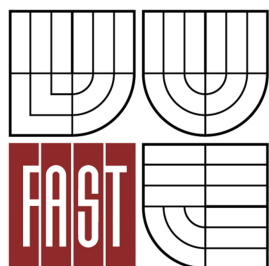




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A POSOUZENÍ ZASTŘEŠENÍ REKREAČNÍHO OBJEKTU

DESIGN AND ASSESMENT OF HOLIDAY CENTRE ROOF

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOZEF FLOREK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUDĚK BRDEČKO, Ph.D.



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	Jozef Florek
Název	Návrh a posouzení zastřešení rekreačního objektu
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Luděk Brdečko, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	29. 5. 2015
V Brně dne 30. 11. 2014	

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

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

Podklady a literatura

- [1] Architektonický návrh rekonstrukce objektu.
- [2] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [3] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí.
- [4] ČSN EN 1995: Navrhování dřevěných konstrukcí.
- [5] ČSN EN 1993: Navrhování ocelových konstrukcí.
- [6] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 1: Navrhování a konstrukční materiály, KODR, Zlín, 2004.
- [7] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 2: Navrhování detailů a nosných systémů, KODR, Zlín, 2004.
- [8] JELIÁŠOVÁ MARTINA, SOKOL ZDENĚK: Ocelové konstrukce - Příklady, nakladatelství ČVUT, Praha 2010.

Zásady pro vypracování

Cílem práce je navrhnout a staticky posoudit konstrukci zastřešení konferenčního sálu rekreačního objektu. Sál vznikne jako přístavba stávajícího objektu v rámci jeho rekonstrukce. Předpokládá se vytvoření více návrhů variant zastřešení, přičemž alespoň ten z nich, který se bude jevit jako nejvhodnější, bude detailněji posouzen. Výchozími předpisy pro stanovení zatížení a provedení posudků bude systém norem Eurocode.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

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

Abstrakt

Predmetom bakalárskej práce je navrhnutie a posúdenie zastrešenia prístavby k hotelovému objektu. Práca rieši tri rozličné varianty strešných konštrukcií. Pre každý variant je navrhnutá geometria a zaťaženie, na základe ktorých sú počítané vnútorné sily a je vykonané posúdenie jednotlivých prvkov.

Kľúčové slová

drevo, oceľ, väznica, priehradová konštrukcia, lepený lamelový väzník, prostý nosník, spojitý nosník

Abstract

The aim of the bachelor thesis is the design and assessment of the roof of hotel extension. The work addresses three different types of roof structures. For each structure type is defined geometry and loads, based on which are calculated internal forces and drawing up of the assessment of selected elements.

Keywords

timber, steel, purlin, truss structure, glued laminated truss, simple beam, continuous beam

Bibliografická citácia VŠKP

Jozef Florek *Návrh a posouzení zastřešení rekreačního objektu*. Brno, 2015. 64 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Luděk Brdečko, Ph.D.

Vyhlasenie

Vyhlasujem, že som dbakalársku prácu spracoval samostatne, a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne 26.05.2015

.....

podpis autora

VYHLÁSENIE O ZHODE TLAČENEJ A ELEKTORNICKEJ FORMY VŠKP

Vyhlásenie

Vyhlasujem, že elektronická forma odovzdanej bakalárskej práce je zhodná s odovzdanou tlačenu formou.

V Brne 26.05.2015

.....

podpis autora

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Luďkovi Brdečkovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky. Taktiež ďakujem svojej rodine za podporu a možnosť študovať.

V Brne 26.05.2015

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	12
1 POPIS OBJEKTU	13
2 VARIANT A – Drevený priehradový väzník	16
2.1 Materiál	16
2.1.1 Materiál väzníka	16
2.1.2 Spojovací materiál	16
2.2 Geometria krovu	17
2.2.1 Strešný plášť	18
2.3 Výpočet zaťaženia	18
2.3.1 Stále zaťaženie	18
2.3.2 Zaťaženie snehom	19
2.3.3 Zaťaženie vetrom	19
2.3.4 Zaťaženie úžitkové	21
2.3.5 Zhrnutie zaťaženia	22
2.3.6 Zaťažovacie stavy	22
2.3.7 Kombinácie	22
2.4 Posúdenie väznice	23
2.4.1 Popis väznice	23
2.4.2 Únosnosť v ohybe	23
2.4.3 Únosnosť v šmyku za ohybu	23
2.4.4 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	24
2.5 Posúdenie priehradového väzníka	24
2.5.1 Popis priehrady	24
2.5.2 Ťah rovnobežne s vláknami	25
2.5.3 Kombinácia ohybu a ťahu	25
2.5.4 Vzperný tlak rovnobežne s vláknami	26
2.5.5 Kombinácia ohybu a tlaku	26
2.5.6 Posúdenie prútov – horného pásu	27
2.5.7 Posúdenie prútov – dolného pásu	27
2.5.8 Posúdenie prútov – posúdenie zvislice a diagonály	28
2.5.9 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	29
2.6 Posúdenie pripojenia diagonály a zvislice	29
2.6.1 Únosnosť svorníka	30

2.6.2	Únosnosť zalisovanej ozubenej záchytky	31
2.6.3	Celková únosnosť jedného spojovacieho prvku.....	31
2.6.4	Rozstupy a vzdialenosti od krajov.....	31
2.6.5	Posúdenie spoja – druhá alternatíva	32
2.6.6	Únosnosť kolíka	32
2.6.7	Rozstupy a vzdialenosti od krajov.....	33
2.7	Zhodnotenie.....	33
3	VARIANT B – Drevený plnostenný väzník.....	34
3.1	Materiál.....	34
3.1.1	Materiál väzníka	34
3.2	Geometria krovu	35
3.2.1	Strešný plášť	36
3.3	Výpočet zaťaženia	36
3.3.1	Stále zaťaženie	36
3.3.2	Zaťaženie snehom	37
3.3.3	Zaťaženie vetrom	37
3.3.4	Zaťaženie úžitkové	37
3.3.5	Zhrnutie zaťaženia.....	37
3.3.6	Zaťažovacie stavy.....	37
3.3.7	Kombinácie	38
3.4	Posúdenie väznice.....	38
3.4.1	Popis väznice.....	38
3.4.2	Únosnosť v ohybe	39
3.4.3	Únosnosť v šmyku za ohybu	39
3.4.4	Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	39
3.5	Posúdenie plnostenného nosníku.....	40
3.5.1	Popis nosníka.....	40
3.5.2	Únosnosť v ohybe	40
3.5.3	Únosnosť v šmyku (posúdenie v mieste podpory).....	41
3.5.4	Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	41
3.6	Zhodnotenie	42
4	VARIANT C – oceľový priehradový nosník.....	43
4.1	Materiál:.....	43
4.2	Geometria krovu	44

4.2.1	Strešný plášť	44
4.3	Výpočet zaťaženia	45
4.3.1	Stále zaťaženie	45
4.3.2	Zaťaženie snehom	45
4.3.3	Zaťaženie vetrom	45
4.3.4	Zaťaženie úžitkové	46
4.3.5	Zhrnutie zaťaženia.....	46
4.3.6	Zaťažovacie stavy:	46
4.3.7	Kombinácie	47
4.4	Posúdenie oceľovej väznice.....	47
4.4.1	Popis väznice.....	47
4.4.2	Únosnosť v šmyku.....	47
4.4.3	Únosnosť v ohybe	48
4.4.4	Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	48
4.5	Posúdenie priehradového väzníka	48
4.5.1	Popis priehrady.....	48
4.5.2	Ťah.....	49
4.5.3	Vzperný tlak	49
4.5.4	Kombinácia ohybu a osovej sily	50
4.5.5	Posúdenie prútov – horného pásu.....	50
4.5.6	Posúdenie prútov – dolného pásu.....	51
4.5.7	Posúdenie prútov – posúdenie zvislice a diagonály	51
4.5.8	Posúdenie na medzný stav použiteľnosti	52
4.6	Posúdenie pripojenia diagonály a zvislice.....	52
4.6.1	Rozdelenie sily	53
4.6.2	Únosnosť kútového zvaru	53
4.7	Zhodnotenie	54
5	Zavetrenie objektu	55
6	Záver	56
	Zoznam použitých zdrojov	58
	Zoznam použitých skratiek a symbolov	59
	Zoznam obrázkov	63
	Zoznam tabuliek	64

Úvod

Drevo je jedným zo základných konštrukčných materiálov a na stavebné účely bolo človekom využívané už v najstarších dobách. K rozšíreniu a vývoju drevených stavieb a konštrukcií prispievajú predovšetkým dobré fyzikálno-mechanické vlastnosti a relatívne dobrá dostupnosť tohto materiálu, ktorá sa odráža na jeho nízkej cene vďaka obnoviteľnosti tohto materiálu. V súčasnosti sa drevené konštrukcie uplatňujú hlavne v oblasti zastrešenia budov ako konštrukcie halových objektov alebo pri drevostavbách konštrukcie rodinných domov. Drevo ako konštrukčný materiál sa používa predovšetkým vo forme rastlého dreva, lepeného lamelového dreva, materiálov na báze dreva (preglejky, drevotrieskové alebo drevovláknité dosky) a iné.

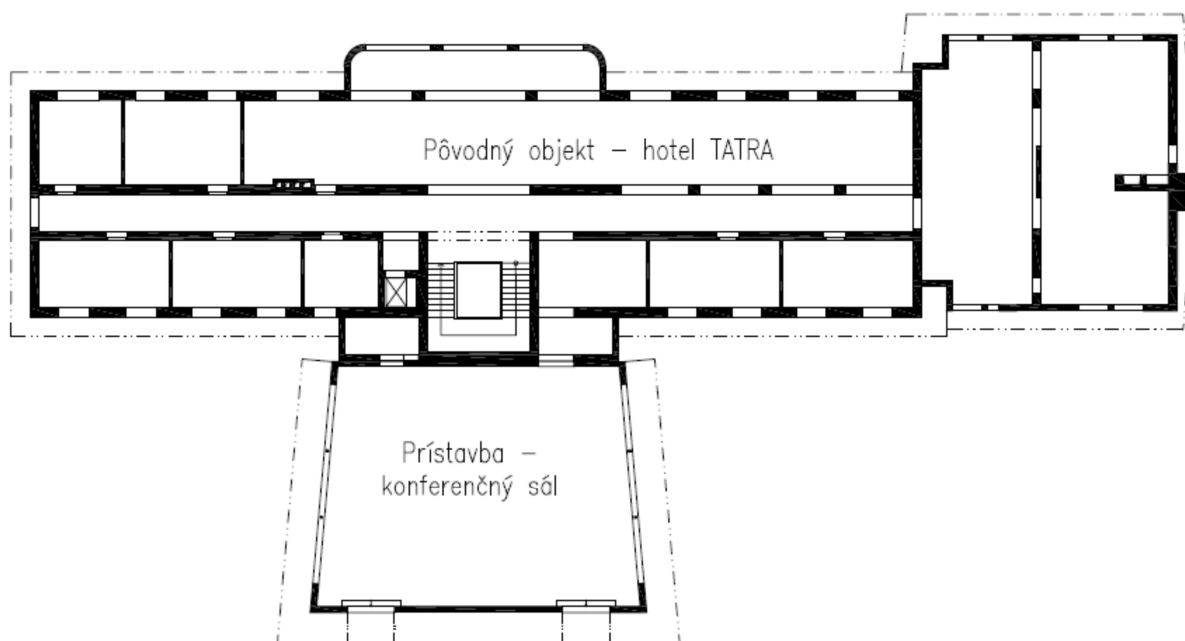
Táto práca sa zaoberá riešením troch alternatívnych typov zastrešenia rekreačnej sály (dva drevené a jeden oceľový variant). Ide o dva priehradové väzníky a priamopásový väzník z lepeného lamelového dreva. Pre každú konštrukciu bol vytvorený výpočtový model, vypočítané hodnoty zaťaženia a ich kombinácie. Ďalej bol vypočítaný priebeh vnútorných síl a premiestnenie konštrukcií pomocou študentskej verzie programu Scia Engineer. Následne bolo urobené statické posúdenie vybraných prvkov daných konštrukcií a niektorých konštrukčných detailov.

Jednotlivé časti práce pre každý typ zastrešenia vždy obsahujú všeobecnú charakteristiku konštrukcie, geometriu, výpočtový model, výpočet zaťaženia, priebeh vnútorných síl a statické posúdenie daných prvkov.

1 POPIS OBJEKTU

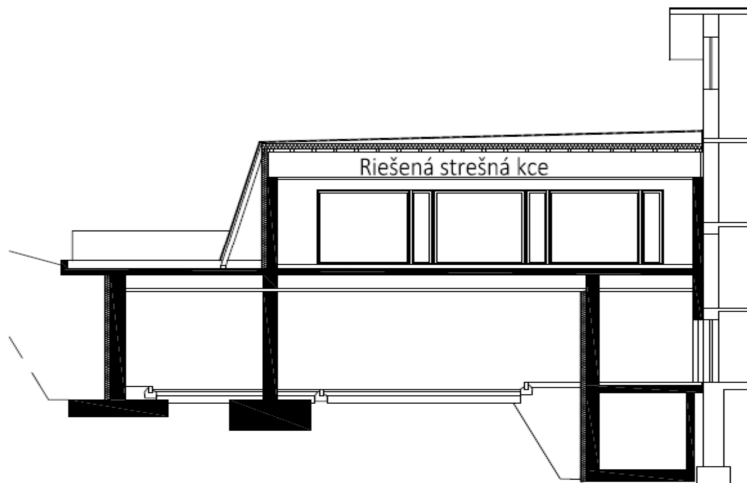
Hotelový objekt TATRA & SPA stojí v obci Velké Karlovice, ktorá sa nachádza na pomedzí Javorníkov, Beskýd a Vsetínských vrchov na východe Českej republiky v blízkosti hranice so Slovenskou republikou. Hotel je päťpodlažný objekt s pozdĺžnym stenovým nosným systémom a sedlovým krovom. Celý objekt prechádza modernizačnou rekonštrukciou, v rámci ktorej bude k objektu pristavená konferenčná sála. Táto bakalárska práca sa zaoberá statickým návrhom zastrešenia pristavovaného objektu.

Rekonštruovaný objekt je prístupný z verejnej komunikácie, takže nie sú výrazne ovplyvnené maximálne rozmery dopravovaných konštrukčných dielcov.



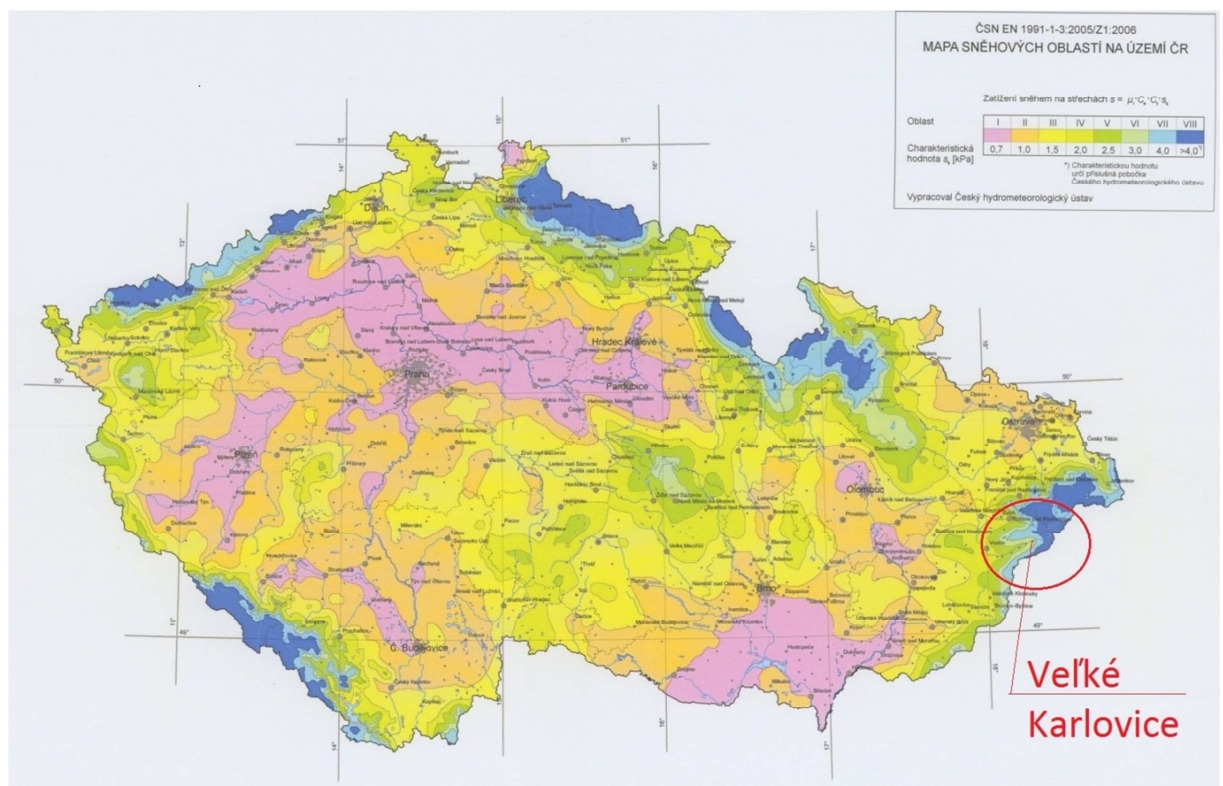
Obr. 1.1 – Pôdorys riešeného objektu.

Pristavovaný objekt je konferenčná sála. Jej konštrukcia vychádza z architektonických podkladov a predstáv investora [1]. Má dve podlažia, pôdorysné rozmery sály sú 14,9 x 12,75 m. Svetlá výška prístavby je min. 3,0 m. Nosným systémom strešnej konštrukcie sú železobetónové steny rovnobežné s nosným systémom hotela.



Obr. 1.2 – Rez pristavovanou konferenčnou sálou.

Najväčším problémom návrhu strešnej konštrukcie je zaťaženie snehom, ktoré vychádza z geografického umiestnenie objektu. Objekt leží v snehovej oblasti VIII, z čoho vychádza charakteristická hodnota zaťaženia snehom. Vo výpočte zaťaženia snehom bolo počítané aj s možnosťou vytvorenia snehových závejov vplyvom vetra.



Obr. 1.3 – Mapa snehových oblastí ČR s vyznačením lokality objektu.

Hlavnou investorovou požiadavkou bolo vyhodnotenie dvoch variantov z rozdielnych materiálov (drevo, oceľ). Na základe žiadosti investora boli pre zastrešenie vytvorené dva varianty: drevená a oceľová priehradová konštrukcia. Po posúdení a vyhodnotení konštrukčných problémov drevenej priehrady bol navrhnutý tretí variant. Týmto variantom je drevený plnostenný väzník, ktorý nahrádza drevenú priehradu.

2 VARIANT A – Drevený priehradový väzník

Drevený priehradový priamopásový väzník spájaný oceľovými svorníkmi s hladkým driekom, ktoré sú opatrené maticami a podložkami. Po navrhnutí styčníka bol spoj dodatočne opatrený zalisovanými záchytkami. Prúty horného a dolného pásu boli navrhnuté ako prúty zložené z dvoch obdĺžnikov, medzi ktoré boli pripájané zvislice a diagonály obdĺžnikového prierezu.

2.1 Materiál

2.1.1 Materiál väzníka

Rastlé drevo C24 - väzník, C22 - väznica, trieda vlhkosti 2

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,9$$

Tab. 1 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.

Pevnostné vlastnosti [$\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$]		C24	C22
Ohyb	$f_{m,k}$	24	22
Ťah rovnobežne	$f_{t,0,k}$	14	13
Ťah kolmo	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5
Tlak rovnobežne	$f_{c,0,k}$	21	20
Tlak kolmo	$f_{c,90,k}$	2,5	2,4
Šmyk	$f_{v,k}$	2,5	2,4
Tuhostné vlastnosti [$\text{kN/mm}^2 = \text{GPa}$]			
Modul pružnosti rovnobežne	$E_{0,MEAN}$	11	10
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05}$	7,4	6,7
Modul pružnosti v šmyku	G_{MEAN}	0,69	0,63
Hustota [kg/m^3]	ρ_k	350	340

2.1.2 Spojovací materiál

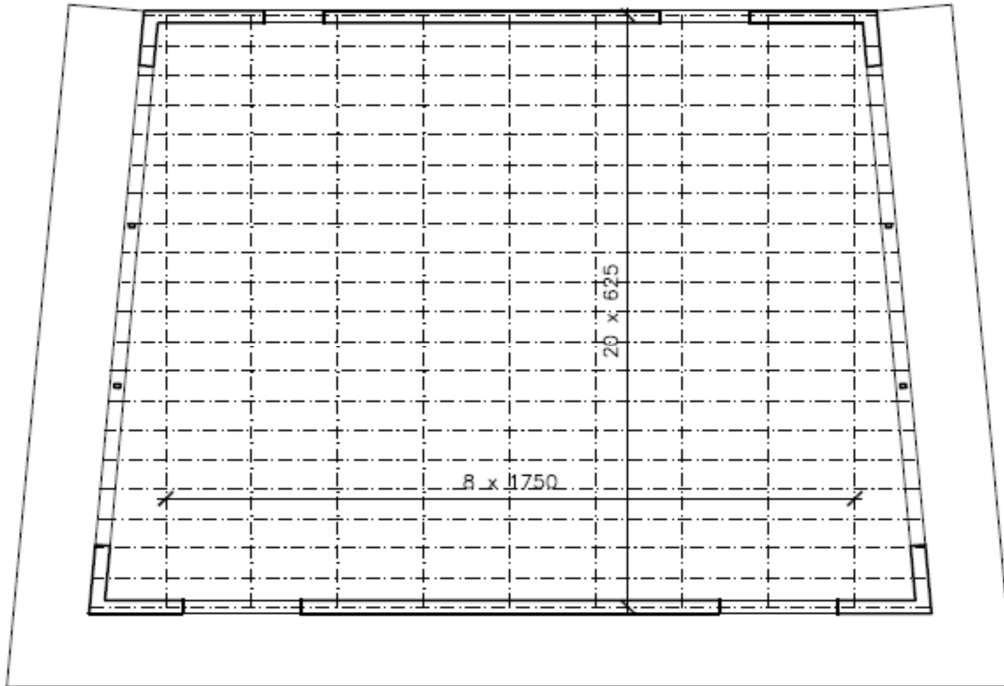
Oceľové svorníky $\phi 20$ mm, oceľ S355, oceľové záchytky typu C1 $\phi 75$ mm, oceľový plech hrúbky 12 mm, oceľ S355

$$\gamma_M = 1,25$$

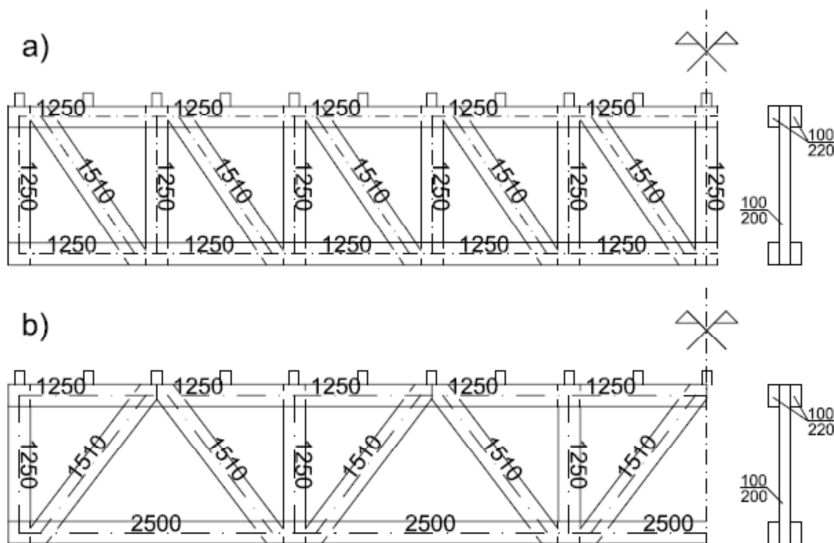
Tab. 2 – Pevnostné charakteristiky spojovacieho materiálu.

Pevnostné vlastnosti [N/mm ² = MPa]		
Medza pevnosti	$f_{u,k}$	510
Medza klzu	$f_{y,k}$	355

2.2 Geometria krovu

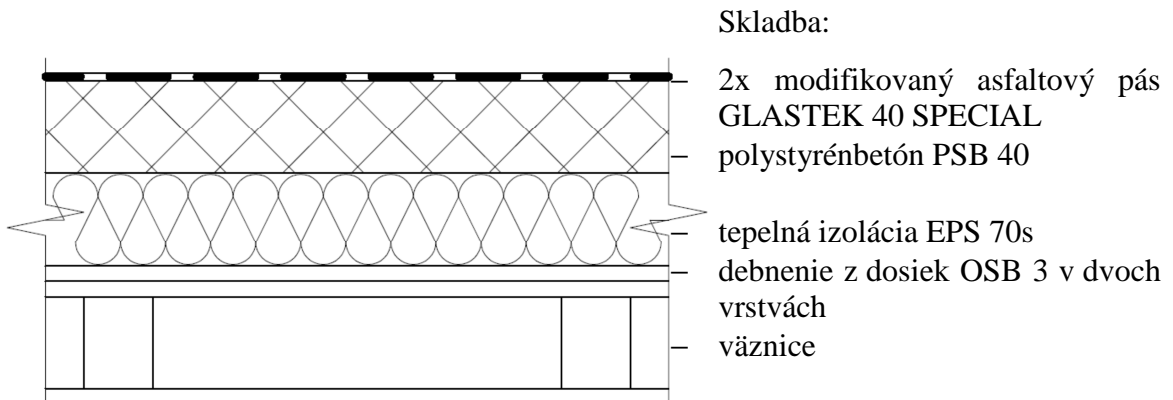


Obr. 2.1 – Pôdorysná dispozícia krovu



Obr. 2.1 – Dispozícia väzníka a) variant A1, b) variant A2.

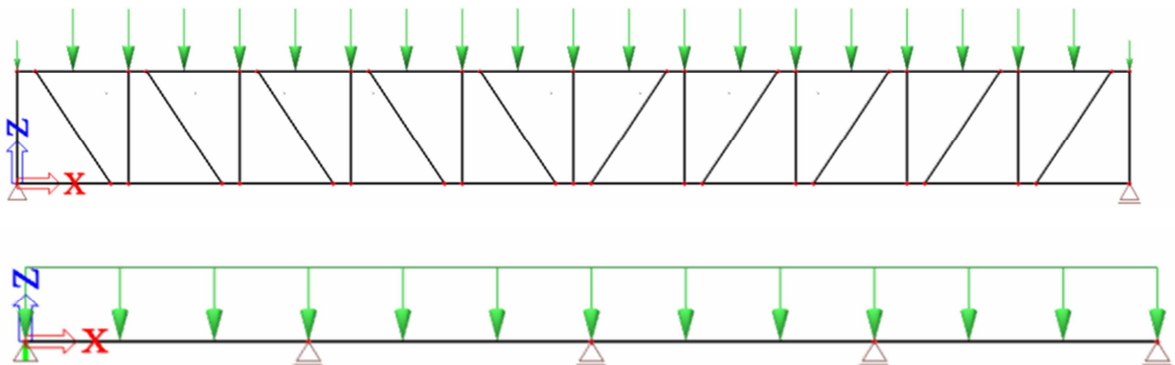
2.2.1 Strešný plášť



Obr. 2.2– Skladba strešného plášťa.

2.3 Výpočet zaťaženia

Priehradový väzník je jednoducho uložený nosník, bodovo zaťažený väznicami. Rozpätie väzníka je 12,5 m. Vo výpočtoch sú väznice považované za štvorpoľové spojité nosníky s dĺžkou poľa 1,75 m. Zaťažené sú strešným plášťom a poveternostnými vplyvmi. V programe bolo pripojenie diagonál zhotovované s excentricitou 200 mm.



Obr. 2.3 – Statický model priehradového väzníka a väznice.

2.3.1 Stále zaťaženie

Stále zaťaženie bolo stanovené podľa ČSN EN 1991-1-1 [3]. Stále zaťaženie je tvorené vlastnou tiažou väzníka a stálym zaťažením drevenej väznice. Vlastnú tiaž spočíta program Scia Engineer.

Tab. 3 – Tiaž strešného plášťa.

		zaťaženie [kN/m ²]	z.š. [m]	zaťaženie [kN/m]
Strešný plášť	Asfaltový pás	2 x 0,045	0,625	0,06
	Polystyrénbetón	0,72		0,45
	Tepelná izolácia	0,04		0,03
	2 x OSB dosky	2 x 0,14		0,18
	Väznica	vlastná tiaž		
Spolu:				0,72

2.3.2 Zat'azenie snehom

Zat'azenie snehom bolo stanovené podľa ČSN EN 1991-1-3 [4]. Vo výpočte bola použitá snehová oblasť VIII a chránený typ topografie. Pre návrhové situácie sa charakteristická hodnota zat'azenia snehom na strechách určí nasledovne:

$$S = \mu_i * c_e * c_t * s_k$$

$$s = 0,8 * 1,2 * 1,0 * 4,0 = 3,84 \text{ kN/m}^2 \text{ (resp } 10,8 \text{ kN/m}^2\text{)}$$

μ_i tvarový súčiniteľ

(strechy so sklonom do 30° je rovný $\mu_1=0,8$; $\mu_{2,w}=2,25$; dĺžka záveja je $l_s=9$ m)

c_e súčiniteľ expozície (chránená topografia krajiny $c_e= 1,2$)

c_t tepelný súčiniteľ ($c_t=1,0$)

s_k charakteristická hodnota zat'azenia snehom na povrchu zeme

($s_k= 4,0 \text{ kN/m}^2$ pre oblasť VIII)

2.3.3 Zat'azenie vetrom

Zat'azenie vetrom bolo stanovené podľa ČSN EN 1991-1-4 [5]. Vo výpočte bola použitá veterná oblasť III.

Základná rýchlosť vetra vo výške 10 metrov nad úrovňou terénu pre terén kategórie II.

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

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

$v_{b,0}$ základná rýchlosť vetra ($v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$ pre veternú oblasť III)

c_{dir} súčiniteľ smeru vetru ($c_{dir} = 1,0$)

c_{season} súčiniteľ ročného obdobia ($c_{season} = 1,0$)

Stredná rýchlosť vetra vo výške z nad terénom

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

$$v_m(z) = 0,72 * 1,0 * 27,5 = 19,8 \text{ m/s}$$

$c_r(z)$ súčiniteľ drsnosti terénu

$c_0(z)$ súčiniteľ orografie ($c_0(z) = 1,0$)

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

$$c_r(z) = 0,215 * \ln\left(\frac{8,5}{0,3}\right) = 0,72$$

Z_0 parameter drsnosti ($z_0 = 0,3 \text{ m}$ pre kategóriu terénu III)

z referenčná výška budovy ($z = 8,5 \text{ m}$)

K_r súčiniteľ terénu

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

$$K_r = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$ (pre terén kategórie II)

Intenzita turbulencie vo výške z

$$I_v(z) = \frac{K_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{8,5}{0,3}\right)} = 0,3$$

K_I súčiniteľ turbulencie ($K_I = 1,0$)

Špičkový dynamický tlak vetra vo výške z

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

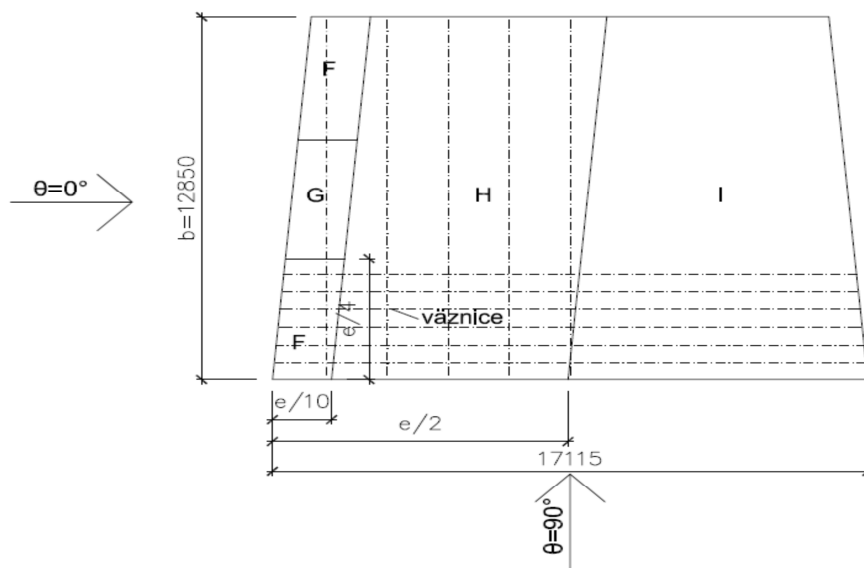
$$q_p(z) = [1 + 7 * 0,3] * \frac{1}{2} * 1,25 * 19,8^2 = 759,57 \text{ N/m}^2$$

ρ hustota vzduchu ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

Tlak vetra na vonkajšie povrchy sa určí ako

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

$c_{pe,10}$ súčiniteľ vonkajšieho tlaku pre jednotlivé oblasti podľa obrázku 2.5



Obr. 2.4 – Oblasti súčiniteľa vonkajšieho tlaku.

Tab. 4 – Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ pre jednotlivé oblasti ($\alpha=2^\circ$).

	Smer vetra $\theta = 0^\circ$ (90°)				
Oblasť	F	G	H	I	
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2	0,2

Z tabuľky je zrejmé, že vietor bude na streche vyvolávať hlavne sanie, v oblasti I je nutné zvažovať oba prípady pôsobenia vetra (sanie aj tlak). Najväčšie hodnoty sania nastanú v oblastiach F a G. Hodnota zaťaženia saním vetra je potom rovná

$$w_{e,F} = 0,76 * (-1,8) = -1,37 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,76 * (-1,2) = -0,92 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota zaťaženia tlakom vetra v oblasti I je rovná

$$w_{e,I} = 0,76 * (0,2) = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

2.3.4 Zaťaženie úžitkové

Strecha spadá do kategórie H – strechy neprístupné s výnimkou bežnej údržby a opravy. Pri kombinovaní zaťaženia musíme dbať na to, aby toto úžitkové zaťaženie nebolo v kombinácii so snehom a vetrom.

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

2.3.5 Zhrnutie zaťaženia

Z dôvodu použitia OSB dosiek je max. dovolená vzdialenosť väzníc 625 mm.

Stále:

–vlastná tiaž G_k = počíta program Scia Engineer

–strešný plášť $G_k = 0,72\text{kN/m}$

Premenné:

–sneh $Q_{k,s} = 2,4\text{kN/m}$

–vietor $Q_{k,w} = 0,86\text{kN/m}$ (sanie)

$Q_{k,w} = 0,1\text{kN/m}$ (tlak)

–úžitné $Q_k = 0,47\text{kN/m}$

2.3.6 Zaťažovacie stavy

–ZS1 – vlastná tiaž

–ZS2 – strešný plášť

–ZS3 – úžitkové

–ZS4 – sneh plný

–ZS5 – sneh nerovnomerný

–ZS6 – vietor sanie

–ZS7 – vietor tlak

Zaťažovacie stavy sú zaradené do štyroch zaťažovacích skupín:

–Stále (ZS1+ZS2)

–Úžitné (ZS3)

–Sneh (ZS4+ZS5)

–Vietor (ZS6+ZS7)

Zaťažovacia skupina Úžitkové má nastavený typ zaťaženia H: strechy. Toto zabezpečí, že úžitkové zaťaženie nebude kombinované so zaťažením poveternostnými vplyvmi. Skupiny Sneh a Vietor sú špecifikované ako výberové, čo znamená, že nemôže dôjsť ku kombinovaniu zaťažovacích stavov, ktoré patria do tej istej zaťažovacej skupiny.

Takto sú nastavené zaťažovacie skupiny pre všetky ostatné varianty.

2.3.7 Kombinácie

Kombinácie zaťažení boli vykonané programom Scia Engineer. Kombinácie vychádzajú z normy ČSN EN 1990 [2]. Pre medzný stav únosnosti bol navolený typ kombinácie: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

6.10. a

$$\sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.10. b

$$0,85 \cdot \sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

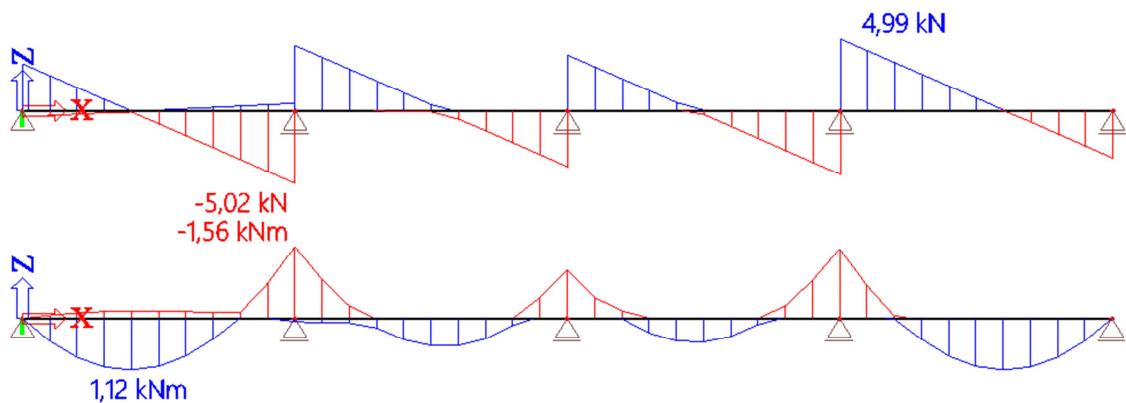
2.4 Posúdenie väznice

2.4.1 Popis väznice

Rastlé drevo C22, trieda vlhkosti 2. Väznica (spojitý nosník) je namáhaná šmykom a prostým ohybom v jednej rovine. Vnútorne sily boli vypočítané programom Scia Engineer. Výsledkom sú posúvajúce sily a ohybové momenty. Rozmery väznice sú 100 x 100 mm.

$$V_{Ed} = 9,55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,56 \text{ kNm}$$



Obr. 2.5 – Priebeh posúvajúcích síl V a ohybových momentov M väznice.

2.4.2 Únosnosť v ohybe

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{22}{1,3} = 15,23 \text{ MPa}$$

Max. ohybové napätie

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,56 * 10^6}{1,66 * 10^5} = 9,40 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{9,40}{15,23} \leq 1,0$$

0,61 < 1,0 Prierez na ohyb vyhovuje

2.4.3 Únosnosť v šmyku za ohybu

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,4}{1,3} = 1,66 \text{ MPa}$$

Max. šmykové napätie

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{3}{2} * \frac{9,55 * 10^3}{10,0 * 10^3} = 1,43 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,43}{1,66} \leq 1,0$$

0,86 < 1,0 Prierez na šmyk vyhovuje

2.4.4 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Okamžité priehyby od jednotlivých zaťažení sú počítané pomocou programu Scia Engineer. Maximálny priehyb bude určovať kombinácia stáleho zaťaženie so snehom.

$$u_{inst,LIM} \leq \frac{L}{500} = \frac{1750}{500} = 3,5 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g} = 0,5 \text{ mm}$$

$$u_{inst,s} = 1,3 \text{ mm}$$

$$u_{inst,w} = 0,1 \text{ mm}$$

Vplyv dotvarovania

$$u_{fin,LIM} \leq \frac{L}{300} = \frac{1750}{300} = 5,8 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{inst,g} * (1 + k_{def}) + u_{inst,s} * (1 + \psi_2 * k_{def}) + \psi_0 * u_{inst,w} * (1 + \psi_2 * k_{def})$$

$$u_{fin} = 0,5 * (1 + 0,8) + 1,3 * (1 + 0,2 * 0,8) + 0,6 * 0,1 * (1 + 0 * 0,8) = 2,5 \text{ mm}$$

Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty.

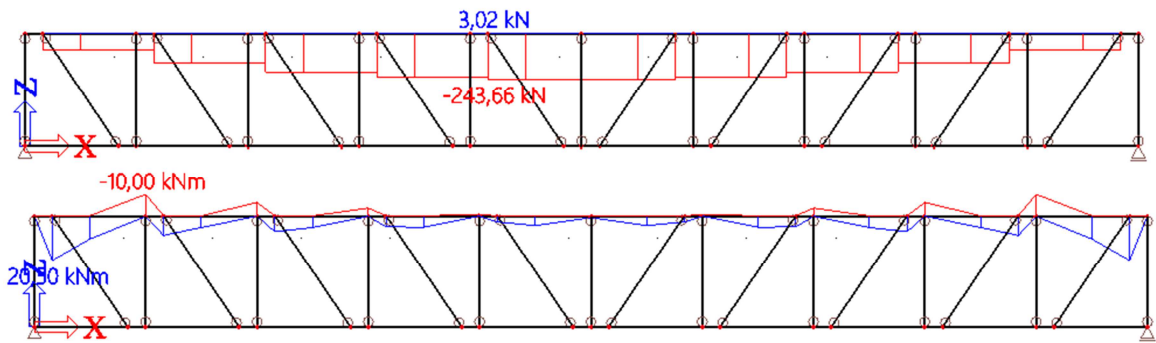
$$u_{inst} = 1,9 \text{ mm} < u_{inst,LIM} = 3,5 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = 2,5 \text{ mm} < u_{fin,LIM} = 5,8 \text{ mm}$$

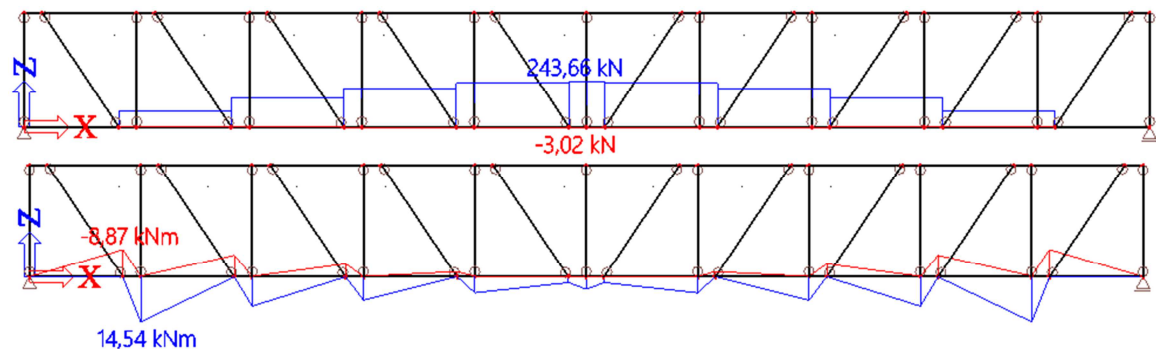
2.5 Posúdenie priehradového väzníka

2.5.1 Popis priehrady

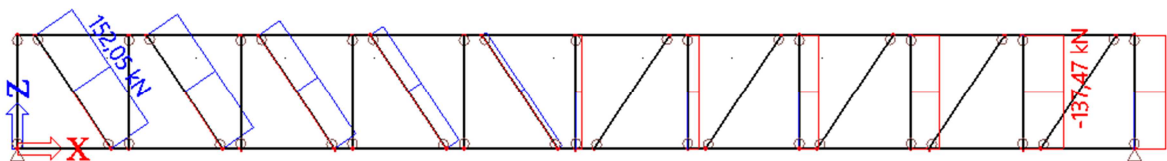
Rastlé drevo C24, trieda vlhkosti 2. V programe Scia Engineer boli horný a dolný pás modelované ako priebežné prúty. Diagonály boli navrhnuté tak, aby boli ťahané (kvôli väčšej vzpernej dĺžke ako majú zvislice). Diagonály a zvislice boli kĺbovo pripojené. V modeli boli prípoje konštruované s excentricitou ($e = 200$ mm), aby sme ich v ďalšom posudzovaní spoja nemuseli započítavať. Vnútorne sily boli vypočítané programom Scia Engineer. Výsledkom sú normálové sily v jednotlivých prútoch väzníka a ohybové momenty v hornom a dolnom páse.



Obr. 2.6 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na hornom páse.



Obr. 2.7 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na dolnom páse.



Obr. 2.8 – Priebeh normálových síl N na diagonálach (ťahané) a zvisliciach (tlačené).

2.5.2 Ťah rovnobežne s vláknami

Únosnosť v ťahu

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

Max. ťahové napätie

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

Posúdenie

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

2.5.3 Kombinácia ohybu a ťahu

Únosnosť v ohybe

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

Max. ohybové napätie

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$$

Posúdenie

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

2.5.4 Vzperný tlak rovnobežne s vláknami

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

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

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

Vo výpočte sa ďalej počíta s väčšou hodnotou relatívnej štíhlosti λ_{rel} .

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

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

Únosnosť v tlaku

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

Max. tlakové napätie

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

Posúdenie

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

2.5.5 Kombinácia ohybu a tlaku

Únosnosť v ohybe

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

Max. ohybové napätie

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y}$$

Posúdenie

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

2.5.6 Posúdenie prútov – horného pásu

Horný pás je namáhaný tlakom (vzperným) a kombináciou tlaku a ohybu. Tvoria ho dva prúty prierezu 100 x 220 mm.

Na prút pôsobí tlaková sila $N_{c,Ed,max} = 243,66$ kN a príslušný ohybový moment $M_{N,Ed} = 4,37$ kNm, a ohybový moment $M_{Ed,max} = 20,50$ kNm a príslušná tlaková sila $N_{c,M,Ed} = 85,47$ kN.

Tab. 5 – Posúdenie horného pásu.

Tlak + Ohyb				Vzperný tlak		
	max. $N_{c,Ed}$	max. M_{Ed}		$N_{c,Ed} =$	243,66	kN
$M_{Ed} =$	4,37	20,5	kNm	$f_{c,d} =$	13,85	MPa
$N_{c,Ed} =$	243,66	85,47	kN	$I =$	$3,6 \cdot 10^7$	mm ⁴
$f_{m,d} =$	15,23		MPa	$A =$	$4,4 \cdot 10^4$	mm ²
$f_{c,d} =$	13,85		MPa	$i =$	28,87	mm
$W =$	$1,61 \cdot 10^6$		mm ³	$L_{cr} =$	625	mm
$A =$	$4,4 \cdot 10^4$		mm ²	$\lambda =$	21,65	
$k_m =$	1,0			$\lambda_{rel} =$	0,37	
$\sigma_{m,d} =$	2,71	12,71	MPa	$\beta_c =$	0,2	
$\sigma_{c,d} =$	5,54	1,94	MPa	$k =$	0,57	
				$k_c =$	0,98	
$1,0 \geq$	0,34	0,85		$1,0 \geq$	0,41	
	vyhovuje	vyhovuje			vyhovuje	

2.5.7 Posúdenie prútov – dolného pásu

Dolný pás je namáhaný ťahom kombinovaným s ohybom. Tvoria ho dva prúty prierezu 100 x 220 mm.

Na prút pôsobí ťahová sila $N_{t,Ed,max} = 243,66$ kN a príslušný ohybový moment $M_{N,Ed} = 5,21$ kNm, a ohybový moment $M_{Ed,max} = 14,54$ kNm a príslušná tlaková sila $N_{t,M,Ed} = 85,47$ kN.

Tab. 6 – Posúdenie dolného pásu.

Ťah + Ohyb			
	max. $N_{t,Ed}$	max. M_{Ed}	
$M_{Ed} =$	5,21	14,54	kNm
$N_{t,Ed} =$	243,66	85,47	kN
$f_{m,d} =$	15,23		MPa
$f_{c,d} =$	13,85		MPa
$W =$	$1,61 \cdot 10^6$		mm^3
$A =$	$4,4 \cdot 10^4$		mm^2
$k_m =$	1,0		
$\sigma_{m,d} =$	3,24	9,03	MPa
$\sigma_{t,d} =$	5,54	1,94	MPa
$1,0 \geq$	0,61	0,73	
	vyhovuje	vyhovuje	

2.5.8 Posúdenie prútov – posúdenie zvislice a diagonály

Zvislice sú namáhané vzperným tlakom, diagonály ťahom. Oba prvky sú tvorené jedným prútom prierezu 100 x 200 mm.

Zvislice boli posudzované na max. tlakovú silu $N_{c,Ed,max} = 137,47$ kN a diagonály na max. ťahovú silu $N_{t,Ed,max} = 152,05$ kN.

Tab. 7 – Posúdenie zvislice a diagonály.

Prostý ťah (diagonála)			Vzperný tlak (zvislica)		
$N_{t,Ed} =$	152,05	kN	$N_{c,Ed} =$	137,47	kN
$f_{t,d} =$	9,00	MPa	$f_{c,d} =$	13,85	MPa
$A =$	$2,0 \cdot 10^4$	mm^2	$I =$	$1,67 \cdot 10^7$	mm^4
$\sigma_{t,d} =$	7,6	MPa	$A =$	$2,0 \cdot 10^4$	mm^2
$1,0 \geq$	0,85		$i =$	28,88	mm
	vyhovuje		$L_{cr} =$	1250	mm
			$\lambda =$	43,28	
			$\lambda_{rel} =$	0,75	
			$\beta_c =$	0,2	
			$k =$	0,83	

	$k_c =$	0,85	
	$1,0 \geq$	0,58	
		vyhovuje	

2.5.9 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Maximálny priehyb bude vyvodzovať kombinácia stálego zaťaženia so snehom.

$$u_{inst,LIM} \leq \frac{L}{500} = \frac{12500}{500} = 25,0 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g} = 6,1 \text{ mm}$$

$$u_{inst,s} = 16,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst,w} = 0,7 \text{ mm}$$

Vplyv dotvarovania

$$u_{fin,LIM} \leq \frac{L}{300} = \frac{12500}{300} = 41,7 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{inst,g} * (1 + k_{def}) + u_{inst,s} * (1 + \psi_2 * k_{def}) + \psi_0 * u_{inst,w} * (1 + \psi_2 * k_{def})$$

$$u_{fin} = 6,1 * (1 + 0,8) + 16,7 * (1 + 0,2 * 0,8) + 0,6 * 0,7 * (1 + 0 * 0,8) = 30,8 \text{ mm}$$

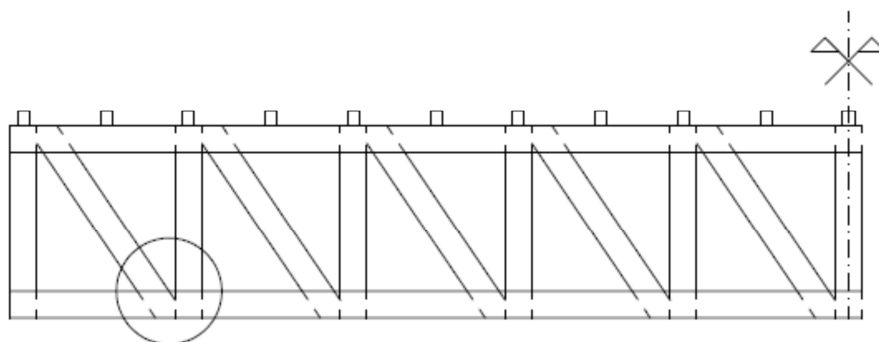
Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty.

$$u_{inst} = 23,5 \text{ mm} < u_{inst,LIM} = 25,0 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = 30,8 \text{ mm} < u_{fin,LIM} = 41,7 \text{ mm}$$

2.6 Posúdenie pripojenia diagonály a zvislice

Ako spojovacie prostriedky boli použité oceľové svorníky s hladkým driekom. V takomto spoji by bolo potrebné príliš veľké množstvo spojovacích prostriedkov, preto boli do spoja pridané oceľové záchytky. Každý svorník je opatrený dvoma oceľovými záchytkami (v každej styčnej škáre je jedna). Posudzovaný bol najviac namáhaný styčník zobrazený na obrázku.

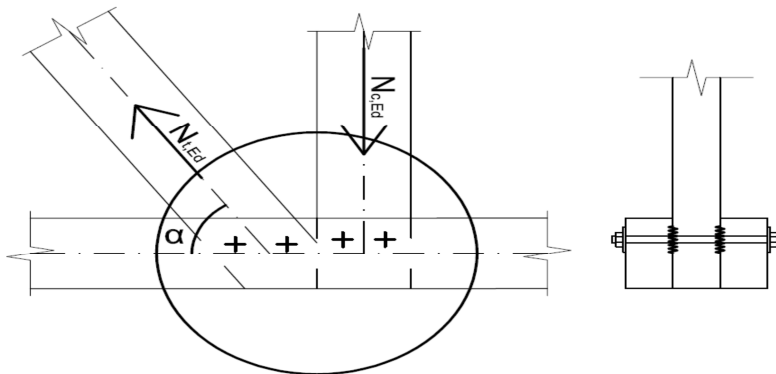


Obr. 2.9 – Najviac namáhaný styčník.

Ťahaná diagonála/ tlačaná zvislica

$$N_{c,Ed} = 137,47 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 152,05 \text{ kN}$$



Obr. 2.10 – Detail posudzovaného styčníka (pohľad, rez).

2.6.1 Únosnosť svorníka

Únosnosť dvojstrižne namáhaného svorníku v jednom strihu:

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

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

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

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

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

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

Únosnosť jedného svorníka v dvoch strihoch:

$$F_{v,Rk} = 31,74 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{31,74}{1,25} = 25,01 \text{ kN}$$

Min. potrebný počet svorníkov v spoji

$$\frac{152,05}{25,01} = 6,08 \Rightarrow \text{na zabezpečenie spoja je potrebných minimálne 7 svorníkov}$$

2.6.2 Únosnosť zalisovanej ozubenej záchytky

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

$$k_1 = \begin{cases} \frac{1,0}{3 * h_e} \\ \frac{t_2}{5 * h_e} \end{cases} \quad k_2 = \begin{cases} 1,0 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5 * d_c} \end{cases} \quad k_3 = \begin{cases} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases}$$

$$F_{v,Rk,h} = 16,24 \text{ kN}$$

2.6.3 Celková únosnosť jedného spojovacieho prvku

Jeden spojovací prvok je zložený z jedného svorníku kombinovaného s dvomi záchytkami (v oboch špárach).

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \left(\frac{F_{v,Rk,s} + 2 * F_{v,Rk,h}}{\gamma_M} \right) = 0,9 * \left(\frac{31,74 + 2 * 16,24}{1,25} \right) = 46,24 \text{ kN}$$

Min. potrebný počet spojovacích prvkov

$$\frac{152,05}{46,24} = 3,29 \Rightarrow \text{na zabezpečenie spoja sú potrebné aspoň 4 spojovacie prvky}$$

2.6.4 Rozstupy a vzdialenosti od krajov

Hodnoty rozstupov a vzdialeností od krajov boli stanovené podľa EC 5, Step 1 [8]

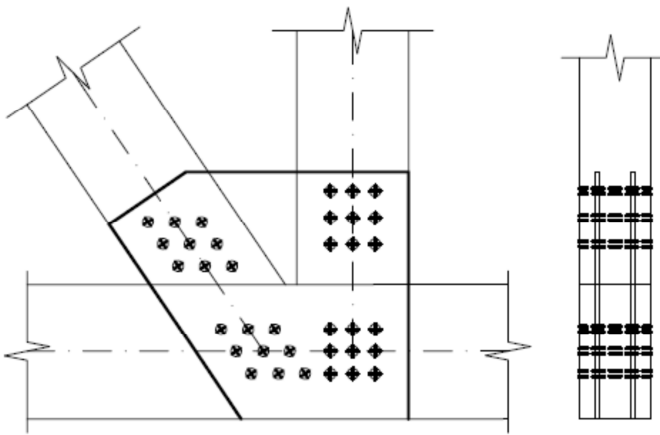
Tab. 8 – Rozstupy a vzdialenosti spojovacích prvkov.

Rozstupy a vzdialenosti $\alpha = 56^\circ$ (diagonála)	Svorníky	Záchytky	
Rozteč rovnobežne s vláknami a_1	91	103	[mm]
Rozteč kolmo k vláknam a_2	80	90	
Zaťažný koniec $a_{3,t}$	140	112,5	
Nezaťažný koniec $a_{3,c}$	80	90	
Zaťažný okraj $a_{4,t}$	73	57	
Nezaťažný okraj $a_{4,c}$	60	45	
Rozstupy a vzdialenosti $\alpha = 90^\circ$ (zvislica)			
Rozteč rovnobežne s vláknami a_1	80	90	[mm]
Rozteč kolmo k vláknam a_2	80	90	
Zaťažný koniec $a_{3,t}$	140	112,5	
Nezaťažný koniec $a_{3,c}$	80	90	
Zaťažný okraj $a_{4,t}$	80	60	
Nezaťažný okraj $a_{4,c}$	60	45	

2.6.5 Posúdenie spoja – druhá alternatíva

Ako druhá alternatíva boli na spojenie prvkov využité dosky s prelisovanými trňmi typu BV 20. V takomto spoji je potrebné, aby všetky prvky mali rovnakú šírku. Po prepočítaní prvkov so šírkou 160 mm vyšli jednotlivé prierezy nasledovne: horný a dolný pás 160 x 300 mm, zvislice a diagonály 160 x 250 mm.

Keďže pre túto šírku prvkov je spoj zalisovanými oceľovými doskami nedostačujúci, z dôvodu obmedzeného materiálového sortimentu, bol zvolený variant, ktorý kombinuje vložené oceľové dosky a hladké oceľové kolíky. Konkrétne boli použité dve dosky hrúbky 12 mm a kolíky s priemerom $d = 12$ mm.



Obr. 2.12 – Detail posudzovaného styčníka (pohľad, rez)

2.6.6 Únosnosť kolíka

Únosnosť kolíka v jednom strihu pre oceľovú dosku ako stredný prvok dvojstrižného spoja.

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

Únosnosť jedného kolíka v štyroch strihoch:

$$F_{v,Rk} = 26,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{26,5}{1,25} = 19,08 \text{ kN}$$

Min. potrebný počet kolíkov v spoji

$$n = \frac{152,05}{19,08} = 7,96 \Rightarrow \text{na zabezpečenie spoja je potrebných aspoň 8 kolíkov}$$

Účinný počet kolíkov za sebou v jednej rade rovnobežne z vláknami

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 * d}} = \min \left\{ \frac{8}{4,88} = 4,88 \right. \right.$$

2.6.7 Rozstupy a vzdialenosti od krajov

Hodnoty rozstupov a vzdialeností od krajov boli stanovené podľa EC 5, Step 1 [8]

Tab. 9 – Rozstupy a vzdialenosti spojovacích prvkov.

Rozstupy a vzdialenosti kolíkov	$\alpha = 56^\circ$ (diagonála)	$\alpha = 90$ (zvislica)	$\alpha = 0^\circ$ (smer sily)	$^\circ$
Rozteč rovnobežne s vláknami a_1	49	36	60	[mm]
Rozteč kolmo k vláknam a_2	36	36	36	
Zat'ažený koniec $a_{3,t}$	84	84	84	
Nezat'ažený koniec $a_{3,c}$	36	36	36	
Zat'ažený okraj $a_{4,t}$	44	48	36	
Nezat'ažený okraj $a_{4,c}$	36	36	36	

2.7 Zhodnotenie

Profily posudzovaných drevených prútov boli výpočtom stanovené a overené nasledovne:

horný pás – zložený prierez 2 x 100 x 220 mm, resp. jednoduchý prierez 160 x 300 mm,

dolný pás – zložený prierez 2 x 100 x 220 mm, resp. jednoduchý prierez 160 x 300 mm,

zvislice – jednoduchý prierez 100 x 200 mm, resp. 160 x 250 mm,

diagonály – jednoduchý prierez 100 x 200 mm, resp. 160 x 250 mm.

Pre nízku únosnosť svorníkového spoja a z toho vychádzajúci vysoký počet svorníkov bol spoj dodatočne zabezpečený oceľovými záchytkami. Týmto opatrením sa znížil počet spojovacích prvkov na polovicu, konkrétne zo šiestich na tri. Aj napriek tomuto ošetreniu nie je z konštrukčného hľadiska možné ekonomicky nadimenzovať spoj drevených prvkov. Bolo by potrebné príliš veľké zväčšenie prierezov drevených prvkov. Z tohto dôvodu bolo navrhnuté alternatívne pripojenie pomocou dvojice zalisovaných plechov a oceľových kolíkov. Tento spoj je tvorený 9 kolíkmi priemeru 12 mm a dvojicou plechov hrúbky 12 mm rozmerov 650 x 550 mm. Z rozmerov plechu je však zrejmé že pri danej geometrii by spoje pokryli takmer celú plochu väzníka, takže tento prípoj nie je vhodnou alternatívou spoja.

3 VARIANT B – Drevený plnostenný väzník

Drevený plnostenný väzník z lepeného lamelového dreva s drevenými väznicami. Princíp výroby lepeného lamelového dreva spočíva v plošnom zlepení drevených lamiel na seba. Takto sa vyrábajú priame/tvarované nosníky, ktoré majú v stavebníctve široké využitie. Výroba lepených nosníkov umožňuje použitie kvalitných stavebných prvkov veľkých prierezov a dĺžok.

Lamelové drevo sa používa na výstavbu veľkorozponových konštrukcií, hál, štadiónov, mostov ale ja pre zastrešenie pohľadovo náročných priestorov (divadlá, športové haly, obytné podkrovia, atď.).

3.1 Materiál

3.1.1 Materiál väzníka

Lepené lamelové drevo GL24h, trieda vlhkosti 2

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,9$$

Rastlé drevo C22, trieda vlhkosti 2

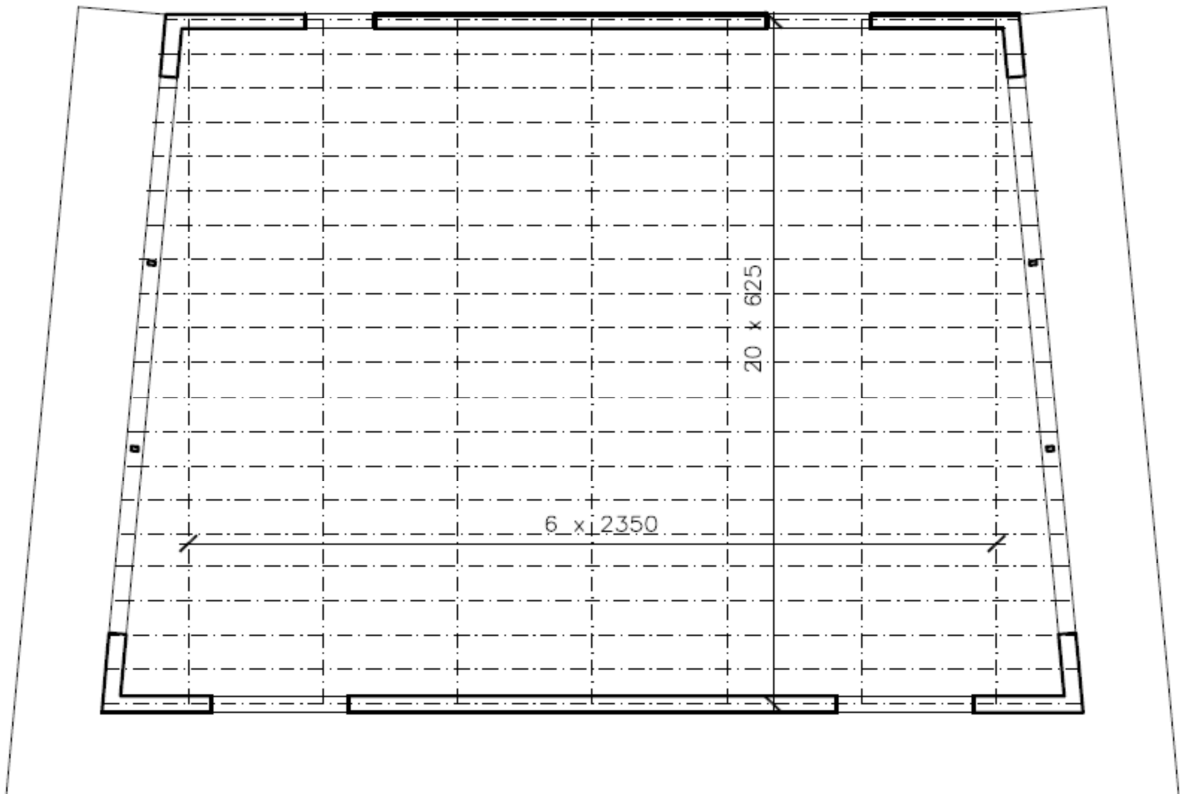
$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,9$$

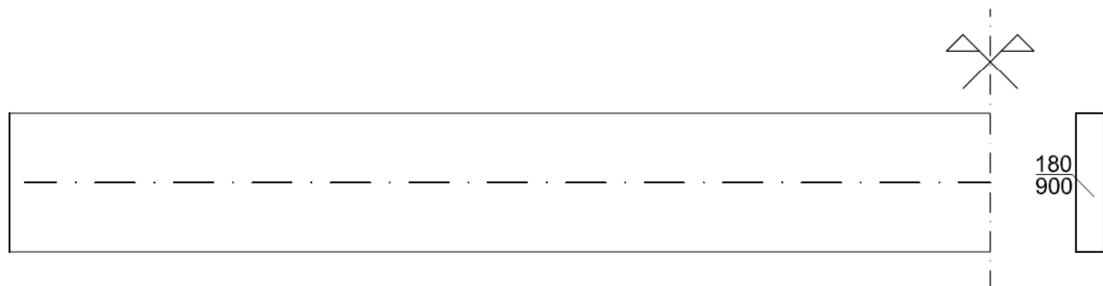
Tab. 10 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.

Pevnostné vlastnosti [N/mm² = MPa]		GL24h	C22
Ohyb	$f_{m,k}$	24	22
Ťah rovnobežne	$f_{t,0,k}$	16,5	13
Ťah kolmo	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5
Tlak rovnobežne	$f_{c,0,k}$	24	20
Tlak kolmo	$f_{c,90,k}$	2,7	2,4
Šmyk	$f_{v,k}$	2,7	2,4
Tuhostné vlastnosti [kN/mm² = GPa]			
Modul pružnosti rovnobežne	$E_{0,MEAN}$	11,6	10
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05}$	9,4	6,7
Modul pružnosti v šmyku	G_{MEAN}	0,72	0,63
Hustota [kg/m ³]	ρ_k	380	340

3.2 Geometria krovu

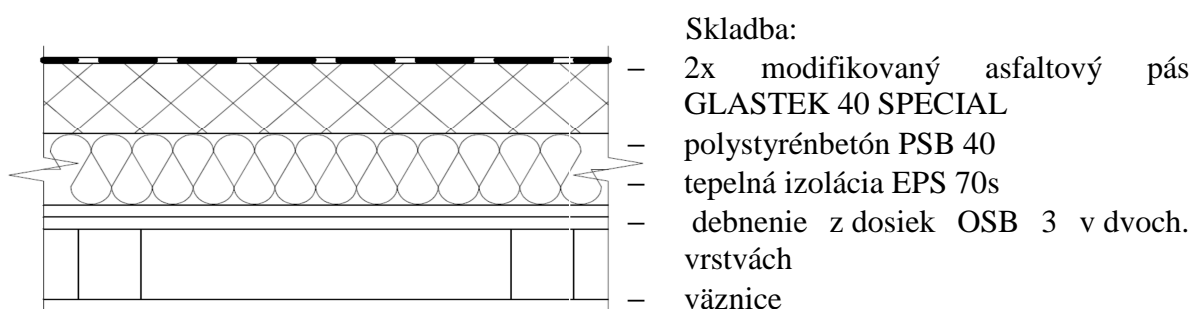


Obr. 3.1 – Pôdorysná dispozícia krovu.



Obr. 3.2 – Tvar plnostenného väzníka, prierez.

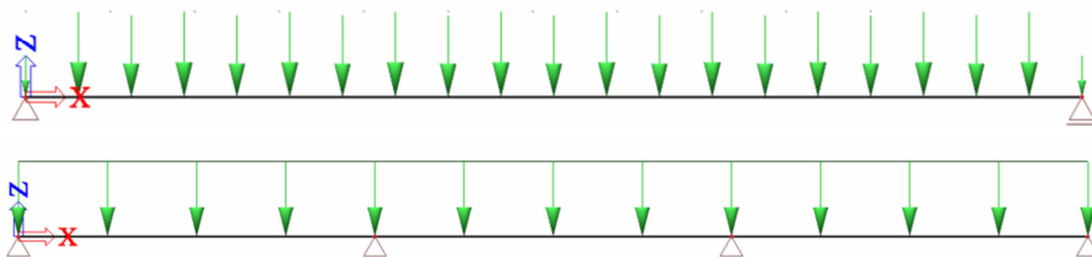
3.2.1 Strešný plášť



Obr. 3.3 – Skladba strešného plášťa.

3.3 Výpočet zaťaženia

Plnostenný väzník je proste uložený nosník, bodovo zaťažený väznicami. Rozpätie väzníka je 12,5 m. Väznice sú považované za trojpoľové spojité nosníky s dĺžkou poľa 2,35 m. Zaťažené sú strešným plášťom a poveternostnými vplyvmi.



Obr. 3.4 – Statický model plnostenného väzníka a väznice.

3.3.1 Stále zaťaženie

Stále zaťaženie bolo stanovené podľa ČSN EN 1991-1-1 [3]. Stále zaťaženie je tvorené vlastnou tiažou väzníka a stálym zaťažením drevenej väznice. Vlastnú tiaž spočíta program Scia Engineer.

Tab. 9 – Tiaž strešného plášťa.

		zaťaženie [kN/m ²]	z.š. [m]	zaťaženie [kN/m]
Strešný plášť	Asfaltový pás	2 x 0,045	0,625	0,06
	Polystyrénbetón	0,72		0,45
	Tepelná izolácia	0,04		0,03
	2 x OSB dosky	2 x 0,14		0,18
	Väznica	vlastná tiaž		
Spolu:				0,72

3.3.2 Zat'azenie snehom

$s = 3,84 \text{ kN/m}^2$ (vid'. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)

3.3.3 Zat'azenie vetrom

$q_p(z) = 759,57 \text{ N/m}^2$ (vid'. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)

Hodnota zat'azenia saním vetra je rovná

$$w_{e,F} = 0,76 * (-1,8) = -1,37 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,76 * (-1,2) = -0,92 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota zat'azenia tlakom vetra v oblasti I je rovná

$$w_{e,I} = 0,76 * (0,2) = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

3.3.4 Zat'azenie úžitkové

$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ (vid'. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)

3.3.5 Zhrnutie zat'azenia

Z dôvodu použitia OSB dosiek je max. dovolená vzdialenosť väzníc 625 mm.

Stále:

–vlastná tiaž G_k = počíta program Scia Engineer,

–strešný plášť $G_k = 0,72 \text{ kN/m}$.

Premenné:

–sneh $Q_{k,s} = 2,4 \text{ kN/m}$,

–vietor $Q_{k,w} = 0,86 \text{ kN/m}$ (sanie),

$$Q_{k,w} = 0,1 \text{ kN/m (tlak)}$$

–úžitné $Q_k = 0,47 \text{ kN/m}$.

3.3.6 Zat'azovacie stavy

–ZS1 – vlastná tiaž,

–ZS2 – strešný plášť,

–ZS3 – úžitkové,

–ZS4 – sneh plný,

–ZS5 – sneh nerovnomerný,

–ZS6 – vietor sanie,

–ZS7 – vietor tlak.

Zat'azovacie stavy sú zaradené do štyroch zat'azovacích skupín:

- Stále (ZS1+ZS2),
- Úžitkové (ZS3),
- Sneh (ZS4+ZS5),
- Vietor (ZS6+ZS7).

3.3.7 Kombinácie

Kombinácie zaťažení boli vykonané programom Scia Engineer. Kombinácie vychádzajú z normy ČSN EN 1990 [2]. Pre medzný stav únosnosti bol navolený typ kombinácie: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

6.10. a)

$$\sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.10. b)

$$0,85 \cdot \sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

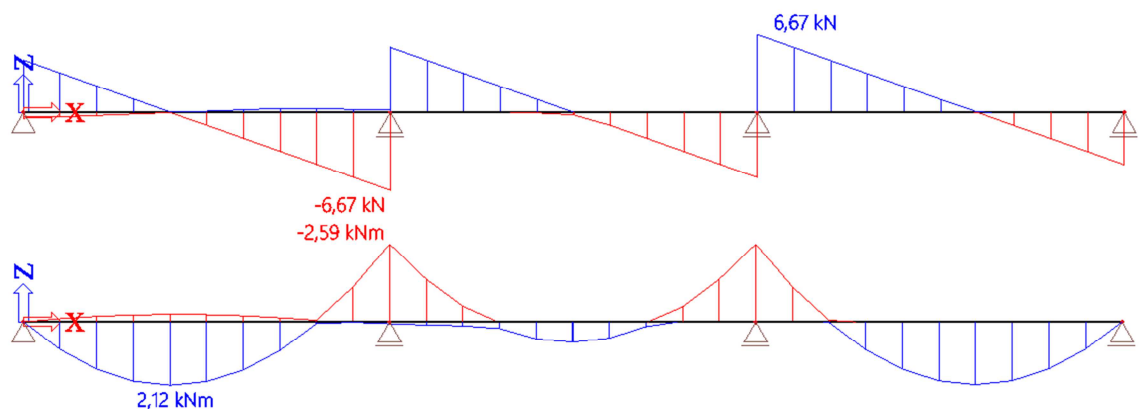
3.4 Posúdenie väznice

3.4.1 Popis väznice

Rastlé drevo C22, trieda vlhkosti 2. Väznica (spojitý nosník) je namáhaná šmykom a prostým ohybom v jednej rovine. Vnútorne sily boli vypočítané programom Scia Engineer. Výsledkom je priebeh posúvajúcich síl a ohybových momentov. Rozmery väznice sú 100 x 130 mm.

$$V_{Ed} = 12,24 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2,59 \text{ kNm}$$



Obr. 3.5 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M väznice.

3.4.2 Únosnosť v ohybe

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{22}{1,3} = 15,23 \text{ MPa}$$

Max. ohybové napätie

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{2,59 * 10^6}{2,82 * 10^5} = 9,18 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{9,18}{15,23} \leq 1,0 \quad 0,60 < 1,0 \text{ Prierez na ohyb vyhovuje}$$

3.4.3 Únosnosť v šmyku za ohybu

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,4}{1,3} = 1,66 \text{ MPa}$$

Max. šmykové napätie

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{3}{2} * \frac{12,24 * 10^3}{13,0 * 10^3} = 1,41 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,41}{1,66} \leq 1,0 \quad 0,85 < 1,0 \text{ Prierez na šmyk vyhovuje}$$

3.4.4 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Maximálny priehyb bude určovať kombinácia stáleho zaťaženie so snehom.

$$u_{\text{inst,LIM}} \leq \frac{L}{500} = \frac{2350}{500} = 4,7 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,g}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,s}} = 1,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,w}} = 0,1 \text{ mm}$$

Vplyv dotvarovania

$$u_{\text{fin,LIM}} \leq \frac{L}{300} = \frac{2350}{300} = 7,8 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{inst,g}} * (1 + k_{\text{def}}) + u_{\text{inst,s}} * (1 + \psi_2 * k_{\text{def}}) + \psi_0 * u_{\text{inst,w}} * (1 + \psi_2 * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin}} = 0,5 * (1 + 0,8) + 1,4 * (1 + 0,2 * 0,8) + 0,2 * 0,1 * (1 + 0 * 0,8) = 2,6 \text{ mm}$$

Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty.

$$u_{\text{inst}} = 2,0 \text{ mm} < u_{\text{inst,LIM}} = 4,7 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin}} = 2,6 \text{ mm} < u_{\text{fin,LIM}} = 7,8 \text{ mm}$$

3.5 Posúdenie plnostenného nosníku

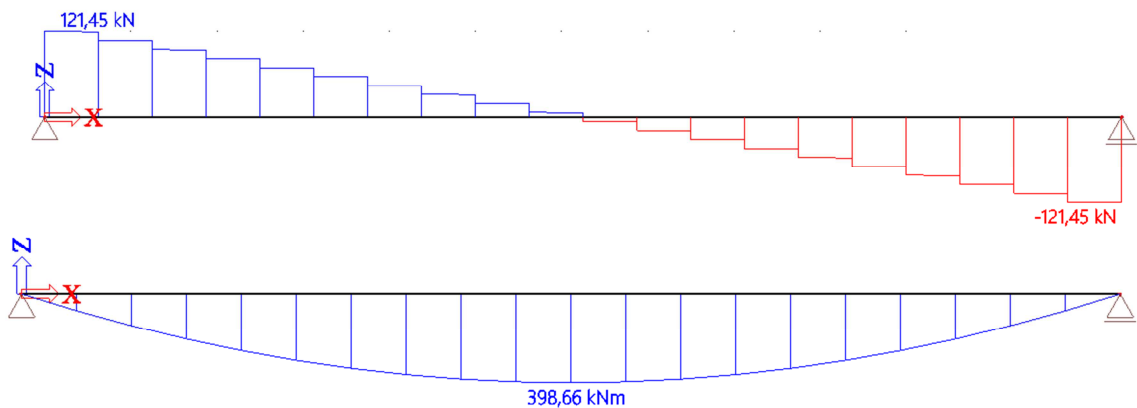
3.5.1 Popis nosníka

Lepené lamelové drevo GL24h, trieda vlhkosti 2. Nosník je namáhaný šmykom a prostým ohybom. Nosník je zabezpečený proti strate priečnej a torznej stability väznicami a strešným plášťom. Keďže je priamopásový ($h_s = h_{ap}$), najviac namáhaný prierez je v strede rozpätia.

Túto skutočnosť dokazuje aj podmienka:

$$x_M = \frac{L * h_s}{2 * h_{ap}} = \frac{L}{2}$$

Vnútorne sily boli počítané programom Scia Engineer. Výsledkom je priebeh posúvajúcich síl a ohybových momentov na nosníku. Nosník je namáhaný max. šmykovou silou $V_{Ed} = 121,45$ kN a ohybovým momentom v strede rozpätia $M_{Ed} = 398,66$ kNm.



Obr. 3.6 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M plnostenného väzníka.

3.5.2 Únosnosť v ohybe

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

Max. normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{398,66 * 10^6}{2,43 * 10^7} = 16,41 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,\alpha} * f_{m,d}} = \frac{16,41}{1,0 * 17,28} \leq 1,0$$

0,95 < 1,0 Prierez na ohyb vyhovuje

3.5.3 Únosnosť v šmyku (posúdenie v mieste podpory)

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Max. šmykové napätie (v podpore)

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{\text{Ed}} * S_y}{I_y * b}$$

Pre obdĺžnikový prierez platí

$$\frac{I_y}{S_y} = \frac{h}{1,5}$$

Po dosadení

$$\tau_{v,d} = \frac{1,5 * V_{\text{Ed}}}{h * b} = \frac{1,5 * 121,45 * 10^3}{900 * 180} = 1,13 \text{ MPa}$$

Posúdenie

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,13}{1,94} \leq 1,0 \quad 0,58 < 1,0 \text{ Prierez na šmyk vyhovuje}$$

Min. dĺžka podložky v podpore

$$l_{1,\text{min}} \geq \frac{V_{\text{Ed}}}{f_{c,90,d} * b} = \frac{121,45 * 10^3}{1,94 * 180} \geq 347,8 \approx 350 \text{ mm}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

3.5.4 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Maximálny priehyb bude určovať kombinácia stáleho zaťaženie so snehom.

$$u_{\text{inst,LIM}} \leq \frac{L}{500} = \frac{12500}{500} = 25,0 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,g}} = 6,0 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,s}} = 13,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,w}} = 0,8 \text{ mm}$$

Vplyv dotvarovania

$$u_{\text{fin,LIM}} \leq \frac{L}{300} = \frac{12500}{300} = 41,7 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{inst,g}} * (1 + k_{\text{def}}) + u_{\text{inst,s}} * (1 + \psi_2 * k_{\text{def}}) + \psi_0 * u_{\text{inst,w}} * (1 + \psi_2 * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin}} = 6,0 * (1 + 0,8) + 13,4 * (1 + 0,2 * 0,8) + 0,6 * 0,8 * (1 + 0 * 0,8) = 26,8 \text{ mm}$$

Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty.

$$u_{\text{inst}} = 20,2 \text{ mm} < u_{\text{inst,LIM}} = 25,0 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin}} = 26,8 \text{ mm} < u_{\text{fin,LIM}} = 41,7 \text{ mm}$$

3.6 Zhodnotenie

Profil plnostenného väzníka bol výpočtom stanovený a overený na rozmery 180 x 900 mm. Dĺžka podložky v uložení väzníka musí byť min 350 mm.

4 VARIANT C – ocel'ový priehradový nosník

Ocel'ový priehradový nosník s väznicami spájaný kútovými zvarmi pomocou styčnickových plechov. Prúty horného a dolného pásu boli navrhnuté ako prúty zložené z dvoch rovnoramenných uholníkov, na ktoré boli pomocou styčnickových plechov pripájané zvislice a diagonály taktiež prierezu zloženého z dvoch rovnoramenných uholníkov.

4.1 Materiál:

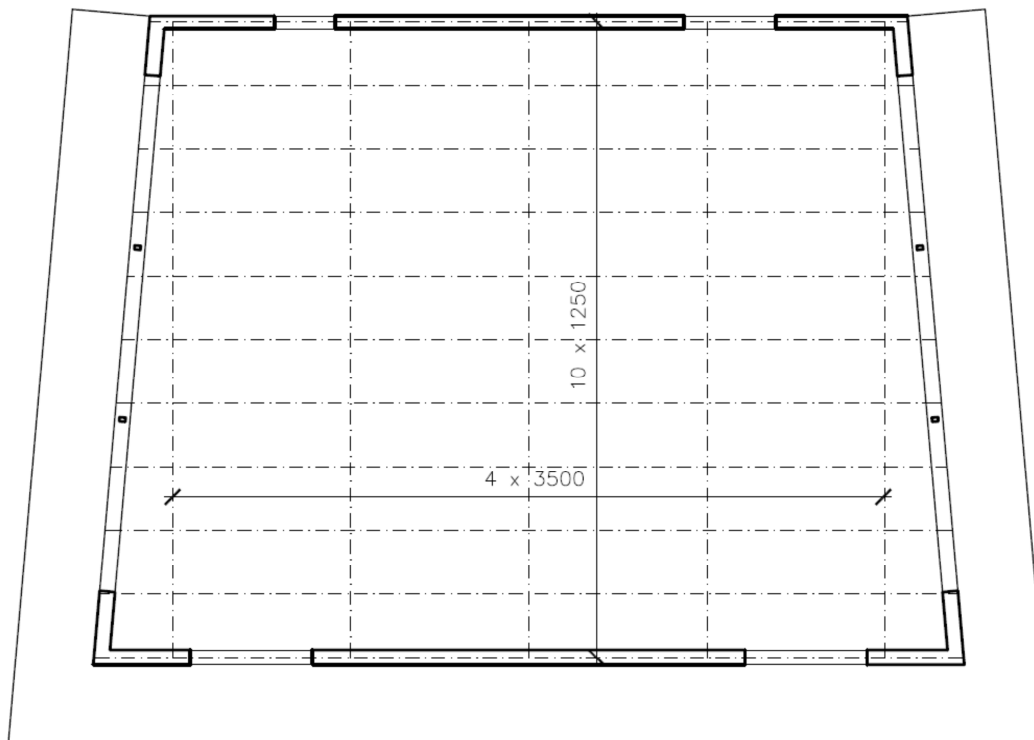
Oceľ S275 za tepla valcovaná, styčnickový plech hrúbky 8 mm

$$\gamma_{M0} = 1,15$$

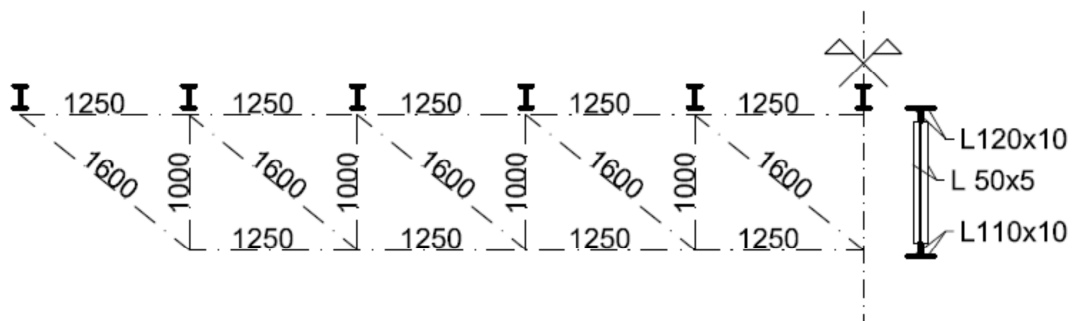
Tab. 10 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.

Pevnostné vlastnosti [N/mm² = MPa]			
Medza klzu	$f_{y,k}$	275	
Medza pevnosti	$f_{u,k}$	430	
Súčiniteľ materiálu	únosnosť	γ_{M1}	1,15
	únosnosť pri vzpere	γ_{M0}	1,15
	pre zvarové spoje	γ_{M2}	1,50
Tuhostné vlastnosti [kN/mm² = GPa]			
Modul pružnosti	E	210	
Modul pružnosti v šmyku	G	81	
Hustota [kg/m ³]	ρ_k	7850	
Súčiniteľ priečnej rozťažnosti	ν	0,3	
Súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti [deg ⁻¹]	α	0,000012	

4.2 Geometria krovu

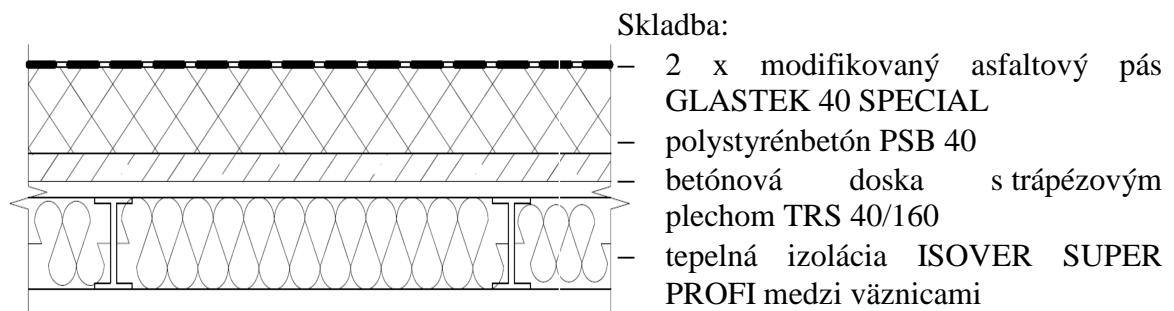


Obr. 4.1 – Pôdorysná dispozícia krovu.



Obr. 4.2 – Dispozícia väzníka.

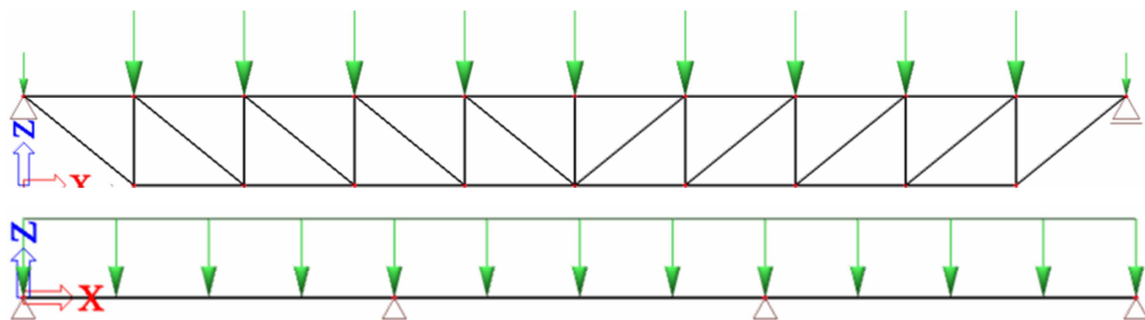
4.2.1 Strešný plášť



Obr. 4.3 – Skladba strešného plášťa

4.3 Výpočet zaťaženia

Oceľový priehradový väzník je proste uložený nosník, bodovo zaťažený väznicami. Rozpätie väzníka je 12,5 m. Väznice sú považované za trojpoľové spojité nosníky s dĺžkou poľa 2,35 m. Zaťažené sú strešným plášťom a poveternostnými vplyvmi.



Obr. 4.4 – Statický model priehradového väzníka a väznice.

4.3.1 Stále zaťaženie

Stále zaťaženie je tvorené vlastnou tiažou väzníka a stálym zaťažením ocelevej väznice. Vlastnú tiaž spočíta program Scia Engineer.

Tab. 11 – Tiaž strešného plášťa.

		zaťaženie [kN/m ²]	z.š. [m]	zaťaženie [kN/m]
Strešný plášť	Asfaltový pás	2 x 0,045	1,25	0,11
	Polystyrénbetón	0,72		0,9
	Betónová doska	1,25		1,57
	Trapézový plech	0,1		0,125
	Tepelná izolácia	0,05		0,063
	Väznica	vlastná tiaž		
Spolu:				2,77

4.3.2 Zaťaženie snehom

$s = 3,84 \text{ kN/m}^2$ (viď. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)

4.3.3 Zaťaženie vetrom

$q_p(z) = 759,57 \text{ N/m}^2$ (viď. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)

Hodnota zaťaženia saním vetra je potom rovná

$$w_{e,F} = 0,76 * (-1,8) = -1,37 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 0,76 * (-1,2) = -0,92 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota zaťaženia tlakom vetra v oblasti I je rovná

$$w_{e,I} = 0,76 * (0,2) = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

4.3.4 Zaťaženie úžitkové

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ (vid'. VARIANT A – Drevený priehradový väzník)}$$

4.3.5 Zhrnutie zaťaženia

Z dôvodu použitia trapézového plechu môže byť zaťažovacia šírka väčšia, konkrétne 1250 mm.

Stále:

–vlastná tiaž G_k = počíta program Scia Engineer

–strešný plášť $G_k = 2,77 \text{ kN/m}$

Premenné:

–sneh $Q_{k,s} = 4,8 \text{ kN/m}$

–vietor $Q_{k,w} = 1,7 \text{ kN/m}$ (sanie)

$$Q_{k,w} = 0,2 \text{ kN/m (tlak)}$$

–úžitné $Q_k = 0,94 \text{ kN/m}$

4.3.6 Zaťažovacie stavy:

–ZS1 – vlastná tiaž

–ZS2 – strešný plášť

–ZS3 – úžitkové

–ZS4 – sneh plný

–ZS5 – sneh nerovnomerný

–ZS6 – vietor sanie

–ZS7 – vietor tlak

Zaťažovacie stavy sú zaradené do 4 zaťažovacích skupín:

–Stále (ZS1+ZS2)

–Úžitkové (ZS3)

–Sneh (ZS4+ZS5)

–Vietor (ZS6+ZS7)

4.3.7 Kombinácie

Kombinácie zaťaženi boli vykonané programom Scia Engineer 2013.1. Kombinácie vychádzajú z normy ČSN EN 1990. Pre medzný stav únosnosti bol navolený typ kombinácie: EN MSÚ (STR/GEO) Sada B.

6.10. a)

$$\sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.10. b)

$$0,85 \cdot \sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

4.4 Posúdenie oceleovej väznice

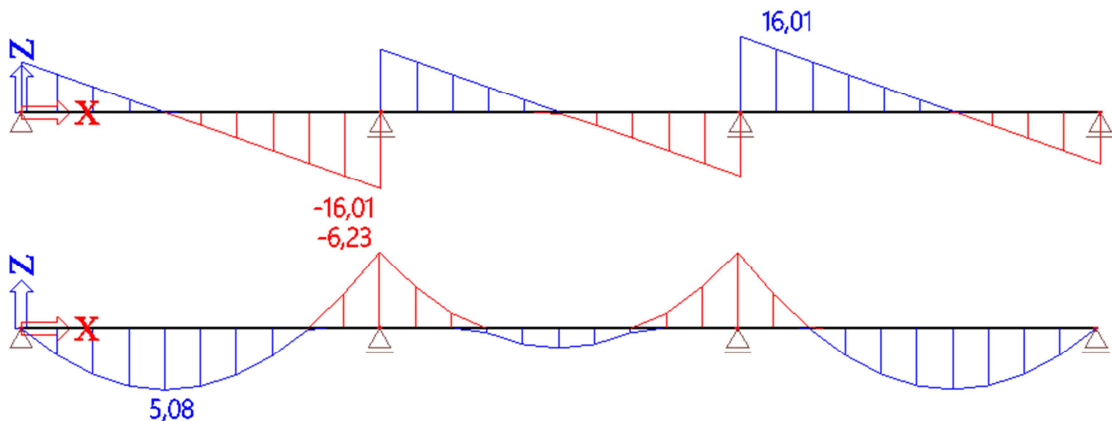
4.4.1 Popis väznice

Oceľ S 275 valcovaná za tepla, profil IPE120. Väznica je namáhaná šmykom a ohybom v jednej rovine. Stojina aj pásnica patria do konštrukčnej triedy 1 (prierezy schopné vytvárať plastické kĺby s plnou rotačnou kapacitou), takže celý prierez patrí do triedy 1. Vnútorne sily boli vypočítané programom Scia Engineer. Výsledkom sú posúvajúce sily a ohybové momenty.

$$V_{Ed} = 29,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,+} = 5,08 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,-} = 6,23 \text{ kNm}$$



Obr. 4.5 – Priebeh posúvajúcej sily V a ohybových momentov M väznice.

4.4.2 Únosnosť v šmyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{470 \cdot \frac{275}{\sqrt{3}}}{1,15} = 64,89 \text{ kN}$$

Ak platí podmienka $V_{Ed} < 0,5V_{pl,Rd}$, potom nie je potrebné pri stanovení únosnosti v ohybe vplyv šmyku uvažovať.

$$29,37 \text{ kN} < 32,45 \text{ kN}$$

Posúdenie

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{29,37}{64,89} < 1,0 \quad 0,45 < 1,0 \text{ Prierez na šmyk vyhovuje}$$

4.4.3 Únosnosť v ohybe

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,3 * 10^{-5} * 275 * 10^3}{1,15} = 12,67 \text{ kNm}$$

Posúdenie

$$\frac{M_{Ed(+,-)}}{M_{pl,Rd}} = \frac{6,23}{12,67} < 1,0$$

0,49 < 1,0 Prierez na ohyb vyhovuje

4.4.4 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Maximálny priehyb bude určovať kombinácia stáleho zaťaženia so snehom.

$$u_{inst,LIM} \leq \frac{L}{200} = \frac{2350}{200} = 11,75 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g} = 1,0 \text{ mm}$$

$$u_{inst,s} = 1,6 \text{ mm}$$

$$u_{inst,w} = 0,1 \text{ mm}$$

Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty

$$u_{inst} = 2,7 \text{ mm} < u_{inst,LIM} = 11,75 \text{ mm}$$

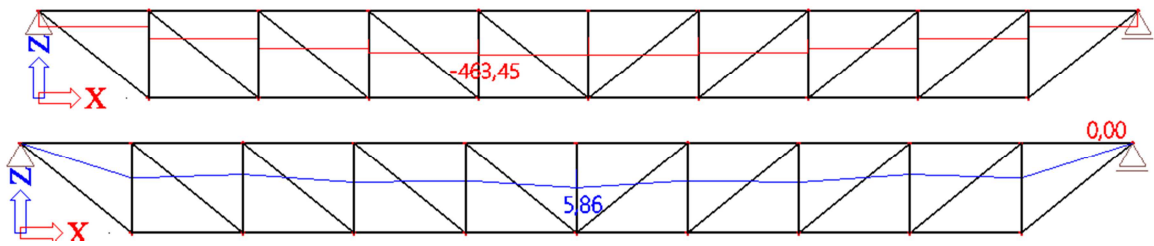
4.5 Posúdenie priehradového väzníka

4.5.1 Popis priehrady

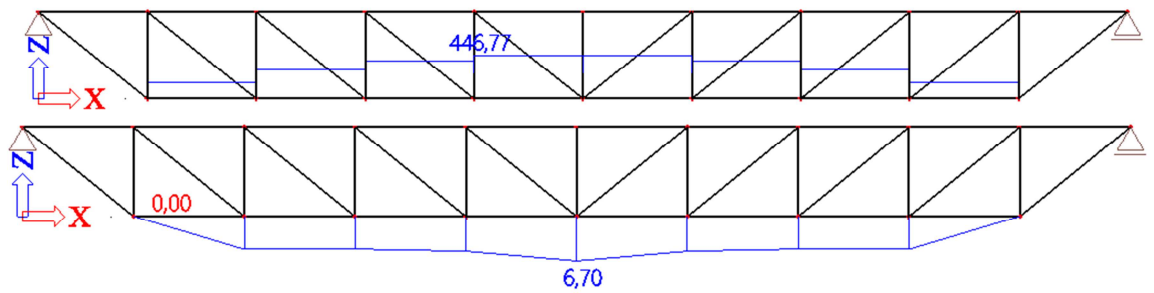
Oceľ S 275 za tepla valcovaná. V programe Scia Engineer boli horný a dolný pás modelované ako priebežné pruhy. Diagonály boli navrhnuté tak, aby boli ťahané (kvôli väčšej vzpernej dĺžke ako majú zvislice). Diagonály a zvislice boli kľbovo pripojené. Vďaka použitiu styčnickových plechov nebola v tomto prípade zvažovaná žiadna excentricita prípojov.

Vnútorne sily boli vypočítané programom Scia Engineer. Výsledkom sú normálové sily v jednotlivých prútoch väzníka a ohybové momenty v hornom a dolnom páse.

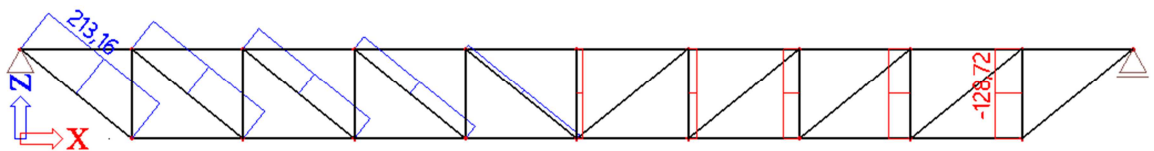
Jednotlivé prvky boli uvažované ako dvojice rovnoramenných uholníkov, a zaradené do 3. konštrukčnej triedy.



Obr. 4.6 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na hornom páse.



Obr. 4.7 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na dolnom páse.



Obr. 4.8 – Priebeh normálových síl N na diagonálach (ťahané) a zvisliciach (tlačené).

4.5.2 Ťah

Podmienka

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Únosnosť prútu

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

4.5.3 Vzperný tlak

Podmienka

$$N_{c,Ed} \leq N_{b,Rd}$$

Únosnosť prútu

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * \beta_A * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde pre triedu 1, 2 a 3 platí $\beta_A = 1,0$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{f_y}{235}}$$

Vo výpočte sa ďalej počíta s väčšou hodnotou relatívnej štíhlosti λ_{rel} , $\alpha = 0,49$ (pre 3. konštrukčnú triedu).

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2]$$

Súčiniteľ vzpernosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

4.5.4 Kombinácia ohybu a osovej sily

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Podmienka pre ťahovú silu

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1,0$$

Podmienka pre tlakovú silu

$$\frac{N_{c,Ed}}{\chi * N_{pl,Rd}} + \frac{k_y * M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1$$

4.5.5 Posúdenie prútov – horného pásu

Horný pás je namáhaný vzperným tlakom a kombináciou tlakovej sily a ohybu. Tvoria ho dva rovnoramenné uholníky profilu 120x10 mm.

Na prút pôsobí tlaková sila $N_{c,Ed} = 463,45$ kN a príslušný ohybový moment $M_{Ed} = 5,86$ kNm.

Tab. 12 – Posúdenie horného pásu

Vzperný tlak				Tlak +Ohyb		
A=	2318	mm ²		N _{c,Ed} =	231,72	kN
i _z =	36,7	i _y =	36,7	χ=	0,93	mm
L _{cr,z} =	1250	L _{cr,y} =	1250	N _{pl,Rd} =	554,3	kN
λ _z =	34,06	λ _y =	34,06	W _{el} =	3,6*10 ⁴	mm ³
λ _{rel,z} =	0,34	λ _{rel,y} =	0,34	M _{Ed} =	5,86	kNm

$\lambda_1 =$	101,58			$k_y =$	1,5	mm
$\varphi =$	0,59			$M_{el,Rd} =$	17,22	kNm
$\chi =$	0,93					
$N_{b,Rd} =$	516,09	kN				
$N_{c,Ed} =$	223,39	kN				
$1,0 \geq$	0,45	vyhovuje		$1,0 \geq$	0,96	vyhovuje

4.5.6 Posúdenie prútov – dolného pásu

Dolný pás je namáhaný ťahom a kombinovaným s ohybom. Tvoria ho dva rovnoramenné uholníky profilu 110x10 mm.

Na prút pôsobí ťahová sila $N_{t,Ed} = 446,77$ kN a príslušný ohybový moment $M_{Ed} = 6,7$ kNm.

Tab. 13 – Posúdenie dolného pásu.

Ťah			Ťah + Ohyb		
A =	2118	mm ²	$W_{el} =$	$3,0 \cdot 10^4$	mm ³
$N_{pl,Rd} =$	506,48	kN	$M_{el,Rd} =$	14,35	kNm
$N_{t,Ed} =$	223,39	kN	$M_{Ed} =$	6,7	kNm
			$N_{pl,Rd} =$	506,48	kN
			$N_{t,Ed} =$	223,39	kN
$1,0 \geq$	0,44	vyhovuje	$1,0 \geq$	0,91	vyhovuje

4.5.7 Posúdenie prútov – posúdenie zvislice a diagonály

Zvislice sú namáhané vzperným tlakom, diagonály ťahom. Oba prvky tvoria dva rovnoramenné uholníky profilu 50x5 mm.

Zvislice boli posudzované na tlakovú silu $N_{c,Ed,max} = 128,72$ kN a diagonály na ťahovú silu $N_{t,Ed,max} = 213,16$ kN.

Tab. 14 – Posúdenie zvislice a diagonály.

Vzperný tlak (zvislica)				Ťah (diagonála)		
A =	656,3	mm ²		A =	656,3	mm ²
$i_z =$	14,9	$i_y =$	14,9	$N_{pl,Rd} =$	156,948	kN
$L_{cr,z} =$	1000	$L_{cr,y} =$	1000	$N_{t,Ed} =$	106,58	kN
$\lambda_z =$	67,11	$\lambda_y =$	67,11			
$\lambda_{rel,z} =$	0,66	$\lambda_{rel,y} =$	0,66			

$\lambda_1 =$	101,58					
$\varphi =$	0,83					
$\chi =$	0,75					
$N_{b,Rd} =$	117,52	kN				
$N_{c,Ed} =$	64,36	kN				
$1,0 \geq$	0,55	vyhovuje		$1,0 \geq$	0,68	vyhovuje

4.5.8 Posúdenie na medzný stav použiteľnosti

Maximálny priehyb bude vyvodzovať kombinácia stáleho zaťaženia so snehom.

$$u_{inst,LIM} \leq \frac{L}{250} = \frac{12500}{250} = 50,0 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g} = 7,0 \text{ mm}$$

$$u_{inst,s} = 10,6 \text{ mm}$$

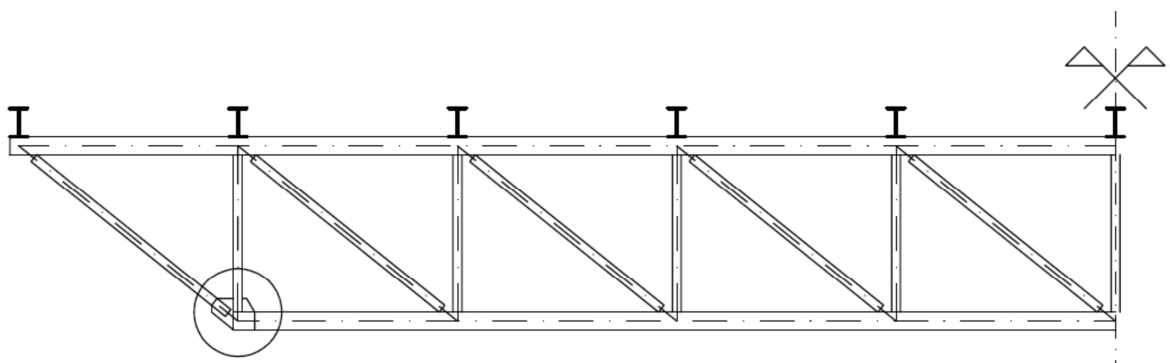
$$u_{inst,w} = 0,4 \text{ mm}$$

Maximálne hodnoty priehybu sú menšie ako limitné hodnoty.

$$u_{inst} = 18,0 \text{ mm} < u_{inst,LIM} = 50,0 \text{ mm}$$

4.6 Posúdenie pripojenia diagonály a zvislice

Spoje boli zhotovené kútovými zvarmi za použitia styčkových plechov hrúbky 8 mm. Výhodou takýchto spojov je zamedzenie vzniku excentricity pripojenia. Hrúbka kútových zvarov je 4 mm. Posudzovaný bol najviac namáhaný styčník zobrazený na obrázku.

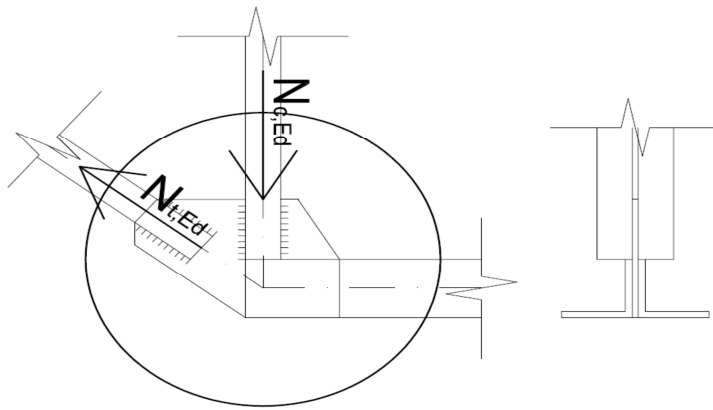


Obr. 4.9 – Najviac namáhaný styčník.

Ťahaná diagonála/tlačená zvislica

$$N_{c,Ed} = 128,72 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 213,16 \text{ kN}$$



Obr. 4.10 – Detail posudzovaného styčného (pohľad, rez).

4.6.1 Rozdelenie sily

Vo výpočte bolo počítané pôsobenie sily v ťažisku prierezu, preto je nutné silu rozdeliť na jednotlivé zvary. Zvary pri priliehajúcom ramene sú namáhané silou

$$F_{t1} = N_{t,Ed} * \frac{e}{b} = 213,16 * \frac{14}{50} = 59,68 \text{ kN}$$

$$F_{t3} = N_{t2,Ed} * \frac{e_2}{b_2} = 166,43 * \frac{30,7}{110} = 46,45 \text{ kN}$$

$$F_{c1} = N_{c,Ed} * \frac{e}{b} = 128,72 * \frac{14}{50} = 36,04 \text{ kN}$$

a zvary pri odstávajúcom ramene sú namáhané silou

$$F_{t2} = N_{t,Ed} * \frac{b - e}{b} = 213,16 * \frac{50 - 14}{50} = 153,48 \text{ kN}$$

$$F_{t4} = N_{t,Ed} * \frac{b_2 - e_2}{b_2} = 166,43 * \frac{110 - 30,7}{110} = 119,98 \text{ kN}$$

$$F_{c2} = N_{c,Ed} * \frac{b - e}{b} = 128,72 * \frac{50 - 14}{50} = 92,68 \text{ kN}$$

4.6.2 Únosnosť kútového zvaru

Únosnosť kútového zvaru bola stanovená na základe zrovnávacieho napätia. Únosnosť kútového zvaru je dostatočná, pokiaľ sú splnené obidve nasledujúce podmienky:

$$a) \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$\beta_w = 0,85$ pre oceľ S275 [podľa Tab. 4.1 v ČSN EN 1993-1-8]

$$b) \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Od síl vzniká vo zvaroch iba šmyková zložka napätí T_{\parallel} rovnobežná s osou zvaru. Keďže sú v spoji celkom 4 kútové zvary, po dosadení nulových zložiek napätí získavame vzťah:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,2}}{2 * a * l} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$$

Pre zvar diagonály sú potrebné dĺžky pri jednotlivých ramenách.

$$l_1 = \frac{F_{t1} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{59,68 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 38,32 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{F_{t2} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{153,48 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 95,53 \text{ mm}$$

Pre zvar zvislice sú potrebné dĺžky pri jednotlivých ramenách.

$$l_1 = \frac{F_{c1} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{36,04 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 23,14 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{F_{c2} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{92,68 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 59,50 \text{ mm}$$

Pre zvar pripojenia styčnickového plechu k dolnému (hornému) pásu sú potrebné dĺžky pri jednotlivých ramenách.

$$l_1 = \frac{F_{t3} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{46,45 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 29,82 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{F_{t4} * \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}{2 * a * f_u} = \frac{119,98 * 10^3 * \sqrt{3} * 0,85 * 1,5}{2 * 4 * 430} = 77,02 \text{ mm}$$

4.7 Zhodnotenie

Profily posudzovaných oceľových prútov a minimálne dĺžky ich pripojenia zvarmi boli výpočtom stanovené a overené nasledovne:

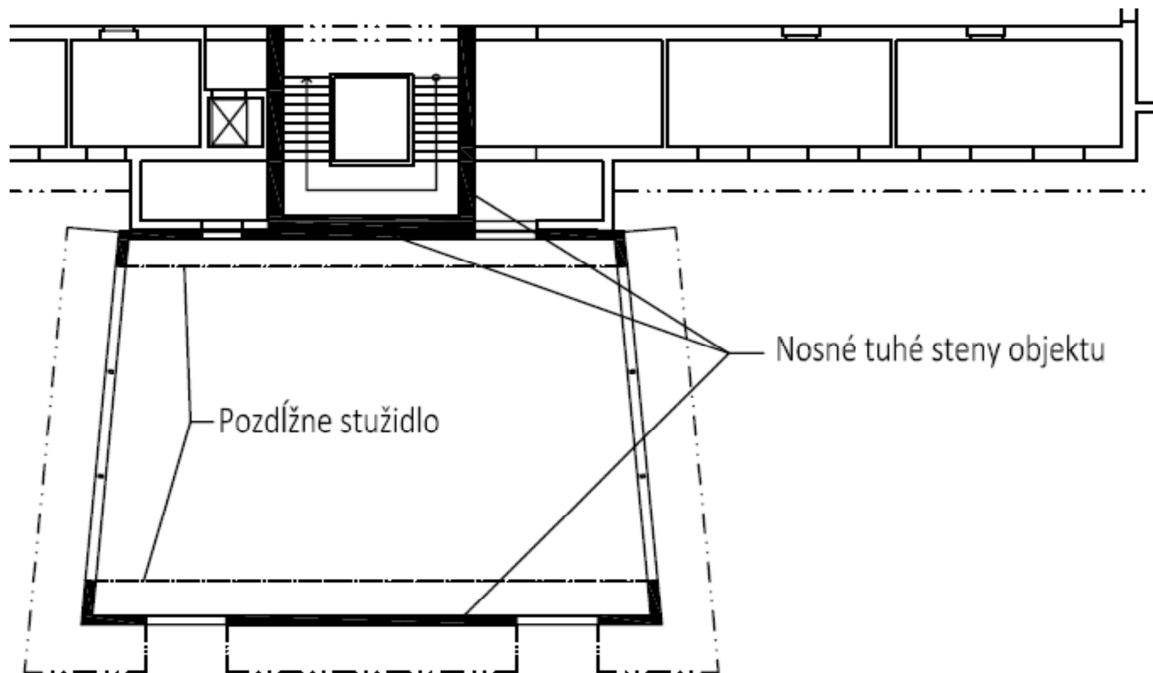
horný pás – zložený prierez 2x L 120x10, $l_1 = 30 \text{ mm}$, $l_2 = 80 \text{ mm}$

dolný pás – zložený prierez 2x L 110x10, $l_1 = 30$, $l_2 = 80 \text{ mm}$

zvislice – zložený prierez 2x L 50x5, $l_1 = 40 \text{ mm}$, $l_2 = 100 \text{ mm}$

diagonály – zložený prierez 2x L 50x5, $l_1 = 25 \text{ mm}$, $l_2 = 60 \text{ mm}$

5 Zavetrenie objektu



Obr 5.1 – Pôdorysné zobrazenie stužidla.

Vo všetkých prípadoch je skladba strešného plášťa volená tak, že je možné tento plášť považovať za tuhý. Pri drevených variantoch je to zabezpečené použitím dvoch vrstiev OSB dosiek ukladaných s prekrytím styčných škár, čo vytvorí dostatočne pevnú rovinu. Pri oceľovom nosníku tvorí tuhý plášť trapézový plech s betónovou strešnou doskou o hrúbke min. 50 mm.

Priečne sily sú tak pomocou tuhého plášťa prenášané do nosných stien schodiska pôvodného objektu. Tuhý plášť rovnako prenáša pozdĺžne sily do železobetónových tuhých nosných stien pristavovaného objektu.

Na pozdĺžne zabezpečenie nosníkov slúžia dve stužidlá umiestnené no krajoch väzníkov. Ich hlavnou úlohou je zabezpečiť stabilitu nosníkov, takže na ne nie sú kladené veľké statické požiadavky, a preto sú navrhnuté iba orientačne tak, aby mali relatívne malé štihlosti. Pre drevené varianty to sú dva profily o rozmeroch 50 x 80 mm, pre oceľový väzník profily 2 x L 50x5.

6 Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť najvhodnejšie riešenie zastrešenia konferenčnej sály. Po zohľadnení investorových požiadaviek boli navrhnuté a posúdené tri varianty strešnej konštrukcie, pre ktoré boli vypracované podkapitoly stanovenie geometrie a statického modelu, vypočítanie zaťaženia a priebehu vnútorných síl a posúdenie daných konštrukčných prvkov. V dvoch prípadoch boli použité priehradové väzníky, tretím návrhom bol plnostenný väzník. Drevená priehrada je z konštrukčného hľadiska nevyhovujúca, preto ju nahrádza druhý drevený variant. V práci sú popísané a riešené niektoré problémy, s akými sa pri navrhovaní podobných konštrukcií môžeme bežne stretnúť.

Priehradový väzník bol navrhnutý z rastlého dreva. Geometria väzníka bola zvolená tak, aby najviac namáhané krajné diagonály boli ťahané. Výpočtom vnútorných síl bolo zistené, že dolný pás väzníka bude namáhaný iba ťahom a preto nie je potrebné zaistenie proti vzperu. Dolný a horný pás boli navrhnuté ako zložený prvok o dvoch obdĺžnikových prierezoch medzi ktoré sa pripájajú zvislice a diagonály. Všetky prvky boli navrhnuté s rovnakou šírkou 100 mm. Pri posudzovaní prípojov bolo zistené, že na zhotovenie dostatočne únosného spoja je potrebné veľké zväčšenie výšky prierezu z dôvodu veľkého počtu spojovacích prostriedkov (oceľových svorníkov). Tomuto zväčšeniu sme sa snažili vyhnúť dodatočným zabezpečením svorníkov oceľovými záchytkami. Aj keď sa počet potrebných spojovacích prostriedkov znížil na polovicu, zväčšenie výšky prierezu kvôli rozstupom bolo stále priveľké a takýto väzník by nebol vôbec ekonomickým riešením zastrešenia. Preto bol navrhnutý a posúdený iný typ spoja ktorý využíva kombináciu ocele a dreva. Aj keď tento spoj vyhovel na medzný stav únosnosti rozmery spoja a prierezov prvkov väzníka museli byť podstatne zväčšené a preto nie je takýto spoj vhodnou náhradou.

Plnostenný väzník bol navrhnutý z lepeného lamelového dreva prierezu s výškou 900 mm a šírkou 180 mm. Posúdenie plnostenného na medzný stav únosnosti je v porovnaní s ostatnými konštrukciami nenáročný. Navrhnutý prierez väzníka je dostatočne odolný aj na medzný stav použiteľnosti. Ďalšou výhodou je, že nie je potrebné zhotovovať žiadne konštrukčné spoje s výnimkou montážneho spoja pri veľkých rozpätiach. Keďže sa však jedná o plnostenný prierez z lepeného lamelového dreva spotreba materiálu je v porovnaní s ostatnými konštrukciami značne zvýšená. Táto skutočnosť značne ovplyvňuje cenu väzníka.

Oceľový priehradový väzník bol rovnako ako drevená priehrada navrhnutý tak aby boli najviac namáhané diagonály ťahané. Vo výpočte boli všetky prúty navrhnuté ako zložené prvky z rovnoramenných uholníkov. Oceľový priehradový väzník je vhodnou alternatívou nosnej konštrukcie tam, kde v styčníkoch vychádzajú veľké vnútorné sily a to z dôvodu využitia styčnickových plechov a kútových zvarov. Takéto spoje sú ľahko zhotoviteľné a majú veľmi vysoké únosnosti.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] Architektonický návrh rekonstrukce objektu.
- [2] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ed. 2. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] 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.
- [4] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [5] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ed. 2. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [7] 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.
- [8] BOHUMIL KOŽELOUCH (překlad a redakce) *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 1: Navrhování a konstrukční materiály*, KODR, Zlín, 2004.
- [9] BOHUMIL KOŽELOUCH (překlad a redakce) *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Step 2: Navrhování detailů a nosných systémů*, KODR, Zlín, 2004.
- [10] ELIÁŠOVÁ MARTINA, SOKOL ZDENĚK: *Ocelové konstrukce – Příklady*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2010.
- [11] *Sortiment Ferony*. Online: <<http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>>

Zoznam použitých skratiek a symbolov

a	účinná hrúbka zvaru
A	plocha prierezu
b	šírka
$C_{0(z)}$	súčiniteľ orografie
C_{dir}	súčiniteľ smeru vetra
C_e	súčiniteľ expozície
$c_{pe,10}$	súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra
$C_{r(z)}$	súčiniteľ drsnosti terénu
C_{season}	súčiniteľ ročného obdobia
C_t	tepelný súčiniteľ
d	priemer spojovacieho prvku
d_c	priemer ozubenej záchytky
$E_{0,05}$	hodnota 5 % kvantilu modulu pružnosti
$E_{0,MEAN}$	priemerná hodnota modulu pružnosti
$f_{c,0,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{c,90,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v tlaku kolmo na vlákna
$f_{h,i,k}$	charakteristická pevnosť v otláčení
$f_{m,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v ohybe
$f_{t,0,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{t,90,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v ťahu kolmo na vlákna
$f_{c,0,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{t,90,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v ťahu kolmo na vlákna
$f_{c,90,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v tlaku kolmo na vlákna
$f_{t,0,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{m,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v ohybe
$f_{v,d}$	návrhová hodnota pevnosti dreva v šmyku
$f_{u,k}$	medza pevnosti ocele
$f_{v,k}$	charakteristická hodnota pevnosti dreva v šmyku
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnosť spojovacieho prostriedku
$F_{v,Rk}$	charakteristická únosnosť spojovacieho prostriedku
$f_{y,k}$	medza klzu ocele
G_k	vlastná tiaž

G_{MEAN}	priemerná hodnota modulu pružnosti v šmyku
h	výška
$I_v(z)$	intenzita turbulencie
$I_{y(z)}$	moment zotrvačnosti k osi $y(z)$
$i_{y(z)}$	polomer zotrvačnosti k osi $y(z)$
k_c	súčiniteľ vzpernosti
k_{def}	súčiniteľ dotvarovania
K_I	súčiniteľ turbulencie
k_{mod}	modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti
k_n	súčiniteľ zohľadňujúci redistribúciu ohybových napätí v priereze
K_r	súčiniteľ terénu
L	osová vzdialenosť rozpätia
$L_{\text{cr},y(z)}$	vzperná dĺžka
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
$M_{y,\text{rk}}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku
$N_{c,\text{Ed}}$	návrhová tlaková sila
$N_{t,\text{Ed}}$	návrhová ťahová sila
Q_k	úžitkové zaťaženie
$Q_{k,s}$	zaťaženie snehom
$Q_{k,w}$	zaťaženie vetrom
$q_p(z)$	špičkový dynamický tlak vetra vo výške z
s	výpočtová hodnota zaťaženia snehom
s_k	charakteristická hodnota zaťaženia snehom na povrchu zeme
t_1	hrúbka vonkajšieho prvku
t_2	hrúbka vnútorného prvku
u_{fin}	konečný priehyb konštrukcie
$u_{\text{fin},\text{LIM}}$	maximálny dovolený konečný priehyb
u_{inst}	priehyb konštrukcie po zaťažení
$u_{\text{inst},\text{LIM}}$	maximálny dovolený priehyb po zaťažení
v_b	základná rýchlosť vetra vo výške 10 metrov nad zemou
$v_{b,0}$	základná rýchlosť vetra
V_{Ed}	návrhová posúvajúca sila
$v_m(z)$	stredná rýchlosť vetra vo výške z nad terénom
w_e	tlak vetra

$W_{y(z)}$	prierezový modul k osi $y(z)$
z	referenčná výška budovy
Z_0	parameter drsnosti
β	pomer medzi pevnosťami v otláčení
β_c	súčiniteľ priamosti
$\gamma_{G,i}$	čiastkový súčiniteľ i -tého stáleho zaťaženia
γ_M	čiastkový súčiniteľ vlastností materiálov
$\gamma_{Q,i}$	čiastkový súčiniteľ i -tého premenného zaťaženia
$\lambda_{rel,y(z)}$	pomerná štíhlosť
$\lambda_{y(z)}$	štíhlostný pomer
μ_i	tvarový súčiniteľ zaťaženia snehom
π	Ludolphovo číslo
ρ	hustota vzduchu
ρ_k	charakteristická hustota dreva
$\sigma_{c,0,d}$	tlakové napätie
$\sigma_{m,d}$	ohybové napätie
$\sigma_{t,0,d}$	táhové napätie
$\tau_{v,d}$	šmykové napätie
ψ_0	súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu premenného zaťaženia
ψ_2	súčiniteľ pre kvázistálu hodnotu premenného zaťaženia
x_M	najviac namáhaný prierez plnostenného nosníka
h_s	výška na kraji väzníka
h_{ap}	výška vo vrchole väzníka
S_y	statický moment prierezu
$l_{1,min}$	minimálna dĺžka podložky v podpore
W_{pl}	plastický modul prierezu
$N_{b,Rd}$	vzperná únosnosť oceľového prútu
χ	súčiniteľ vzpernosti
β_A	súčiniteľ vzpernej dĺžky
α	súčiniteľ imperfekcie
e	poloha ťažiskovej osi
β_w	korelačný súčiniteľ kútového zvaru
σ_{\perp}	normálové napätie kolmé na účinnú plochu zvaru
τ_{\parallel}	šmykové napätie rovnobežné s osou zvaru

τ_{\perp} šmykové napätie kolmé na os zvaru
 l_i dĺžka zvaru pri jednotlivých ramenách

Zoznam obrázkov

- Obr. 1.1 – Pôdorys riešeného objektu.
- Obr. 1.2 – Rez pristavovanou konferenčnou sálou.
- Obr. 1.3 – Mapa snehových oblastí ČR s vyznačením lokality objektu.
- Obr. 2.1 – Pôdorysná dispozícia krovu.
- Obr. 2.2 – Dispozícia väzníka a) variant A1, b) variant A2.
- Obr. 2.3 – Skladba strešného plášťa.
- Obr. 2.4 – Statický model priehradového väzníka a väznice.
- Obr. 2.5 – Oblasti súčiniteľu vonkajšieho tlaku.
- Obr. 2.6 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M väznice.
- Obr. 2.7 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na hornom páse.
- Obr. 2.8 – Priebeh normálových síl N a ohybových momentov M na dolnom páse.
- Obr. 2.9 – Priebeh normálových síl N na diagonálach (ťahané) a zvisliciach (tlačené).
- Obr. 2.10 – Najviac namáhaný styčník.
- Obr. 2.11 – Detail posudzovaného styčníka (pohľad, rez).
- Obr. 2.12 – Detail posudzovaného styčníka (pohľad, rez).
- Obr. 3.1 – Pôdorysná dispozícia krovu.
- Obr. 3.2 – Tvar plnostenného väzníka, prierez.
- Obr. 3.3 – Skladba strešného plášťa.
- Obr. 3.4 – Statický model plnostenného väzníka a väznice.
- Obr. 3.5 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M väznice.
- Obr. 3.6 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M plnostenného väzníka.
- Obr. 4.1 – Pôdorysná dispozícia krovu.
- Obr. 4.2 – Dispozícia väzníka.
- Obr. 4.3 – Skladba strešného plášťa.
- Obr. 4.4 – Statický model priehradového väzníka a väznice.
- Obr. 4.5 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M väznice.
- Obr. 4.6 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M na hornom páse.
- Obr. 4.7 – Priebeh posúvajúcich síl V a ohybových momentov M na dolnom páse.
- Obr. 4.8 – Priebeh normálových síl N na diagonálach (ťahané) a zvisliciach (tlačené).
- Obr. 4.9 – Najviac namáhaný styčník.
- Obr. 4.10 – Detail posudzovaného styčníka (pohľad, rez).
- Obr. 5.1 – Pôdorysné zobrazenie stužidla.

Zoznam tabuliek

- Tab. 1 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.
- Tab. 2 – Pevnostné charakteristiky spojovacieho materiálu.
- Tab. 3 – Tiaž strešného plášťa.
- Tab. 4 – Hodnoty súčiniteľa $c_{pe,10}$ pre jednotlivé oblasti ($\alpha=2^\circ$).
- Tab. 5 – Posúdenie horného pásu.
- Tab. 6 – Posúdenie dolného pásu.
- Tab. 7 – Posúdenie zvislice a diagonály.
- Tab. 8 – Rozstupy a vzdialenosti spojovacích prvkov.
- Tab. 9 – Rozstupy a vzdialenosti spojovacích prvkov.
- Tab. 10 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.
- Tab. 11 – Tiaž strešného plášťa.
- Tab. 12 – Pevnostné charakteristiky nosného materiálu.
- Tab. 13 – Tiaž strešného plášťa.
- Tab. 14 – Posúdenie horného pásu.
- Tab. 15 – Posúdenie dolného pásu.
- Tab. 16 – Posúdenie zvislice a diagonály.