 mm, dřevo C 24

Tah

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{78{,}05 \,.\, 10^3}{\pi.\frac{20^2}{4}} = 248{,}4\ MPa$$

Posouzení:

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

$$248{,}4 \ \leq 355\ [MPa] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

Parametry vaznice:
b = 160 mm
h = 220 mm
A = 35 200 mm^2
I_y = 141,97 * 10^6 mm^4
I_z = 75,09 * 10^6 mm^4
W_y = 1,29 * 10^6 mm^3
W_z = 0,94 * 10^6 mm^3
i_y = 63,51 mm
i_z = 46,19 mm

délka = 4,8 m

(viz kapitola 3.1.3.)
M_y = 7,08 kNm

Vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{66{,}12.10^3}{35\ 200} = 1{,}88\ MPa$$

A) v rovině vaznice

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4\ 800}{63{,}51} = 75{,}58$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2.\frac{E_{0,05}}{\lambda_y{}^2} = \pi^2.\frac{7\ 400}{75{,}58^2} = 12{,}79\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{12{,}79}} = 1{,}28$$

$$k_y = 0{,}5.(1 + \beta_c.(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0{,}5.(1 + 0{,}2.(1{,}28 - 0{,}3) + 1{,}28^2)$$

$$k_y = 1{,}42$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{1{,}42 + \sqrt{1{,}42^2 - 1{,}28^2}}$$

$$k_{c,y} = 0{,}49$$

Posouzení:

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

$$\frac{1{,}88}{0{,}49\ .\ 14{,}54} \leq 1$$

$0{,}26 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

B) z roviny vaznice

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4\,800}{46{,}19} = 103{,}92$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 . \frac{E_{0,05}}{{\lambda_z}^2} = \pi^2 . \frac{7\,400}{103{,}92^2} = 6{,}76\ MPa$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{6{,}76}} = 1{,}76$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + \beta_c . (\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 . (1 + 0{,}2 . (1{,}76 - 0{,}3) + 1{,}76^2)$$

$$k_z = 2{,}19$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{2{,}19 + \sqrt{2{,}19^2 - 1{,}76^2}}$$

$$k_{c,z} = 0{,}29$$

Posouzení:

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

$$\frac{1{,}88}{0{,}29\ .\ 14{,}54} \leq 1$$

$0{,}45 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{66{,}12.10^3}{35\,200} = 1{,}88\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7{,}08\,.10^6}{1{,}29\,.10^6} = 5{,}49\ MPa$$

Posouzení:

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

$$\frac{1{,}88}{0{,}49\,.14{,}54} + 0{,}7.\frac{5{,}49}{16{,}62} \leq 1$$

$0{,}5 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA VYHOVUJÍ NA 1. MS

4.1.3. Posouzení mezního stavu použitelnosti

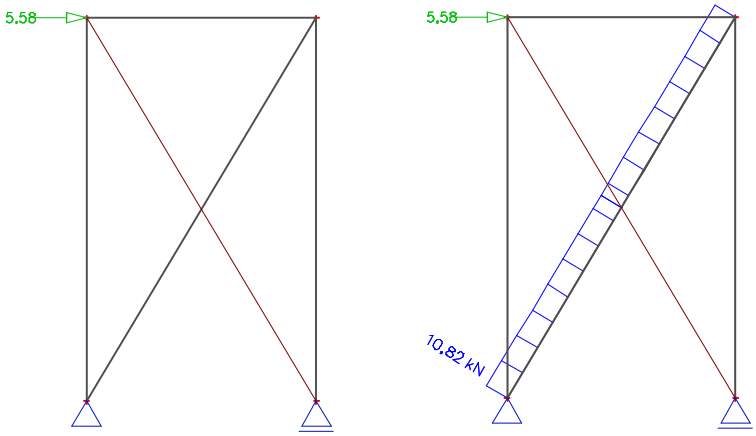
Průhyby táhel nejsou pro konstrukci nijak rozhodující a průhyb vaznice je posouzen s dostatečnou rezervou v kapitole 3.1.6..

4.2. Stěnové ztužení

4.2.1. Schéma ztužení, zatížení a vnitřní síly

Opět navrhneme pro krajní ztužidlo a použijeme pro všechny pole ztužená ve stěně. Pro stěnové ztužidlo platí následující výpočtový model.

Normálové síly – N (kN)



4.2.2. Posouzení mezního stavu únosnosti

Tah

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{Ed,t}}{A} = \frac{10{,}82 \,.\, 10^3}{\pi . \frac{20^2}{4}} = 34{,}4 \; MPa$$

Posouzení:

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

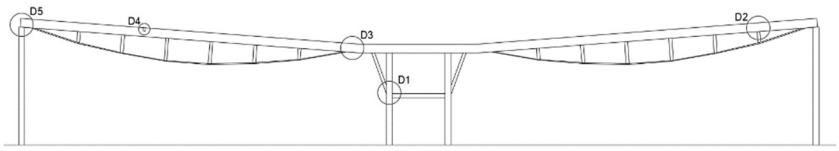
$$34{,}4 \; \leq 355 \; [MPa] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

4.2.3. Posouzení mezního stavu použitelnosti

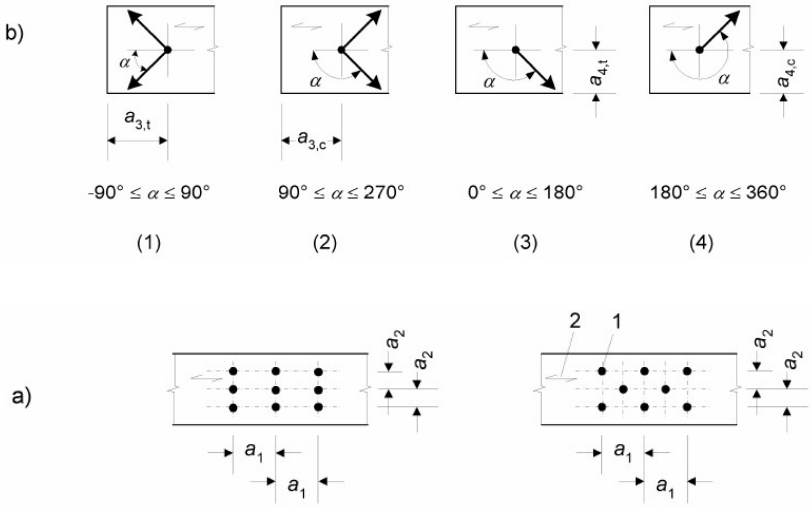
Průhyby ztužujících táhel nejsou pro konstrukci nijak rozhodující. Mezní stav použitelnosti není třeba posuzovat.

5. SPOJE KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

Na následujícím schématu jsou znázorněny spoje, které budou početně řešeny v rámci této práce. Ostatní prvky spojů, které budou potřeba pro detaily apod. jsou odhadnuty.



Obrázek 17: Schéma početně řešených spojů



Obrázek 18: Uspořádání svorníků

Podmínky pro odstupové vzdálenosti svorníkových spojů:

Legenda:

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

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

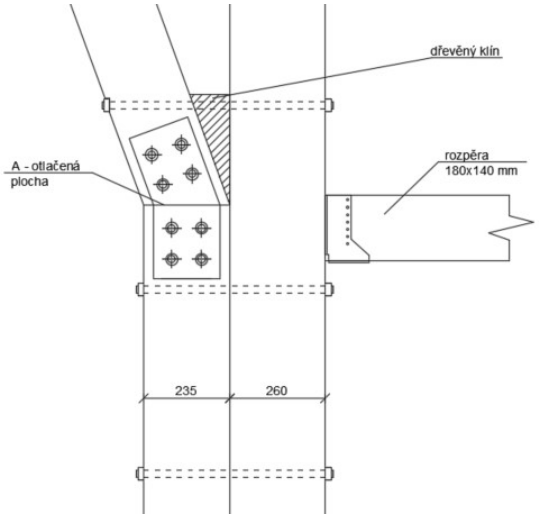
Tabulka 9: Odstupové vzdálenosti svorníků

5.1. Spoj středové vzpěry se sloupkem

Z důvodu velké síly ve vzpěře a případnému oslabení sloupku čepováním je navržen přídavný sloupek od rozpěry dolů.

Schéma spoje

5.1.1. Posouzení únosnosti spoje



Obrázek 19: Schéma spoje, středová vzpěra - sloupek

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{285{,}08.\,10^3}{89\,300} = 3{,}19\ MPa$$

$N_{Ed,c}$ = 285,08 kN

A = 89 300 mm² – odměřeno z AutoCADu

Otlačení

redukovaná pevnost ve směru zatížení:

α = 20° - úhel od svislice

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90}\cdot f_{c,90,d}}.\sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14{,}54}{\frac{14{,}54}{1\,.\,1{,}73}.\sin(20)^2 + \cos(20)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 7{,}79\ MPa$$

$k_{c,90}$ = 1 – otlačena celá plocha

Posouzení:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

$$5{,}63 \leq 7{,}79\ [MPa] \qquad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost přídavného sloupku

Síla ve sloupku – $N_{Ed,\alpha}$

$N_{Ed,\alpha}$ – síla ve spodní části sloupku

$$N_{Ed,\alpha} = N_{Ed} \,.\cos(\alpha)$$

$$N_{Ed,\alpha} = 285{,}08 \,.\cos(20°)$$

$$N_{Ed,\alpha} = 267{,}89\ kN$$

A = 235 x 380 mm

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_{Ed,\alpha}}{A} = \frac{267{,}89.10^3}{89\,300} = 3{,}0\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{3{,}0}{14{,}54} \leq 1$$

$$0{,}21 \leq 1 \qquad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

Přídavný sloupek je dostatečně stabilizován vůči vzpěru připojením ke stávajícímu sloupu. Proto není potřeba na vzpěr posuzovat.

Plech

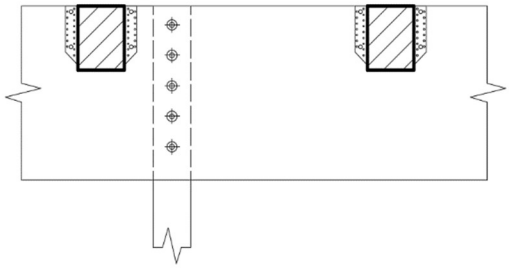
Spoj bude opatřen příložným ocelovým plechem z obou stran. Není nutno posuzovat, je zde umístěn pouze konstrukčně. Plech tloušťky 15 mm bude přiložen z obou stran přes napojení vzpěrky a příložného sloupku.

Svorníky

Veškeré svorníky použité v tomto spoji budou pevnostní třídy 5.8, typu M16. Svorníky není třeba pevnostně posuzovat, slouží zde z konstrukčních účelů na propojení stávajícího sloupku a přídavného sloupku. 2 svorníky v jedné řadě splňují i požadované minimální odstupové vzdálenosti.

5.2. Spoj vzpěrky vzpínadla s vazníkem

Schéma spoje:



Obrázek 20: Schéma spoje vzpěrka - vazník

5.2.1. Vstupní údaje, materiálové char.

Tloušťka prvku:	140 mm
Tloušťka spojovaného prvku:	100 mm
Typ šroubu:	M16 (d = 16 mm)
Pevnostní tř. 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 A_s:	157 mm^2

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku:

$f_{c,90,k}$ = 2,5 N/mm^2

Měrná objemová hmotnost dřeva: $\rho_{k,LLD}$ = 440 kg/m^3

$\rho_{k,rostlé}$ = 420 kg/m^3

5.2.2. Posouzení únosnosti spoje

Návrh: 1 řada, 5 svorníků

Charakteristická pevnost v otlačení v dřevěném prvku:

Lepené lamelové dřevo:

$$f_{h,0,k,LLD} = 0{,}082 \,.\, (1 - 0{,}01.d) \,.\, \rho_{k,LLD}$$

$$f_{h,0,k,LLD} = 0{,}082 \,.\, (1 - 0{,}01.16) \,.\, 440$$

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

Pro úhel α = 0° lze říci, že $f_{h,1,k} = f_{h,0,k,LLD}$

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

k_{90}=1,35+0,015.d

= 1,35+0,015.16

k_{90} = 1,59

Rostlé dřevo:

$$f_{h,0,k,r} = 0{,}082\,.\,(1 - 0{,}01.\,d)\,.\,\rho_{k,rostlé}$$

$$f_{h,0,k,r} = 0{,}082\,.\,(1 - 0{,}01.16)\,.\,420$$

$$f_{h,0,k,r} = 28{,}93\ MPa$$

k_{90}=1,35+0,015.d

= 1,35+0,015.16

k_{90} = 1,59

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k,r}}{k_{90}.sin\alpha^2 + cos\alpha^2} = \frac{28{,}93}{1{,}59.sin90^2 + co\ \ ^2}$$

$$f_{h,2,k} = 18{,}19\ MPa$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{18{,}19}{30{,}31} = 0{,}6$$

Charakteristický moment únosnosti spoj. prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0{,}3\,.\,f_{u,k}.\,d^{2,6} = 0{,}3\,.\,500\,.\,16^{2,6} = 202\,676{,}4\ Nmm$$

Char. únosnost na vytažení spojovacího prostředku:

Hodnota této únosnosti je pro náš případ buď menší z 25% hodnoty prvního členu vztahů c, d nebo menší z hodnot 25% otlačení pod podložkou nebo přetržení svorníku.

$$F_{ax,Rk,1} = \frac{22\,835{,}8}{4} = 5\,709\ N$$

$$F_{ax,Rk,2} = \frac{13\,963{,}6}{4} = 3\,491\ N$$

$$F_{ax,Rk,3} = \frac{\frac{A_s.f_{uk}}{1{,}25}}{4} = \frac{\frac{157.500}{1{,}25}}{4} = 15\,700\ N$$

$$F_{ax,Rk,4} = \frac{\frac{A_s.f_{yk}}{1{,}25}}{4} = \frac{\frac{157.400}{1{,}25}}{4} = 13\,652\ N$$

A_{net} – plocha podložky

$A_{net} = \pi.d_2^2/4 - \pi.d_1^2/4$

A_{net} = 2387,6 mm^2

$$F_{ax,Rk,5} = \frac{A_{net}.3.f_{c,90,d}}{4} = \frac{2387{,}6.3.1{,}8}{4} = \mathbf{3\,223\ N}$$

Dle následujícího vztahu pak máme hodnoty:

(pro přehlednost do jednotlivých řádků vztahy a – d)

$$F_{v,Rk} = \min\left(\begin{array}{c} f_{h,1,k}\,.\,t_1\,.\,d \\ 0{,}5\,.\,f_{h,2,k}\,.\,t_2\,.\,d \\ 1{,}05\,.\,\frac{f_{h,1,k}\,.\,t_1\,.\,d}{2+\beta}\,.\left[\sqrt{2\beta.(1+\beta) + \frac{4\beta.(2+\beta).M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\,.\,t_1^2\,.\,d}} - \beta\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1{,}15.\sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}}.\sqrt{2\,.M_{y,Rk}\,.\,f_{h,1,k}\,.d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array}\right)$$

Dílčí únosnosti:

$a)\ F_{v,Rk,a} = f_{h,1,k}\ .\ t_1\ .\ d$

$b)\ F_{v,Rk,b} = 0{,}5\ .\ f_{h,2,k}\ .\ t_2\ .\ d$

$c)\ F_{v,Rk,c} = 1{,}05\ .\ \frac{f_{h,1,k}\ .\ t_1\ .\ d}{2+\beta}\ .\ \left[\sqrt{2\beta.(1+\beta) + \frac{4\beta.(2+\beta).M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}\ .\ t_1^2\ .\ d}} - \beta\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

$d)\ F_{v,Rk,d} = 1{,}15.\sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}}.\sqrt{2\ .\ M_{y,Rk}\ .\ f_{h,1,k}\ .\ d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Po dosazení:

$a)\ F_{v,Rk,a} = 30{,}31\ .\ 140\ .\ 16$

$b)\ F_{v,Rk,b} = 0{,}5\ .\ 18{,}19\ .\ 100\ .\ 16$

$c)\ F_{v,Rk,c} = 1{,}05\ .\ \frac{30{,}31\ .\ 140\ .\ 16}{2+0{,}6}\ .\ \left[\sqrt{2.0{,}6.(1+0{,}6) + \frac{4.0{,}6.(2+0{,}6).202\ 676{,}4}{30{,}31\ .\ 140^2\ .\ 16}} - 0{,}6\right] + \frac{3223}{4}$

$d)\ F_{v,Rk,d} = 1{,}15.\sqrt{\frac{2.0{,}6}{1+0{,}6}}.\sqrt{2.202\ 676{,}4\ .\ 30{,}31\ .16} + \frac{3223}{4}$

$$F_{v,Rk} = min\begin{cases}67\ 894\\14\ 552\\23\ 642\\14\ 769\end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = 14\ 552\ N$$

Počet svorníků:

$$n_{ef} = min\left\{n^{0{,}9}.\sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}\right. = min\left\{5^{0{,}9}.\sqrt[4]{\frac{64}{13\ .\ 16}}\right. = min\begin{cases}5\\3{,}17\end{cases} = 3{,}35$$

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

Únosnost spoje:

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

$F_{Ed} = 52{,}0$ kN

$$F_{max} = 2\ .1\ .3{,}35.14{,}552.\frac{0{,}8}{1{,}3}$$

-> max. síla ve vzpěře

$$F_{max} = 60{,}0\ kN$$

Posouzení:

$F_{max} \geq F_{Ed}$

$60{,}0 \geq 52\ [kN]$ -> **VYHOVUJE**

F_{Ed} = 52,0 kN

-> max. síla ve vzpěře

Na kritérium únosnosti spoj vyhoví, ale je potřeba zkontrolovat odstupové vzdálenosti a uzpůsobit tomu připojovaný prvek.

Hodnoty pro řešený styčník: (dle tabulky č.7, str. 73)

svislé odstupy: $a_1 = (4 + \cos\alpha).d$

$a_1 = (4 + \cos 0).16$

$a_1 = 80\ mm$

vodorovné odstupy: $a_2 = 4\ .\ d$

$a_2 = 4\ .\ 16$

$a_2 = 64\ mm$

odstup od zat. konce: $a_{3,t} = max.(7.d\ ;80\ mm)$

$a_{3,t} = max.(112\ ;80\ mm)$

$a_{3,t} = 112\ mm$

Pro α ∈ <150;180>

odstup od nezat. konce: $a_{3,c} = 4\ .\ d$

$a_{3,c} = 4\ .\ 16$

$a_{3,c} = 64\ mm$

Po sečtení těchto hodnot získáváme potřebný prostor:

Výška: $a_{3,c} + 4\ .\ a_1 + a_{3,t} = 64 + 4.80 + 112 = 496\ mm$
Šířka: $2\ .\ a_2 = 2\ .\ 64 = 128\ mm$

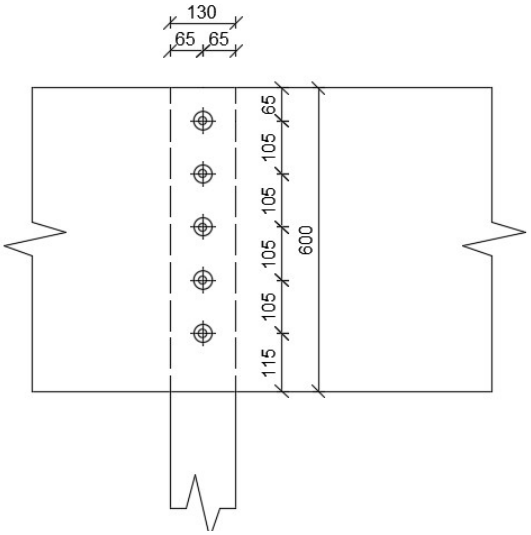
Posouzení:

Výška: $496 \leq 600\ [mm]$ -> **VYHOVUJE**
Šířka: $128 \leq 100\ [mm]$ -> **NEVYHOVUJE**

Šířka vzpěry je nedostatečná pro odstupové vzdálenosti svorníků. Navrhuji tedy její rozšíření na 130 mm. Únosnost vzpěry není již nutno posuzovat, protože vyhověla s menší šířkou.

Tento spoj byl navržen pro vzpěrku, která je namáhána maximální silou. Navržený spoj pak můžeme bezpečně použít pro všechna připojení vzpěry ke konstrukci vazníku, protože síla bude vždy menší a spoj tak vždy vyhoví.

Navrhuji konečné odstupové vzdálenosti spoje dle následujícího schéma:

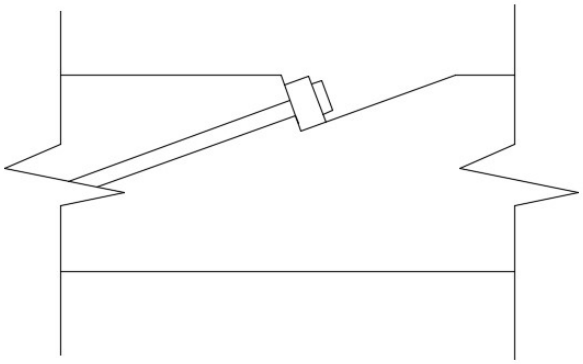


Obrázek 21: Výsledný spoj, vzpěrka – horní pás

5.3. Spoj táhla a horního pásu

Spoj bude proveden zapřením táhla do horní strany vazníku přes ocelovou desku.

Schéma spoje



Obrázek 22: Schéma spoje, táhlo – horní pás

5.3.1. Posouzení únosnosti spoje

A – součet plochy dvou dílčích pásů

A = šířka vazníku (2*140 mm) x tlačená plocha (150 mm)

$N_{Ed,c}$ – tahová síla v táhle

α – úhel napojení táhla

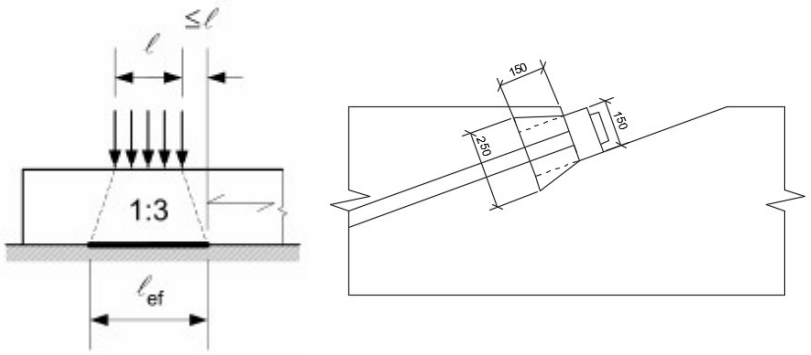
$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{508{,}27.\,10^3}{42\,000} = 12{,}1\ MPa$$

Otlačení

Stanovení koeficientu $k_{c,90}$

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l} = \frac{250}{150} = 1{,}67$$

dle následujícího obrázku



Obrázek 23: Otlačení, táhlo – horní pás

Redukovaná pevnost ve směru zatížení:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} . \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{23{,}04}{\frac{23{,}04}{1{,}67 \cdot 1{,}8} . \sin(20)^2 + \cos(20)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 12{,}95\ MPa$$

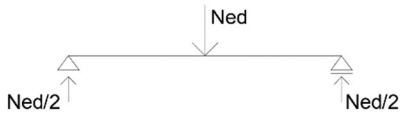
Posouzení:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

$$12{,}1 \leq 12{,}95\ [MPa]$$ -> **VYHOVUJE**

Ohyb ocelové roznášecí desky

Parametry:
ocel S355, rozměry (š/v/d): 150/80/380 mm



Nejprve zjistíme velikost smykového působení na desce.

$$V_{Ed} = 254{,}14\ kN$$

N_{Ed} = 508,27 kN

$N_{Ed}/2$= 254,14 kN

A = 150 x 80 = 12 000 mm^2

$$V_{Rd} = \frac{A_v . (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{12\,000 . (\frac{355}{\sqrt{3}})}{1}$$

$$V_{Rd} = 2\,460\ kN$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq 0{,}5\, V_{Rd}$$

$$254{,}14 \leq 0{,}5\,.\,2\,460$$

$$254{,}14 \leq 1\,230\ [kN] \qquad \text{-> malý smyk}$$

Ohyb:

$$M_{Ed} = V_{Ed}.\frac{d}{2}$$

$$M_{Ed} = 254{,}14.\frac{0{,}38}{2}$$

$$M_{Ed} = 48{,}29\ kNm$$

$$W_{pl} = \tfrac{1}{6}\,.\,b\,.\,h^2$$

$$W_{pl} = \frac{1}{6}\,.\,0{,}15\,.\,0{,}08^2$$

$$W_{pl} = 1{,}6\,.\,10^{-4}\ m^3$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl}.f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1{,}6\,.\,10^{-4}\,.\,355.10^3}{1}$$

$$M_{Rd} = 56{,}8\ kNm$$

Posouzení:

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

$$48{,}29 \leq 56{,}8\ [kNm] \qquad \text{-> } \textbf{VYHOVUJE}$$

5.4. Spoj horního pásu – vnitřní kloub

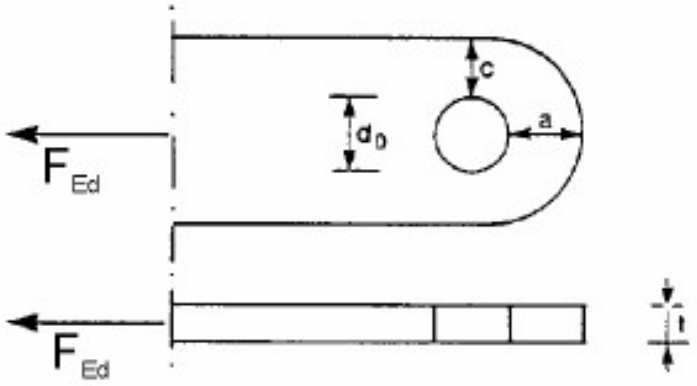
Spoj je v nejnepříznivější kombinaci namáhán normálovou silou o velikosti 87,95 kN.

Materiál plechů:	ocel S355
mez kluzu	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

Návrh

průměr čepu	d = 34 mm
průměr otvoru	d_0 = 36 mm
tloušťka středního plechu	t = 25 mm

Dle ČSN EN 1993-1-8 se jedná o typ A, byla tedy zvolena tloušťka středního plechu.



Obrázek 24: Schéma čepového plechu

Parametry pro střední plech:

$\gamma_{M0} = 1$

$$a > \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{87{,}95 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 36}{3} = 28{,}95\ mm$$

$a > 28{,}95$ -> NÁVRH: min. 40 mm

$$c > \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{87{,}95 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 25 \cdot 355} + \frac{36}{3} = 16{,}95\ mm$$

$c > 16{,}95\ mm$ -> NÁVRH: min. 20 mm

5.4.1. Posouzení čepového spoje

Únosnost čepu ve střihu pro dvě střihové roviny:

$\gamma_{M0} = 1$

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

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

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

$$435{,}80 \geq 87{,}95\ [kN] \quad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost ocelové desky a čepu v otlačení:

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

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

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

$$452{,}63 \geq 87{,}95\ [kN] \quad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu v ohybu:

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

$$\mathrm{M_{Ed}} = \frac{87{,}95.10^3}{8} * (25 + 4 * 1 + 2 * 15)$$

$$\mathrm{M_{Ed}} = 0{,}65\ \mathrm{kNm}$$

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

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

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

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

$$2{,}32 \geq 0{,}65 \quad \text{-> } \mathbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení čepu na kombinaci ohybu a smyku:

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

$$\left[\frac{0{,}65}{2{,}32}\right]^2 + \left[\frac{87{,}95}{435{,}80}\right]^2 \leq 1$$

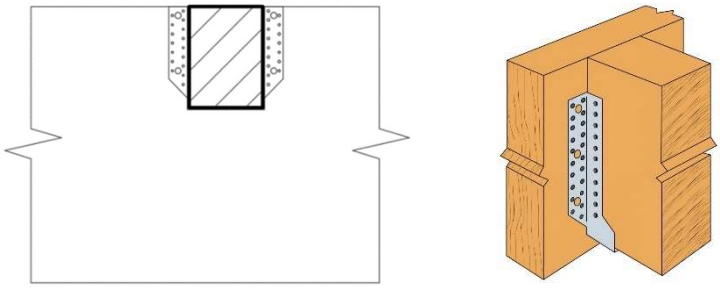
$0{,}12 \leq 1$ -> **VYHOVUJE**

5.5. Spoj vaznice a horního pásu

Vaznice je umístěna mezi vazníky pomocí trámových botek GSE 600/160/2,5, z oceli S 250 GD+Z 275. Které jsou během montáže připevněny pomocí hřebíků. Nosnost spoje pak zajišťují 4 šrouby, které jsou umístěny dle geometrie botky. Vaznice horní hranou lícuje s horní hranou vazníku.

Spoj není třeba staticky posuzovat, trámová botka splňuje všechny požadavky, které jsou podrobně popsány v technických listech.

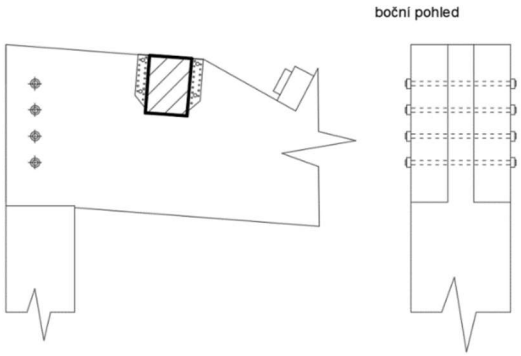
Schéma spoje



Obrázek 25: Schéma spoje vaznice - horní pás + trámová botka

5.6. Spoj vazníku a sloupu

Schéma spoje



Obrázek 26: Schéma spoje vazník - sloup

Vazník je osazen na sloup, který je v horní části oslaben a pokračuje mezi pásy vazníku. Svorníky pouze zajišťují spojení proti oddělení průřezů, není třeba je posuzovat na únosnost.

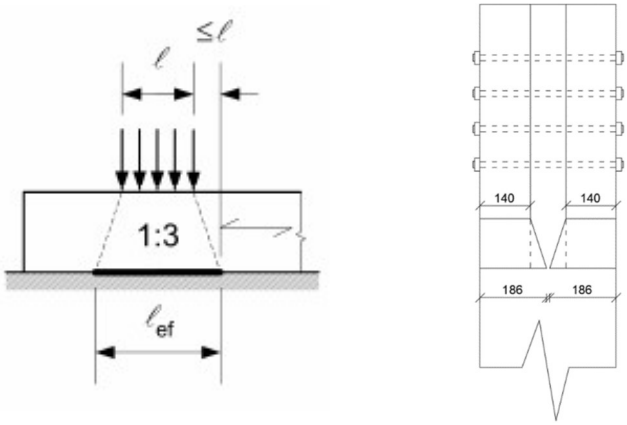
5.6.1. Posouzení únosnosti spoje

$N_{Ed,c}$ = 129,28 kN
A – otlačená plocha

A = 280 x 260 mm
A = 72 800 mm^2

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{Ed,c}}{A} = \frac{129{,}2.10^3}{72\,800} = 1{,}7\ MPa$$

<u>Otlačení</u>



Obrázek 27: Otlačení sloup - vazník

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l} = \frac{372}{280} = 1{,}33$$

redukovaná pevnost ve směru zatížení:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90}\,.\,f_{c,90,d}}.\sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{23{,}04}{\frac{23{,}04}{1{,}33\,.\,1{,}8}.\sin(90)^2 + \cos(90)^2}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 2{,}4\ MPa$$

Posouzení:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

$1{,}7 \leq 2{,}4\ [MPa]$ -> **VYHOVUJE**

6. Přehled navržených prvků

V následující tabulce jsou shrnuty všechny konečné rozměry prvků a řešení spojů, které byly vypočteny a navrženy.

Název prvku	Typ dřeva/oceli	Rozměry [mm]
konstrukční prvky		
vaznice	C24	160 x 220
sloup	C24	260 x 380
horní pás	LLD GL 32h	2x 140/600
vzpěry - vzpínadlo	C24	130 x 100
rozpěra	C24	140 x 180
středové vzpěry	C24	380 x 220
táhlo Protah P48	ocel S355	⌀ 48 mm
štítové sloupky	C24	160 x 300
ztužidla		
táhlo Protah P20	ocel S355	⌀ 20 mm

Tabulka 10: Přehled konstrukčních prvků

Název spoje	svorníky		plechy	
vzpěra - sloup	8 x M20, 5.8	konstrukční	P15 135x435mm	konstrukční
vzpěrky - horní pás	5 x M16, 5.8	nosné	/	
táhlo - horní pás	/		380x150x80 mm	nosná
vaznice - horní pás	spoj proveden trámovou botkou			
vazník - sloup	4 x M20, 5.8	konstrukční	/	

Tabulka 11: Přehled spojů

7. Zdroje

7.1. 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.

7.2. Literatura

[7] PORTEOUS, Jack a Abdy KERMANI. *Structural timber design to Eurocode 5*. Malden, MA: Blackwell Pub., 2007. ISBN 978-14051-4638-8.

[8] KUKLÍK, Petr, Anna KUKLÍKOVÁ a Karel MIKEŠ. *Dřevěné konstrukce 1: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03980-9.

[9] MIKEŠ, Karel. *Stabilita prutových soustav: akademická přednáška* [online]. Praha, 2019.

7.3. Katalogové listy

[10] *Cfix systems: systém táhel Protah* [online]. Praha. Dostupné z: https://cfix.cz/system-tahel-protah/

[11] *Simpson Strong-Tie: trámová botka GSE* [online]. Pleasanton, CA, 2019. Dostupné také z: https://www.strongtie.cz/products/detail/tramova-botka-gse/44#tab-plans

[12] *Isover: Saint - gobain* [online]. Praha, 2019. Dostupné z: https://www.isover.cz/dokumenty/list?sorting_documentation=Popularity

[13] *Fermacell* [online]. Praha, 2019. Dostupné také z: https://www.fermacell.cz/cz/ke-stazeni

7.4. Použitý software

MS Word 2016 – studentská licence Office 360

MS Excel 2016 – studentská licence Office 360

SCIA Engineer 18.0.0 – studentská licence

AutoCAD 2016 – studentská licence