VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STATICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCÍ DŘEVĚNÝCH HALOVÝCH OBJEKTŮ

STATIC SOLUTION OF WOOD HALL STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE FILIP KOCH
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. LUDĚK BRDEČKO, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Filip Koch
Název	Statické řešení konstrukcí dřevěných halových objektů
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Luděk Brdečko, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2011

V Brně dne 30. 11. 2011

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

[1] EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
[2] EN 1991-1-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
[3] EN 1991-1-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.
[4] EN 1991-1-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.
[5] EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
[6] ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla pro pozemní stavby
[7] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 1: Navrhování a konstrukční materiály, KODR, Zlín, 2004.
[8] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 2: Navrhování detailů a nosných systémů, KODR, Zlín, 2004.
[9] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, Komentář k ČSN 73 1702, ČKAIT, Praha, 2008.

Zásady pro vypracování

Práce se zabývá vytvořením alternativních modelů zastřešení dřevěných hal. Cílem je navrhnout, posoudit a zhodnotit alternativy řešení nosného systému konstrukce, včetně detailů.
Dílčí cíle budou zaměřeny na tvorbu výpočtového modelu střešní konstrukce, stanovení zatížení, kombinací zatížení, výpočtu vnitřních sil a přemístění konstrukce a následné statické posouzení vybraných prvků, popřípadě detailů.
Pro výpočet vnitřních sil a přemístění bude využit vhodný MKP program. Výchozími předpisy pro stanovení zatížení a provedení posudků bude systém Eurokodů [1-5], popřípadě platná norma [6].

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Luděk Brdečko, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je navržení a posouzení zastřešení skladovací haly. Práce řeší 4 odlišné typy střešních konstrukcí pro halu o půdorysných rozměrech 12 x 24 m. Pro každou konstrukci je stanovena geometrie, zatížení, vnitřní síly a proveden posudek vybraných prvků. Práce se dále zabývá důležitými konstrukčními detaily a jejich řešením. Lokalita umístění haly: Brno.

Klíčová slova

dřevo, dřevěná konstrukce, lepený sedlový vazník, příhradová konstrukce, táhlo, vaznice, zastřešení haly

Abstract

The subject of the thesis is the design and assessment of the roof storage shed. The work addresses four different types of roof structures for hall´s ground plan in size of 12 x 24 m. For each structure is defined geometry, loads, internal forces and drawing up of the opinion of selected elements. The thesis also concerns some important structural details and their solutions. Location of the hall: Brno.

Keywords

wood, wooden structure, glued truss saddle, lattice structure, rod, purlin, hall roof

Bibliografická citace VŠKP

KOCH, Filip. *Statické řešení konstrukcí dřevěných halových objektů.* Brno, 2012. 90 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Luděk Brdečko, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 23.5.2012

……

podpis autora

Poděkování

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Luďkovi Brdečkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

V Brně dne 23.5.2012

……
podpis autora

Obsah

Úvod ..... **- 11 -**
1 Počáteční podmínky ..... **- 12 -**
2 Vaznice a OSB bednění ..... **- 13 -**
2.1 Výpočet zatížení ..... - 13 -
2.2 Kombinace ..... - 16 -
2.2.1 Mezní stav únosnosti ..... - 16 -
2.2.2 Mezní stav použitelnosti ..... - 16 -
2.3 Statické schéma ..... - 17 -
2.4 Výpočet vnitřních sil a posouzení ..... - 17 -
2.4.1 Výpočet vnitřních sil ..... - 17 -
2.4.2 Posouzení na ohyb ..... - 17 -
2.4.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti ..... - 18 -
3 Příhradový vazník ..... **- 20 -**
3.1 Obecná charakteristika ..... - 20 -
3.2 Geometrie ..... - 20 -
3.3 Výpočet zatížení ..... - 20 -
3.3.1 Zatížení stálé ..... - 21 -
3.3.2 Zatížení sněhem ..... - 21 -
3.3.3 Zatížení větrem ..... - 22 -
3.4 Zatěžovací stavy a kombinace ..... - 24 -
3.4.1 Zatěžovací stavy ..... - 24 -
3.4.2 Kombinace ..... - 25 -
3.5 Statické schéma ..... - 25 -
3.6 Výpočet a průběh vnitřních sil ..... - 25 -
3.7 Návrh dimenzí a posouzení ..... - 27 -
3.7.1 Obecný postup ..... - 27 -
3.7.2 Návrh a posouzení horního pásu ..... - 29 -
3.7.3 Návrh a posouzení dolního pásu ..... - 30 -
3.7.4 Návrh a posouzení diagonál ..... - 31 -
3.7.5 Návrh a posouzení svislic ..... - 32 -
3.7.6 Návrh a posouzení přípoje ..... - 34 -
3.8 Mezní stav použitelnosti ..... - 40 -
4 Sedlový plnostěnný vazník z lepeného lamelového dřeva ..... **- 42 -**
4.1 Obecná charakteristika ..... - 42 -
4.2 Geometrie ..... - 42 -
4.3 Výpočet zatížení ..... - 42 -
4.3.1 Zatížení stálé ..... - 42 -
4.3.2 Zatížení sněhem ..... - 43 -
4.3.3 Zatížení větrem ..... - 43 -
4.4 Zatěžovací stavy a kombinace ..... - 44 -
4.5 Statické schéma ..... - 45 -

4.6 Výpočet a průběh vnitřních sil - 45 -
4.7 Posouzení na mezní stav únosnosti - 46 -
4.7.1 Posouzení v místě σ_{max} na napětí od ohybu - 46 -
4.7.2 Posouzení ve vrcholu - 47 -
4.7.3 Smyk v podpoře - 48 -
4.8 Posouzení na mezní stav použitelnosti - 48 -
4.9 Přeposouzení mezního stavu únosnosti - 50 -
4.9.1 Posouzení v místě σ_{max} na napětí od ohybu - 50 -
4.9.2 Posouzení ve vrcholu - 50 -
4.9.3 Smyk v podpoře - 50 -
5 Vzpínadlo - 51 -
5.1 Obecná charakteristika - 51 -
5.2 Geometrie - 51 -
5.3 Výpočet zatížení - 51 -
5.3.1 Zatížení stálé - 51 -
5.3.2 Zatížení sněhem - 52 -
5.3.3 Zatížení větrem - 52 -
5.4 Zatěžovací stavy a kombinace - 54 -
5.5 Statické schéma - 54 -
5.6 Výpočet a průběh vnitřních sil - 54 -
5.7 Výpočet a průběh vnitřních sil - 55 -
5.8 Posouzení na mezní stav únosnosti - 57 -
5.8.1 Posouzení trámu z lepeného lamelového dřeva - 57 -
5.8.2 Posouzení sloupků - 60 -
5.8.3 Posouzení vzpínadla a přípoje u paty sloupku (svar) - 60 -
5.9 Posouzení na mezní stav použitelnosti - 63 -
6 Věšadlo - 65 -
6.1 Obecná charakteristika - 65 -
6.2 Geometrie - 65 -
6.3 Výpočet zatížení - 65 -
6.3.1 Zatížení stálé - 65 -
6.3.2 Zatížení sněhem - 66 -
6.3.3 Zatížení větrem - 66 -
6.4 Zatěžovací stavy a kombinace - 68 -
6.5 Statické schéma - 69 -
6.6 Výpočet a průběh vnitřních sil - 69 -
6.7 Posouzení na mezní stav únosnosti - 71 -
6.7.1 Posouzení krokve - 71 -
6.7.2 Posouzení věšadla - 73 -
6.7.3 Posouzení vzpěry - 74 -
6.7.4 Posouzení táhla - 75 -
6.7.5 Posouzení tesařských spojů - 76 -

6.7.6 Posouzení spoje táhla ..... - 82 -
6.8 Posouzení na mezní stav použitelnosti ..... - 85 -
Závěr ..... - 86 -
Seznam použitých zdrojů ..... - 88 -
Seznam použitých zkratek a symbolů ..... - 89 -

Úvod

Dřevo je jedním ze základních konstrukčních materiálů a pro stavební účely bylo člověkem využíváno už v nejstarších dobách. K rozšíření a vývoji dřevěných staveb a konstrukcí přispívají především dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti a relativně snadná dostupnost tohoto materiálu, která se odráží na jeho nižší ceně díky obnovitelnosti tohoto materiálu. V současné době se dřevěné konstrukce uplatňují především v oblasti zastřešení budov, jako konstrukce halových objektů nebo u dřevostaveb rodinných domů. Dřevo jako konstrukční materiál se používá především ve formě rostlého dřeva, lepeného lamelového dřeva, materiálů na bázi dřeva (překližované, dřevotřískové nebo dřevovláknité desky) a jiné.

Tato práce se zabývá řešením 4 alternativních typů zastřešení (konstrukcemi ze dřeva) pro halové objekty. Jedná se o příhradový vazník, sedlový vazník z lepeného lamelového dřeva, konstrukci se vzpínadlem a věšadlo. Pro každou střešní konstrukci byl vytvořen výpočtový model, stanoveny hodnoty zatížení a jejich kombinace. Dále byl proveden výpočet vnitřních sil případně přemístění konstrukcí za pomoci studentské verze programu Scia Engineer 2011.1. Následně bylo provedeno statické posouzení vybraných prvků daných konstrukcí, popřípadě některých konstrukčních detailů. Závěr práce shrnuje a částečně porovnává výsledky získané pro jednotlivé konstrukce.

Pro všechny typy konstrukcí byly stanoveny stejné počáteční podmínky, ze kterých se dále vycházelo při návrhu geometrie, výpočtu klimatických zatížení, a jiné.

Jednotlivé části práce, pro každý typ zastřešení, vždy obsahují obecnou charakteristiku konstrukce, geometrii, výpočtový model, popis a výpočet zatížení, postup stanovení vnitřních sil a jejich průběhy, statické posouzení daných prvků, popřípadě detailů. Jsou zde uvedeny i problémy, které se vyskytly při posuzování a případně jejich vyřešení.

1 Počáteční podmínky

Pro možnost závěrečného porovnání konstrukcí byly stanoveny stejné výchozí podmínky.

- Rozměry halového objektu – 12 x 24m
- Požadovaná světlá výška uvnitř objektu – 4m
- Zděný obvodový plášť tvoří podpěrnou konstrukci zastřešení
- Řešení a posouzení vodorovného ztužení objektu není předmětem této práce
- Uvažovaná lokalita výstavby – Brno, Jihomoravský kraj
- Skladba střešního pláště stanovena orientačně pro účely výpočtu zatížení vlastní tíhou.
    - Bednění – OSB desky tl. 25mm
    - Tepelná izolace tl. 100mm
    - Hydroizolace
- Typ krajiny - normální

2 Vaznice a OSB bednění

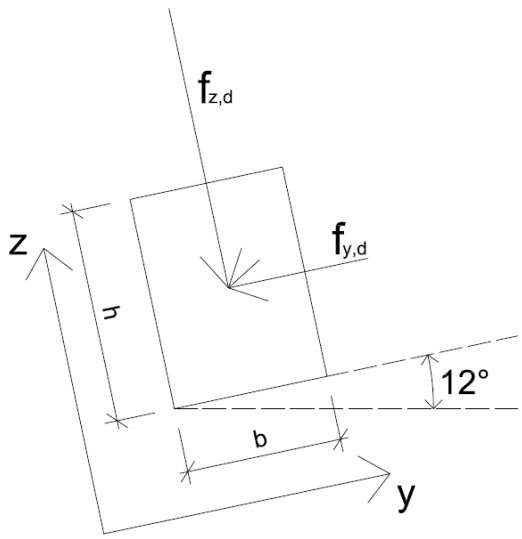
Vaznice byla navržena a posouzena pro použití na příhradovém vazníku, tzn., že zatížení vychází z předpokladů pro příhradový vazník (zde se jedná zejména o větrové oblasti) a délka vaznice je dána vzdáleností jednotlivých vazeb (zvoleny tak, aby vaznice vyhověla i na II. MS). Z daných hodnot byl navržen vhodný průřez a dále byla spočtena vlastní tíha prvku. Tíha vaznice se objevuje ve stálém zatížení u všech řešených konstrukcí a je brána jako hodnota orientační (průřez ani osová vzdálenost vaznic nejsou přepočítávány na měnící se sklon střech, menší rozpětí vazeb, atd.).

Materiál vaznice je jehličnaté dřevo třídy C20. Navrhovaný průřez: b=80mm, h=110mm. Délka vaznice je l=2,4m.

Pro OSB desky tloušťky 25 mm se doporučuje maximální vzdálenost podpor 600 mm. Při větším rozpětí sice deska přenáší zatížení a odolává na ohyb, z hlediska II. MS použitelnosti je však její průhyb nepřípustný. Z tohoto rozpětí vychází osová vzdálenost vaznic: L = 600 mm.

2.1 Výpočet zatížení

Zatížení pro vaznici bylo převzato z příhradového vazníku (viz. 3.3 Výpočet zatížení). Jelikož je vaznice namáhána na ohyb k oběma hlavním osám, bylo zatížení rozloženo na složky ve směru *y* a *z*.



Obr. 2.1: Rozložení zatížení na vaznici

$f_{z,d} = cos\alpha\ f_d$

$f_{y,d} = sin\alpha\ f_d$

$\alpha = 12°\ (sklon\ střešní\ roviny\ příhradového\ vazníku)$

$f_d\ \ je\ svislé\ návrhové\ zatížení$

Vítr působí kolmo k rovině střechy, proto je započítán pouze do zatížení ve směru z.

Vlastní tíha vaznice:

$g_{vaznice,k} = b\ h\ G_{vaznice,k}$

$G_{vaznice,k} = 3{,}9\ \ kN/m^3\ \ \ (objemová\ tíha)$

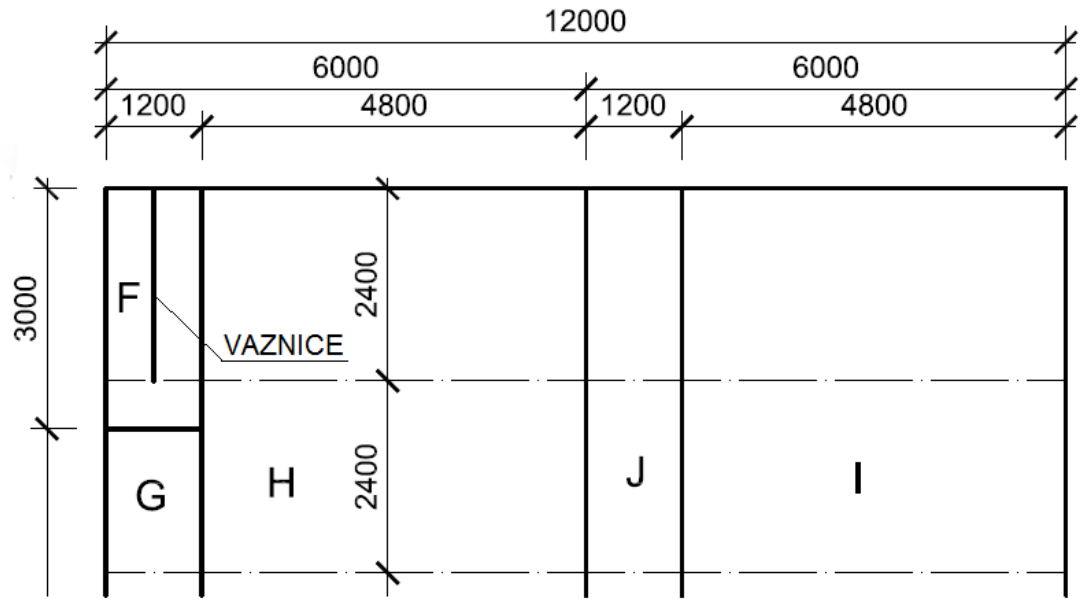
Vítr, podle směru a místa působení vzhledem k danému objektu, vyvolává jak tlak, tak i sání na střešní plášť a tím i na vaznici. Střešní plášť byl rozdělen na větrové oblasti a pro každou z nich byly stanoveny hodnoty součinitelů $C_{pe,10.}$ Tlak větru působí na střešní plášť rovnoměrně a jeho hodnota je pro všechny oblasti stejná (směr větru Θ=0°, oblasti F, G, H). Sání větru se pro jednotlivé oblasti výrazně liší, proto byly spočteny hodnoty namáhání pro všechny možné způsoby podle umístění vaznice. Po stanovení kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů bylo zjištěno, že sání větru není pro vaznici rozhodující (nejnepříznivější namáhání způsobuje kombinace: stále + sníh + vítr (tlak)).

Tab. 2.1: Vaznice - hodnoty součinitele $C_{pe,10}$

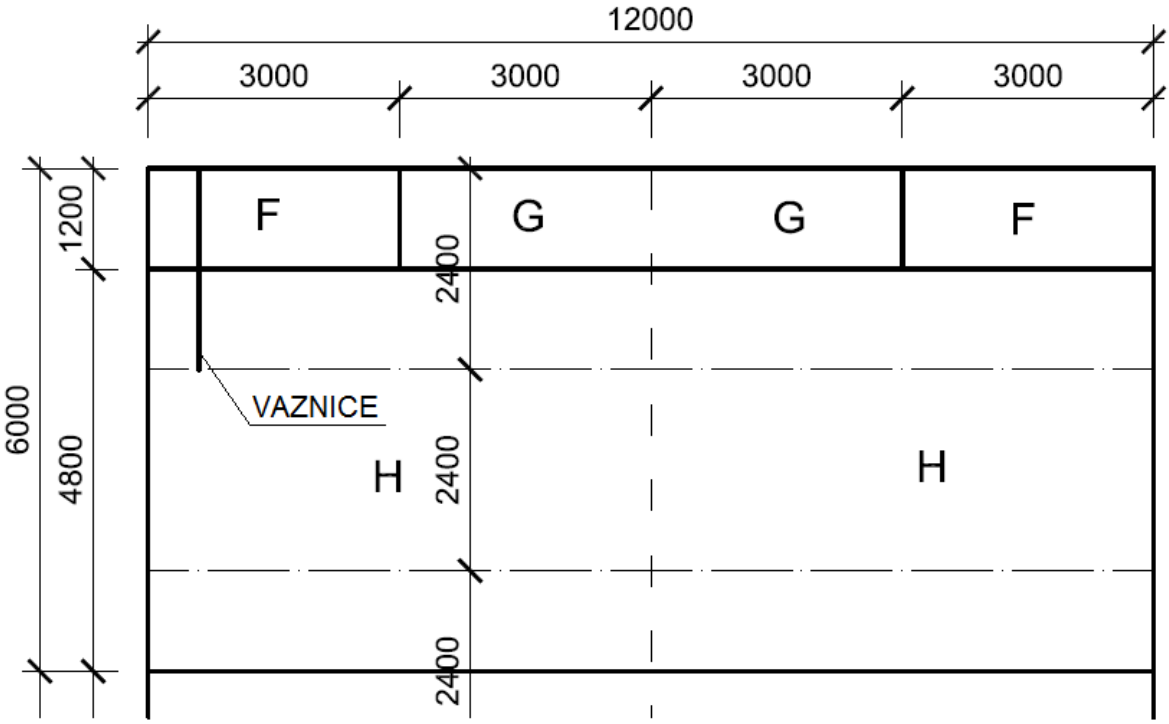
Hodnoty součinitele $C_{pe,10}$			
Oblast	směr větru Θ=0°		směr větru Θ=90°
	$C_{pe,10}$		$C_{pe,10}$
F	-1,14	0,14	-1,39
G	-0,92	0,14	-1,3
H	-0,39	0,14	-0,63
I	-0,46	-0,18	-0,53
J	-0,64	-0,18	-

Tab. 2.2: Vaznice - zatížení

Druh zatížení	Zatížení [kN/m^2]	Zatěžovací šířka [m]	Spojité zatížení [kN/m]	Směr y [kN/m]	Směr z [kN/m]
tíha pláště	0,55	0,6	0,33	0,069	0,323
tíha vaznice 80x110mm	-	-	0,034	0,007	0,033
vítr (tlak)	0,11	0,6	0,066	0,000	0,066
sníh	0,8	0,6	0,48	0,100	0,470



Obr. 2.2: Poloha vaznice pro max. sání při směru větru Θ=0°



Obr. 2.3: Poloha vaznice pro max. sání při směru větru Θ=90°

2.2 Kombinace

2.2.1 Mezní stav únosnosti

Nejnepříznivější namáhání způsobuje kombinace: zatížení stále, sníh a vítr (tlak). Kombinace pro mezní stav únosnosti byla spočtena podle rovnice:

$$\gamma_{G,j,sup}\, G_{k,j,sup} + \gamma_{Q,1}\, Q_{k,1} + \gamma_{Q,2}\, \psi_{0,2}\, Q_{k,2}$$

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

$\gamma_{Q,i} = 1{,}50$

$\psi_{0,2} = 0{,}6\ (pro\ zatížení\ větrem)$

$G_{k,j,sup}$ $je\ hodnota\ stálého\ zatížení$

$Q_{k,1}$ $je\ hodnota\ hlavního\ proměného\ zatížení\ (sníh)$

$Q_{k,2}$ $je\ hodnota\ vedlejšího\ proměného\ zatížení\ (vítr)$

Z této rovnice plyne, že návrhové spojité zatížení na vaznici je rovno:

$$f_{d,y} = 1{,}35 \cdot (0{,}069 + 0{,}007) + 1{,}5 \cdot 0{,}1 + 1{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}0 = 0{,}25\ kN/m$$

$$f_{d,z} = 1{,}35 \cdot (0{,}323 + 0{,}033) + 1{,}5 \cdot 0{,}47 + 1{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}066 = 1{,}25\ kN/m$$

2.2.2 Mezní stav použitelnosti

Pro posouzení na II.MS byla použita kombinace charakteristická (pro okamžitý průhyb) a kombinace kvazistálá (pro konečný průhyb).

2.2.2.1 Kombinace charakteristická:

$$w_{INST} = w_{INST,G} + w_{INST,Q_1} + \psi_{0,2} * w_{INST,Q_2}$$

$w_{INST,G} = \frac{5}{384}\frac{g_k\, l^4}{E\, I}$ …pro zatížení stálá

$w_{INST,Q_i} = \frac{5}{384}\frac{q_{i,k}\, l^4}{E\, I}$ …pro zatížení proměnná

w_{INST} $je\ hodnota\ okamžitého\ průhybu$

$w_{INST,G}$ $je\ hodnota\ okamžitého\ průhybu\ od\ stálého\ zatížení$

w_{INST,Q_i} $je\ hodnota\ okamžitého\ průhybu\ od\ i-tého\ proměného\ zatížení$

$\psi_{0,2} = 0{,}6\ (pro\ zatížení\ větrem)$

Musí být splněna následující podmínka: $w_{INST} \leq \frac{L}{500}$

2.2.2.2 Kombinace kvazistálá:

$$w_{FIN} = w_{INST,G}\left(1 + k_{def}\right) + w_{INST,Q_1}\left(1 + \psi_{2,1}\, k_{def}\right) + w_{INST,Q_2}\left(\psi_{0,2} + \psi_{2,2}\, k_{\mathrm{def}}\right)$$

w_{FIN} *je hodnota konečného průhybu*

$k_{def} = 0{,}8$ (*pro rostlé dřevo a třídu vlhkosti* 2)

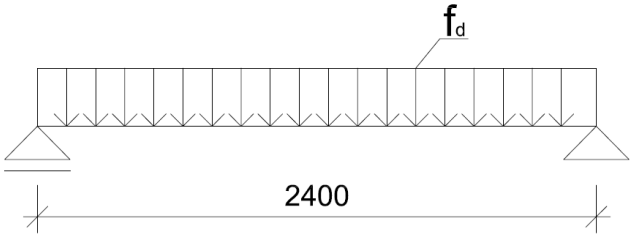
$\psi_{2,1} = 0$ (*pro zatížení sněhem u staveb umístěných ve výšce* $H < 1000m\ n.m.$)

$\psi_{2,2} = 0$ (*pro zatížení větrem*)

Musí být splněna následující podmínka: $w_{FIN} \leq \frac{L}{300}$

2.3 Statické schéma

Statické schéma vaznice bylo řešeno jako prostý nosník.



Obr. 2.4: Statické schéma vaznice

2.4 Výpočet vnitřních sil a posouzení

Výpočet byl částečně zautomatizován pomocí tabulkového programu EXCEL, který po zadání vstupních dat provedl posouzení vaznice na ohyb a II.MS.

2.4.1 Výpočet vnitřních sil

$$M_{y,d} = \frac{1}{8}\, f_{d,z}\, l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1{,}25 \cdot 2{,}4^2 = 0{,}9\ kNm$$

$$M_{z,d} = \frac{1}{8}\, f_{d,y}\, l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0{,}25 \cdot 2{,}4^2 = 0{,}18\ kNm$$

2.4.2 Posouzení na ohyb

Posouzení na ohyb musí splňovat následující podmínky:

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

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

$k_m = 0{,}7$ pro rostlé dřevo obdelníkového průřezu

$$\sigma_{m,y(z),d} = \frac{M_{y(z),d}}{W_{y(z)}}$$

$$W_y = \frac{1}{6}\, b\, h^2$$

$$W_z = \frac{1}{6}\, b^2\, h$$

$$f_{m,d} = k_{mod}\, \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{m,k} = 20\ MPa$$

$$\gamma_M = 1{,}3\ (dřevo\ rostlé)$$

$$k_{mod} = 0{,}9\ \ (dřevo\ rostlé, třída\ vlhkosti\ 2, zatížení\ krátkodobé)$$

Tab. 2.3: Vaznice - posouzení na ohyb

b =	0,08	m	$f_{m,k}$ =	20	MPa
h =	0,11	m	k_{mod} =	0,9	
$M_{y,d}$ =	0,9	kNm	γ_M =	1,3	
$M_{z,d}$ =	0,18	kNm	$f_{m,d}$ =	13,85	MPa
A =	8,80E-03	m^2	k_m =	0,7	
W_y =	1,61E-04	m^3	$\sigma_{m,y,d}$ =	5,58	MPa
W_z =	1,17E-04	m^3	$\sigma_{m,z,d}$ =	1,53	MPa
		1. podmínka:	0,39	≤	1,0
		2. podmínka:	0,48	≤	1,0

2.4.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Tab. 2.4: Výpočet okamžitého a konečného průhybu

L =	2,4	m	Zatížení								
b =	0,08	m	Stálé			Sníh			Vítr		
h =	0,11	m	g_y =	0,076	kN/m	s_y =	0,1	kN/m	w_y =	0	kN/m
I_y =	8,87E-06	m4									
I_z =	4,69E-06	m4	g_z =	0,356	kN/m	s_z =	0,47	kN/m	w_z =	0,066	kN/m
E_{mean} =	9500	MPa									
K_{def} =	0,8		$w_{inst,y,G}$ =	0,74	mm	$w_{inst,y,Q1}$ =	0,97	mm	$w_{inst,y,Q2}$ =	0,00	mm
$\Psi_{0,2}$ =	0,6		$w_{inst,z,G}$ =	1,82	mm	$w_{inst,z,Q1}$ =	2,41	mm	$w_{inst,z,Q2}$ =	0,34	mm
$\Psi_{2,1}$ =	0		$w_{inst,G}$ =	1,97	mm	$w_{inst,Q1}$ =	2,60	mm	$w_{inst,Q2}$ =	0,34	mm
$\Psi_{2,2}$ =	0										
Okamžitý průhyb - charakteristická kombinace w_{inst} =						4,77	mm	≤	$w_{inst,lim}$=	4,8	mm
Konečný průhyb - kvazistálá kombinace w_{fin} =						6,34	mm	≤	$w_{fin,lim}$=	8	mm

$$w_{INST} = 4{,}77\ mm\ \leq \frac{L}{500} = 4{,}8\ mm\ \ \Longrightarrow VYHOVUJE$$

$$w_{FIN} = 6{,}34\ mm\ \leq \frac{L}{300} = 8{,}0\ mm\ \ \Longrightarrow VYHOVUJE$$

Z těchto posouzení vyplývá, že vaznice je na únosnost značně předimenzovaná a že na přenesení daného zatížení by stačil menší profil. Vzhledem k meznímu stavu použitelnosti je však nutno použít navrhovaný průřez 80 x 110 mm.

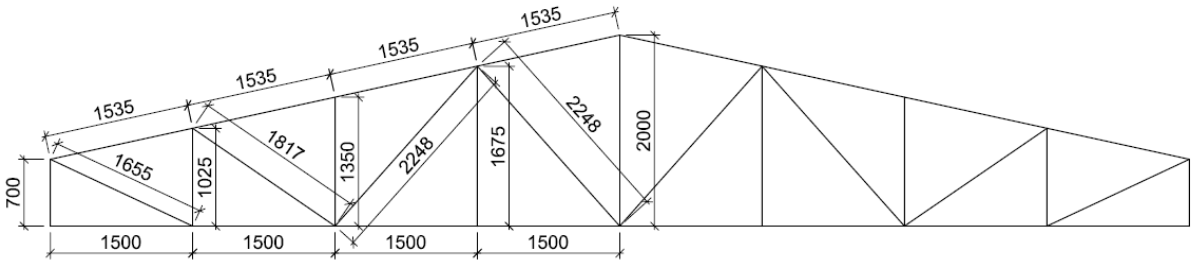
3 Příhradový vazník

3.1 Obecná charakteristika

Příhradový vazník je rovinná prutová soustava, skládající se z horního a dolního pásu, svislic a diagonál. Jednotlivé prvky jsou vzájemně spojovány ve styčnících. Tvar, geometrii a polohu prvků (např. stoupající nebo klesající diagonála) lze vhodně stanovit tak, aby docházelo k účinnému přenosu zatížení do podpor a zároveň k nejpříznivějšímu namáhání jednotlivých prvků. Příhradový vazník nachází uplatnění jako zastřešení halových objektů, popřípadě u staveb, kde nejsou žádné požadavky na využití půdního prostoru. Velkou výhodou je možnost prefabrikace těchto konstrukcí, která zkrátí čas montáže na stavbě.

3.2 Geometrie

Výchozím údajem je požadované rozpětí L=12m. Krajní výška vazníku byla stanovena na 0,7m a výška ve středu rozpětí na 2,0m. Výhodné je takové uspořádání, kdy lze veškeré zatížení ze střešního pláště (vlastní tíha, vítr, sníh,…) přenést přes vaznice do konstrukce vazníku v místě styčníků a tak výrazně omezit nebo zcela vyloučit namáhání prvků horního pásu na ohyb. Takové uspořádání by však vyžadovalo na horním pásu styčníky po cca 0,6m (OSB deska musí být po této vzdálenosti podporována vaznicemi z důvodu požadavku na mezní stav použitelnosti – musí vyhovět na průhyb) a to by značně zvýšilo počet svislic a diagonál (větší množství použitého materiálu). Od tohoto záměru bylo upuštěno a prvky horního pásu byly dimenzovány na účinky normálových sil i ohybových momentů. Další výhodou bylo navržení dvou krajních diagonál jako prvky klesající (levý konec je výše než pravý). Tyto diagonály jsou nejvíce namáhané a je výhodné, pokud jsou zatěžovány tahem.



Obr. 3.1: Geometrie příhradového vazníku

3.3 Výpočet zatížení

Pro konstrukci bylo stanoveno zatížení stálé, zatížení sněhem a zatížení větrem. Jelikož se jedná o střešní konstrukci, předpokládá se zařazení střechy do kategorie H (střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav) dle Tabulky 6.9 – Kategorizace střech z ČSN EN 1991-1-1 [1]. Jelikož se podle této normy nemá uvažovat současné působení užitného zatížení a zatížení větrem nebo sněhem, a dále kombinace zatížení stálého a užitného není rozhodující, nebylo zatížení užitné počítáno. Ostatní zatížení byla počítána dle daných platných norem.

3.3.1 Zatížení stálé

Zatížení obsahuje tíhu střešního pláště, vaznic a samotného vazníku. Hodnoty zatížení jsou přepočteny na spojité zatížení [kN/m]. Vlastní tíhu vazníku počítá program Scia Engineer.

Tab. 3.1: Příhradový vazník – stálé zatížení

		zatížení [kN/m^2]	ZŠ [m]	zatížení [kN/m]
Střešní plášť	OSB desky	0,175	2,4	0,42
	Tepelná izolace	0,25	2,4	0,60
	Hydroizolace	0,12	2,4	0,29
Vaznice	(přepočteny na spojité zatížení na vazník)			0,15
celkem				1,46

3.3.2 Zatížení sněhem

Toto zatížení bylo vypočteno v souladu s ČSN EN 1991-1-3 [2]. Bylo uvažováno zatížení navátým i nenavátým sněhem. Typ krajiny je podle počátečních podmínek uvažován jak normální. Sněhová oblast II.

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi S_k = 1 kPa

Součinitel okolního prostředí C_e = 1,0

Tepelný součinitel C_t = 1,0

Tvarový součinitel zatížení sněhem μ_i = 0,8

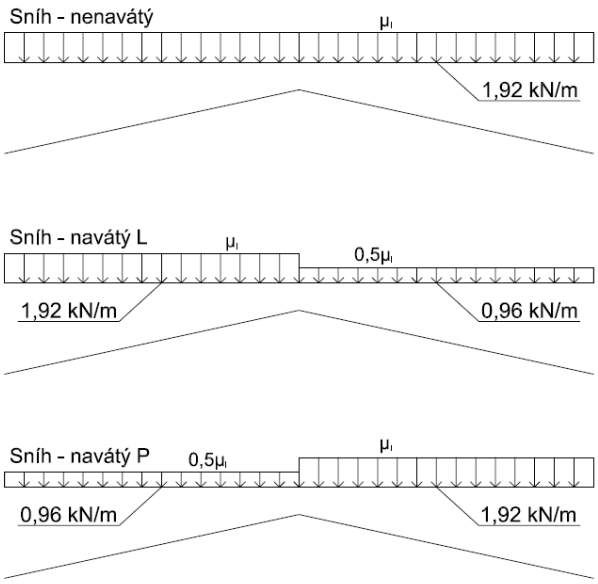
$$S_1 = S_k\, C_e\, C_t\, \mu_i = 1 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}8\ kN/m^2$$

$$S_2 = S_k\, C_e\, C_t\, 0{,}5\mu_i = 1 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}4\ kN/m^2$$

Vynásobením zatěžovací šířkou 2,4m dostaneme hodnoty:

$$s_1 = 2{,}4 \cdot 0{,}8 = 1{,}92\ kN/m$$

$$s_2 = 2{,}4 \cdot 0{,}4 = 0{,}96\ kN/m$$



Obr. 3.2: Zatížení navátým a nenavátým sněhem

3.3.3 Zatížení větrem

Toto zatížení bylo vypočteno v souladu s ČSN EN 1991-1-4 [3]. Součinitele tlaku $C_{pe,10}$ byly stanoveny pro sedlovou střechu se sklonem 12° interpolací hodnot pro 5° a 15°. Jelikož je krajní vazník zatěžován jen z poloviční zatěžovací šířky a celkové zatížení tak vychází příznivěji oproti ostatním vazníkům, bylo stanoveno jako nejnepříznivější působení vítr ve směru kolmém na podélnou osu haly (Θ = 0°) a uvažovány oblasti v rozsahu zatěžovací šířky druhého (v pořadí od kraje) vazníku.

Větrová oblast II.

Kategorie terénu II.

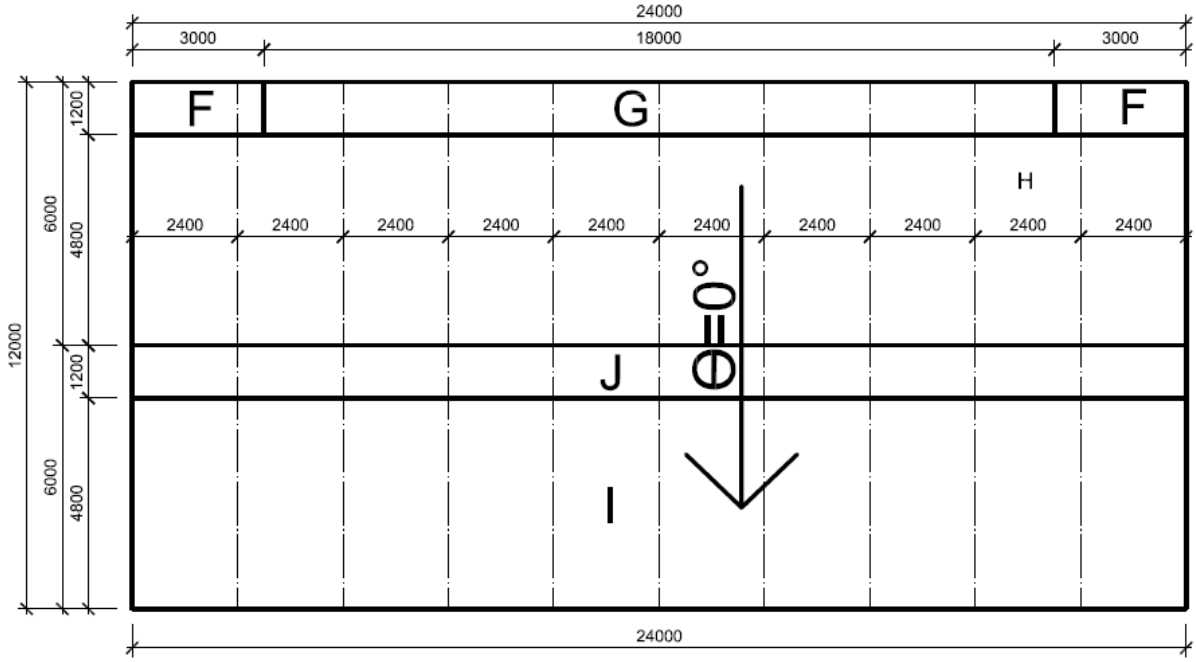
Referenční výška z_e = 6m

Sklon střechy α = 12°

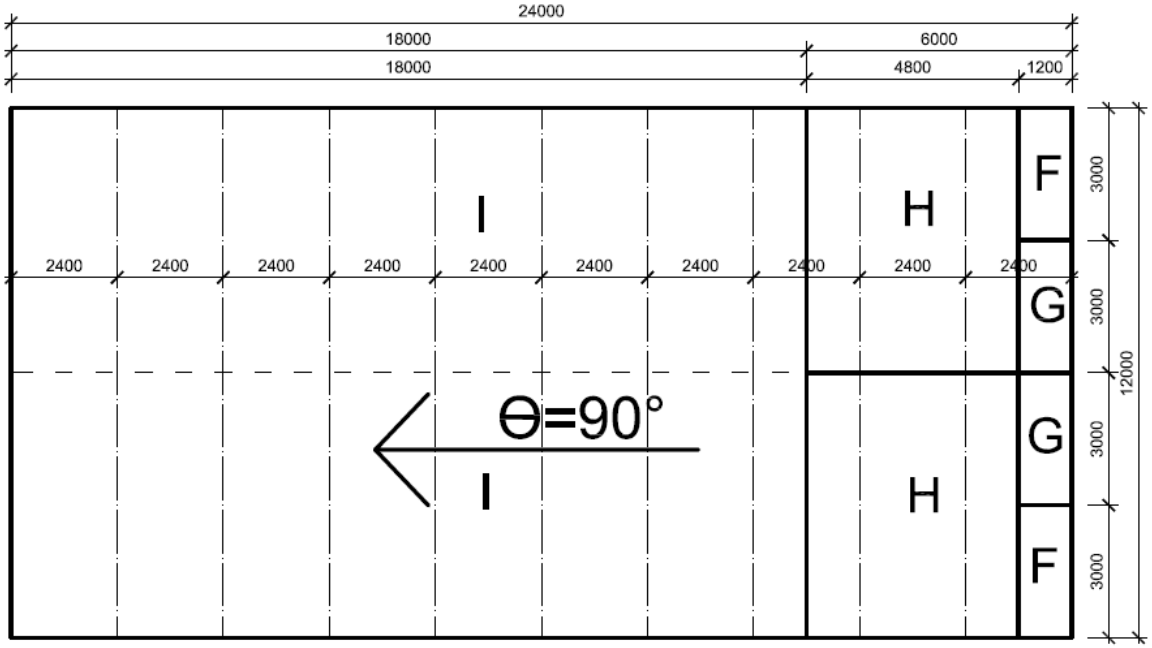
VÝCHOZÍ ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU $v_{b,0}$	=	25,00	m/s
SOUČINITEL SMĚRU VĚTRU C_{dir}	=	1,00	PRO ČR
SOUČINITEL ROČNÍHO OBDOBÍ C_{SEASON}	=	1,00	
ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU V_b		**25,00**	m/s
SOUČINITEL OROGRAFIE $C_{o(Z)}$	=	1,0	
PARAMETR DRSNOSTI PRO KATEGORII II. $Z_{o,II}$	=	0,050	PRO ČR
PARAMETR DRSNOSTI ZVOLENÉ KATEGORIE Z_0	=	0,050	
SOUČINITEL TERÉNU K_r	=	0,190	
SOUČINITEL DRSNOSTI PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $C_{r(Z)}$	=	0,910	
STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU $V_{m(Z)}$	=	22,74	m/s
SOUČINITEL TURBOLENCE K_I	=	1,0	PRO ČR
INTENZITA TURBOLENCE PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $I_{v(Z)}$	=	0,209	
HODNOTA MĚRNÉ HMOTNOSTI ρ	=	1,25	kg/m^3
MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK $q_{p(z)}$	**=**	**0,80**	kN/m^2

Tab. 3.2: Hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ pro příhradový vazník

Oblast	směr větru Θ=0°		směr větru Θ=90°
	$C_{pe,10}$		$C_{pe,10}$
F	-1,14	0,14	-1,39
G	-0,92	0,14	-1,3
H	-0,39	0,14	-0,63
I	-0,46	-0,18	-0,53
J	-0,64	-0,18	-

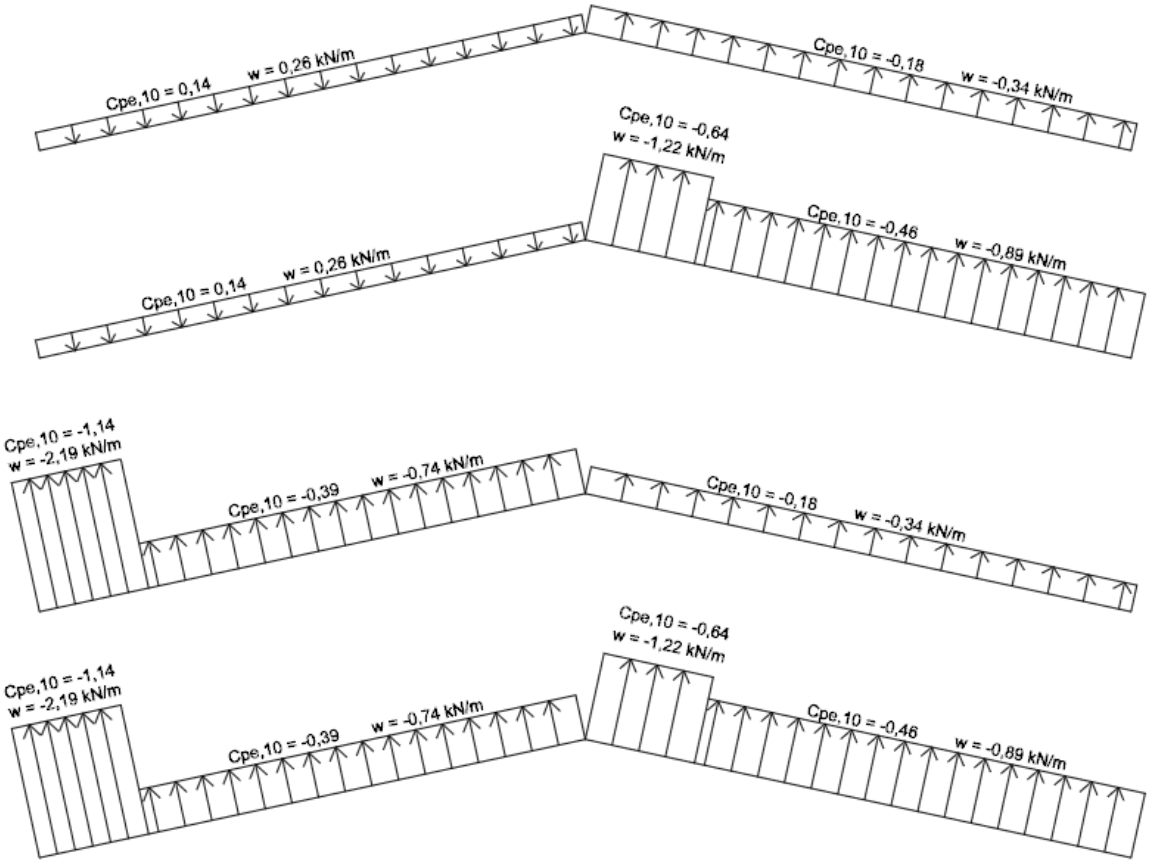


Obr. 3.3: Větrové oblasti pro Θ = 0°



Obr. 3.4: Větrové oblasti pro Θ=90°

Pro zatížení větrem (Θ = 0°) je možné vytvořit 4 různé kombinace působení větru na střešní plášť. Kombinují se minimální a maximální hodnoty stanovené pro dané poloviny střech.



Obr. 3.5: Intenzity zatížení větrem

3.4 Zatěžovací stavy a kombinace

3.4.1 Zatěžovací stavy

Pro příhradovou konstrukci byly vytvořeny tyto zatěžovací stavy:

- ZS1 – Stálé zatížení
- ZS2 – Sníh nenavátý
- ZS3 – Sníh navátý L
- ZS4 – Sníh navátý P
- ZS5–ZS8 – Vítr

Popis, velikost a schéma zatížení je uvedeno výše pro každý typ zatížení.

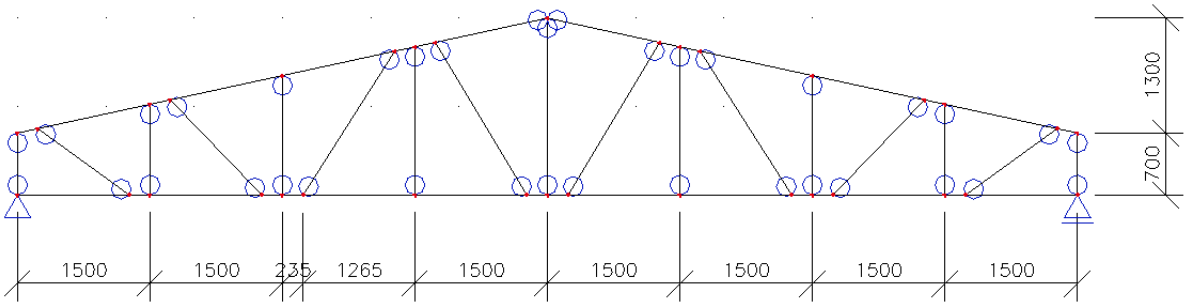
3.4.2 Kombinace

Kombinace pro mezní stav únosnosti byly provedeny v programu SCIA Engineer 2011.1. Kombinace vychází z platné normy ČSN EN 1990 [4]. Pro mezní stav únosnosti byl nastaven typ kombinace: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

Zatěžovací stavy ZS2 – ZS4 (sníh) byly zařazeny do skupiny zatížení Sníh. ZS5 – ZS8 byly zařazeny do skupiny zatížení Vítr. Obě skupiny byly nastaveny jako výběrové, tak aby při výpočtu kombinací bylo použito vždy maximálně jedno zatížení z dané skupiny.

3.5 Statické schéma

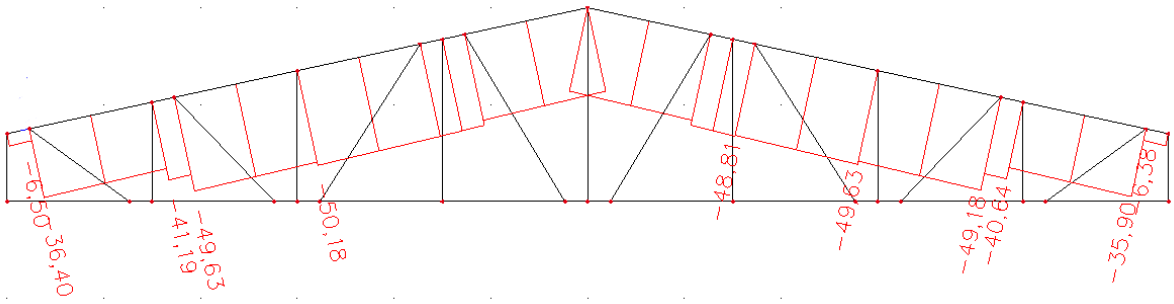
Konstrukce vazníku byla řešena jako příhradová konstrukce prostě podepřená. V programu Scia Engineer byly horní a dolní pás modelovány jako průběžné prvky. Diagonály a svislice byly připojeny kloubově. Do modelu byly zahrnuty excentricity v přípojích (e = 235 mm), aby dále nemusely být uvažovány při posuzování spoje. (Nejprve byly spočteny vnitřní síly bez excentricit, byl navržen nejnamáhanější styčník a z něj byla zavedena excentricita do modelu.)



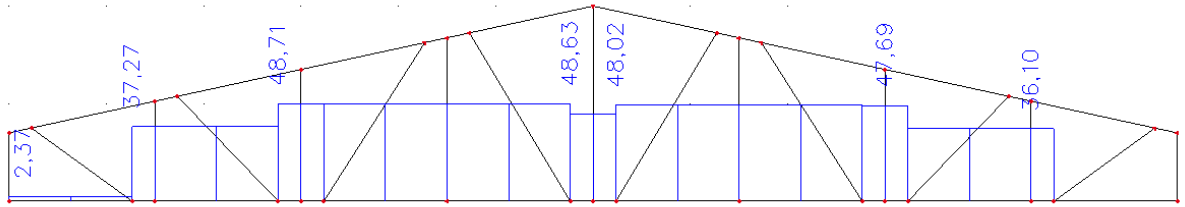
Obr. 3.6: Statické schéma vazníku

3.6 Výpočet a průběh vnitřních sil

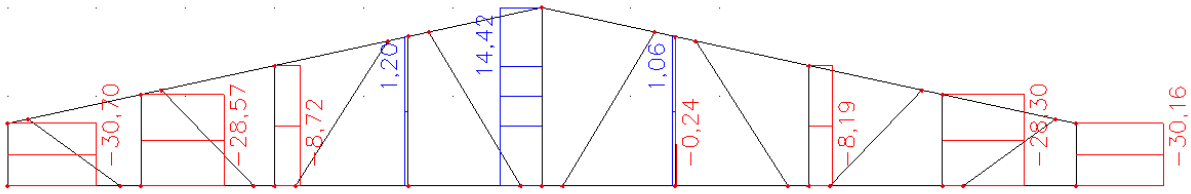
Výpočet vnitřních sil byl proveden programem SCIA Engineer 2011.1. Výstupem této části jsou normálové síly v jednotlivých prvcích konstrukce a ohybové momenty v horním a dolním pásu. Hodnoty jsou vykresleny jako schéma průběhu vnitřních sil. Uvedené hodnoty jsou v kN a kNm. Pro lepší přehlednost byly průběhy vykresleny odděleně podle typu prvku.



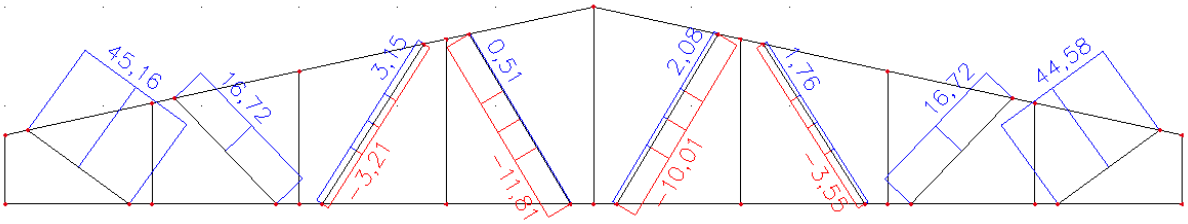
Obr. 3.7: Průběh N na horním pásu příhradového vazníku



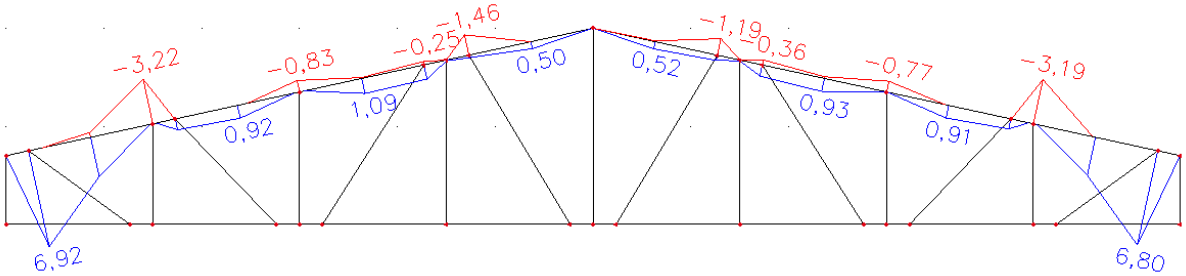
Obr. 3.8: Průběh N na dolním pásu příhradového vazníku



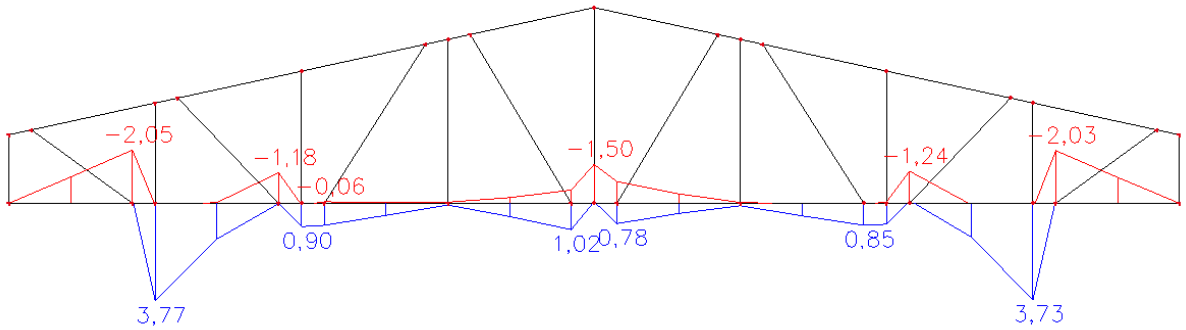
Obr. 3.9: Průběh N na svislicích příhradového vazníku



Obr. 3.10: Průběh N na diagonálách příhradového vazníku



Obr. 3.11: Průběh M na horním pásu příhradového vazníku



Obr. 3.12: Průběh M na dolním pásu příhradového vazníku

3.7 Návrh dimenzí a posouzení

Posouzení bylo provedeno podle ČSN EN 1995-1-1 [5]. Vybrané prvky byly posouzeny na nejnepříznivější hodnoty namáhání v tahu, v tlaku (vzpěr), horní pás vazníku pak i na kombinaci tlak a ohyb a dolní pás vazníku na kombinaci ohyb a tah. Dále byl proveden návrh a posouzení vybraného styčníku.

Z průběhu vnitřních sil vychází, že dolní pás bude namáhán pouze tahem a ohybem. To je velmi výhodné, jelikož v opačném případě by dimenzování dolního pásu znesnadňovaly velké vzpěrné délky.

Pro přehlednost bude nejprve uveden obecný postup a až poté samotné posouzení prvků.

Jako materiál bylo použito jehličnaté dřevo třídy C24.

3.7.1 Obecný postup

3.7.1.1 Tah rovnoběžně s vlákny

Podmínka: $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$

Návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A}$ [MPa]

Návrhová únosnost v tahu rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$ [MPa]

$N_{t,0,d}$ návrhová tahová síla

A plocha průřezu oslabeného spojovacími prostředky

k_{mod} modifikační součinitel (0,9 pro rostlé dřevo a krátkodobé zatížení)

$f_{t,0,k}$ charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny

γ_M dílčí součinitel vlastností materiálu (1,3 pro rostlé dřevo)

3.7.1.2 Tlak rovnoběžně s vlákny (vzpěr)

Podmínka: $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1{,}0$

Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A}$ [MPa]

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$ [MPa]

Součinitel vzpěrnosti: $k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$ (musí platit, že kc ≤ 1,0), kdy:

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

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$L_{cr} = \beta\, L$$

$$\mathrm{i} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$N_{c,0,d}$ návrhová tlaková síla

$f_{c,0,k}$ charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

$E_{0,05}$ modul pružnosti ve směru vláken, 5% kvantil

L délka prvku, na které může dojít ke ztrátě stability

B_c 0,2 pro rostlé dřevo

3.7.1.3 Kombinace ohybu a tlaku rovnoběžně s vlákny

Podmínka: $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1{,}0$

Návrhové napětí za ohybu: $\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$ [MPa]

Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A}$ [MPa]

Návrhová pevnost za ohybu: $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$ [MPa]

Součinitel klopení: $k_m = 1{,}0$

$M_{E,d}$ návrhová hodnota ohybového momentu

$f_{m,k}$ charakteristická hodnota pevnosti za ohybu

W_y průřezový modul

3.7.1.4 Kombinace ohybu a tahu rovnoběžně s vlákny

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

Návrhové napětí za ohybu: $\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$ [MPa]

Návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A}$ [MPa]

Návrhová pevnost za ohybu: $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$ [MPa]

Součinitel klopení: $k_m = 1{,}0$

$N_{t,0,d}$ návrhová hodnota tahové síly

$f_{t,0,k}$ charakteristická hodnota pevnosti v tahu rovnoběžně s vlákny

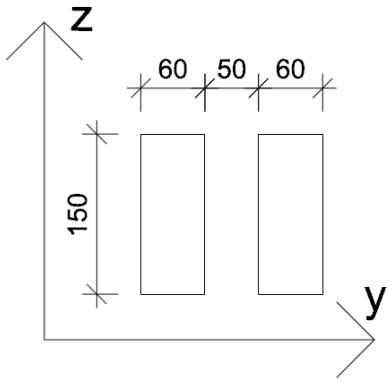
3.7.2 Návrh a posouzení horního pásu

Horní pás vazníku byl posouzen na tlak (vzpěr) a kombinaci namáhání ohyb a tlak. Předpokládá se, že horní pás je zabezpečen proti vybočení z roviny vazníku vaznicemi a daným střešním pláštěm.

Max. návrhový ohybový moment $M_{E,d}$ = 6,92 kNm

a příslušná návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 36,4 kN

Max. návrhová tlaková síla $N_{c,0,d,1}$ = 50,18 kN



Obr. 3.13: Průřez horního pásu vazníku

Tab. 3.3: Posouzení horního pásu příhradového vazníku

Ohyb + tlak		
$M_{E,d}$ =	6,92	kNm
$N_{c,0,d}$ =	36,4	kN
$f_{m,k}$ =	24	MPa
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa
W =	4,50E-04	m^3
k_{mod} =	0,9	
γ_M =	1,3	
A =	0,0156	m^2
k_m =	1	
$\sigma_{c,0,d}$ =	2,02	MPa
$\sigma_{m,d}$ =	15,38	MPa
$f_{c,0,d}$ =	14,54	MPa
$f_{m,d}$ =	16,62	MPa
0,94	≤	1,0
VYHOVUJE		

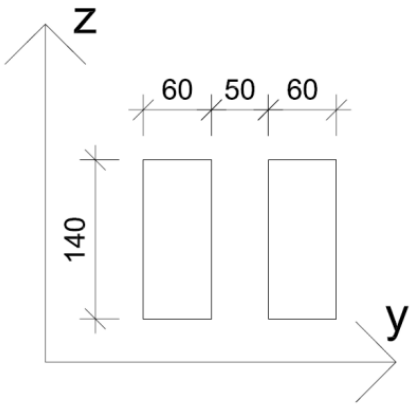
Tlak (vzpěr) kolmo na osu y		
$N_{c,0,d,1}$ =	50,18	kN
$\sigma_{c,0,d}$ =	2,79	MPa
I =	3,38E-05	m^4
A =	0,0156	m^2
$E_{0,05}$ =	7,4	GPa
i =	0,043	m
L=	1,535	m
β =	0,9	
L_{cr} =	1,382	m
λ =	31,90	
λ_{rel} =	0,54	
β_c =	0,2	
k =	0,67	
k_c =	0,94	
0,20	≤	1,0
VYHOVUJE		

3.7.3 Návrh a posouzení dolního pásu

Dolní pás vazníku byl posouzen na kombinaci tah (rovnoběžně s vlákny) a ohyb. Pro přenesení tahových sil a ohybových momentů je vyhovující menší průřez než konečný navržený. Jeho velikost však bylo nutné upravit tak, aby bylo možné navrhnout a provést dostatečně únosné přípoje diagonál a svislic.

Max. návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 48,71 kN
Příslušný ohybový moment $M_{E,d}$ = 1,18 kNm

Max. návrhový ohybový moment $M_{E,d,1}$ = 3,77 kNm
Příslušná návrhová tahová síla $N_{t,0,d,1}$ = 37,27 kN



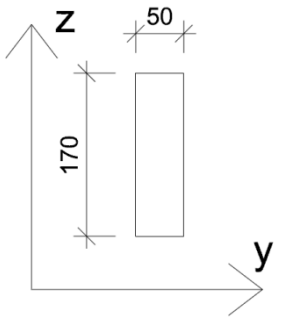
Obr. 3.14: Průřez dolního pásu vazníku

Tab. 3.4: Posouzení dolního pásu příhradového vazníku

$M_{E,d}$ =	1,18	kNm		$M_{E,d}$ =	3,77	kNm
$N_{t,0,d}$ =	48,71	kN		$N_{t,0,d}$ =	37,27	kN
A =	0,0144	m^2		A =	0,0144	m^2
W_y =	3,92E-04	m^3		W_y =	3,92E-04	m^3
$\sigma_{m,d}$ =	3,01	MPa		$\sigma_{m,d}$ =	9,62	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	3,27	MPa		$\sigma_{t,0,d}$ =	2,50	MPa
$f_{m,k}$ =	24	MPa		$f_{m,k}$ =	24	MPa
$f_{t,0,k}$ =	14	MPa		$f_{t,0,k}$ =	14	MPa
k_{mod} =	0,9			k_{mod} =	0,9	
γ_M =	1,3			γ_M =	1,3	
$f_{m,d}$ =	16,62	MPa		$f_{m,d}$ =	16,62	MPa
$f_{t,0,d}$ =	9,69	MPa		$f_{t,0,d}$ =	9,69	MPa
0,52	≤	1,0		0,84	≤	1,0
VYHOVUJE				VYHOVUJE		

3.7.4 Návrh a posouzení diagonál

Jak bylo na začátku předpokládáno, tak první dvě krajní nejvíce zatěžované diagonály jsou namáhány tahem. U ostatních se střídá namáhání tahem a tlakem. Tlakové namáhání v tomto případě může být problematické zvláště kvůli větším vzpěrným délkám. Konečné rozměry prvku byly opět přizpůsobeny pro provedení spoje.



Obr. 3.15: Průřez diagonály

Max. návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 45,16 kN

Tab. 3.5: Posouzení diagonály na tah

$N_{t,0,d}$ =	45,16	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,0075	m^2	γ_M =	1,3	
$f_{t,0,k}$ =	14	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,69	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	6,02	MPa	0,62	≤	1,0
TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY - VYHOVUJE					

Max. návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 11,81 kN

Délka prvku L = 2,01 m

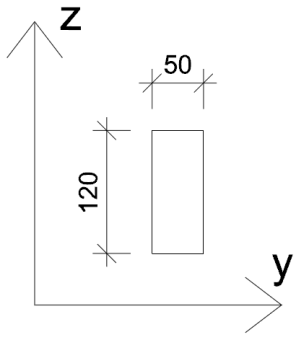
Prvek byl posouzen na tlak (vzpěr) v rovině menší tuhosti tzn. tak, aby nevybočil kolmo na osu z. V druhém směru je odolnost proti vybočení podstatně větší (větší výška).

Tab. 3.6: Posouzení diagonály na tlak (vzpěr)

			i =	0,015	m
$N_{c,0,d}$ =	11,81	kN	L=	2,01	m
A =	0,0075	m^2	β =	0,9	
$\sigma_{c,0,d}$ =	1,57	MPa	L_{cr} =	1,809	m
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	λ =	117,76	
k_{mod} =	0,9		λ_{rel} =	2,00	
γ_M =	1,3		β_c =	0,2	
$f_{c,0,d}$ =	14,54	MPa	k =	2,66	
I =	1,77E-06	m^4	k_c =	0,23	
$E_{0,05}$ =	7,4	GPa	0,48	≤	1,0
TLAK (VZPĚR KOLMO NA OSU Z) - VYHOVUJE					

3.7.5 Návrh a posouzení svislic

Svislice byly posouzeny na namáhání tahem i tlakem. Stejně jako v přechozích případech, tak i zde byl nakonec konečný průřez upraven kvůli spoji.



Obr. 3.16: Průřez svislice

Max. návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 14,42 kN

Tab. 3.7: Posouzení svislice na tah rovnoběžně s vlákny

$N_{t,0,d}$ =	14,42	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,005	m^2	γ_M =	1,3	
$f_{t,0,k}$ =	14	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,69	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	2,88	MPa	0,30	≤	1,0
TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY - VYHOVUJE					

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 30,70 kN

Příslušná délka prvku L = 0,7 m

Prvek byl posouzen na tlak (vzpěr) v rovině menší tuhosti, tzn. tak aby nevybočil kolmo na osu z. V druhém směru je odolnost proti vybočení podstatně větší (větší výška).

Tab. 3.8: Posouzení svislice na tlak (vzpěr) – varianta 1

			i =	0,014	m
$N_{c,0,d}$ =	30,7	kN	L=	0,7	m
A =	0,005	m^2	β =	0,9	
$\sigma_{c,0,d}$ =	6,14	MPa	L_{cr} =	0,630	m
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	λ =	43,68	
k_{mod} =	0,9		λ_{rel} =	0,74	
γ_M =	1,3		β_c =	0,2	
$f_{c,0,d}$ =	14,54	MPa	k =	0,82	
I =	1,04E-06	m^4	k_c =	0,86	
$E_{0,05}$ =	7,4	GPa	0,49	≤	1,0
TLAK (VZPĚR KOLMO NA OSU Z) - VYHOVUJE					

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 28,57 kN

Příslušná délka prvku L = 1,025 m

Tab. 3.9: Posouzení svislice na tlak (vzpěr) – varianta 2

			i =	0,014	m
$N_{c,0,d}$ =	28,57	kN	L=	1,025	m
A =	0,005	m^2	β =	0,9	
$\sigma_{c,0,d}$ =	5,71	MPa	L_{cr} =	0,923	m
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	λ =	63,96	
k_{mod} =	0,9		λ_{rel} =	1,08	
γ_M =	1,3		β_c =	0,2	
$f_{c,0,d}$ =	14,54	MPa	k =	1,17	
I =	1,04E-06	m^4	k_c =	0,63	
$E_{0,05}$ =	7,4	GPa	0,63	≤	1,0
TLAK (VZPĚR KOLMO NA OSU Z) - VYHOVUJE					

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 8,72 kN

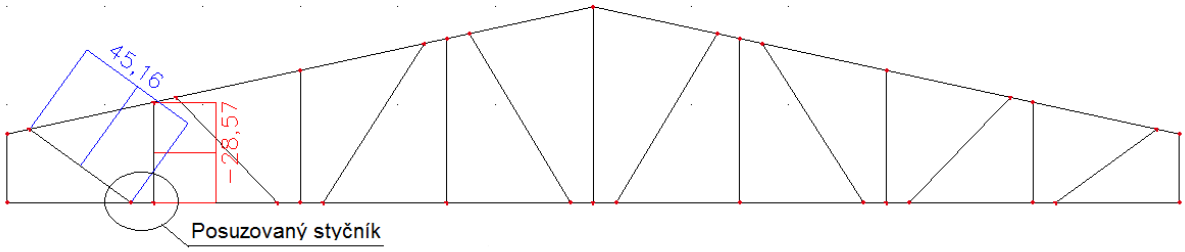
Příslušná délka prvku L = 1,35 m

Tab. 3.10: Posouzení svislice na tlak (vzpěr) – varianta 3

Tlak (vzpěr)			i =	0,014	m
$N_{c,0,d}$ =	8,72	kN	L=	1,35	m
A =	0,005	m^2	β =	0,9	
$\sigma_{c,0,d}$ =	1,74	MPa	L_{cr} =	1,215	m
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	λ =	84,25	
k_{mod} =	0,9		λ_{rel} =	1,43	
γ_M =	1,3		β_c =	0,2	
$f_{c,0,d}$ =	14,54	MPa	k =	1,63	
I =	1,04E-06	m^4	k_c =	0,41	
$E_{0,05}$ =	7,4	GPa	0,29	≤	1,0
TLAK (VZPĚR KOLMO NA OSU Z) - VYHOVUJE					

3.7.6 Návrh a posouzení přípoje

Pro návrh a posouzení přípoje byl vybrán nejnamáhanější spoj. O který styčník se jedná a jak je namáhám připojenými prvky lze vidět na obrázku.



Obr. 3.17: Umístění posuzovaného spoje

První variantou řešení styčníku bylo provedení spoje jako hřebíkový. Pro připojení diagonály a přenesení tahové síly $N_{t,d}$ = 45,16 kN by bylo potřeba do spoje umístit 29 hřebíků (d = 4 mm, l = 100mm). Pro připojení svislice by bylo potřeba 19 hřebíku na přenesení síly $N_{t,d}$ = 28,57 kN. Protože by takto velký počet hřebíků potřeboval větší plochu spoje a tak i výrazné zvětšení jednotlivých připojovaných prvků a dále by jeho provedení bylo velice náročné, bylo od této varianty řešení upuštěno.

Mnohem jednodušším řešením je v tomto případě použití kombinace svorníku s ozubenými hmoždíky typu Bulldog. Jelikož se jedná o dvojstřižný spoj, lze na jeden svorník použít hned dva hmoždíky a výrazně tak zlepšit únosnost spoje.

I toto řešení však vyžadovalo zvětšení průřezů jednotlivých prvků tak, aby se daly spojovací prvky do spoje vhodně umístit, aby bylo dosaženo požadované únosnosti a aby byly splněny požadavky na rozteče mezi prvky a vzdálenosti od okrajů a konců prvků.

Pro přehlednost zde budou opět uvedeny obecné vztahy použité pro stanovení únosnosti svorníku a hmoždíku a až následně proveden jejich výpočet.

3.7.6.1 Únosnost svorníku

Pro dvojstřižně namáhané spojovací prostředky se má charakteristická únosnost jednoho střihu spočítat následovně:

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

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

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

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

$$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015d \quad pro\ dřevo\ jehličnatých\ dřevin$$

$$M_{y,Rk} = 0{,}3 f_{u,k} d^{2,6}$$

t_1 tloušťka vnějšího prvku

t_2 tloušťka vnitřního prvku

d průměr spojovacího prvku

$f_{h,i,k}$ charakteristická pevnost v otlačení

$M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnost na vytažení spojovacího prostředku

β poměr mezi pevnostmi v otlačení

Pro jednu řadu tvořenou n svorníky rovnoběžně s vlákny se má únosnost rovnoběžně s vlákny spočítat s použitím účinného počtu svorníků n_{ef}.

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

a_1 rozteč mezi svorníky ve směru vláken

d průměr svorníku

n počet svorníků v řadě

Pro únosnost kolmo k vláknům se účinný počet svorníků uvažuje jako:

$$n_{ef} = n$$

Pro mezilehlé úhly se účinný počet svorníků zjistí interpolací předchozích hodnot.

Hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců byly stanoveny podle tab. 8.4 – Minimální hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky. [5]

3.7.6.2 Únosnost ozubeného hmoždíku

Charakteristická únosnost ozubeného hmoždíku pro dvojstranný typ se uvažuje takto:

$$F_{v,Rk} = 25 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5}$$

k_i modifikační součinitel

d_c průměr ozubeného hmoždíku

$$k_1 = min \begin{cases} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{cases}$$

t_1 tloušťka bočního prvku

t_2 tloušťka vnitřního prvku

h_e hloubka vniku zubu

$$k_2 = min \begin{cases} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1{,}5d_c} \end{cases}$$

$$a_{3,t} = max \begin{cases} 1{,}1d_c \\ 7d \\ 80\ mm \end{cases}$$

d průměr svorníku

$$k_3 = min \begin{cases} 1{,}5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases}$$

ρ_k charakteristická hustota dřeva

Hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců byly stanoveny podle tab. 8.8 – Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro ozubené hmoždíky typů C1 až C9. [5]

3.7.6.3 Výpočet celkové únosnosti spoje

Přípoj diagonály pod úhlem 36° musí přenést tahovou sílu 45,16 kN. Únosnost spoje zajišťují dva svorníky průměru 18 mm v kombinaci s hmoždíky typu Bulldog průměru 62 mm, které jsou umístěny na každém svorníku v obou spárách (tzn. 2x svorník, 4x ozubený hmoždík).

tloušťka bočního prvku t_1 =	60	mm
tloušťka vnitřního prvku t_2 =	50	mm
hloubka vniku zubu h_e =	7,4	mm
součinitel k_1 =	1	
char. hustota dřeva ρ_k =	350	kg/m^3
součinitel k_3 =	1	
průměr svorníku d =	18	mm
průměr ozubeného hmoždíku d_c=	62	mm
$a_{3,t}$ =	126	
součinitel k_2 =	1	

únosnost pro 1 hmoždík $F_{v,Rk}$ =	12,20	kN

Rozteče a vzdálenosti pro hmoždíky		
úhel k vláknům α =	36	°

rozteč rovnoběžně s vlákny a_1 =	89	mm
rozteč kolmo k vláknům a_2 =	74	mm
zatížený konec $a_{3,t}$ =	124	mm
nezatížený konec $a_{3,c}$ =	74	mm
zatížený okraj $a_{4,t}$ =	44	mm
nezatížený okraj $a_{4,c}$ =	37	mm

char. pevnost v otlačení $f_{h,0,k}$ =	23,53	MPa
součinitel k_{90} =	1,62	
char. pevnost v otlačení pro úhel α $f_{h,\alpha,k}$ =	19,38	MPa
char. pevnost v tahu $f_{u,k}$ =	360,00	MPa
char. hodnota plastického momentu $M_{y,Rk}$ =	132142,04	N/mm
poměr mezi pevnostmi β =	1,21	
vztah g =	20,93	kN
vztah h =	10,59	kN
vztah j =	9,81	kN
vztah k =	11,56	kN
únosnost jednoho střihu 1 svorníku $F_{v,Rk}$ =	9,81	kN

únosnost jednoho dvojstřižného svorníku $F_{v,Rk}$ =	19,63	kN

Rozteče a vzdálenosti pro svorníky		
rozteč rovnoběžně s vlákny a_1 =	87	mm
rozteč kolmo k vláknům a_2 =	72	mm
zatížený okraj $a_{4,t}$ =	54	mm
nezatížený okraj $a_{4,c}$ =	54	mm
zatížený konec $a_{3,t}$ =	126	mm
nezatížený konec $a_{3,c}$ =	72	mm

počet svorníků n_1 =	2	ks
počet hmoždíků na svorník n_2 =	2	ks
n_{ef} rovnoběžně s vlákny =	1,46	
n_{ef} kolmo na vlákna =	2	
n_{ef} pro úhel α =	1,67	

celková únosnost spoje $F_{v,Rk}$ =	81,66	kN
modifikační součinitel k_{mod} =	0,9	
dílčí souč. vlastnosti materiálu γ_M =	1,3	

návrhová únosnost spoje $F_{v,Rd}$ =	56,53	kN

F_{Ed} = 45,16 kN < $F_{v,Rd}$ = 56,53 kN - VYHOVUJE

Přípoj svislice kolmé na dolní pás vazníku musí přenést tlakovou sílu 28,57 kN. Únosnost spoje zajišťuje svorník průměru 20 mm v kombinaci s hmoždíky typu Bulldog průměru 62 mm, které jsou umístěny v obou spárách (tzn. 1x svorník, 2x ozubený hmoždík).

tloušťka bočního prvku t_1 =	60	mm
tloušťka vnitřního prvku t_2 =	50	mm
hloubka vniku zubu h_e =	7,4	mm
součinitel k_1 =	1	
char. hustota dřeva ρ_k =	350	kg/m^3
součinitel k_3 =	1	
průměr svorníku d =	20	mm
průměr ozubeného hmoždíku d_c=	62	mm
$a_{3,t}$ =	140	
součinitel k_2 =	1	

únosnost pro 1 hmoždík $F_{v,Rk}$ =	12,20	kN

Rozteče a vzdálenosti pro hmoždíky		
úhel k vláknům α =	90	°
rozteč rovnoběžně s vlákny a_1 =	74	mm
rozteč kolmo k vláknům a_2 =	74	mm
zatížený konec $a_{3,t}$ =	124	mm
nezatížený konec $a_{3,c}$ =	74	mm
zatížený okraj $a_{4,t}$ =	50	mm
nezatížený okraj $a_{4,c}$ =	37	mm

char. pevnost v otlačení $f_{h,0,k}$ =	22,96	MPa
součinitel k_{90} =	1,65	
char. pevnost v otlačení pro úhel α $f_{h,\alpha,k}$ =	13,92	MPa
char. pevnost v tahu $f_{u,k}$ =	360,00	MPa
char. hodnota plastického momentu $M_{y,Rk}$ =	173784,28	N/mm
poměr mezi pevnostmi β =	1,65	
vztah g =	16,70	kN
vztah h =	11,48	kN
vztah j =	9,34	kN
vztah k =	12,62	kN
únosnost jednoho střihu 1 svorníku $F_{v,Rk}$ =	9,34	kN

únosnost jednoho dvojstřižného svorníku $F_{v,Rk}$ =	18,69	kN

Rozteče a vzdálenosti pro svorníky		
rozteč rovnoběžně s vlákny a_1 =	80	mm
rozteč kolmo k vláknům a_2 =	80	mm
zatížený okraj $a_{4,t}$ =	60	mm
nezatížený okraj $a_{4,c}$ =	60	mm

zatížený konec $a_{3,t}$ =	140	mm
nezatížený konec $a_{3,c}$ =	80	mm

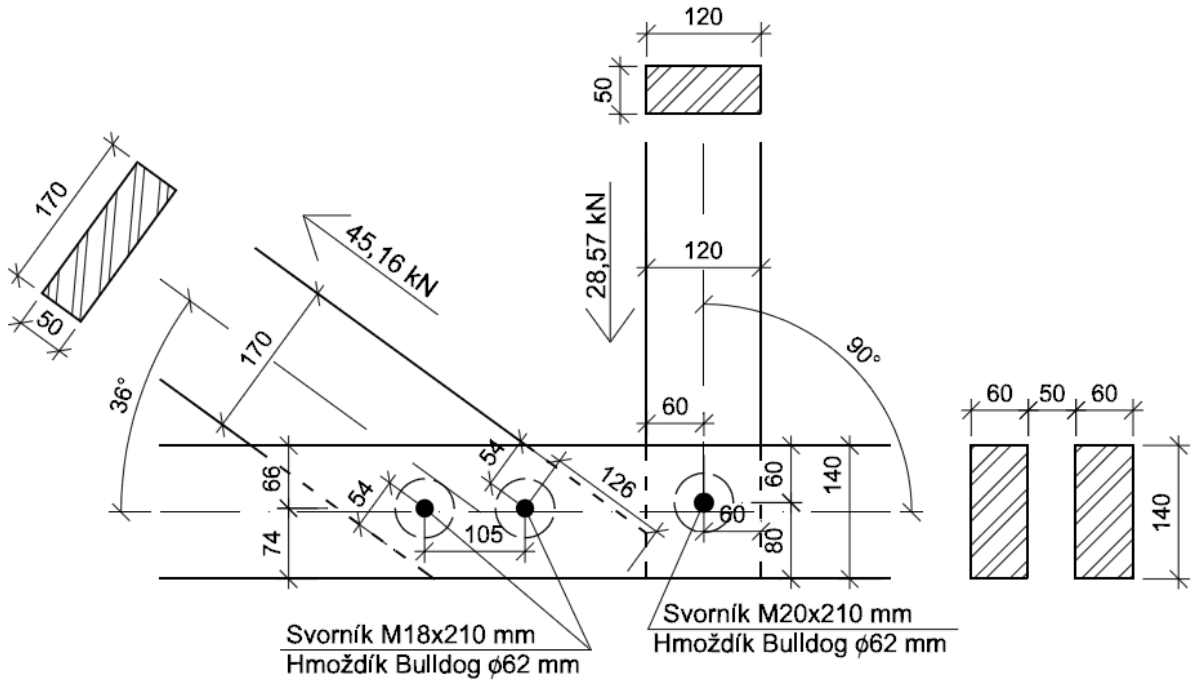
počet svorníků n_1 =	1	ks
počet hmoždíků na svorník n_2 =	2	ks
n_{ef} rovnoběžně s vlákny =	1	
n_{ef} kolmo na vlákna =	1	
n_{ef} pro úhel α =	1,00	

celková únosnost spoje $F_{v,Rk}$ =	43,09	kN
modifikační součinitel k_{mod} =	0,9	
dílčí souč. vlastnosti materiálu γ_M =	1,3	

návrhová únosnost spoje $F_{v,Rd}$ =	29,83	kN

F_{ed} = 28,57 kN < $F_{v,Rd}$ = 29,83 kN - VYHOVUJE

Navržené spojovací prvky bylo nutné do spoje vhodně rozmístit a zároveň dodržet požadavky na minimální rozteče a vzdálenosti od krajů a konců. Zejména tyto požadavky vedou ke zvětšování rozměrů spojovaných prvků. Rozmístění spojovacích prvků ve spoji je možno vidět na následujícím obrázku.



Obr. 3.18: Vybraný spoj příhradové konstrukce

3.8 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti byl orientačně posouzen metodou vycházející z principu virtuálních prací. Ve výpočtu nebylo uvažováno s prokluzem spojů, který může ve velké míře ovlivnit celkový průhyb konstrukce. Výsledné hodnoty průhybu slouží tedy spíše pro kontrolu, zda je takováto konstrukce vůbec reálná.

Dále bylo uvažováno, že největší průhyb konstrukce dosáhne při kombinaci zatížení stálého se zatížením sněhem. Byly stanoveny hodnoty normálových sil pro zatížení stálé, zatížení sněhem a dále pak pro sílu 1 kN působící na příhradový vazník v polovině rozpětí. Pro jednotlivé prvky vazníku byly počítány dílčí průhyby, jejichž součtem byl stanoven celkový okamžitý průhyb. Konečný průhyb byl pak již stanoven se součiniteli pro kvazistálou kombinaci.

Pro i-tý prvek byla stanovena dílčí hodnota průhybu následovně:

$$u_{inst,i} = \frac{N_i l_i N_{1kN,i}}{EA_i}$$

N_i hodnota normálové síly pro zatížení stálé (N_g) (popř. zatížení sněhem (N_q))

l_i délka i-tého prvku

$N_{1kN,i}$ hodnota normálové síly od zatížení 1 kN v polovině rozpětí (δN)

E průměrný modul průžnosti ($E_{0,mean}$ = 11 GPa)

A_i plocha průřezu i-tého prvku

Tab. 3.10: Výpočet průhybu příhradového vazníku

prvek	$N_{g,i}$	$N_{q,i}$	δN_i	l_i	A_i	$u_{inst,i,g}$	$u_{inst,i,q}$
S1	-10,37	-12,61	-0,53	700	6000	5,83E-05	7,09E-05
S2	-9,69	-11,44	-0,61	1025	6000	9,18E-05	1,08E-04
S3	-2,73	-3,3	0,01	1350	6000	-5,58E-07	-6,75E-07
S4	0,33	0,27	0,07	1675	6000	5,86E-07	4,80E-07
S5	5,04	5,75	0,54	2000	6000	8,25E-05	9,41E-05
S6	0,33	0,27	0,07	1675	6000	5,86E-07	4,80E-07
S7	-2,73	-3,3	0,01	1350	6000	-5,58E-07	-6,75E-07
S8	-9,69	-11,44	-0,61	1025	6000	9,18E-05	1,08E-04
S9	-10,37	-12,61	-0,53	700	6000	5,83E-05	7,09E-05
D1	15,38	17,95	0,9	1655	8500	2,45E-04	2,86E-04
D2	5,79	6,72	0,56	1817	8500	6,30E-05	7,31E-05
D3	-0,23	-0,24	-0,41	2248	8500	2,27E-06	2,37E-06
D4	-2,9	-3,41	0,25	2248	8500	-1,74E-05	-2,05E-05
D5	-2,9	-3,41	0,25	2248	8500	-1,74E-05	-2,05E-05
D6	-0,23	-0,24	-0,41	2248	8500	2,27E-06	2,37E-06
D7	5,79	6,72	0,56	1817	8500	6,30E-05	7,31E-05
D8	15,38	17,95	0,9	1655	8500	2,45E-04	2,86E-04
HP1	-12,37	-14,46	-0,71	1535	18000	6,81E-05	7,96E-05

HP2	-16,96	-19,81	-1,14	1535	18000	1,50E-04	1,75E-04
HP3	-17,12	-19,99	-1,14	1535	18000	1,51E-04	1,77E-04
HP4	-16,84	-19,64	-1,49	1535	18000	1,95E-04	2,27E-04
HP5	-16,84	-19,64	-1,49	1535	18000	1,95E-04	2,27E-04
HP6	-17,12	-19,99	-1,14	1535	18000	1,51E-04	1,77E-04
HP7	-16,96	-19,81	-1,14	1535	18000	1,50E-04	1,75E-04
HP8	-12,37	-14,46	-0,71	1535	18000	6,81E-05	7,96E-05
DP1	0	0	0	1500	16800	0,00E+00	0,00E+00
DP2	12,44	14,54	0,73	1500	16800	7,37E-05	8,62E-05
DP3	16,57	19,33	1,34	1500	16800	1,80E-04	2,10E-04
DP4	16,57	19,33	1,34	1500	16800	1,80E-04	2,10E-04
DP5	16,57	19,33	1,34	1500	16800	1,80E-04	2,10E-04
DP6	16,57	19,33	1,34	1500	16800	1,80E-04	2,10E-04
DP7	12,44	14,54	0,73	1500	16800	7,37E-05	8,62E-05
DP8	0	0	0	1500	16800	0,00E+00	0,00E+00
					celkem	2,96 mm	3,46 mm

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q} = 2{,}96 + 3{,}46 = 6{,}42\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{L}{500} = \frac{12000}{500} = 24\ mm$$

$$u_{inst} = 6{,}42\ mm\ \leq\ u_{inst,lim} = 24\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Konečný průhyb byl stanoven podle rovnice:

$$u_{fin} = u_{inst,G}\left(1 + k_{def}\right) + u_{inst,Q}(1 + \psi_{2,1}k_{def})$$

$$\psi_{2,1} = 0 \quad pro\ zatížení\ sněhem$$

$$k_{def} = 0{,}8 \quad pro\ rostlé\ dřevo\ a\ třídu\ vlhkosti\ 2$$

$$u_{fin} = 2{,}96(1 + 0{,}8) + 3{,}46(1 + 0 \cdot 0{,}8) = 8{,}79\ mm$$

$$u_{fin,lim} = \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40\ mm$$

$$u_{fin} = 8{,}79\ mm\ \leq\ u_{fin,lim} = 40\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Na tomto posouzení je vidět, že průhyb vyšel s velkou rezervou a lze tedy předpokládat, že by vyhověl i po započtení prokluzu.

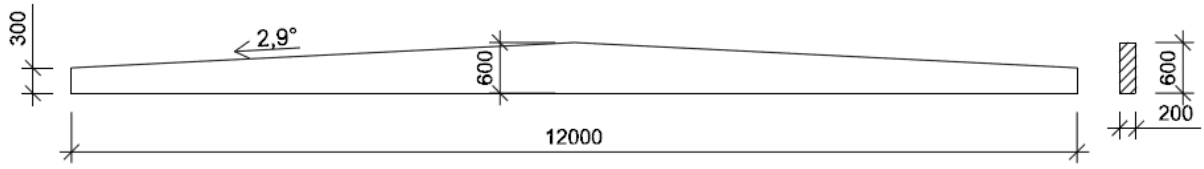
4 Sedlový plnostěnný vazník z lepeného lamelového dřeva

4.1 Obecná charakteristika

Konstrukce z lepeného lamelového dřeva se uplatňují zejména při zastřešení objektů o větším rozpětí. V současnosti však stále ještě nejsou příliš rozšířené i přes jejich některé velké výhody. Mezi ně patří například lepší mechanické vlastnosti v důsledku používání bezvadného dřeva (např. bez suků) a široké tvarové možnosti (lze provádět různě zakřivené nosníky apod.). U těchto konstrukcí je kromě správného návrhu důležitá i jejich výroba, aby následně nedocházelo k rozlepování lamel. Menší nevýhodou prvků z lepeného lamelového dřeva je v současnosti jejich vyšší cena (např. oproti rostlému dřevu).

4.2 Geometrie

Konstrukce je opět navrhována na rozpětí L = 12m. Prvky z lepeného lamelového dřeva se doporučuje navrhovat o max. tloušťce 240 mm (kvůli opracování dostupnými stroji). Tloušťka vazníku byla teda stanovena na b = 200 mm, krajní výška h_s = 0,3 m a výška ve vrcholu h_{ap} = 0,6 m. Sklon střešní roviny pak je α = 2,9°. Osová vzdálenost jednotlivých vazníku je 2,4 m.



Obr. 4.1: Geometrie vazníku z lepeného lamelového dřeva

4.3 Výpočet zatížení

Zatížení bylo stanoveno stejně jako pro případ příhradového vazníku. Změna je pouze u zatížení větrem, jelikož se v tomto případě jedná o plochou střechu.

4.3.1 Zatížení stálé

Tab. 4.1: Stálé zatížení pro sedlový vazník z lepeného lamelového dřeva

		zatížení [kN/m^2]	ZŠ [m]	zatížení [kN/m]
Střešní plášť	OSB desky	0,175	2,4	0,42
	Tepelná izolace	0,25	2,4	0,60
	Hydroizolace	0,12	2,4	0,29
Vaznice	(přepočteny na spojité zatížení na vazník)			0,15
Vlastní tíha	(objem*tíha)/rozpětí			0,315
celkem				1,77

4.3.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je stejné jako pro příhradový vazník. Viz. kapitola 3.3.2 Zatížení sněhem.

4.3.3 Zatížení větrem

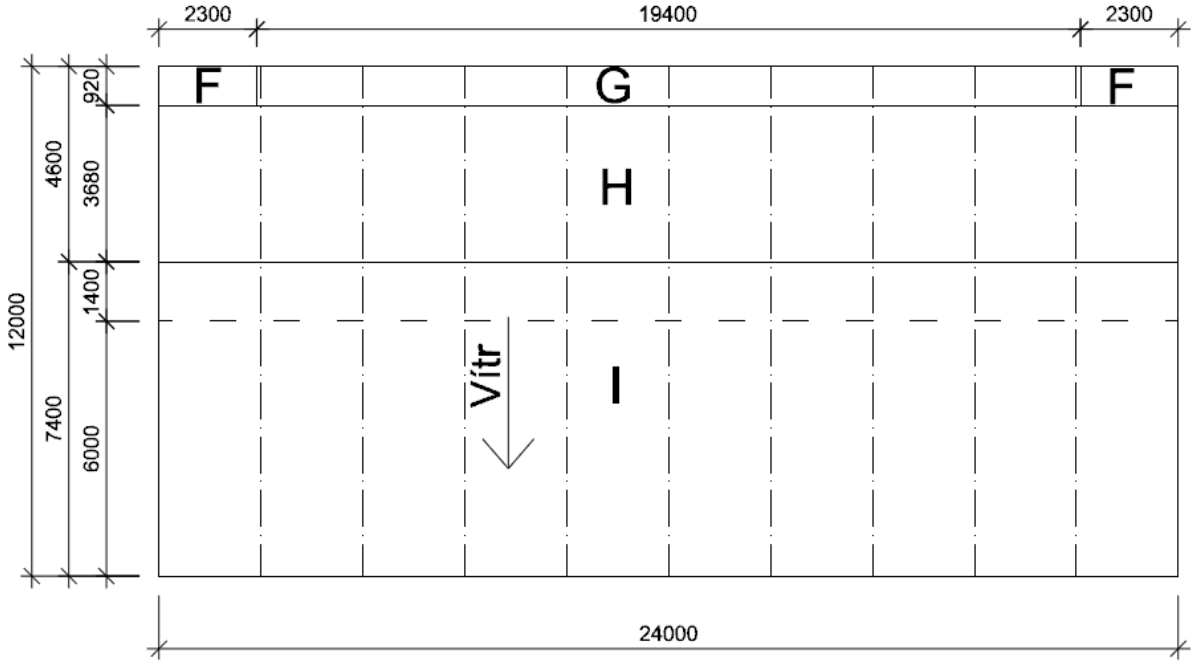
Hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ byly stanoveny pro plochou střechu s ostrými hranami. V oblasti I je možný výskyt jak sání větru, tak i tlaku, proto je nutné zohlednit obě možnosti. Intenzity zatížení větrem byly spočteny pro druhý vazník od kraje, který je zatěžován z oblasti F i G a je tak nejvíce namáhám (Krajní vazník má jen poloviční zatěžovací šířku. Ostatní vazníky leží jen v oblasti G kde je menší intenzita větru).

Větrová oblast II
Kategorie terénu II
Referenční výška z_e = 4,6m
Sklon střechy α = 2,9°

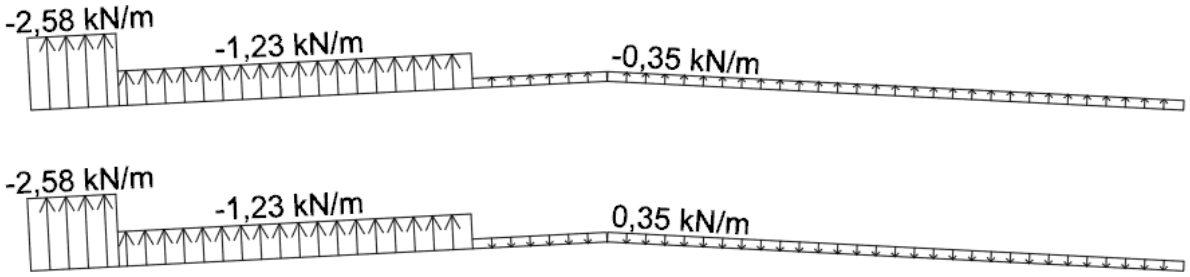
VÝCHOZÍ ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU $v_{b,0}$	=	25,00	m/s
SOUČINITEL SMĚRU VĚTRU C_{dir}	=	1,00	PRO ČR
SOUČINITEL ROČNÍHO OBDOBÍ C_{SEASON}	=	1,00	
ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU V_b	**=**	**25,00**	m/s
SOUČINITEL OROGRAFIE $C_{o(Z)}$	=	1	
PARAMETR DRSNOSTI PRO KATEGORII II. $Z_{o,II}$	=	0,050	PRO ČR
PARAMETR DRSNOSTI ZVOLENÉ KATEGORIE Z_0	=	0,050	DLE TAB.
SOUČINITEL TERÉNU K_r	=	0,190	
SOUČINITEL DRSNOSTI PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $C_{r(Z)}$	=	0,859	
STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU $V_{m(Z)}$	=	21,48	m/s
SOUČINITEL TURBOLENCE K_I	=	1	PRO ČR
INTENZITA TURBOLENCE PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $I_{v(Z)}$	=	0,221	
HODNOTA MĚRNÉ HMOTNOSTI ρ	=	1,25	kg/m^3
MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK $q_{p(z)}$	**=**	**0,73**	kN/m^2

Tab. 4.2: Hodnoty součinitele $C_{pe,10}$

Oblast	$C_{pe,10}$	
F	-1,8	
G	-1,2	
H	-0,7	
I	-0,2	0,2



Obr. 4.2: Zatížení větrem - větrové oblasti pro plochou střechu



Obr. 4.3: Zatížení větrem - velikost zatížení

4.4 Zatěžovací stavy a kombinace

Pro danou konstrukci byly vytvořeny tyto zatěžovací stavy:

- ZS1 – Stálé zatížení
- ZS2 – Sníh nenavátý
- ZS3 – Sníh navátý L
- ZS4 – Sníh navátý P
- ZS5 – Vítr sání
- ZS6 – Vítr sání + tlak

Zatěžovací stavy ZS2 - ZS4 byly v programu Scia Engineer vloženy do skupiny zatížení Sníh. Stavy ZS5 a ZS6 byly vloženy do skupiny zatížení Vítr. Obě skupiny zatížení byly nastaveny jako výběrové.

Pro mezní stav únosnosti byl nastaven typ kombinace: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

4.5 Statické schéma

Statické schéma zvolené pro tuto konstrukci je prostě podepřený nosník.

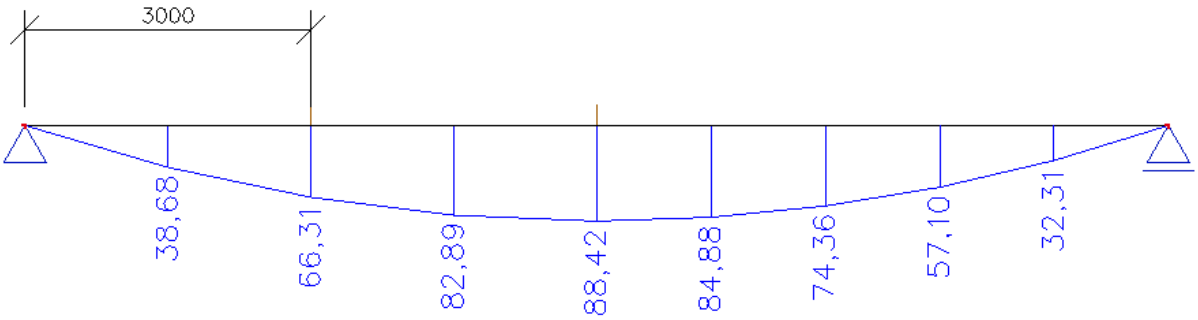
Obr. 4.4: Statické schéma plnostěnného vazníku

4.6 Výpočet a průběh vnitřních sil

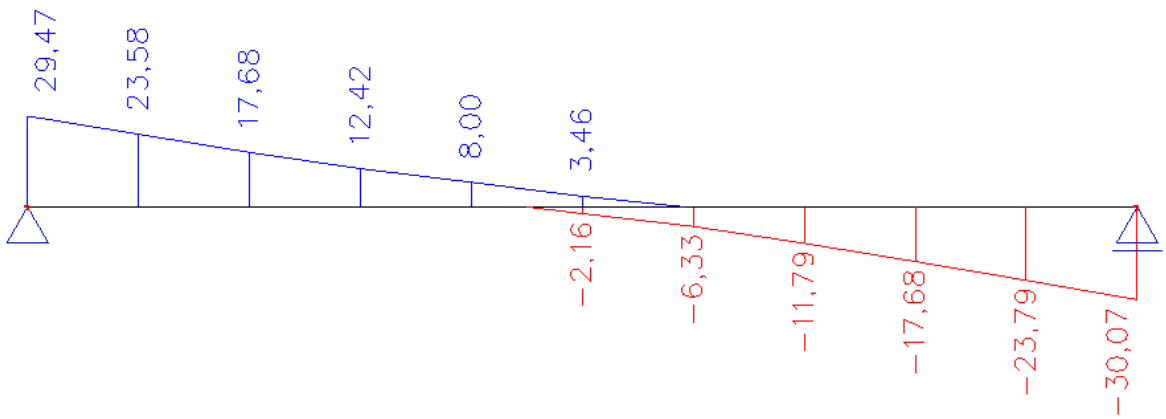
Výpočet a vykreslení vnitřních sil bylo opět provedeno v programu Scia Engineer 2011.1.

Pro posouzení je nutné znát maximální ohybový moment a dále moment v místě maximálního napětí σ_{max}. Poloha toho místa se stanoví následovně:

$$x_m = \frac{L\ h_s}{2\ h_{ap}} = \frac{12 \cdot 0{,}3}{2 \cdot 0{,}6} = 3\ m$$



Obr. 4.5: Průběh ohybových momentů



Obr. 4.6: Průběh posouvajících sil

4.7 Posouzení na mezní stav únosnosti

Sedlový plnostěnný vazník z lepeného lamelového dřeva byl posouzen dle ČSN EN 1995-1-1 [5]. Konstrukce byla posouzena ve vrcholu na normálové napětí od ohybu a na napětí v tahu kolmo k vláknům, v místě σ_{max} na napětí od ohybu a v místě max. posouvající síly (podpora) na smyk.

Materiál zvolený pro tuto konstrukci je lepené lamelové dřevo GL20h.

Charakteristické hodnoty únosnosti:

- za ohybu $f_{m,k}$ = 20 MPa
- v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$ = 14 MPa
- ve smyku $f_{v,k}$ = 2,4 MPa
- v tlaku kolmo na vlákna $f_{c,90,k}$ = 2,4 MPa
- v tahu kolmo na vlákna $f_{t,90,k}$ = 0,4 MPa

Návrhové hodnoty únosnosti: $f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M}$

Modifikační součinitel k_{mod} = 0,9 (pro lepené lamelové dřevo a krátkodobé zatížení)

Dílčí součinitel vlastností materiálů γ_M = 1,25

- za ohybu $f_{m,d}$ = 14,4 MPa
- v tahu II s vlákny $f_{t,0,d}$ = 10,08 MPa
- ve smyku $f_{v,d}$ = 1,73 MPa
- v tlaku kolmo na vlákna $f_{c,90,d}$ = 1,73 MPa
- v tahu kolmo na vlákna $f_{t,90,d}$ = 0,288 MPa

4.7.1 Posouzení v místě σ_{max} na napětí od ohybu

Návrhový ohybový moment v místě σ_{max}: $M_{y,d}$ = 66,31 kNm

Výška průřezu v daném místě: h_1 = 0,45 m

Šířka průřezu: b = 0,2 m

Průřezový modul k ose y: $W_y = \frac{1}{6}\, b\, h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}45^2 = 6{,}75 \cdot 10^{-3}\ m^3$

Návrhové napětí: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{66{,}31 \cdot 10^{-3}}{6{,}75 \cdot 10^{-3}} = 9{,}82\ MPa$

4.7.1.1 Tažená strana nosníku

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0{,}75\, f_{v,d}}\, tg\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,0,d}}\, tg^2\alpha\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{14{,}4}{0{,}75 \cdot 1{,}73}\, tg0\right)^2 + \left(\frac{14{,}4}{10{,}08} tg^2 0\right)^2}} = 1{,}0$$

Musí být splněna podmínka: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha}\ f_{m,d}} \leq 1{,}0$

$$\frac{9{,}82}{1{,}0 \cdot 14{,}4} = 0{,}68 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.7.1.2 Tlačená strana nosníku

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1{,}5\, f_{v,d}}\, tg\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}}\, tg^2\alpha\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{14{,}4}{1{,}5 \cdot 1{,}73}\, tg2{,}9\right)^2 + \left(\frac{14{,}4}{1{,}73} tg^2 2{,}9\right)^2}} = 0{,}963$$

Musí být splněna podmínka: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha}\ f_{m,d}} \leq 1{,}0$

$$\frac{9{,}82}{0{,}963 \cdot 14{,}4} = 0{,}71 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.7.2 Posouzení ve vrcholu

Návrhový ohybový moment ve vrcholu: $M_{y,ap,d}$ = 88,42 kNm

Výška průřezu ve vrcholu: h_{ap} = 0,6 m

Průřezový modul k ose y: $W_{y,ap} = \frac{1}{6}\ b\ h_{ap}^2 = \frac{1}{6} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6^2 = 0{,}012\ m^3$

4.7.2.1 Normálové napětí od ohybu

V případě, že nosník není zakřivený, pak součinitel:

$$k_l = k_1 = 1 + 1{,}4\ tg\alpha_{ap} + 5{,}4\ tg^2\alpha_{ap} = 1 + 1{,}4 \cdot tg2{,}9 + 5{,}4 \cdot tg^2 2{,}9 = 1{,}085$$

Návrhové napětí v ohybu ve vrcholu: $\sigma_{m,y,ap,d} = \frac{k_l\, M_{y,ap,d}}{W_{y,ap}} = \frac{1{,}085 \cdot 88{,}42 \cdot 10^{-3}}{0{,}012} = 7{,}99\ MPa$

Součinitel k_r = 1,0 (pro sedlové nosníky)

Musí být splněna podmínka: $\frac{\sigma_{m,y,ap,d}}{k_r\ f_{m,d}} \leq 1{,}0$

$$\frac{7{,}99}{1{,}0 \cdot 14{,}4} = 0{,}55 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.7.2.2 Napětí v tahu kolmo k vláknům

V případě, že nosník není zakřivený, pak součinitel:

$$k_p = k_5 = 0{,}2\ tg\alpha = 0{,}2\ tg2{,}9 = 0{,}01$$

Napětí v tahu kolmo k vláknům: $\sigma_{t,90,ap,d} = k_p\ \frac{M_{y,ap,d}}{W_{y,ap}} = 0{,}01\, \frac{88{,}42 \cdot 10^{-3}}{0{,}012} = 0{,}074\ MPa$

Součinitel rozdělení napětí ve vrcholu k_{dis} = 1,4 (pro sedlové nosníky)

Součinitel objemu $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0{,}2} = \left(\frac{0{,}01}{0{,}07}\right)^{0{,}2} = 0{,}678$

$V_0 = 0{,}01\ m^3$

$$V = b\, h_{ap}^2 \left(1 - \frac{tg\alpha}{4}\right) = 0{,}2 \cdot 0{,}6^2 \cdot \left(1 - \frac{tg2{,}9}{4}\right) = 0{,}07\ m^3$$

Musí být splněna podmínka: $\frac{\sigma_{t,90,ap,d}}{k_{dis}\, k_{vol}\, f_{t,90,d}} \leq 1{,}0$

$$\frac{0{,}074}{1{,}4 \cdot 0{,}678 \cdot 0{,}288} = 0{,}27 \leq 1{,}0 \ \rightarrow\ VYHOVUJE$$

4.7.3 Smyk v podpoře

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d}$ = 30,07 kN

Výška nosníku v místě podpory: h_s = 0,3 m

Návrhové smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3}{2}\frac{V_{z,d}}{b\, h_s} = \frac{3}{2}\frac{30{,}07 \cdot 10^{-3}}{0{,}2 \cdot 0{,}3} = 0{,}75\ MPa$

Musí být splněna podmínka: $\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1{,}0$

$$\frac{0{,}75}{1{,}73} = 0{,}43 \leq 1{,}0 \ \rightarrow\ VYHOVUJE$$

4.8 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Tento mezní stav byl posouzen metodou náhradního nosníku konstantního průřezu. Maximální průhyb opět vyvolá kombinace zatížení stálého se sněhem.

Pro náhradní nosník konstantního průřezu se uvažuje efektivní moment setrvačnosti roven:

$$I_{ef} = k_I I_{ap}$$

$$k_I = 0{,}15 + 0{,}85\frac{h_s}{h_{ap}}$$

$$I_{ap} = \frac{1}{12} b h_{ap}^3$$

h_s výška nosníku na kraji (nad podporou)

h_{ap} výška nosníku uprostřed rozpětí

b šířka nosníku

$$I_{ap} = \frac{1}{12} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6^3 = 3{,}6 \cdot 10^{-3} m^4$$

$$k_I = 0{,}15 + 0{,}85 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}6} = 0{,}575$$

$$I_{ef} = 0{,}575 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3} = 2{,}07 \cdot 10^{-3} m^4$$

Okamžitý průhyb se pak spočte následovně:

$$u_{inst,G} = \frac{5}{384}\frac{g_k l^4}{E_{0,mean} I_{ef}} = \frac{5}{384}\frac{1{,}77 \cdot 12^4}{10 \cdot 10^6 \cdot 2{,}07 \cdot 10^{-3}} = 0{,}023\ m = 23\ mm$$

$$u_{inst,Q} = \frac{5}{384}\frac{q_k l^4}{E_{0,mean} I_{ef}} = \frac{5}{384}\frac{1{,}92 \cdot 12^4}{10 \cdot 10^6 \cdot 2{,}07 \cdot 10^{-3}} = 0{,}025\ m = 25\ mm$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q} = 23 + 25 = 48\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{L}{500} = \frac{12000}{500} = 24\ mm$$

$$u_{inst} = 48\ mm\ >\ u_{inst,lim} = 24\ mm \quad \rightarrow \quad NEVYHOVUJE$$

Na tomto případu je vidět, že i když konstrukce vyhovuje na mezní stav únosnosti s dostatečnými rezervami, může být její průhyb nepřípustný. V tomto případě bylo navrhnuto zvětšení výšky nosníku na h_s=0,4 m a h_{ap}=0,8 m. Posouzení na průhyb s těmito novými rozměry pak je následující:

$$I_{ap} = \frac{1}{12} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8^3 = 8{,}53 \cdot 10^{-3} m^4$$

$$k_I = 0{,}15 + 0{,}85 \cdot \frac{0{,}4}{0{,}8} = 0{,}575$$

$$I_{ef} = 0{,}575 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3} = 4{,}91 \cdot 10^{-3} m^4$$

$$u_{inst,G} = \frac{5}{384}\frac{g_k l^4}{E_{0,mean} I_{ef}} = \frac{5}{384}\frac{1{,}77 \cdot 12^4}{10 \cdot 10^6 \cdot 4{,}91 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0097\ m = 9{,}7\ mm$$

$$u_{inst,Q} = \frac{5}{384}\frac{q_k l^4}{E_{0,mean} I_{ef}} = \frac{5}{384}\frac{1{,}92 \cdot 12^4}{10 \cdot 10^6 \cdot 4{,}91 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0105\ m = 10{,}5\ mm$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q} = 9{,}7 + 10{,}5 = 20{,}2\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{L}{500} = \frac{12000}{500} = 24\ mm$$

$$u_{inst} = 20{,}2\ mm\ \leq\ u_{inst,lim} = 24\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Hodnota konečného průhybu:

$$u_{fin} = u_{inst,G}\left(1 + k_{def}\right) + u_{inst,Q}(1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

$$u_{fin} = 9{,}7(1 + 0{,}8) + 10{,}5(1 + 0 \cdot 0{,}8) = 27{,}96\ mm$$

$$u_{fin,lim} = \frac{L}{350} = \frac{12000}{300} = 40\ mm$$

$$u_{fin} = 27{,}96\ mm\ \leq\ u_{fin,lim} = 40\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.9 Přeposouzení mezního stavu únosnosti

Pro přehlednost a možnost srovnání zde budou uvedeny jen výsledné podmínky.

4.9.1 Posouzení v místě σ_{max} na napětí od ohybu

4.9.1.1 Tažená strana nosníku

$$\frac{5{,}52}{1{,}0 \cdot 14{,}4} = 0{,}38 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.9.1.2 Tlačená strana nosníku

$$\frac{5{,}52}{0{,}963 \cdot 14{,}4} = 0{,}40 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.9.2 Posouzení ve vrcholu

4.9.2.1 Normálové napětí od ohybu

$$\frac{4{,}5}{1{,}0 \cdot 14{,}4} = 0{,}31 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.9.2.2 Napětí v tahu kolmo k vláknům

$$\frac{0{,}041}{1{,}4 \cdot 0{,}678 \cdot 0{,}288} = 0{,}15 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

4.9.3 Smyk v podpoře

$$\frac{0{,}56}{1{,}73} = 0{,}33 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

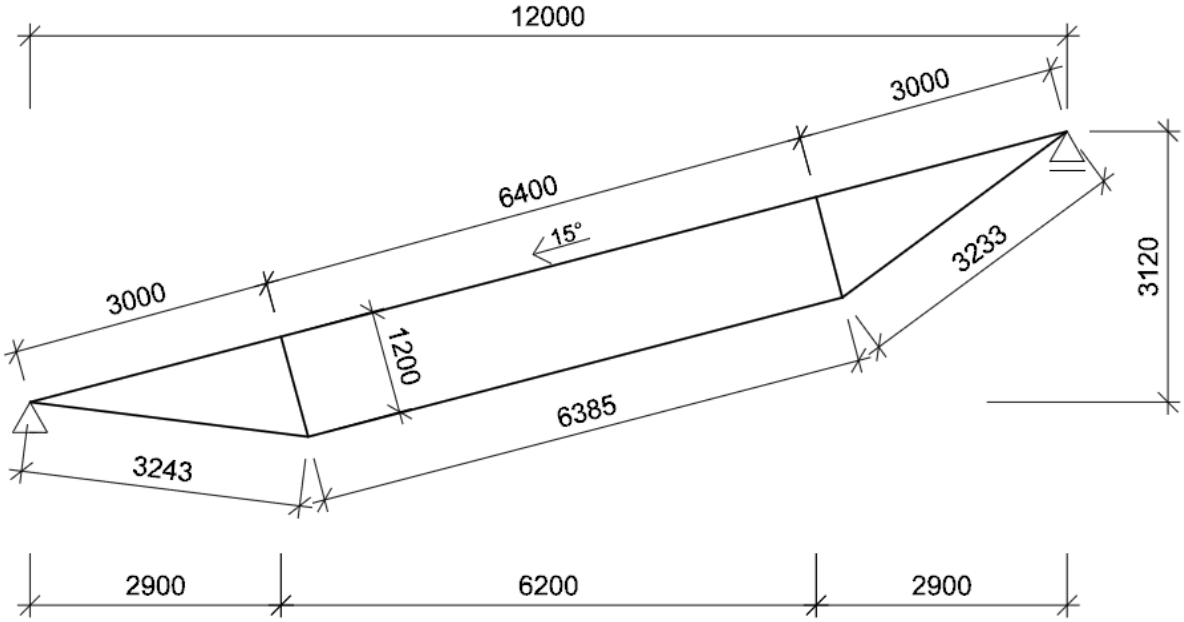
5 Vzpínadlo

5.1 Obecná charakteristika

Konstrukce vzpínadla je tvořena hlavním trámem z lepeného lamelového dřeva. Ve vzdálenosti 3 m od každé podpory jsou kolmo na trám umístěny sloupky z rostlého dřeva. Další část konstrukce tvoří ocelové vzpínadlo kruhového průřezu. Tato konstrukce je řešena jako pultová střecha se sklonem 15°. Původním záměrem však bylo provést celou konstrukci ze dřeva, tak aby byla co nejúspornější. Problémy které se vyskytly a důvod proč je nakonec vzpínadlo ocelové budou popsány dále.

5.2 Geometrie

Konstrukce je navrhovaná na rozpětí 12 m. Poloha sloupků byla volena tak aby kladné i záporné ohybové momenty byly přibližně shodné.



Obr. 5.1: Geometrie vzpínadla

5.3 Výpočet zatížení

Zatížení bylo počítáno pro zatěžovací šířku 2,4 m.

5.3.1 Zatížení stálé

Zatížení střešním pláštěm je shodné s předchozími případy. Viz kapitola 3.3.1 Zatížení stálé. Zatížení vlastní tíhou bylo automaticky počítáno programem Scia Engineer podle zadaných průřezů.

5.3.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem pro pultovou střechu se uvažuje pouze jako zatížení nenavátým sněhem. Hodnota je shodná se zatížením pro vazník. Viz. kapitola 3.3.2 Zatížení sněhem.

5.3.3 Zatížení větrem

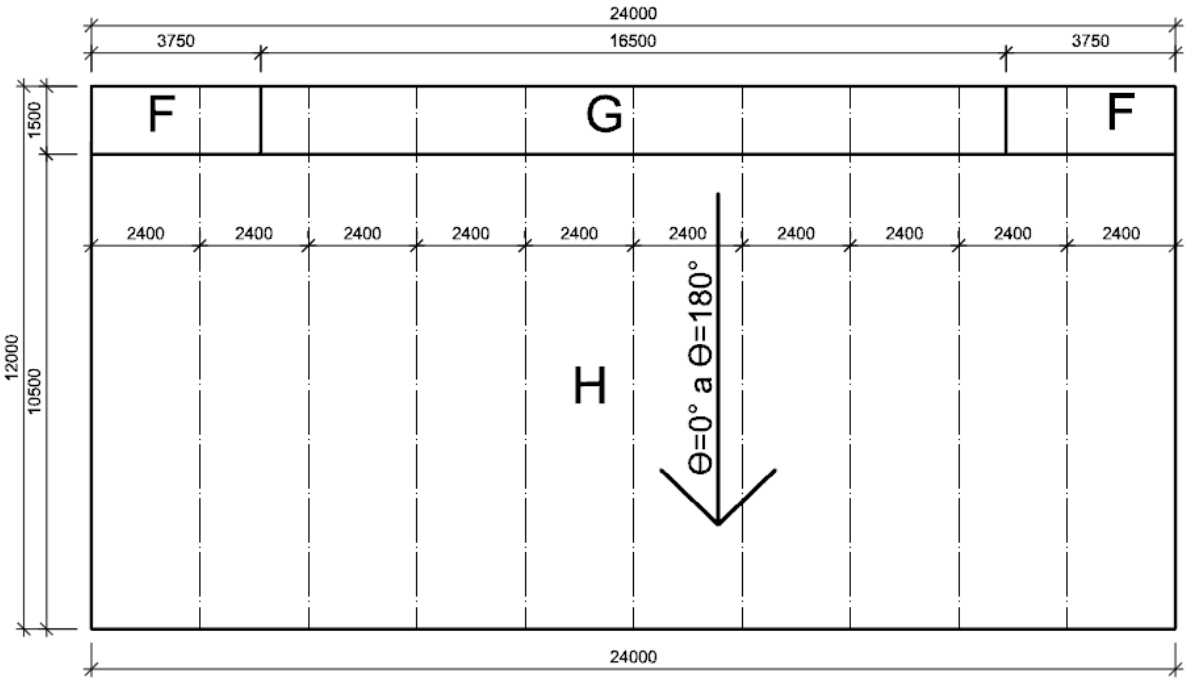
Pro konstrukci byly stanoveny hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ pro pultové střechy. Intenzity zatížení větrem byly opět spočítány pro 2. vazbu od kraje. Krajní vazba je zatěžována pouze z poloviční zatěžovací šířky a výsledné zatížení je tak menší.

Tab. 5.1: Vzpínadlo - hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ pro Θ=0° a 180°

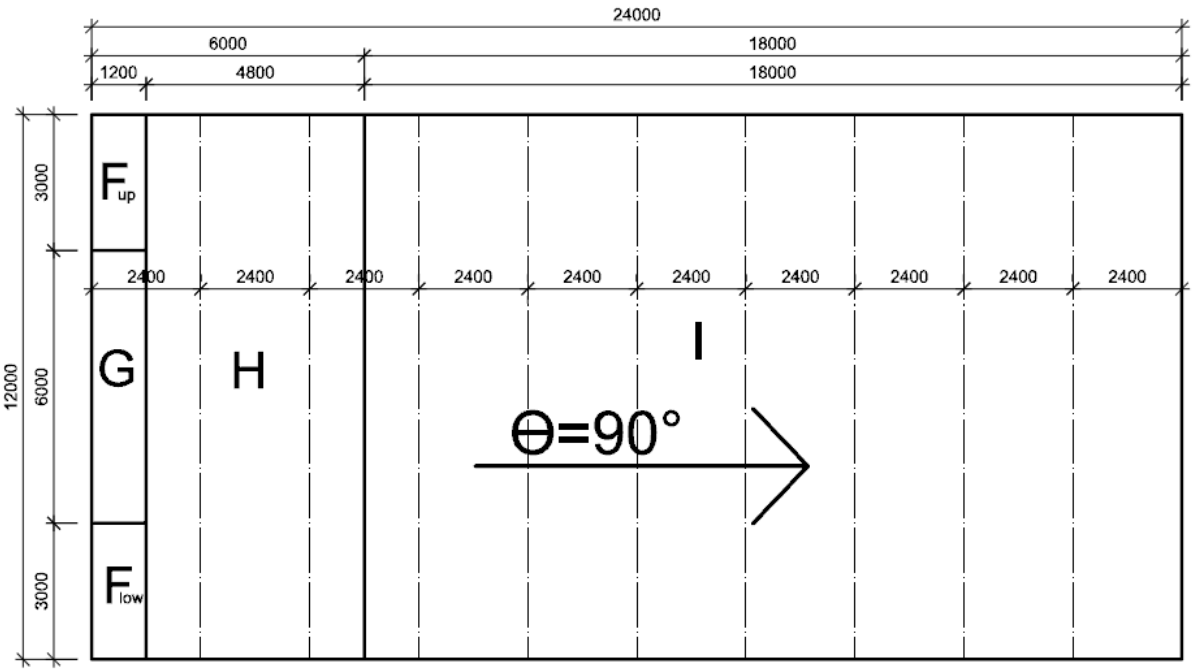
Oblast	směr větru Θ=0°		směr větru Θ=180°
	$C_{pe,10}$		$C_{pe,10}$
F	-0,9	0,2	-2,5
G	-0,8	0,2	-1,3
H	-0,3	0,2	-0,9

Tab. 5.2: Vzpínadlo - hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ pro Θ=90°

Oblast	směr větru Θ=90°
	$C_{pe,10}$
F_{up}	-2,4
F_{low}	-1,6
G	-1,9
H	-0,8
I	-0,7

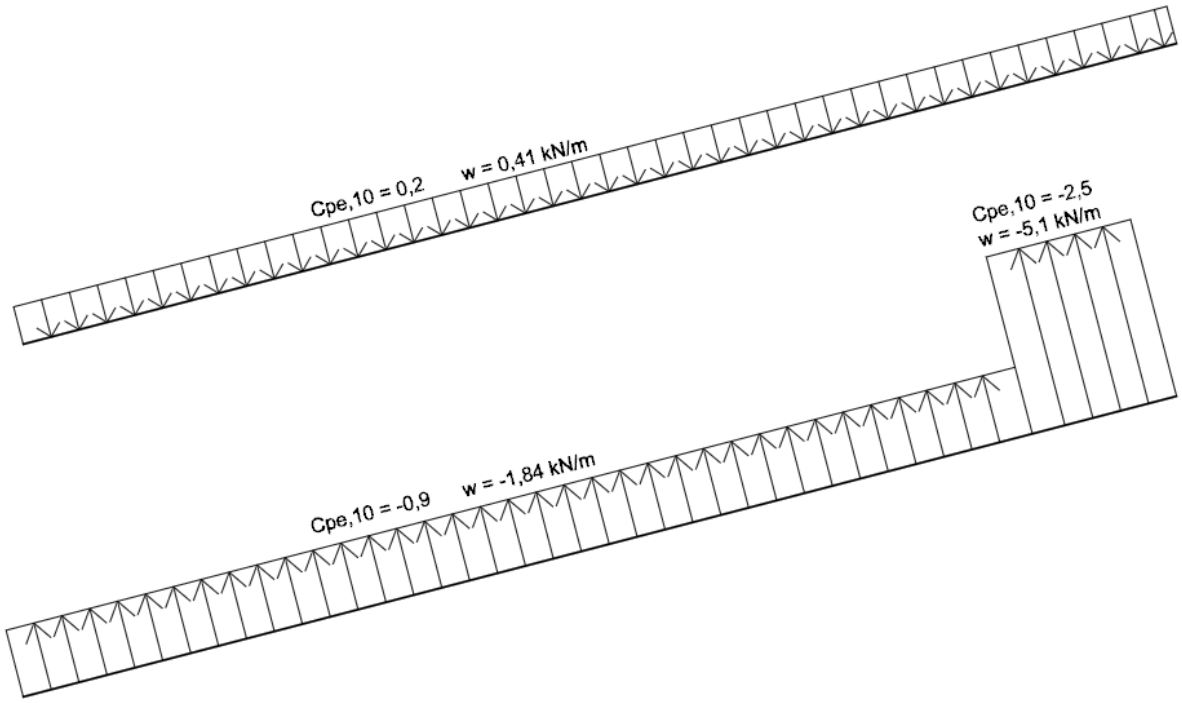


Obr. 5.2: Vzpínadlo - větrové oblasti pro směr větru Θ=0° a Θ=180°



Obr. 5.3: Vzpínadlo - větrové oblasti pro směr větru Θ=90°

VÝCHOZÍ ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU $v_{b,0}$ =	25,00	m/s
SOUČINITEL SMĚRU VĚTRU C_{dir} =	1,00	PRO ČR
SOUČINITEL ROČNÍHO OBDOBÍ C_{SEASON} =	1,00	
ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU V_b =	**25,00**	**m/s**
SOUČINITEL OROGRAFIE $C_{o(Z)}$ =	1	
PARAMETR DRSNOSTI PRO KATEGORII II. $Z_{o,II}$ =	0,050	PRO ČR
PARAMETR DRSNOSTI ZVOLENÉ KATEGORIE Z_0 =	0,050	DLE TAB.
SOUČINITEL TERÉNU K_r =	0,190	
SOUČINITEL DRSNOSTI PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $C_{r(Z)}$ =	0,952	
STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU $V_{m(Z)}$ =	23,80	m/s
SOUČINITEL TURBOLENCE K_I =	1	PRO ČR
INTENZITA TURBOLENCE PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $I_{v(Z)}$ =	0,200	
HODNOTA MĚRNÉ HMOTNOSTI ρ =	1,25	kg/m^3
MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK $q_{p(z)}$ =	**0,85**	**kN/m^2**



Obr. 5.4: Vzpínadlo - intenzity zatížení větrem

5.4 Zatěžovací stavy a kombinace

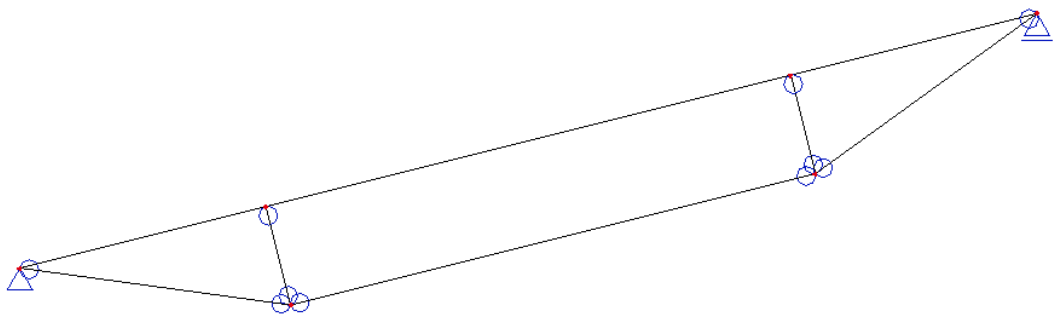
Pro danou konstrukci byly vytvořeny tyto zatěžovací stavy:

- ZS1 – Vlastní tíha
- ZS2 – Stálé zatížení
- ZS3 – Sníh
- ZS4 – Vítr tlak
- ZS5 – Vítr sání

Zatěžovací stavy ZS4 a ZS5 byly v programu Scia Engineer vloženy do skupiny zatížení Vítr. Skupina byla nastavena jako výběrová.

Pro mezní stav únosnosti byl nastaven typ kombinace: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

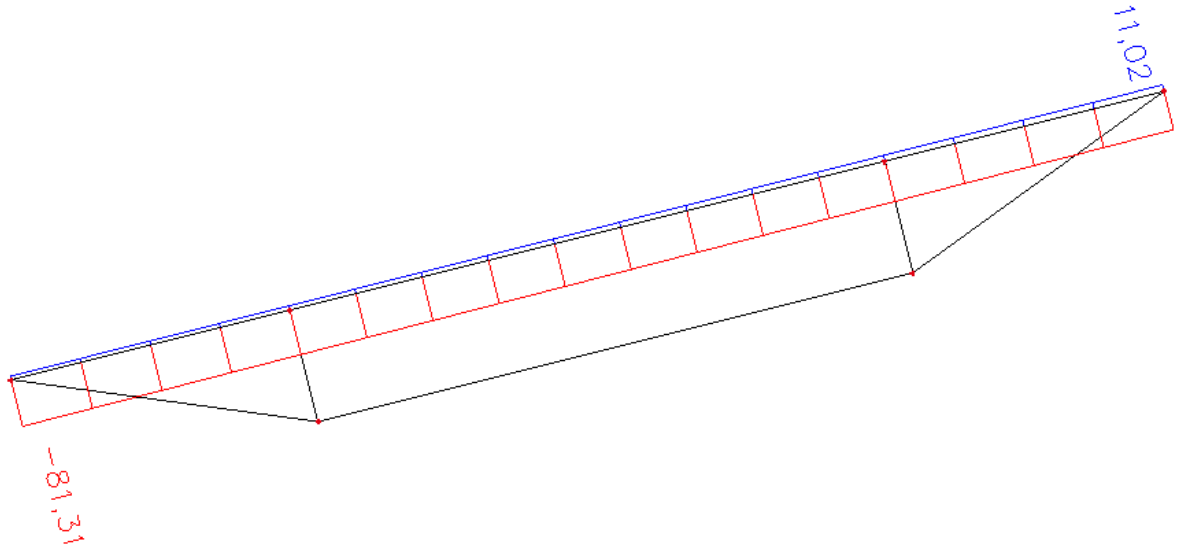
5.5 Statické schéma



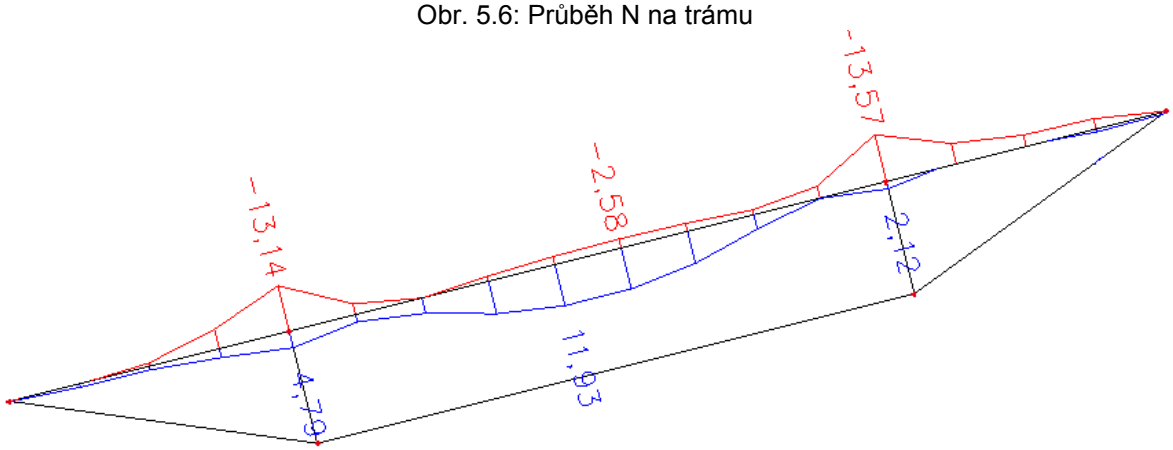
Obr. 5.5: Statické schéma vzpínadla

5.7 Výpočet a průběh vnitřních sil

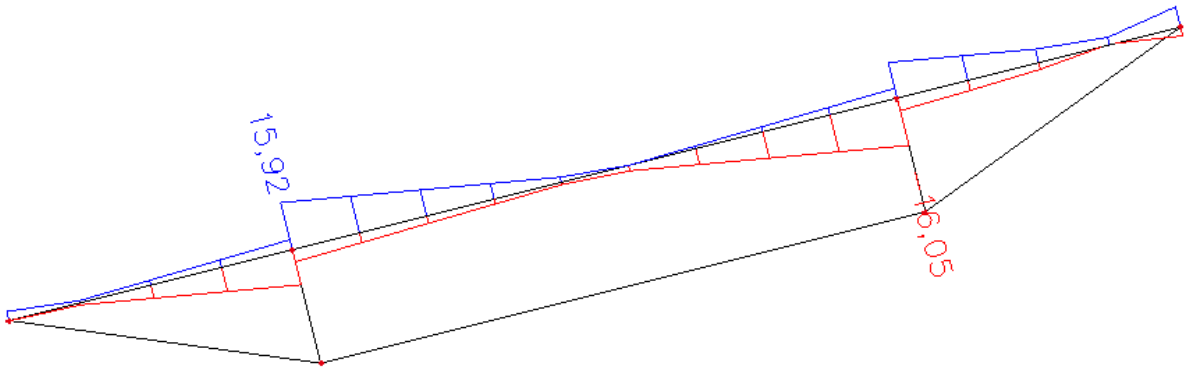
Výpočet a vykreslení průběhu vnitřních sil bylo opět provedeno v programu Scia Engineer.



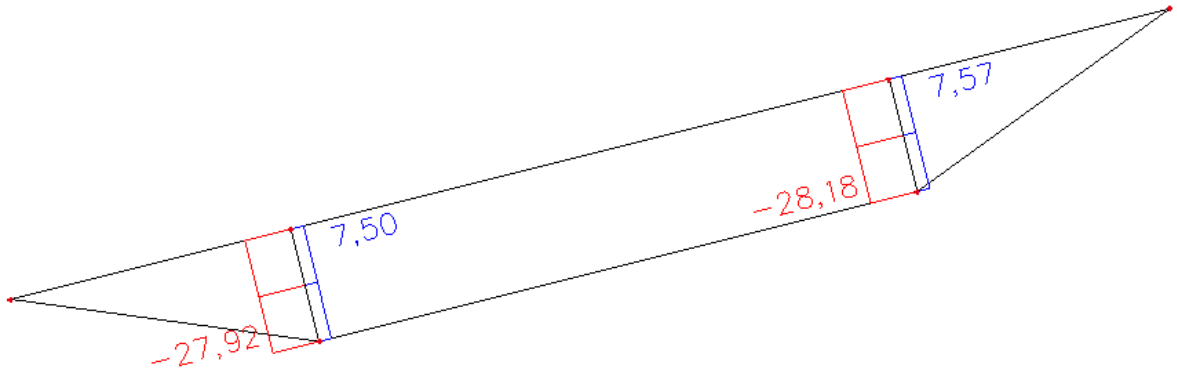
Obr. 5.6: Průběh N na trámu



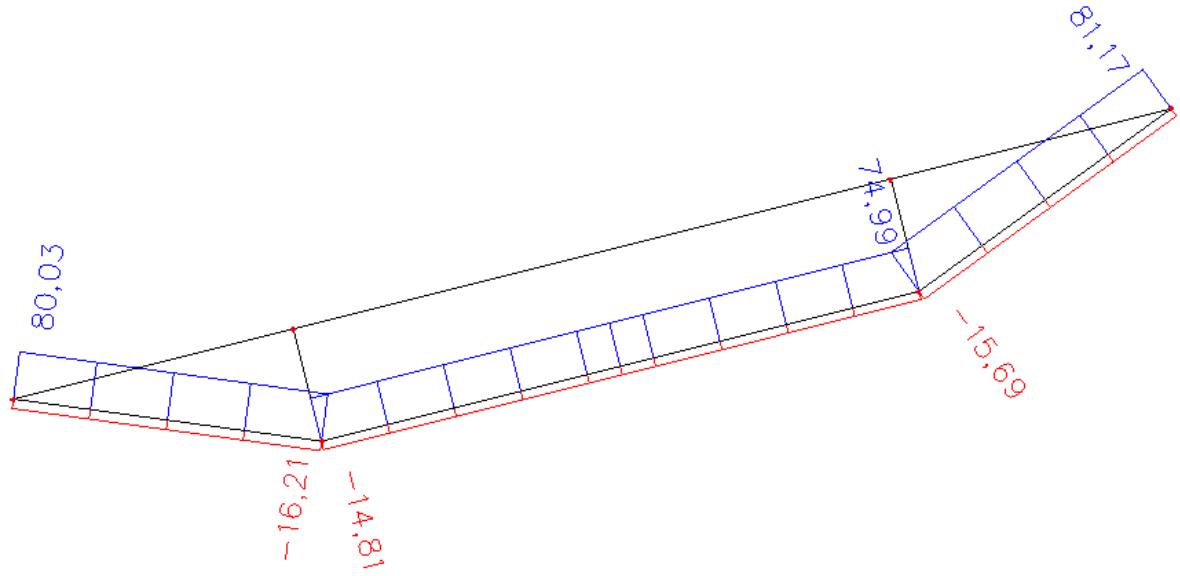
Obr. 5.7: Průběh M na trámu



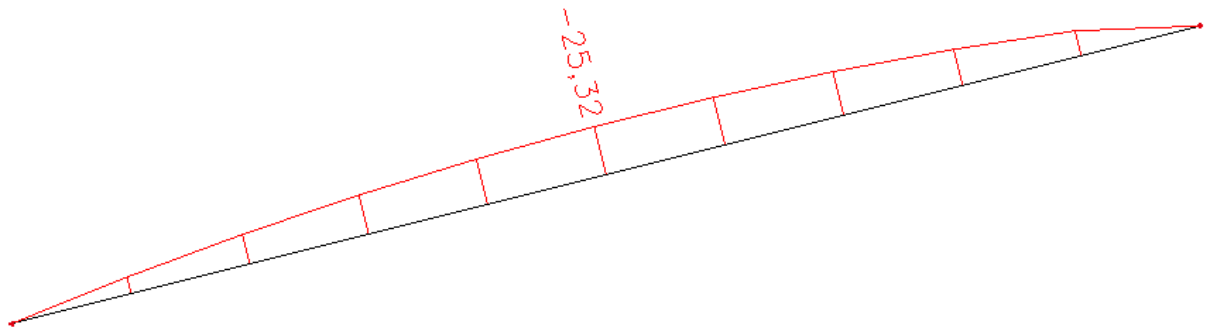
Obr. 5.8: Průběh V na trámu



Obr. 5.9: Průběh N ve sloupkách



Obr. 5.10: Průběh N ve vzpínadle



Obr. 5.11: Průběh M na trámu bez spolupůsobení zbytku konstrukce

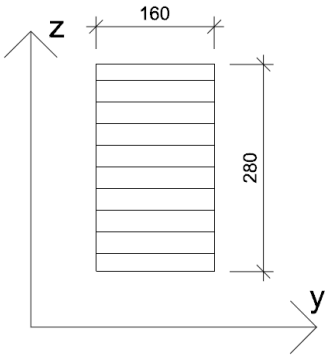
5.8 Posouzení na mezní stav únosnosti

Konstrukce byla na mezní stav únosnosti posouzena dle ČSN EN 1995-1-1 [5]. Trám z lepeného lamelového dřeva byl posouzen na tlak (vzpěr), kombinaci ohybu a tlaku, kombinaci ohybu a tahu, na ohyb (kombinace, kdy převládá sání a zbytek konstrukce nespolupůsobí) a na smyk. Sloupky byly posouzeny na tlak (vzpěr). Vzpínadlo bylo posouzeno na tah. V případě, kdy převládá v kombinaci sání nad ostatním zatížením, se uvažuje, že vzpínadlo nepřenáší tlak a veškerému zatížení odolává trám (posouzení na ohyb). Dále bylo posouzeno připojení vzpínadla k trámu na tlak šikmo k vláknům a připojení vzpínadla u paty sloupu, kde byl posuzován svar.

Případy posouzení, které již byly obecně popsány výše, budou dále rovnou počítány. U způsobu namáhání, které se v této práci ještě neobjevily, bude popsán i obecný postup posouzení.

5.8.1 Posouzení trámu z lepeného lamelového dřeva

Trám byl navržen z lepeného lamelového dřeva třídy GL20h. Vybočení trámu kolmo na rovinu konstrukce (ve směru osy y) je zabráněno vaznicemi ve spolupůsobení se střešním pláštěm.



Obr. 5.12: Průřez trámu

5.8.1.1 Posouzení na tlak (vzpěr)

Posouzení bylo provedeno na vzpěr kolmo k ose y. Vzpěrná délka je v tomto případě uvažovaná jako vzdálenost mezi sloupky.

Tab. 5.3: Posouzení trámu na tlak (vzpěr)

$N_{c,0,d}$ =	81,31	kN	i =	0,216	m
A =	0,0448	m^2	L=	6,4	m
$\sigma_{c,0,d}$ =	1,81	MPa	β =	0,9	
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	L_{cr} =	5,760	m
k_{mod} =	0,9		λ =	26,67	
γ_M =	1,25		λ_{rel} =	0,42	
$f_{c,0,d}$ =	15,12	MPa	β_c =	0,1	
I =	2,09E-03	m^4	k =	0,60	
$E_{0,05}$ =	8,5	GPa	k_c =	0,99	
0,12		≤	1,0		
TLAK (VZPĚR KOLMO NA OSU Y) - VYHOVUJE					

5.8.1.2 Posouzení na kombinaci tlak a ohyb

Tab. 5.4: Posouzení na kombinaci tlak a ohyb

$M_{E,d}$ =	13,57	kNm	A =	0,0448	m^2
$N_{c,0,d}$ =	81,31	kN	k_m =	1	
$f_{m,k}$ =	20	MPa	$\sigma_{c,0,d}$ =	1,81	MPa
$f_{c,0,k}$ =	21	MPa	$\sigma_{m,d}$ =	6,49	MPa
W =	0,00209	m^3	$f_{c,0,d}$ =	15,12	MPa
k_{mod} =	0,9		$f_{m,d}$ =	14,40	MPa
γ_M =	1,25		0,47	≤	1,0
VYHOVUJE					

5.8.1.3 Posouzení na kombinaci tah a ohyb

Tab. 5.5: Posouzení na kombinaci tah a ohyb

$M_{E,d}$ =	4,79	kNm	$f_{m,k}$ =	20	MPa
$N_{t,0,d}$ =	11,02	kN	$f_{t,0,k}$ =	14	MPa
A =	0,0448	m^2	k_{mod} =	0,9	
W_y =	0,00209	m^3	γ_M =	1,25	
$\sigma_{m,d}$ =	2,29	MPa	$f_{m,d}$ =	14,40	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	0,25	MPa	$f_{t,0,d}$ =	10,08	MPa
0,18	≤	1,0	VYHOVUJE		

5.8.1.4 Posouzení na ohyb

Toto posouzení se týká případu, kdy při sání větru je uvažováno, že vzpínadlo nebude přenášet tlak a celé zatížení tak připadne pouze na trám. Původně navrhovaný průřez 160 x 200 mm na toto posouzení nevyhověl a tak musela být zvětšena výška na 280 mm.

Tab. 5.6: Posouzení na ohyb samotného trámu

$M_{E,d}$ =	25,32	kNm	k_{mod} =	0,9	
W_y =	2,09E-03	m^3	γ_M =	1,25	
$\sigma_{m,d}$ =	12,11	MPa	$f_{m,d}$ =	14,40	MPa
$f_{m,k}$ =	20	MPa	0,84	≤	1,0
VYHOVUJE					

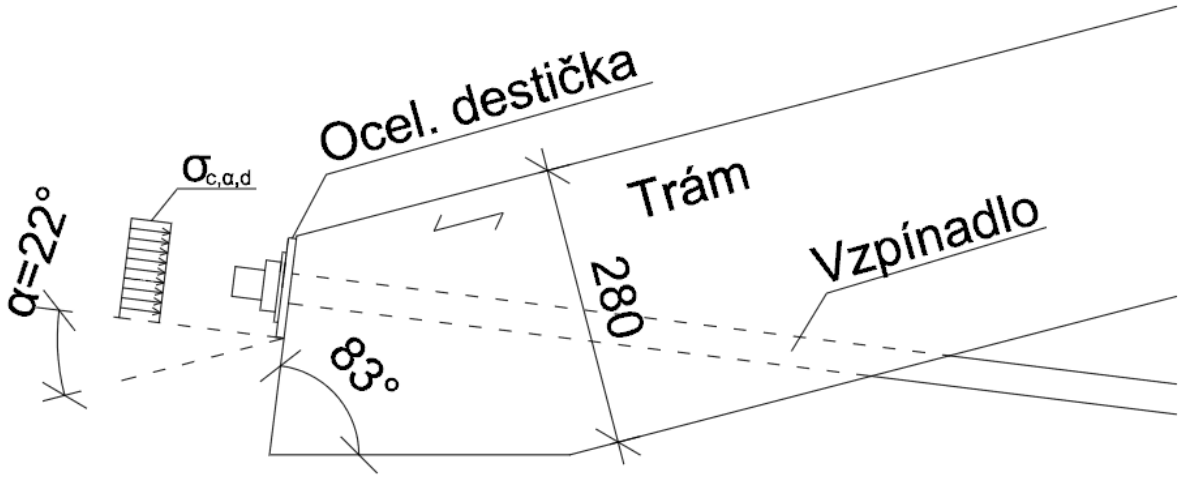
5.8.1.5 Posouzení na smyk

Tab. 5.7: Posouzení na smyk

V_{ed} =	16,05	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,0448	m^2	γ_M =	1,25	
$\tau_{v,d}$ =	0,54	MPa	$f_{v,d}$ =	1,73	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,31	≤	1,0
VYHOVUJE					

5.8.1.6 Posouzení na tlak šikmo k vláknům

Toto posouzení se týká ukotvení vzpínadla k trámu v oblasti podpory. Kruhový profil vzpínadla je připojen k ocelové destičce, přes kterou se roznáší normálové síly ze vzpínadla do trámu. Jelikož je destička kolmá na osu vzpínadla, je nutné trám upravit seříznutím čela, které je pak právě díky tomu namáháno tlakem šikmo k vláknům. Velikost destičky byla navržena na 120x120 mm a při posouzení je nutné z její plochy odečíst plochu průřezu vzpínadla.



Obr. 5.13: Ukotvení vzpínadla k trámu

Návrhová tlaková síla na čelo trámu $F_{c,\alpha,d}$ = 80,03 kN

Navrhovaná účinná plocha destičky A = 0,0136 m^2

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,o,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} sin^2\alpha + cos^2\alpha}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} = \frac{80{,}03 \cdot 10^{-3}}{0{,}0136} = 5{,}88\ MPa$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \frac{21}{1{,}25} = 15{,}12\ MPa$$

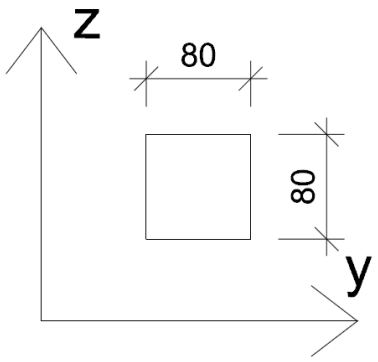
$$f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \frac{2{,}4}{1{,}25} = 1{,}728\ MPa$$

$$\frac{f_{c,o,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} sin^2\alpha + cos^2\alpha} = \frac{15{,}12}{\frac{15{,}12}{1{,}0 \cdot 1{,}728} sin^2 22° + cos^2 22°} = 7{,}24\ MPa$$

$$5{,}88\ MPa\ \leq 7{,}24\ MPa \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

5.8.2 Posouzení sloupků

Sloupky byly navrženy z rostlého jehličnatého dřeva třídy C20. Posouzení na tah nebylo provedeno, protože se uvažuje, že v případě převládajícího sání (které by tah ve sloupcích vyvolalo), přenáší namáhání pouze trám a zbytek konstrukce nespolupůsobí.



Obr. 5.14: Průřez sloupku

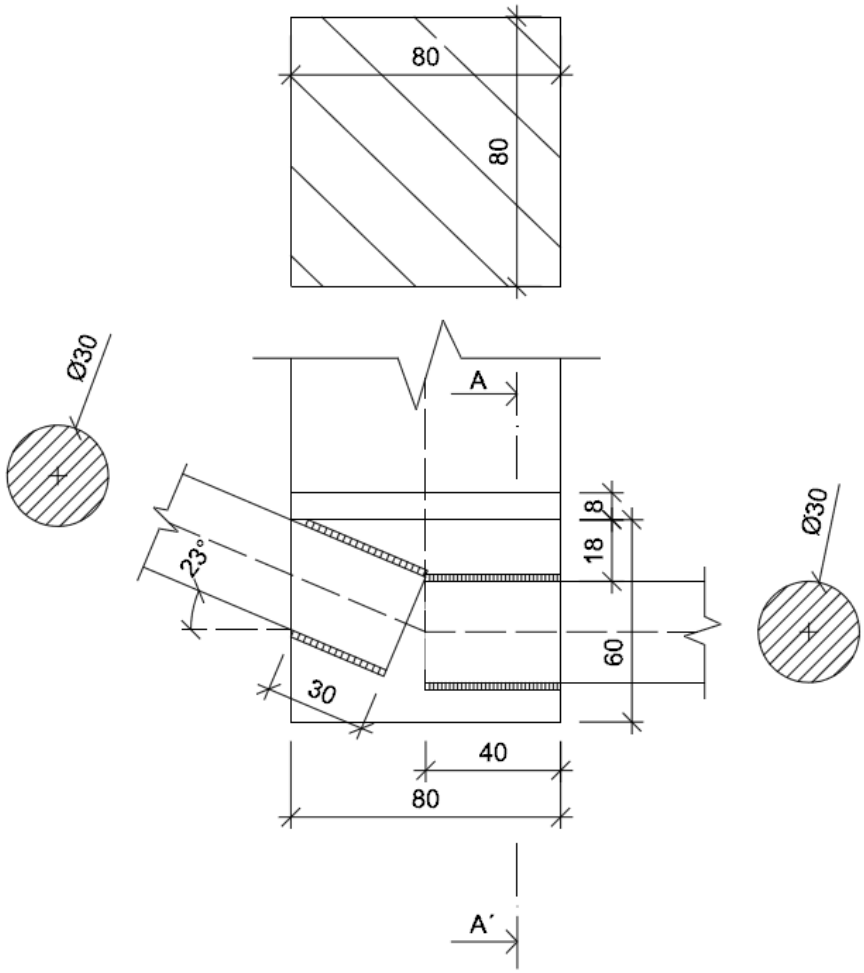
5.8.2.1 Posouzení na tlak (vzpěr)

Tab. 5.8: Posouzení sloupku na tlak (vzpěr)

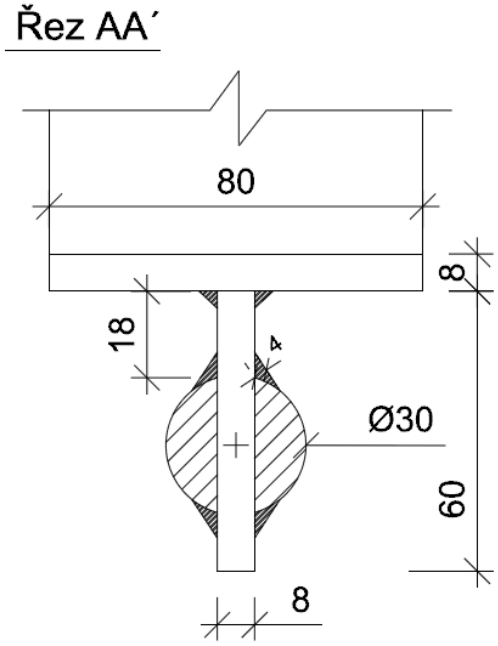
$N_{c,0,d}$ =	28,18	kN	i =	0,023	m
A =	6,40E-03	m^2	L=	1,2	m
$\sigma_{c,0,d}$ =	4,40	MPa	β =	0,9	
$f_{c,0,k}$ =	19	MPa	L_{cr} =	1,080	m
k_{mod} =	0,9		λ =	46,79	
γ_M =	1,3		λ_{rel} =	0,81	
$f_{c,0,d}$ =	13,15	MPa	β_c =	0,2	
I =	3,41E-06	m^4	k =	0,88	
$E_{0,05}$ =	6,4	GPa	k_c =	0,82	
0,41		≤	1,0		
TLAK (VZPĚR) - VYHOVUJE					

5.8.3 Posouzení vzpínadla a přípoje u paty sloupku (svar)

Vzpínadlo bylo navrženo z oceli S235 o kruhovém průřezu průměru 30 mm. Připojení u paty sloupu bylo provedeno koutovým svarem na styčníkový plech tloušťky 8 mm (Bylo ověřeno, že rozměry styčníkového plechu jsou dostatečné na přenos zatížení bez toho, aby se porušil) Provedení připojení je lépe patrné z následujících obrázků:



Obr. 5.15: Provedení svaru v pohledu



Obr.5.16: Provedení svaru v řezu

5.8.3.1 Posouzení oslabené plochy průřezu vzpínadla ve spoji

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 A_{net} f_u}{\gamma_{M_2}}$$

A_{net} oslabená plocha průřezu

f_u mez pevnosti oceli (f_u = 360 MPa)

γ_{M2} součinitel γ_{M2} = 1,25

Návrhová tahová síla N_{Ed} = 81,17 kN

Oslabená plocha průřezu A_{net} = $4{,}67 \cdot 10^{-4}$ m^2

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 4{,}67 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 10^3}{1{,}25} = 121{,}05\ kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{81{,}17}{121{,}05} = 0{,}67\ \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

5.8.3.2 Posouzení svaru

Musí být splněny následující podmínky:

$$a \geq 3\ mm$$

$$l_a \geq max \begin{cases} 30\ mm \\ 6a \end{cases}$$

a účinná tloušťka svaru

l_a délka svaru

Navržená výška svaru a = 4 mm (podmínka a ≥ 3 mm splněna)

Délka svaru l_a = 30 mm (podmínka l_a ≥ 30 mm splněna)

$$\frac{\sqrt{3}\,\tau_{\parallel}}{\frac{f_u}{\beta_w\,\gamma_{M_2}}} \leq 1{,}0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a\,l_a}$$

$$F_a = \frac{N_{Ed}}{4}$$

$$\beta_w = 0{,}8 \quad pro\ ocel\ S235\ (korelační\ součinitel)$$

$$F_a = \frac{81{,}17}{4} = 20{,}29\ kN$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{20{,}29 \cdot 10^3}{4 \cdot 30} = 169{,}1\ MPa$$

$$\frac{\sqrt{3} \cdot 169{,}1}{\frac{360}{0{,}8 \cdot 1{,}25}} = 0{,}81 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Původním záměrem bylo provést celou konstrukci ze dřeva, tedy i vzpínadlo. Navržené dřevěné průřezy vzpínadla byly větších rozměrů, ale stále přijatelné. Velký problém zde však činilo spojení prvků vzpínadla u paty sloupku. Kvůli velké tahové síle by zde navržení např. svorníkového spoje vedlo k výraznému zvětšení jednotlivých prvků a dále ke komplikovanému provedení přípoje. Od tohoto řešení bylo tedy upuštěno a vzpínadlo bylo navrženo z oceli.

5.9 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Konstrukce jako celek by díky svojí výšce a celkové tuhosti měla vyhovět na mezní stav použitelnosti bez problému. V případě, kdy budeme uvažovat samotné působení trámu (zatížení sáním větru) již však mohou nastat problémy. Proto byl mezní stav použitelnosti ověřen pro tento případ.

Hodnoty okamžitého průhybu od stálého zatížení a zatížení sáním větru se určí následovně:

$$u_{inst,i} = \frac{M_{i,k} L^2}{9{,}6 E_{mean} I}$$

$M_{i,k}$ charakteristická hodnota max. momentu od daného zatížení

L rozpětí (délka trámu L=12,4 m)

E_{mean} průměrný modul pružnosti (E_{mean}=10 GPa)

I moment setrvačnosti průřezu trámu

$$I = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} 0{,}16 \cdot 0{,}28^3 = 2{,}93 \cdot 10^{-4} m^4$$

Charakteristická hodnota momentu od stálého zatížení $M_{G,k}$ = 3,35 kNm

Charakteristická hodnota momentu od zatížení sáním $M_{Q,k}$ = - 4,27 kNm

$$u_{inst,G} = \frac{3{,}35 \cdot 12{,}4^2}{9{,}6 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 2{,}93 \cdot 10^{-4}} = 0{,}018\ m = 18\ mm$$

$$u_{inst,Q} = \frac{-4{,}27 \cdot 12{,}4^2}{9{,}6 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 2{,}93 \cdot 10^{-4}} = -0{,}023\ m = -23\ mm$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q} = 18 + (-23) = -5\ mm$$

$$u_{inst,lim} = \frac{L}{500} = \frac{12400}{500} = 24{,}8\ mm$$

$$|u_{inst}| = 5\ mm \leq u_{inst,lim} = 24{,}8\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Stanovení hodnoty konečného průhybu:

$$k_{def} = 0{,}8 \quad pro\ třídu\ vlhkosti\ 2\ a\ lepené\ lamelové\ dřevo$$

$$\psi_2 = 0 \quad pro\ zatížení\ větrem$$

$$u_{fin} = u_{inst,G}\left(1 + k_{def}\right) + u_{inst,Q}\left(1 + \psi_2 k_{def}\right) = 18(1 + 0{,}8) - 23(1 + 0 \cdot 0{,}8) = 9{,}4\ mm$$

$$u_{fin,lim} = \frac{L}{300} = \frac{12400}{300} = 41{,}3\ mm$$

$$u_{fin} = 9{,}4\ mm \leq u_{fin,lim} = 41{,}3\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Z tohoto posouzení je vidět, že i v případě, kdy trám bude přenášet zatížení samostatně bez spolupůsobení zbytku konstrukce, bude tato konstrukce vyhovující na mezní stav použitelnosti.

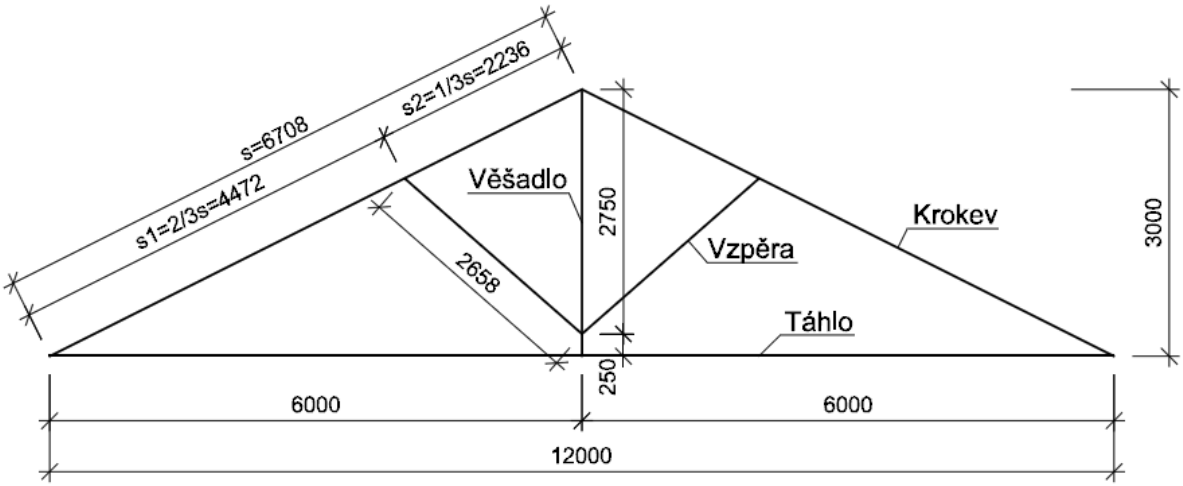
6 Věšadlo

6.1 Obecná charakteristika

Tato konstrukce je podobná klasickému krovu. Jejím charakteristickým prvkem je věšadlo, na kterém je zavěšeno táhlo, které zabraňuje rozjetí konstrukce v podporách. Do věšadla jsou dále zapuštěny vzpěry, které podporují krokve a zmenšují tak jejich ohybové momenty a vzpěrné délky. Hlavním cílem bylo navrhnout konstrukci tak, aby zde byly na spojení jednotlivých prvků využity tesařské spoje. Vzdálenost jednotlivých vazeb byla snížena na 1 m, tak aby bylo dosaženo přijatelných vnitřních sil pro dimenzování této konstrukce.

6.2 Geometrie

Výchozím údajem je i zde rozpětí L = 12m. Střešní konstrukce byla navržena jako střecha šikmá o sklonu α = 27°. Další rozměry a uspořádání konstrukce jsou patrné z obrázku.



Obr. 6.1: Geometrie věšadla

6.3 Výpočet zatížení

Zatížení bylo počítáno na zatěžovací šířku 1,0 m, tak aby bylo dosaženo menších vnitřních sil pro dimenzování přijatelných průřezů jednotlivých prvků.

6.3.1 Zatížení stálé

Vlastní tíha konstrukce byla opět počítána programem Scia Engineer.

Tab. 6.1: Vzpínadlo - stálé zatížení

		zatížení [kN/m^2]	ZŠ [m]	zatížení [kN/m]
Střešní plášť	OSB desky	0,175	1	0,18
	Tepelná izolace	0,25	1	0,25
	Hydroizolace	0,12	1	0,12
Vaznice	(přepočteny na spojité zatížení na vazník)			0,0625
celkem				0,61

6.3.2 Zatížení sněhem

Pro stanovení zatížení sněhem lze použít tyto hodnoty z předchozích případů:

$$S_1 = S_k C_e C_t \mu_i = 1 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}8 \frac{kN}{m^2}$$

$$S_2 = S_k C_e C_t \, 0{,}5 \mu_i = 1 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}4 \frac{kN}{m^2}$$

Přenásobením zatěžovací šířkou 1,0 m dostaneme hodnoty spojitého zatížení pro navátý a nenavátý sníh.

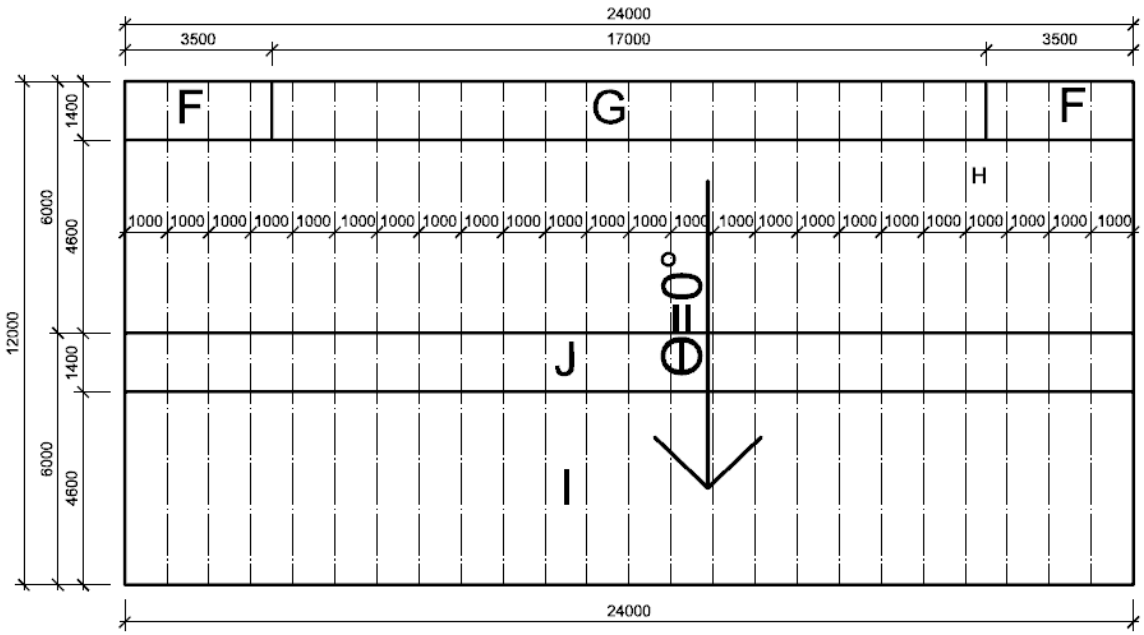
$$s_1 = 0{,}8 \cdot 1{,}0 = 0{,}8 \, \frac{kN}{m}$$

$$s_2 = 0{,}4 \cdot 1{,}0 = 0{,}4 \frac{kN}{m}$$

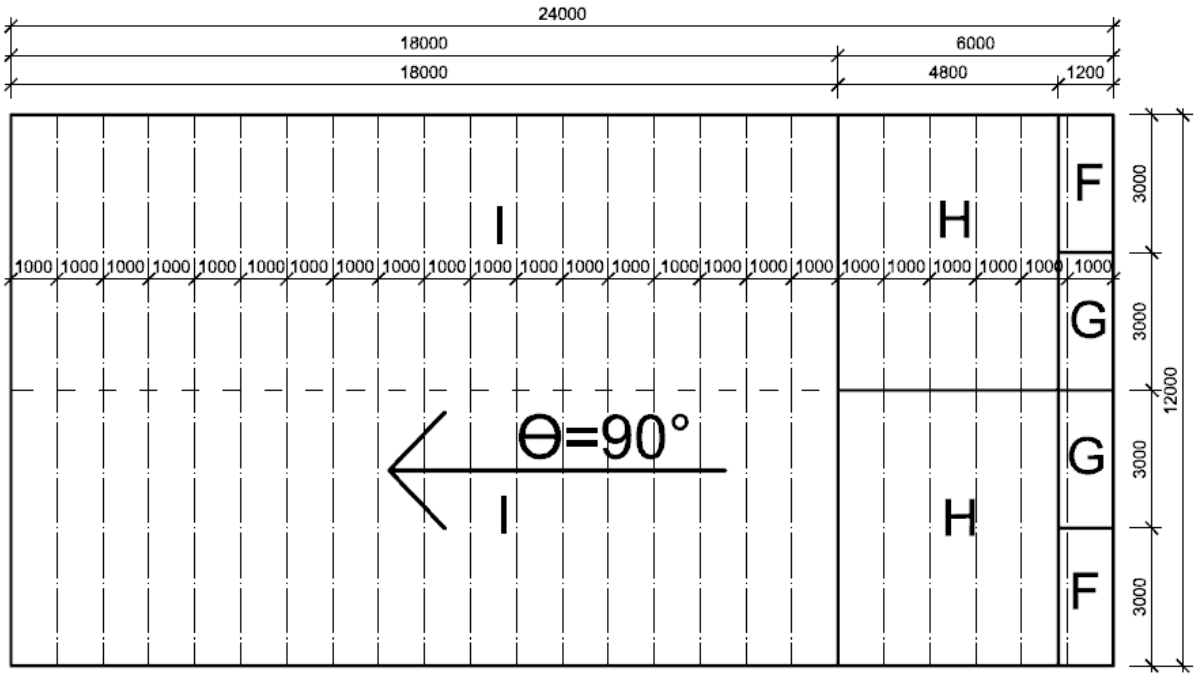
6.3.3 Zatížení větrem

Byly stanoveny hodnoty součinitele $C_{pe,10}$ pro sedlovou střechu se sklonem α = 27°, určeny větrové oblasti, spočítán tlak větru a intenzity větru pro jednotlivé případy.

Problém zde nastává u druhého vazníku od kraje při směru větru Θ=90°. Sání je zde tak velké, že vyvolává opačné namáhání konstrukce oproti ostatním kombinacím (tzn. tah tam kde je v ostatních případech tlak a naopak). U této vazby je nutné provést důkladné posouzení spojovacích prostředků, jelikož zde nosnost spoje závisí převážně na nich. Tato práce bude dále řešit vazbu charakteristickou pro zbývající konstrukci (tzn. mimo oblast největšího sání), kde použité spojovací prostředky zabezpečují pouze polohu spoje.



Obr. 6.2: Věšadlo - větrové oblasti pro směr větru Θ=0°

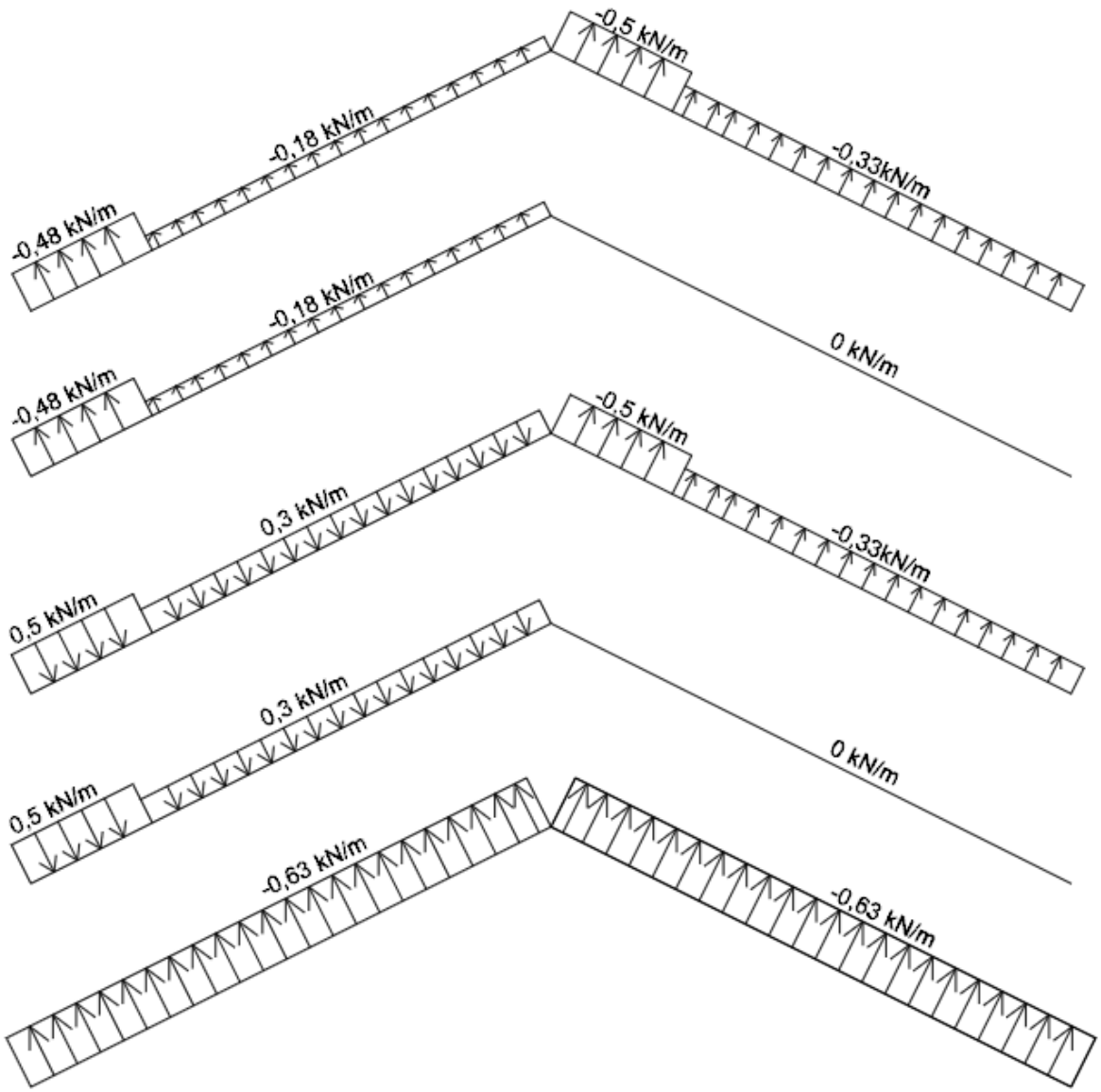


Obr. 6.3: Věšadlo - větrové oblasti pro směr větru Θ=90°

Tab. 6.2: Věšadlo - hodnoty součinitele $C_{pe,10}$

Oblast	směr větru Θ=0°		směr větru Θ=90°
	$C_{pe,10}$		$C_{pe,10}$
F	-0,58	0,6	-1,14
G	-0,56	0,6	-1,38
H	-0,22	0,36	-0,76
J	-0,6	0	-
I	-0,4	0	-0,5

VÝCHOZÍ ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU $v_{b,0}$ =	25,00	m/s
SOUČINITEL SMĚRU VĚTRU C_{dir} =	1,00	PRO ČR
SOUČINITEL ROČNÍHO OBDOBÍ C_{SEASON} =	1,00	
ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU V_b =	**25,00**	**m/s**
SOUČINITEL OROGRAFIE $C_{o(Z)}$ =	1	
PARAMETR DRSNOSTI PRO KATEGORII II. $Z_{o,II}$ =	0,050	PRO ČR
PARAMETR DRSNOSTI ZVOLENÉ KATEGORIE Z_0 =	0,050	DLE TAB.
SOUČINITEL TERÉNU K_r =	0,190	
SOUČINITEL DRSNOSTI PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $C_{r(Z)}$ =	0,939	
STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU $V_{m(Z)}$ =	23,47	m/s
SOUČINITEL TURBOLENCE K_I =	1	PRO ČR
INTENZITA TURBOLENCE PRO $Z_{min} < Z < Z_{max}$ $I_{v(Z)}$ =	0,202	
HODNOTA MĚRNÉ HMOTNOSTI ρ =	1,25	kg/m^3
MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK $q_{p(z)}$ =	**0,83**	**kN/m^2**



Obr. 6.4: Věšadlo - intenzity zatížení větrem

6.4 Zatěžovací stavy a kombinace

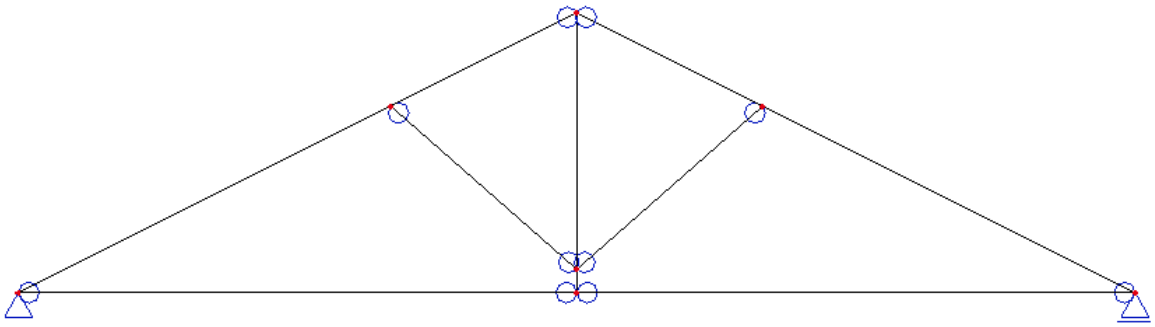
Pro danou konstrukci byly vytvořeny tyto zatěžovací stavy:

- ZS1 – Vlastní tíha
- ZS2 – Stálé zatížení
- ZS3 – Sníh – nenavátý
- ZS4 – Sníh – navátý L
- ZS5 – Sníh – navátý P
- ZS6 – ZS10 – Vítr 1 - 5

Zatěžovací stavy ZS3 - ZS5 byly v programu Scia Engineer vloženy do skupiny zatížení Sníh. Stavy ZS6 – ZS10 byly zařazeny do skupiny Vítr. Obě skupiny byly nastaveny jako výběrové.

Pro mezní stav únosnosti byl nastaven typ kombinace: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

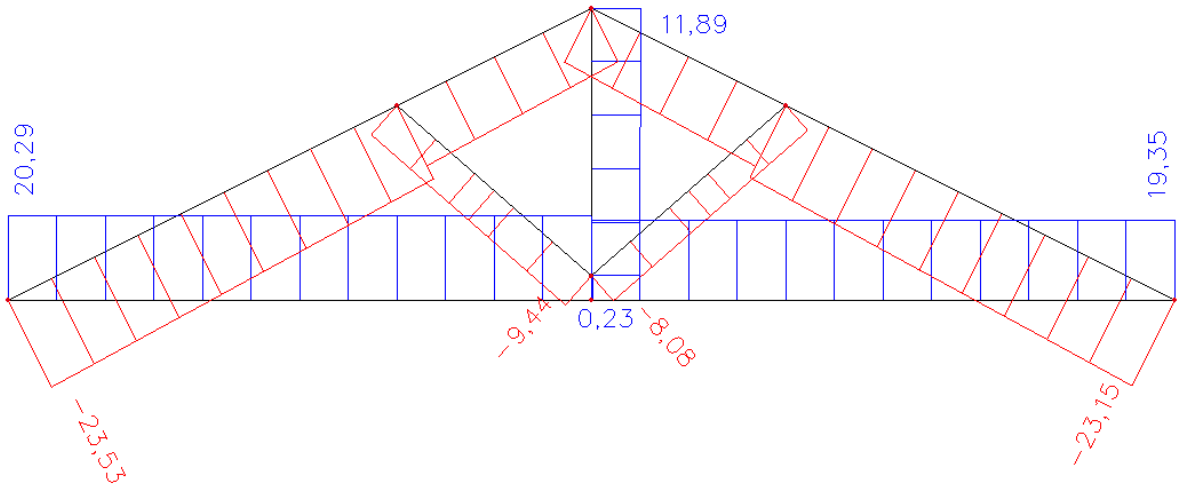
6.5 Statické schéma



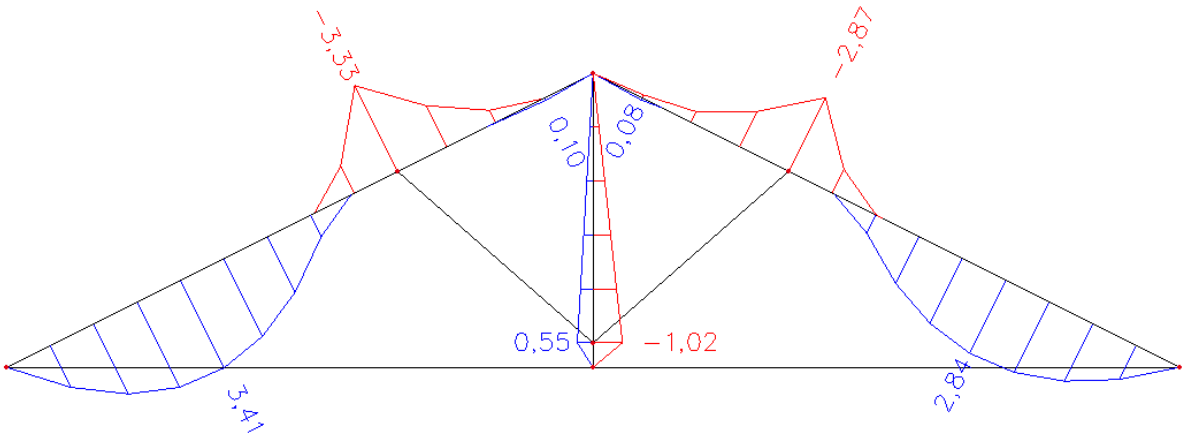
Obr. 6.5: Věšadlo - statické schéma

6.6 Výpočet a průběh vnitřních sil

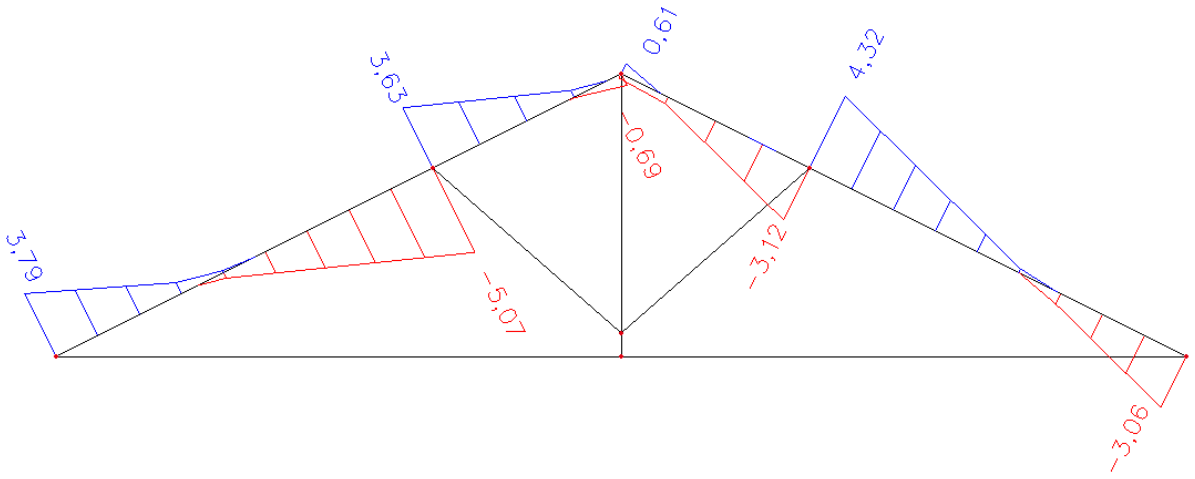
Výpočet a vykreslení průběhu vnitřních sil bylo opět provedeno v programu Scia Engineer.



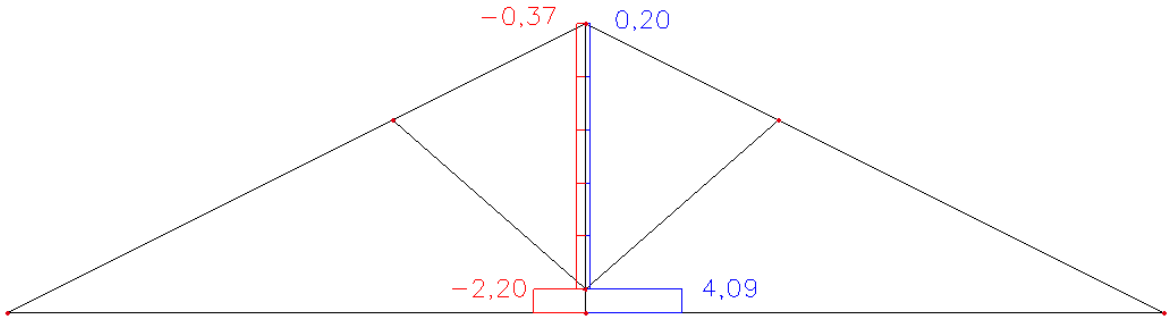
Obr. 6.6: Věšadlo - průběhy N



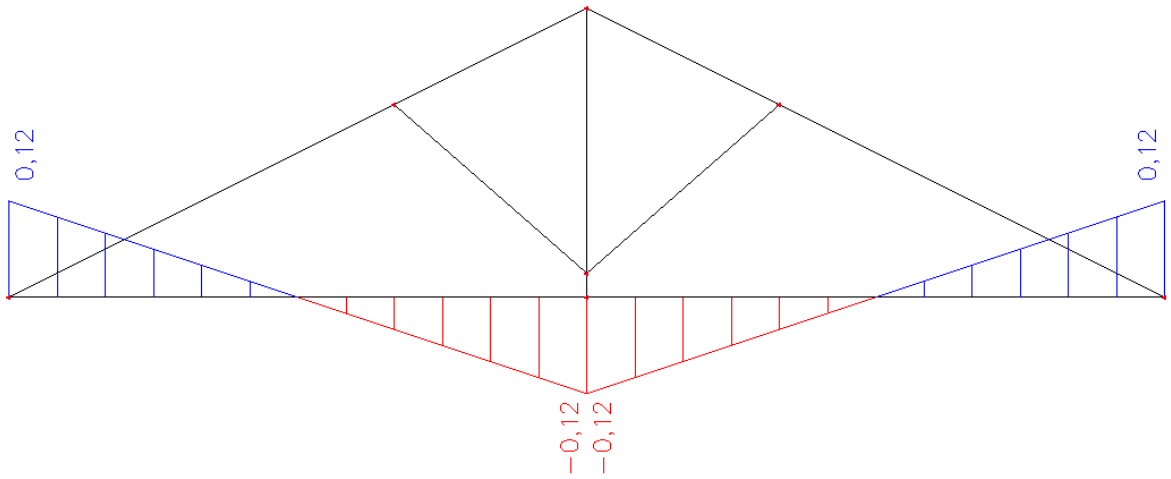
Obr.6.7: Věšadlo - průběhy M



Obr. 6.8 Věšadlo - průběhy V na krokvi



Obr. 6.9: Věšadlo - průběhy V na věšadle



Obr. 6.10: Věšadlo - průběhy V v táhle

6.7 Posouzení na mezní stav únosnosti

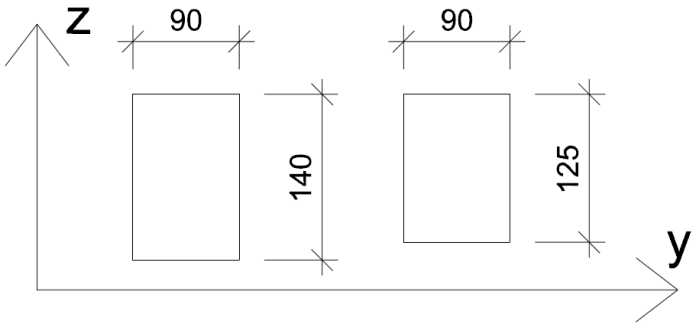
Prvky konstrukce byly posouzeny podle způsobu namáhání na tah, tlak (vzpěr) a jejich kombinaci s ohybem, na smyk a dále byly navrženy a posouzeny tesařské spoje vyskytující se na konstrukci.

Obecný popis posouzení bude opět uveden pouze u případů, které ještě nebyly řešeny v předchozí části textu.

Materiál zvolený pro konstrukci je jehličnaté dřevo třídy C22.

6.7.1 Posouzení krokve

Krokev byla posouzena na tlak (vzpěr) kolmo na osu y, na kombinaci tlaku a ohybu a na smyk. Vybočení prvku v ose menší tuhosti (kolmo na osu z) je zabráněno vaznicemi ve spolupůsobení se střešním pláštěm (OSB desky). Na kombinaci tlaku s ohybem byl prvek posouzen v místě maximálního ohybového momentu a dále v místě připojení vzpěry, kde je průřezová plocha zmenšena zapuštěním vzpěry. Na smyk byla krokev posouzena v místě maximální smykové síly, kde se opět uvažuje oslabení průřezu zapuštěním.



Obr. 6.11: Plný a oslabený průřez krokve

6.7.1.1 Tlak vzpěr

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 23,53 kN

Plocha plného průřezu A = 0,0126 m^2

Délka prvku pro vzpěr L = 4,472 m

Tab. 6.3: Posouzení krokve na tlak (vzpěr)

$N_{c,0,d}$ =	23,53	kN	i =	0,040	m
A =	1,26E-02	m^2	L=	4,472	m
$\sigma_{c,0,d}$ =	1,87	MPa	β =	0,9	
$f_{c,0,k}$ =	20	MPa	L_{cr} =	4,025	m
k_{mod} =	0,9		λ =	99,59	
γ_M =	1,3		λ_{rel} =	1,73	
$f_{c,0,d}$ =	13,85	MPa	β_c =	0,2	

Pokračování Tab. 6.3

I =	2,06E-05	m^4	k =	2,14	
$E_{0,05}$ =	6,4	GPa	k_c =	0,29	
0,46		≤	1,0		
VYHOVUJE					

6.7.1.2 Kombinace tlak a ohyb v místě max. M

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 23,53 kN

Návrhový ohybový moment M_{Ed} = 3,41 kNm

Plocha plného průřezu A = 0,0126

Tab. 6.4: Posouzení krokve na kombinaci ohybu a tlaku v místě max. M

$M_{E,d}$ =	3,41	kNm	A =	1,26E-02	m^2
$N_{c,0,d}$ =	23,53	kN	k_m =	1	
$f_{m,k}$ =	22	MPa	$\sigma_{c,0,d}$ =	1,87	MPa
$f_{c,0,k}$ =	20	MPa	$\sigma_{m,d}$ =	11,60	MPa
W =	2,94E-04	m^3	$f_{c,0,d}$ =	13,85	MPa
k_{mod} =	0,9		$f_{m,d}$ =	15,23	MPa
γ_M =	1,3		0,78	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.1.3 Kombinace tlak a ohyb v místě oslabení průřezu zapuštěním

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 23,53 kN

Návrhový ohybový moment M_{Ed} = 3,33 kNm

Plocha oslabeného průřezu A_{ef} = $1{,}125 \cdot 10^{-2}$ m^2

Tab. 6.5: Posouzení krokve na kombinaci ohybu a tlaku v místě oslabení

$M_{E,d}$ =	3,33	kNm	A =	1,13E-02	m^2
$N_{c,0,d}$ =	23,53	kN	k_m =	1	
$f_{m,k}$ =	22	MPa	$\sigma_{c,0,d}$ =	2,09	MPa
$f_{c,0,k}$ =	20	MPa	$\sigma_{m,d}$ =	14,21	MPa
W =	2,34E-04	m^3	$f_{c,0,d}$ =	13,85	MPa
k_{mod} =	0,9		$f_{m,d}$ =	15,23	MPa
γ_M =	1,3		0,96	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.1.4 Smyk

Návrhová smyková síla V_{Ed} = 5,07 kN

Šířka průřezu b = 0,09 m

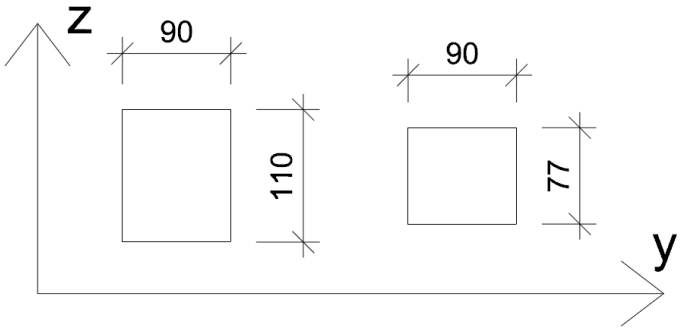
Výška v místě oslabení průřezu h_{ef} = 0,125 m

Tab. 6.6: Posouzení krokve na smyk

V_{ed} =	5,07	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,01125	m^2	γ_M =	1,3	
$\tau_{v,d}$ =	0,68	MPa	$f_{v,d}$ =	1,66	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,41	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.2 Posouzení věšadla

Věšadlo bylo posouzeno na kombinaci tah a ohyb v místě maximálního ohybového momentu a na smyk s uvážením oslabení průřezové plochy zapuštěním vzpěr.



Obr. 6.12: Plný a oslabený průřez věšadla

6.7.2.1 Posouzení na kombinaci tah a ohyb

Návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 11,89 kN

Návrhový ohybový moment M_{Ed} = 1,02 kNm

Plocha oslabeného průřezu A_{ef} = $6{,}93 \cdot 10^{-3}$ m^2

Tab. 6.7: Posouzení věšadla na kombinaci ohyb a tah

$M_{E,d}$ =	1,02	kNm	$f_{m,k}$ =	22	MPa
$N_{t,0,d}$ =	11,89	kN	$f_{t,0,k}$ =	13	MPa
A =	0,00693	m^2	k_{mod} =	0,9	
W_y =	9,60E-05	m^3	γ_M =	1,3	
$\sigma_{m,d}$ =	10,63	MPa	$f_{m,d}$ =	15,23	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	1,65	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,00	MPa
0,88		≤		1,0	
VYHOVUJE					

6.7.2.2 Posouzení na smyk

Návrhová smyková síla V_{Ed} = 4,09 kN

Šířka průřezu b = 0,09 m

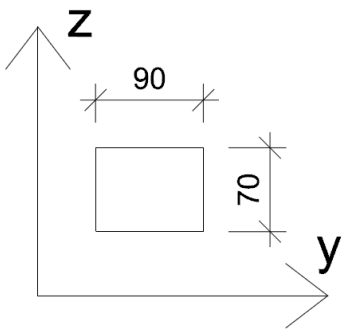
Výška v místě oslabení průřezu h_{ef} = 0,077 m

Tab. 6.8: Posouzení věšadla na smyk

V_{ed} =	4,09	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,00693	m^2	γ_M =	1,3	
$\tau_{v,d}$ =	0,85	MPa	$f_{v,d}$ =	1,66	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,51	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.3 Posouzení vzpěry

Vzpěry byly posouzeny na tlak (vzpěr) v rovině menší tuhosti (kolmo na osu y).



Obr. 6.13: Průřez vzpěry

6.7.3.1 Posouzení na tlak (vzpěr)

Návrhová tlaková síla $N_{c,0,d}$ = 9,44 kN

Plocha průřezu A = $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ m^2

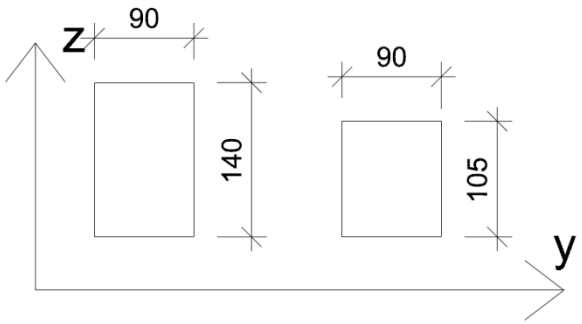
Délka prvku pro vzpěr L = 2,658 m

Tab. 6.9: Posouzení vzpěry na tlak (vzpěr)

$N_{c,0,d}$ =	9,44	kN	i =	0,020	m
A =	6,30E-03	m^2	L=	2,658	m
$\sigma_{c,0,d}$ =	1,50	MPa	β =	0,9	
$f_{c,0,k}$ =	20	MPa	L_{cr} =	2,392	m
k_{mod} =	0,9		λ =	118,38	
γ_M =	1,3		λ_{rel} =	2,06	
$f_{c,0,d}$ =	13,85	MPa	β_c =	0,2	
I =	2,57E-06	m^4	k =	2,80	
$E_{0,05}$ =	6,7	GPa	k_c =	0,21	
0,51		≤	1,0		
VYHOVUJE					

6.7.4 Posouzení táhla

Táhlo bylo posouzeno na tah. Uprostřed rozpětí je táhlo přerušeno věšadlem, do kterého je začepováno. Spojení polovin táhla je zabezpečeno příložkami připojenými k táhlu svorníky. Konečné rozměry prvku ovlivnily požadavky na vzdálenosti od okrajů a konců u svorníků. Posouzení bylo provedeno v místě oslabení táhla spojovacími prostředky a dále v místě zapuštění krokve do táhla.



Obr. 6.14: Plný a oslabený průřez táhla

6.7.4.1 Posouzení na tah v místě oslabení spojovacími prostředky

Návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 20,29 kN

Plocha průřezu oslabeného spojovacími prvky $A_{ef} = 5{,}76 \cdot 10^{-3}$ m^2

Tab. 6.10: Posouzení táhla na tah v místě oslabení spojovacími prostředky

$N_{t,0,d}$ =	20,29	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	1,11E-02	m^2	γ_M =	1,3	
$f_{t,0,k}$ =	13	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,00	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	1,83	MPa	0,20	≤	1,0
TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY - VYHOVUJE					

6.7.4.2 Posouzení na tah v místě oslabení zapuštěním krokve

Návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 20,29 kN

Plocha průřezu oslabeného zapuštěním krokve $A_{ef} = 9{,}45 \cdot 10^{-3}$ m^2

Tab. 6.11: Posouzení táhla v místě oslabení zapuštěním krokve

$N_{t,0,d}$ =	20,29	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	9,45E-03	m^2	γ_M =	1,3	
$f_{t,0,k}$ =	13	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,00	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	2,15	MPa	0,24	≤	1,0
TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY - VYHOVUJE					

6.7.5 Posouzení tesařských spojů

Tesařské spoje použité na konstrukci jsou čepování a zapuštění. Provádění těchto spojů vyžaduje oslabení průřezové plochy prvků a tím tedy celkové zvětšení prvků. Tesařské spoje jsou navrženy tak, aby dokázaly přenést veškeré zatížení. Jejich polohu je však nutno zajistit dalšími spojovacími prostředky (hřebíky, svorníky,…). Tato část práce se však již bude zabývat pouze únosností tesařských spojů.

6.7.5.1 Zapuštění

Zapuštění bylo posouzeno podle ČSN 73 1702 Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí. [6]. Pro názornost zde bude nejprve uveden obecný postup výpočtu a až poté posouzení jednotlivých zapuštění.

6.7.5.1.1 Obecný postup posouzení zapuštění

U zapuštění má hloubka zářezu t_v splňovat podmínku:

$$t_v \leq \begin{cases} h/4 & pro\ \alpha \leq 50° \\ h/6 & pro\ \alpha \geq 60° \end{cases}$$

Mezilehlé hodnoty lze interpolovat podle přímky.

Při oboustranném zapuštění smí být hloubka každého zářezu nezávisle na úhlu připojení max. 1/6 výšky h dřevěného prvku se zářezem.

Napětí v tlaku v čelní ploše zapuštění musí splňovat podmínku:

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

Přitom:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2f_{c,90,d}} sin^2\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2f_{v,d}} sin\alpha\ cos\alpha\right)^2 + cos^4\alpha}}$$

$F_{c,\alpha,d}$ tlaková normálová síla působící v přípoji

A čelní plocha zapuštění

α úhel mezi směrem namáhání a směrem vláken dřeva

$f_{c,0,d}$ návrhová únosnost v tlaku rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,d}$ = 13,84 MPa

$f_{c,90,d}$ návrhová únosnost v tlaku kolmo na vlákna $f_{c,90,d}$ = 1,66 MPa

$f_{v,d}$ návrhová únosnost ve smyku $f_{v,d}$ = 1,66 MPa

6.7.5.1.2 Zapuštění krokve do věšadla

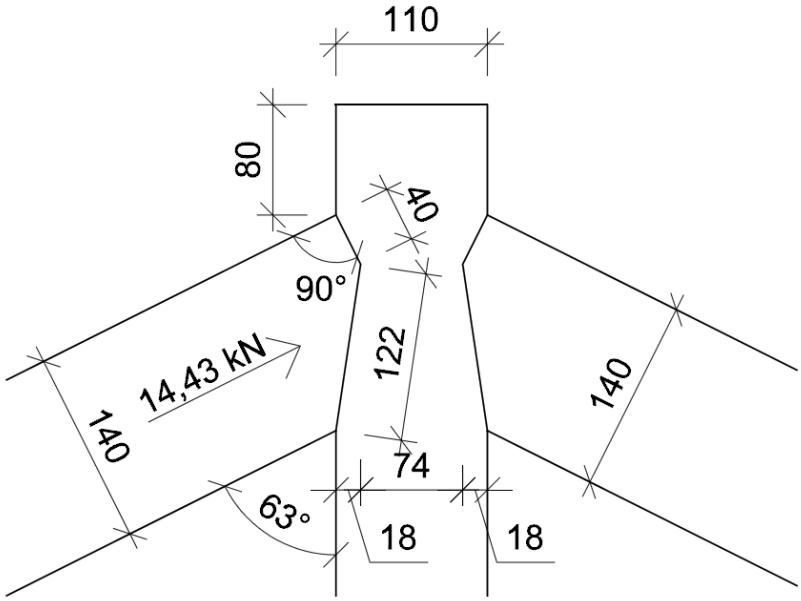
Návrhová tlaková síla v přípoji $F_{t,63,d}$ = 14,43 kN

Úhel mezi směrem zatížení a vlákny α = 63°

Hloubka zapuštění t_v = 18 mm

Výška čela zapuštění h = 40 mm

Šířka krokve (zapuštění) b = 90 mm



Obr. 6.15: Zapuštění krokve do věšadla

$$A = bh = 0{,}09 \cdot 0{,}04 = 3{,}6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{14{,}43 \cdot 10^{-3}}{3{,}6 \cdot 10^{-3}} = 4{,}01\ MPa$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{13{,}84}{\sqrt{\left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin^2 63\right)^2 + \left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin63\ cos63\right)^2 + cos^4 63}} = 4{,}13\ MPa$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{4{,}01}{4{,}13} = 0{,}97 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$t_v = 18\ mm\ \leq \frac{110}{6} = 18{,}33\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Vrchol věšadla je ještě nutné posoudit na usmýknutí a zjistit tak jestli je zvolená délka záhlaví dostatečná.

Návrhová smyková síla $F_{v,d} = F_{t,63,d}$ cos63° = 14,43 cos63° = 6,55 kN

Šířka smykové plochy b = 0,09 m

Délka smykové plochy l = 0,116 m

Tab. 6.12: Posouzení usmýknutí záhlaví věšadla

V_{ed} =	6,55	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,01044	m^2	γ_M =	1,3	
$\tau_{v,d}$ =	0,94	MPa	$f_{v,d}$ =	1,66	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,57	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.5.1.3 Zapuštění krokve do táhla

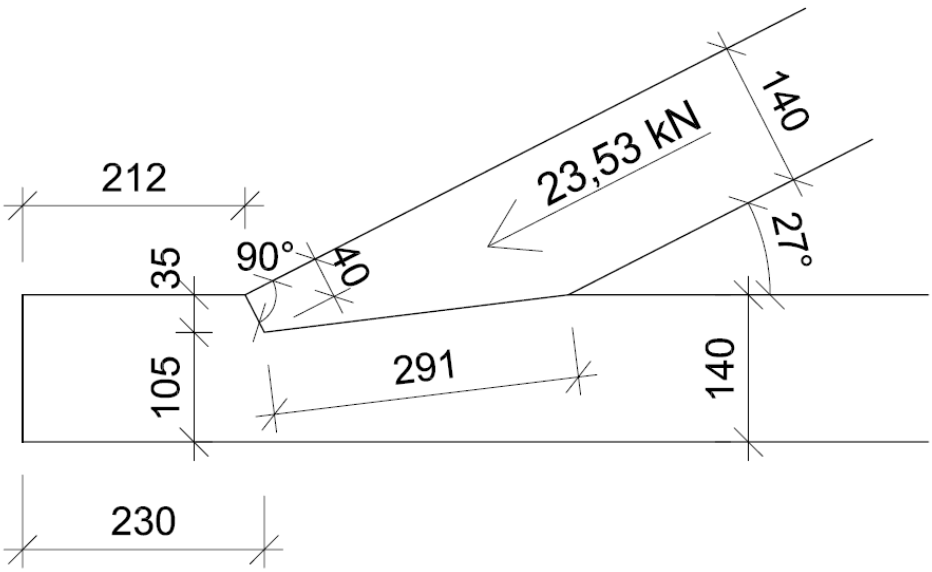
Návrhová tlaková síla v přípoji $F_{t,27,d}$ = 23,53 kN

Úhel mezi směrem zatížení a vlákny α = 27°

Hloubka zapuštění t_v = 35 mm

Výška čela zapuštění h = 40 mm

Šířka krokve (zapuštění) b = 90 mm



Obr. 6.16: Zapuštění krokve do táhla

$$A = bh = 0{,}09 \cdot 0{,}04 = 3{,}6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{23{,}53 \cdot 10^{-3}}{3{,}6 \cdot 10^{-3}} = 6{,}54\ MPa$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{13{,}84}{\sqrt{\left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin^2 27\right)^2 + \left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin27\ cos27\right)^2 + cos^4 27}} = 6{,}65\ MPa$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{6{,}54}{6{,}65} = 0{,}98 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$t_v = 35\,mm \leq \frac{140}{4} = 35\,mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Záhlaví táhla je opět nutné posoudit na usmýknutí a zjistit tak jestli je zvolená délka záhlaví dostatečná.

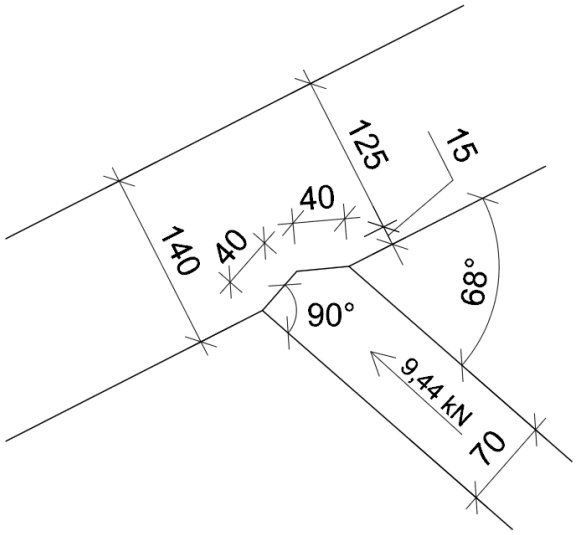
Návrhová smyková síla $F_{v,d} = F_{t,27,d}$ cos27° = 23,53 cos27° = 20,97 kN
Šířka smykové plochy b = 0,09 m
Délka smykové plochy l = 0,230 m

Tab. 6.13: Posouzení usmýknutí záhlaví táhla

V_{ed} =	20,97	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	0,0207	m^2	γ_M =	1,3	
$\tau_{v,d}$ =	1,52	MPa	$f_{v,d}$ =	1,66	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,91	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.5.1.4 Zapuštění vzpěry do krokve

Návrhová tlaková síla v přípoji $F_{t,68,d}$ = 9,44 kN
Úhel mezi směrem zatížení a vlákny α = 68°
Hloubka zapuštění t_v = 15 mm
Výška čela zapuštění h = 40 mm
Šířka vzpěry (zapuštění) b = 90 mm



Obr. 6.17: Zapuštění vzpěry do krokve

$$A = bh = 0{,}09 \cdot 0{,}04 = 3{,}6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{9{,}44 \cdot 10^{-3}}{3{,}6 \cdot 10^{-3}} = 2{,}62\,MPa$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{13{,}84}{\sqrt{\left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin^2 68\right)^2 + \left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin68\, cos68\right)^2 + cos^4 68}} = 3{,}84\ MPa$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{2{,}62}{3{,}84} = 0{,}68 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$t_v = 15\ mm\ \leq \frac{140}{6} = 23{,}3\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

6.7.5.1.5 Zapuštění vzpěry do věšadla

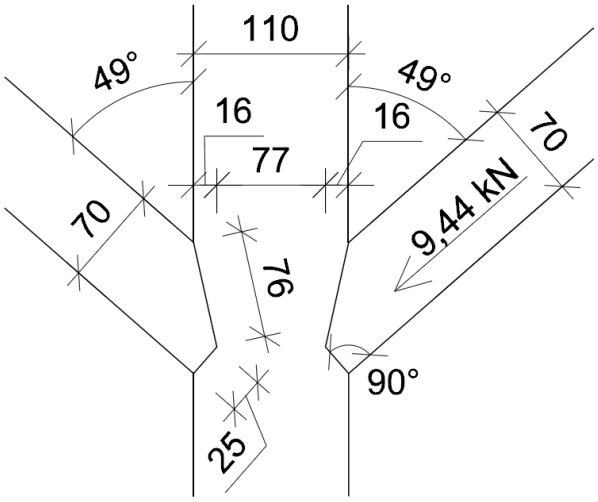
Návrhová tlaková síla v přípoji $F_{t,49,d}$ = 9,44 kN

Úhel mezi směrem zatížení a vlákny α = 49°

Hloubka zapuštění t_v = 16 mm

Výška čela zapuštění h = 25 mm

Šířka vzpěry (zapuštění) b = 90 mm



Obr. 6.18: Zapuštění vzpěr do věšadla

$$A = bh = 0{,}09 \cdot 0{,}025 = 2{,}25 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{9{,}44 \cdot 10^{-3}}{2{,}25 \cdot 10^{-3}} = 4{,}2\ MPa$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{13{,}84}{\sqrt{\left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin^2 49\right)^2 + \left(\frac{13{,}84}{2 \cdot 1{,}66} sin49\, cos49\right)^2 + cos^4 49}} = 4{,}36\ MPa$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{4{,}2}{4{,}36} = 0{,}96 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$t_v = 16\ mm\ \leq \frac{110}{6} = 18{,}3\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

6.7.5.2 Čep

Čepem byla připojena táhla k věšadlu. Tento čep přenáší pouze posouvající sílu vyvolanou vlastní tíhou táhla. Posouzení čepu bylo provedeno stejně jako u zapuštění podle ČSN 73 1702 Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí. [6]

Pro nosníky (s výškou do 300 mm) s čepem je charakteristická únosnost čepu:

$$R_k = min\begin{cases}\frac{2}{3}bh_e k_z k_v f_{v,k}\\ 1{,}7bl_{z,ef}f_{c,90,k}\end{cases}$$

kde

$k_v = 1{,}0$

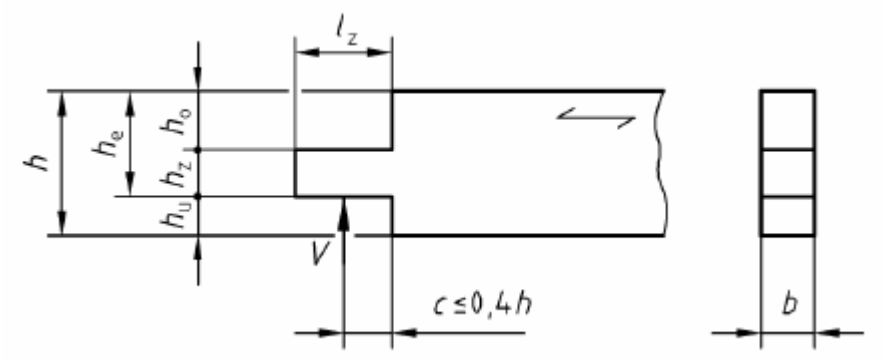
$k_z = \beta[1 + 2(1-\beta)^2](2-\alpha)$

$\alpha = h_e/h$

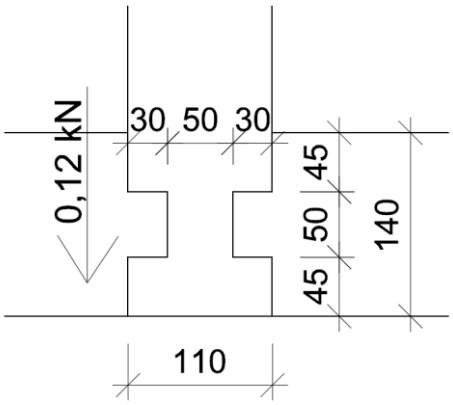
$\beta = h_z/h_e$

$l_{z,ef} = min\begin{cases}l_z + 30\ mm\\ 2l_z\end{cases}$

$b, h_e, h_z, h, l_z \quad jsou\ rozměry\ podle\ obrázku$



Obr. 6.19: Rozměry čepu [6]



Obr. 6.20: Rozměry navrženého čepu

$$\beta = h_z/h_e = \frac{50}{95} = 0{,}53$$

$$\alpha = h_e/h = \frac{95}{140} = 0{,}68$$

$$k_z = \beta[1 + 2(1-\beta)^2](2-\alpha) = 0{,}53[1 + 2(1-0{,}53)^2](2-0{,}68) = 1{,}01$$

$$l_{z,ef} = min\begin{cases} l_z + 30\ mm = 30 + 30 = 60\ mm \\ 2l_z = 2 \cdot 30 = 60\ mm \end{cases} = 60\ mm$$

$$R_k = min\begin{cases} \frac{2}{3} b h_e k_z k_v f_{v,k} = \frac{2}{3} \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}095 \cdot 1{,}01 \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}4 \cdot 10^3 = 13{,}8\ kN \\ 1{,}7 b l_{z,ef} f_{c,90,k} = 1{,}7 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}06 \cdot 2{,}4 \cdot 10^3 = 22{,}0\ kN \end{cases} = 13{,}8\ kN$$

$$R_d = k_{mod}\frac{R_k}{\gamma_M} = 0{,}9\frac{13{,}8}{1{,}3} = 9{,}55\ kN$$

$$V_{Ed} = 0{,}12\ kN \leq R_d = 9{,}55\ kN \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Dále musí být splněny tyto podmínky:

$$15\ mm \leq l_z \leq 60\ mm \quad \rightarrow \quad 15mm \leq 30\ mm \leq 60\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$1{,}5 \leq h/b \leq 2{,}5 \quad \rightarrow \quad 1{,}5 \leq 140/90 = 1{,}55 \leq 2{,}5 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$h_0 \geq h_u \quad \rightarrow \quad 45\ mm \geq 45\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$h_u/h \leq 1{,}3 \quad \rightarrow \quad 45/140 = 0{,}32 \leq 1{,}3 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

$$h_z \geq h/6 \quad \rightarrow \quad 50 \geq 140/6 = 23{,}3 \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Dále je nutné posoudit usmýknutí věšadla pod čepem.

Návrhová smyková síla V_{Ed} = 0,12 kN
Šířka smykové plochy b =0,09 m
Délka smykové plochy l = 0,045 m

Tab. 6.14: Posouzení věšadla na usmýknutí pod čepem

V_{ed} =	0,12	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	4,05E-03	m^2	γ_M =	1,3	
$\tau_{v,d}$ =	0,04	MPa	$f_{v,d}$ =	1,66	MPa
$f_{v,k}$ =	2,4	MPa	0,03	≤	1,0
VYHOVUJE					

6.7.6 Posouzení spoje táhla

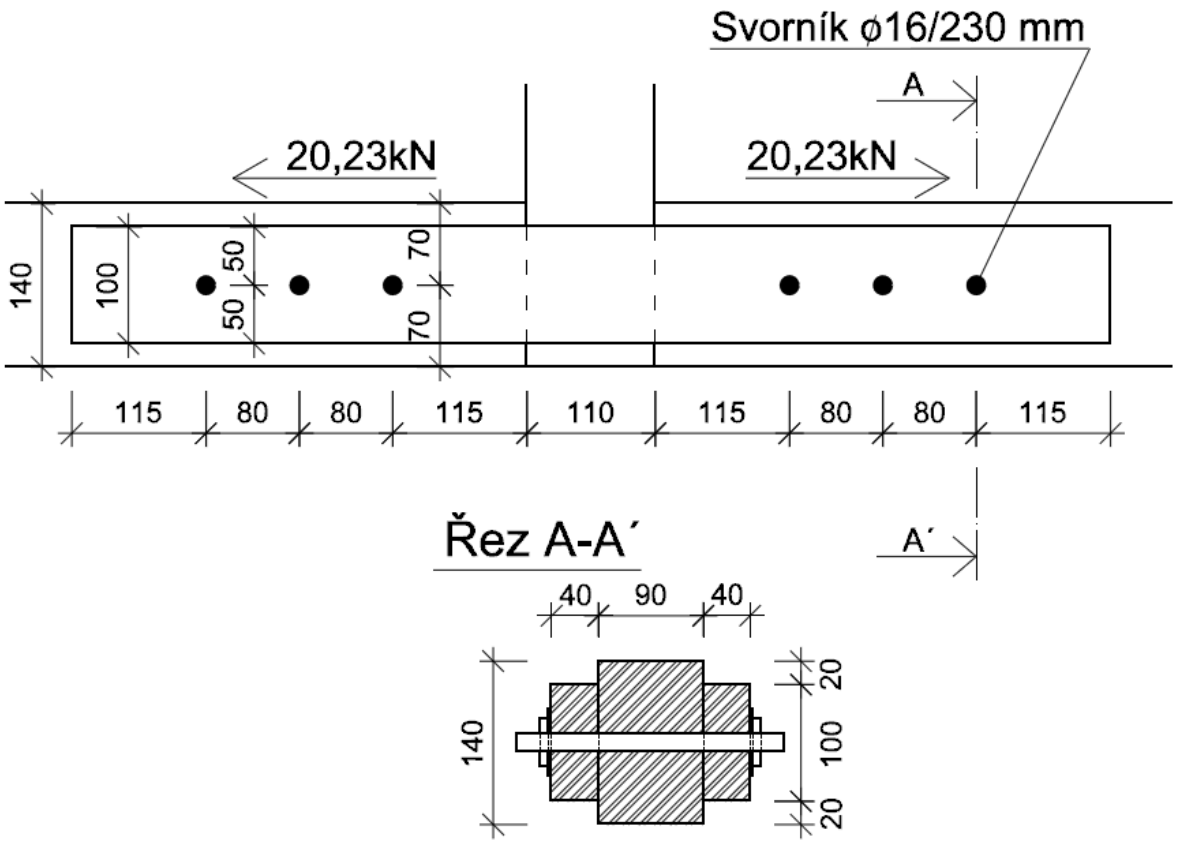
Spojení táhla přerušeného věšadlem bylo provedeno dřevěnými příložkami spojenými s táhlem svorníky. Byla posouzena únosnost svorníku, stanoveny jejich rozteče a umístění a dále byl posouzen průřez příložek na tah.

6.7.6.1 Únosnost svorníků

Pro přenesení tahové síly $N_{t,0,d}$ = 20,23 kN byly navrženy 3 svorníky o průměru 16 mm na každou polovinu táhla. Výpočet jejich celkové únosnosti, roztečí a vzdáleností od okrajů a konců je uveden v následující tabulce.

Tab. 6.15: Únosnost svorníků v přípoji táhla

tloušťka bočního prvku t_1 =	40	mm
tloušťka vnitřního prvku t_2 =	90	mm
char. hustota dřeva ρ_k =	340	kg/m^3
průměr svorníku d =	16	mm
char. pevnost v otlačení $f_{h,0,k}$ =	23,42	MPa
součinitel k_{90} =	1,59	
úhel odklonu síly od směru vláken α =	0	°
char. pevnost v otlačení pro úhel α $f_{h,\alpha,k}$ =	23,42	MPa
char. pevnost v tahu $f_{u,k}$ =	360,00	MPa
char. hodnota plastického momentu $M_{y,Rk}$ =	97284,68	N/mm
poměr mezi pevnostmi β =	1,00	
vztah g =	14,99	kN
vztah h =	16,86	kN
vztah j =	7,55	kN
vztah k =	9,82	kN
únosnost jednoho střihu 1 svorníku $F_{v,Rk}$ =	7,55	kN
únosnost jednoho dvojstřižného svorníku $F_{v,Rk}$ =	15,09	kN
Rozteče a vzdálenosti pro svorníky		
rozteč rovnoběžně s vlákny a_1 =	80	mm
rozteč kolmo k vláknům a_2 =	64	mm
zatížený okraj $a_{4,t}$ =	48	mm
nezatížený okraj $a_{4,c}$ =	48	mm
zatížený konec $a_{3,t}$ =	112	mm
nezatížený konec $a_{3,c}$ =	64	mm
počet svorníků n_1 =	3	ks
n_{ef} rovnoběžně s vlákny =	2,12	
n_{ef} kolmo na vlákna =	2	
n_{ef} pro úhel α =	2,12	
celková únosnost spoje $F_{v,Rk}$ =	32,00	kN
modifikační součinitel k_{mod} =	0,9	
dílčí souč. vlastnosti materiálu γ_M =	1,3	
návrhová únosnot spoje $F_{v,Rd}$ =	22,15	kN
$N_{t,0,d}$ = 20,23 kN < $F_{v,Rd}$ = 22,15 kN - VYHOVUJE		



Obr. 6.21: Uspořádání spoje táhla

6.7.6.2 Únosnost příložek v tahu

Návrhová tahová síla $N_{t,0,d}$ = 20,23 kN

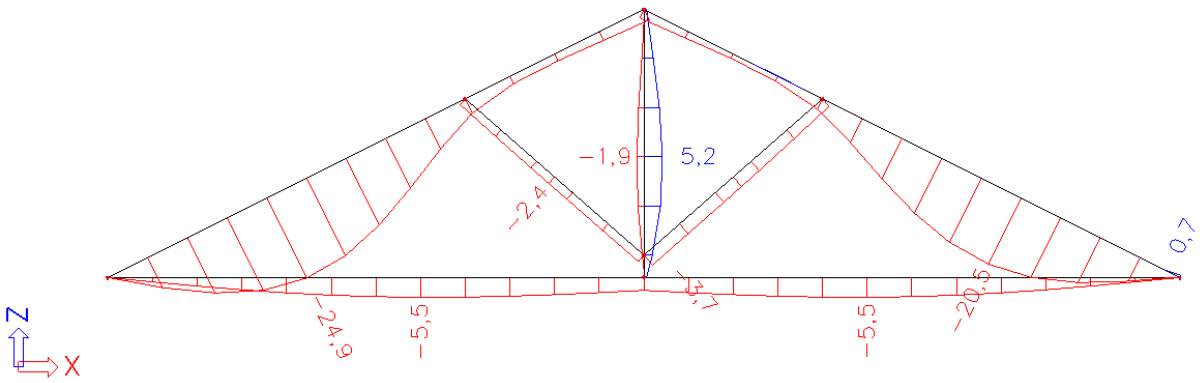
Oslabená průřezová plocha příložek $A_{ef} = 6{,}72 \cdot 10^{-3}$ m^2

Tab. 6.16: Únosnost příložek v tahu

$N_{t,0,d}$ =	20,29	kN	k_{mod} =	0,9	
A =	6,72E-03	m^2	γ_M =	1,3	
$f_{t,0,k}$ =	13	MPa	$f_{t,0,d}$ =	9,00	MPa
$\sigma_{t,0,d}$ =	3,02	MPa	0,34	≤	1,0
TAH ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY - VYHOVUJE					

6.8 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Posouzení na mezní stav použitelnosti bylo zjednodušeně provedeno programem Scia Engineer 2011.1. Prutům v modelu byly přiřazeny průřezy navržené při posouzení mezního stavu únosnosti. Pro toto posouzení byla vytvořena kombinace typu EN MSP charakteristická. Posuny konstrukce ve svislém směru (směr osy z) jsou patrné z následujícího obrázku.



Obr. 6.22: Relativní deformace konstrukce ve směru osy z

Pokud by jednotlivé prvky konstrukce měli splňovat podmínku:

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500}$$

pak pro:

- Táhlo: $5{,}5\ mm \leq \frac{6000}{500} = 12\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$
- Věšadlo: $5{,}2\ mm \leq \frac{3000}{500} = 6\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$
- Vzpěra: $2{,}4\ mm \leq \frac{2658}{500} = 5{,}3\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$
- Krokev: $24{,}9\ mm > \frac{4472}{500} = 8{,}94\ mm \quad \rightarrow \quad NEVYHOVUJE$

Z tohoto důvodu by musel být průřez krokve změněn např. na 90 x 220 mm, kdy by výsledný posun krokve byl:

$$u_{inst} = 8{,}7\ mm \leq 8{,}94\ mm \quad \rightarrow \quad VYHOVUJE$$

Závěr

Cílem práce bylo statické řešení, navržení a posouzení 4 různých konstrukcí zastřešení halových objektů. Konstrukce byly provedeny ze dřeva a jejich řešení vycházelo ze stanovených společných počátečních podmínek. Dílčími cíli práce bylo stanovení geometrie, výpočet zatížení, vytvoření statického modelu, výpočet a vykreslení vnitřních sil a následné posouzení od jednotlivých prvků (MSÚ) po celou konstrukci (MSP). Dále bylo provedeno posouzení vybraných detailů. Práce popisuje problémy, které se při návrhu objevily a uvádí i jejich případné řešení.

Příhradový vazník byl navržen z rostlého dřeva. Geometrie byla stanovena tak, aby nejvíce namáhané krajní diagonály byly tažené. Výpočtem vnitřních sil bylo zjištěno, že dolní pás vazníku bude namáhán pouze tahem a není tak potřeba řešit jeho zajištění proti vzpěru. Dolní a horní pás byly navrženy jako složený průřez o dvou obdélníkových prvcích, mezi které se umisťují diagonály a svislice. Původní záměr provést všechny prvky tl. 40 mm musel být nakonec kvůli provedení spoje pozměněn. Došlo ke zvětšení šířky jednotlivých prvků, tak aby svorníkové spoje v kombinaci s hmoždíky typu Bulldog vyhověly na požadované způsoby namáhání. Další změny velikosti prvků způsobily požadavky na rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky a hmoždíky, kdy narostla převážně výška prvků. Šířka prvků tak byla v některých případech zvětšena až o polovinu a výška i o celých 100% v porovnání s průřezem potřebným na přenesení vnitřních sil.

U sedlového vazníku z lepeného lamelového dřeva se při posouzení na mezní stav únosnosti neobjevily žádné problémy. Posudek této konstrukce je v porovnání s ostatními nenáročný. Při posouzení na mezní stav použitelnosti se zjistilo, že průhyb konstrukce je nepřípustný a je třeba změnit rozměry konstrukce. Konstrukce byla navržena vyšší. Velkou výhodou je rychlý a relativně snadný návrh konstrukce. Jelikož však jde o plnostěnný vazník z lepeného lamelového dřeva je spotřeba materiálu značně vyšší oproti ostatním konstrukcím, což se projeví hlavně na ceně konstrukce. Výhodná je prefabrikace konstrukce, protože není nutné ji na stavbě nijak složitě montovat. Při větších rozpětích je však kvůli přepravě nutné provést konstrukční spoj, což vede k dalšímu navrhování a posuzování.

Konstrukce vzpínadla je výhodná úsporou materiálu. Hlavní nosný trám byl proveden z lepeného lamelového dřeva. Ve spolupůsobení se sloupky a vzpínadlem jsou však rozměry trámu podstatně menší než v předchozím případě a i tak konstrukce vyhoví na mezní stav použitelnosti. Jelikož je ve vzpínadle velká tahová síla, bylo jeho provedení ze dřeva komplikované. Největším problémem bylo navrhnout vhodné spojení částí vzpínadel a paty sloupku. Průřezy by se díky takovému spoji značně zvětšily. Vzpínadlo tedy bylo navrženo z ocelového kruhového profilu a připojení provedeno svarem na styčníkový plech. Další komplikací bylo převládající sání v některých kombinacích, které vyvozovalo tlak ve vzpínadle. Zajistit vzpěr u takto malého průřezu na velké vzpěrné délce by bylo značně komplikované a tak se uvažovalo, že při působení sání bude veškeré zatížení přenášet pouze trám, což bylo rozhodující při jeho dimenzování. Takto zatížený trám byl posouzen i na mezní stav použitelnosti.

Věšadlo bylo provedeno jako konstrukce z rostlého dřeva. Cílem zde bylo zkusit provést připojení jednotlivých prvků tesařskými spoji. Vzdálenost jednotlivých vazeb byla zmenšena na 1,0 m tak, aby bylo možné navrhnout přiměřeně velké průřezy. I zde bylo potřeba v některých případech zvětšit rozměr průřezu prvku kvůli provedení zapuštění, které oslabuje průřez prvku. V porovnání se zvětšováním průřezů např. kvůli spoji u příhradového vazníku jsou tyto změny nevýrazné.

Práce je porovnáním použitých průřezů pro jednotlivé konstrukce, ukazuje náročnost posouzení a problémy které se mohou při návrhu objevovat, případně jejich řešení. Jako celek může být tato studie podkladem při rozhodování o výběru vhodné konstrukce z hlediska materiálu, spojů, náročnosti posouzení nebo provedení.

Seznam použitých zdrojů

[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.

[2] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*: *Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.

[3] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*: *Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.

[4] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[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.

[6] ČSN 73 1702. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí*: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Písmena velké latinské abecedy

A	plocha průřezu
A_{ef}	efektivní (účinná) plocha průřezu
A_{net}	oslabená plocha průřezu
C_{dir}	součinitel směru větru
C_e	součinitel okolního prostředí
$C_{o(z)}$	součinitel orografie
$C_{r(z)}$	součinitel drsnosti
C_{SEASON}	součinitel ročního období
C_t	tepelný součinitel
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti
E_{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti
F_a	tahová síla rovnoběžná s osou svaru
$F_{ax,Rk}$	charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení
$F_{v,Rk}$	charakteristická únosnost spojovacího prostředku
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost spojovacího prostředku
$G_{k,j,sup}$	horní charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení
I_{ef}	efektivní moment setrvačnosti
$I_{v(z)}$	intenzita turbolence
$I_{y(z)}$	moment setrvačnosti k ose y (z)
K_I	součinitel turbolence
K_r	součinitel terénu
L	osová vzdálenost, rozpětí
L_{cr}	vzpěrná délka
$M_{y,ap,d}$	návrhový ohybový moment ve vrcholu
$M_{y(z),d}$	návrhový ohybový moment kolem osy y (z)
$M_{y,Rk}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku
$N_{c,0,d}$	návrhová tlaková síla
$N_{t,0,d}$	návrhová tahová síla
$N_{u,Rd}$	návrhová únosnost průřezu oslabeného dírami pro spojovací prostředky
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota vedlejšího i-tého proměnného zatížení
S_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
V	posouvající síla, objem
$V_{m(z)}$	střední rychlost větru
$W_{y(z)}$	průřezový modul k ose y (z)
Z_0	parametr drsnosti

Písmena malé latinské abecedy

a	účinná tloušťka svaru
b	šířka
d	průměr spojovacího prvku
d_c	průměr ozubeného hmoždíku
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna
f_d	návrhové zatížení
$f_{h,i,k}$	charakteristická pevnost v otlačení
$f_{m,d}$	návrhová pevnost za ohybu
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost za ohybu
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
f_u	mez pevnosti oceli
$f_{v,k}$	charakteristická únosnost ve smyku

$f_{y,d}$ návrhové zatížení ve směru osy y
$f_{z,d}$ návrhové zatížení ve směru osy z
h výška
h_{ap} výška ve vrcholu sedlového vazníku
h_s výška na kraji sedlového vazníku
i poloměr setrvačnosti
k_c součinitel vzpěrnosti
k_{def} součinitel dotvarování
k_{dis} součinitel zohledňující rozložení napětí ve vrcholové oblasti
k_m součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu
k_{mod} modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
k_r redukční součinitel
k_v redukční součinitel pro nosníky se zářezem
k_{vol} součinitel objemu
l délka
l_a délka svaru
n_{ef} účinný počet svorníků
$q_{p(z)}$ maximální dynamický tlak
t_v hloubka zářezu zapuštění
t_1 tloušťka vnějšího prvku
t_2 tloušťka vnitřního prvku
$v_{b,0}$ výchozí základní rychlost větru
w svislý průhyb nosného prvku
z_e referenční výška

Písmena malé řecké abecedy

β poměr mezi pevnostmi v otlačení
β_c součinitel přímosti
β_w korelační součinitel
$\gamma_{G,j,sup}$ dílčí součinitel j-tého stálého zatížení pro výpočet horních návrhových hodnot
γ_M dílčí součinitel vlastnosti materiálu
$\gamma_{Q,i}$ dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení
λ štíhlostní poměr
λ_{rel} poměrný štíhlostní poměr
μ_i tvarový součinitel zatížení sněhem
ρ hodnota měrné hmotnosti
ρ_k charakteristická hustota (dřeva)
$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{m,y(z),d}$ návrhové napětí v ohyb k hlavní ose y (z)
$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny
$\tau_{v,d}$ návrhové smykové napětí
τ_{II} smykové napětí rovnoběžné s osou svaru
ψ_0 součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_2 součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení