

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Sportovní hala

Sports hall

Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce:	Ing. Robert Jára

**Jakub Váňa**

---

Praha 2018



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Váňa Jméno: Jakub Osobní číslo: 439148  
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Sportovní hala

Název bakalářské práce anglicky: Sports hall

Pokyny pro vypracování:

Návrh a posouzení variant nosné konstrukce s vybranými detaily, zpracování technické zprávy a výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Robert Jára

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[Redacted signature]

Podpis vedoucího práce

[Redacted signature]

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.2.2018

Datum převzetí zadání

[Redacted signature]

Podpis studenta(ky)



## Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím odborných konzultací a uvedených podkladů.

Dále prohlašuji, že při řešení bakalářské práce, byly veškeré použité programy legální.

V Praze dne .....

.....

Jakub Váňa



## Poděkování

Děkuji panu Ing. Robertovi Járovi za možnost vypracování bakalářské práce pod jeho vedením. Dále také chci poděkovat svojí rodině, jejich podpory si velice vážím.



## Anotace

Obsah práce se zabývá statickým návrhem a následným porovnáním a vyhodnocením výsledků tří variant střešního vazníku, navrhované na sportovní halu Skalka v České Třebové.

První část je věnovaná objektu jako celku, a dále stanovení a vypočtení zatížení které působí na konstrukci.

Druhá část je zaměřena na samotný návrh jednotlivých variant, což zahrnuje určení geometrie střešního vazníku, výpočet vnitřních sil a dále návrh a posouzení samotných prvků vazníku, se zaměřením na některé detaily.

Poslední část pak vyhodnocuje zvolené varianty a jejich výhody a nevýhody.

## Klíčová slova

Hala, vazník, zatížení, vnitřní síly, návrh, posouzení

## Annotation

The work deals with the static design and subsequent comparison and evaluation of the results of the of three variants of roof girder proposed at the Skalka sports hall in Česká Třebová

The first part focuses on the object as a whole, and further determination and calculation of the load acting on the structure.

The second part deal with design of the individual variants, witch includes design of the girder geometry, the calculation of internal forces, and the design and check of the girder components themselves with focusing on some details.

The last partevaluates the selected variants and their advantages and disadvantages.

## Key words

Hall, girder, load, internal forces, design, check



# Obsah

<b>0</b>	<b>Seznam použitých zkratek .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Základní informace.....</b>	<b>7</b>
2.1	Charakteristika objektu .....	8
2.1.1	Svislé konstrukce.....	8
2.1.2	Vodorovné konstrukce.....	9
<b>3</b>	<b>Zatížení .....</b>	<b>10</b>
3.1	Vlastní tíha konstrukce .....	10
3.1.1	Nosná konstrukce .....	10
3.1.2	Obalová konstrukce .....	10
3.1.3	Zatížení sněhem .....	12
3.1.4	Zatížení větrem .....	14
3.1.4.1	Zatížení větrem na stěny .....	16
3.1.4.2	Zatížení větrem na střechu .....	18
3.1.5	Zatížení od zemního tlaku.....	19
3.1.6	Zatížení balkónu.....	20
<b>4</b>	<b>Varianta A: ocelový příhradový vazník .....</b>	<b>21</b>
4.1	Popis .....	21
4.2	Návrh a posouzení geometrie vazníku .....	21
4.2.1	Výpočetní model.....	22
4.2.2	Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ).....	22
4.2.2.1	Namáhání tahem .....	22
4.2.2.2	Namáhání tlakem .....	23
4.2.2.3	Namáhání smykem .....	24
4.2.2.4	Namáhání kombinací ohybu a osově síly .....	24
4.2.3	Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP) .....	26
4.3	Návrh a posouzení vybraných detailů .....	26
4.3.1	Montážní spoj dolního pásu .....	26
4.3.2	Montážní spoj horního pásu .....	29
4.3.3	Montážní spoj diagonály.....	29
4.3.3.1	Šrouby a deska.....	29
4.3.3.2	Svary .....	30
4.3.4	Prostřední styčník na dolním pásu.....	32
4.3.5	Napojení vazníku na sloup .....	32
4.3.5.1	Šrouby.....	33
4.3.5.2	Svary .....	33
4.3.6	Přípoj vaznic na vazník .....	35
4.3.6.1	Šrouby.....	35
4.3.6.2	Svary .....	36



4.4	Ztužení konstrukce .....	36
4.4.1	Zatížení od vybočení .....	37
4.4.2	Podélné svislé ztužení .....	38
4.4.3	Příčné střešní ztužení .....	39
4.4.4	Podélné stěnové ztužení .....	40
4.4.5	Podélné střešní ztužení .....	40
4.5	Montáž.....	41
<b>5</b>	<b>Varianta B: Plnostěnný dřevěný vazník .....</b>	<b>42</b>
5.1	Popis .....	42
5.2	Dřevěné vaznice.....	42
5.2.1	Výpočetní model .....	43
5.2.2	Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ).....	43
5.2.2.1	Namáhání smykem .....	43
5.2.2.2	Namáhání kombinací ohybu a osově síly .....	43
5.2.3	Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP) .....	44
5.2.4	Posouzení detailu uložení .....	45
5.2.4.1	Tlak kolmo k vláknům .....	45
5.2.4.2	Vruty .....	46
5.3	Návrh a posouzení geometrie vazníku .....	49
5.3.1	Výpočetní model .....	49
5.3.2	Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ).....	50
5.3.2.1	Namáhání smykem .....	50
5.3.2.2	Posouzení v místě maximálního napětí.....	50
5.3.2.3	Posouzení tlaku na spodních vláknech .....	52
5.3.2.4	Posouzení ve středové oblasti .....	53
5.3.3	Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP) .....	54
5.4	Návrh a posouzení vybraných detailů .....	55
5.4.1	Montážní spoj vazníku .....	55
5.4.2	Napojení vazníku na sloup .....	58
5.4.2.1	Tlak kolmo k vláknům .....	58
5.4.2.2	Svorníky .....	58
5.5	Ztužení konstrukce .....	60
5.5.1	Zatížení od vybočení .....	60
5.5.2	Příčné střešní ztužidlo .....	61
5.5.3	Podélné stěnové ztužení .....	62
5.6	Montáž.....	62
<b>6</b>	<b>Varianta C: Dřevěný příhradový vazník .....</b>	<b>63</b>
6.1	Popis .....	63
6.2	Návrh a posouzení geometrie .....	63
6.2.1	Výpočetní model .....	64
6.2.2	Posouzení na mezní stav únosnosti [MSÚ].....	64
6.2.2.1	Namáhání tahem .....	64



6.2.2.2	Namáhání tlakem .....	65
6.2.2.3	Namáhání smykem .....	65
6.2.2.4	Namáhání kombinací ohybu a normálové síly .....	66
6.2.3	Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP) .....	67
6.3	Návrh a posouzení vybraných detailů .....	68
6.3.1	Montážní spoj dolního vazníku .....	68
6.3.2	Montážní spoj horního pásu .....	70
6.3.3	Montážní spoj diagonály .....	71
6.3.4	Prostřední styčník na dolním pásu .....	73
6.3.5	Napojení vazníku na sloup .....	74
6.3.6	Krajní styčník na DP s diagonálami .....	75
6.3.6.1	Přípoj tažené diagonály .....	76
6.3.6.2	Přípoj tlačené diagonály .....	76
6.3.6.3	Připojení desky k dolnímu pásu .....	77
6.3.6.4	Přípoj sloupku .....	77
6.3.6.5	Spojovací desky .....	78
6.4	Ztužení konstrukce .....	79
6.4.1	Zatížení od vybočení .....	79
6.4.2	Podélné svislé ztužení .....	79
6.4.3	Příčné střešní ztužení .....	80
6.4.4	Podélné stěnové ztužení .....	81
6.5	Montáž .....	82
<b>7</b>	<b>Sloupy a základy .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Vyhodnocení .....</b>	<b>85</b>
8.1	Vnitřní síly .....	85
8.2	Materiály .....	85
8.3	Celková geometrie .....	86
8.4	Závěrem (subjektivní zhodnocení) .....	86
<b>9</b>	<b>Zdroje .....</b>	<b>88</b>
9.1	Použitá literatura .....	88
9.2	Použité programy .....	89
<b>10</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>90</b>





## 0 Seznam použitých zkratek

DP	dolní pás
HP	horní pás
MSP	mezní stav použitelnosti
MSÚ	mezní stav únosnosti
a	účinná tloušťka koutového svaru [m] / vzdálenost vaznic (běžná) [m]
$a_{i,j}$	příslušné rozteče a vzdálenosti pro spojovací prostředky [m]
A	plocha průřezu [m <sup>2</sup> ]
$A_s$	účinná plocha šroubu [m <sup>2</sup> ]
$A_v$	plocha průřezu ve smyku [m <sup>2</sup> ]
b	šířka [m] / vzdálenost vaznic (krajní pole) [m]
$C_e$	součinitel expozice [-]
$C_t$	tepelný součinitel [-]
$C_{dir}$	součinitel směru větru [-]
$C_{my}$	součinitel ekvivalentního konstantního momentu [-]
$C_o$	součinitel ortografie [-]
$C_{pe}$	součinitel vnějšího tlaku [-]
$C_r$	součinitel drsnosti terénu [-]
$C_{season}$	součinitel ročního období [-]
d	průměr spojovacího prostředku [m]
$d_{eff}$	efektivní průměr (m)
$d_h$	průměr hlavičky spojovacího prostředku [m]
$d_o$	otvor pro spojovací prostředek [m]
E	modul pružnosti [MPa]
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
$E_{90,mean}$	střední modul pružnosti kolmo na vlákna [MPa]
$e_i$	vzdálenost šroubů od krajů [m] / délky oblastí namáhaných větrem [m]
$f_{ax,k}$	charakteristická pevnost na vytažení [MPa]
$f_{ax,\alpha,k}$	charakteristická pevnost na vytažení pod úhlem $\alpha$ [MPa]
$F_{ax,rk}$	charakteristická únosnost na vytažení [kN]
$F_{ax,rd}$	návrhová únosnost na vytažení [kN]
$f_{i,ed}$	zatížení vaznic [kN/m]



$F_{b,ed}$	návrhová síla v otláčení [kN]
$F_{b,rd}$	návrhová únosnost v otláčení [kN]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$F_{ed}$	návrhová síla [kN]
$F_g$	síla působící v globálním souřadnicovém systému [kN]
$f_{h,i,k}$	charakteristická pevnost v otláčení daného prvku [MPa]
$f_{h,\alpha,k}$	charakteristická pevnost v otláčení daného prvku pod úhlem $\alpha$ [MPa]
$F_l$	síla působící v lokálním souřadnicovém systému [kN]
$F_{m,ed}$	návrhová síla od účinků zatížení vypočtená z momentu [kN]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost v ohybu [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu [MPa]
$F_{rd}$	návrhová únosnost [kN]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,90,d}$	návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,90,k}$	charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům [MPa]
$F_{t,ed}$	návrhová síla v tahu [kN]
$F_{t,rd}$	návrhová únosnost v tahu [kN]
$f_y$	mez kluzu [MPa]
$f_u$	pevnost v tahu [MPa]
$f_{ub}$	mez pevnosti spojovacích prostředků [MPa]
$f_{u,k}$	charakteristická pevnost v tahu svorníků [MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku [MPa]
$F_{v,ed}$	návrhová síla ve šroubu namáhaném ve stříhu [kN]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku [MPa]
$F_{v,rk}$	charakteristická únosnost šroubu ve stříhu [kN]
$F_{v,rd}$	návrhová únosnost šroubu ve stříhu [kN]
$f_{vw,d}$	návrhová pevnost svaru ve smyku [MPa]
$F_{vw,rd}$	návrhová síla ve svaru [kN]
$F_{vw,ed}$	návrhová únosnost svaru [kN]
$f_{yb}$	mez kluzu spojovacích prostředků [MPa]
$g$	stálé zatížení [kN, kN/m]
$G$	modul pružnosti ve smyku [MPa]
$G_d$	návrhová hodnota modulu pružnosti ve smyku [MPa]



$h$	výška [m]
$H$	mocnost zeminy [m]
$h_{ap}$	výška ve vrcholu [m]
$H_{ed}$	návrhová horizontální síla [kN]
$h_s$	výška na kraji [m]
$h_{xm}$	výška v místě $x_m$ [m]
$i_i$	poloměr setrvačnosti k příslušné ose [m]
$I_i$	moment setrvačnosti k příslušné ose [m <sup>4</sup> ]
$I_{t/tor}$	torzní moment setrvačnosti [m <sup>4</sup> ]
$I_v$	intenzita turbulence [-]
$K_a$	součinitel aktivního zemního tlaku [-]
$k_{c,90}$	součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení a stupně deformace v tlaku [-]
$k_{c,z}$	součinitel vzpěrnosti [-]
$k_{cr/crit}$	součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu [-]
$k_{def}$	součinitel dotvarování [-]
$k_{f,3}$	modifikační součinitel [-]
$k_i$	součinitel pro příslušný vzorec [-]
$k_l$	součinitel turbulence [-]
$k_{l/1}$	součinitel pro výpočet napětí ve vrcholové oblasti [-]
$k_m$	součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu [-]
$k_{mod}$	modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti [-]
$k_{m,\alpha}$	součinitel snižující únosnost prvku za ohybu se sklonem vláken $\alpha$ [MPa]
$k_{p/5}$	součinitel pro výpočet napětí tahu kolmo k vláknům od ohybového momentu u sedlových vazníků [MPa]
$k_r$	součinitel terénu [-] / redukční součinitel [-]
$k_{vol}$	součinitel objemu [-]
$k_{yy}$	součinitel interakce [-]
$l$	délka [m]
$L$	délka [m]
$l_{ef}$	efektivní délka [m]
$M_{ap,d}$	návrhový moment ve vrcholové oblasti [kNm]
$n_{dim}$	dimenzovaný počet prvků [-]
$M_{ed}$	návrhový moment [kNm]
$M_{i,rd}$	návrhová únosnost na moment k dané ose [kN]
$M_{y,rk}$	charakteristický plastický moment spojovacího prostředku [kNm]
$M_{y,rd}$	návrhová únosnost momentu kolem osy $y$ [kNm]



$n$	počet [-]
$N_{c,rd}$	návrhová únosnost v tlaku [kN]
$N_{ed}$	návrhová osová síla [kN]
$n_{ef}$	efektivní počet prvků [-]
$n_{req}$	potřebná počet prvků [-]
$n_s$	počet stříhů [-]
$N_{t,rd}$	návrhová únosnost tahu [kN]
$p_1$	vzdálenost šroubů od sebe [m]
$q_p$	maximální dynamický tlak větru [kN/m <sup>2</sup> ]
$q_{i,d}$	zatížení od vybočení [kN/m]
$r$	rameno vnitřních sil [m]
$R$	reakce [kN]
$s$	zatížení sněhem na střeše [kN/m <sup>2</sup> ]
$s_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi [kN/m <sup>2</sup> ]
$t$	tloušťka [m]
$t_i$	tloušťka daného prvku [m]
$V$	posouvající síla [kN] / objem [m <sup>3</sup> ]
$V_0$	referenční objem [m <sup>3</sup> ]
$v_b$	základní rychlost větru [m/s]
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru [m/s]
$v_m$	střední rychlost větru [m/s]
$V_{ed}$	návrhová smyková síla [kN]
$V_{pl,rd}$	návrhová únosnost ve smyku [kN]
$w$	tlak větru [kN/m <sup>2</sup> ]
$W_{pl}$	plastický modul průřezu [m <sup>3</sup> ]
$w_{i,fin}$	finální průhyb od daného zatížení [m]
$w_{i,inst}$	okamžitý průhyb od daného zatížení [m]
$W_i$	průřezový modul k příslušné ose [m <sup>3</sup> ]
$x_m$	vzdálenost průřezu od kraje [m]
$z$	výška nad zemí [m]
$z_0$	parametr drsnosti [m]
$z_{min}$	minimální výška [m]
$\alpha$	součinitel imperfekce [-]
$\alpha_d$	součinitel pro příslušný vzorec [-]
$\alpha_v$	součinitel pro příslušný vzorec [-]
$\beta$	Poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků [-]
$\beta_w$	korelační součinitel [-]



$\gamma$	objemová tíha [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_b$	objemová tíha betonu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_m$	dílčí součinitel únosnosti [-]
$\gamma_s$	objemová tíha sněhu [kN/m <sup>3</sup> ]
$\delta_{lim}$	limitní hodnota průhybu [mm]
$\delta_z$	průhyb ve směru osy z [mm]
$\lambda$	štíhlost prvku [-]
$\lambda_i$	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem dané osy [-]
$\lambda_{rel,i}$	poměrný štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem dané osy [-]
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost [-]
$\mu$	tvarový součinitel zatížení sněhem [-]
$\rho_k$	charakteristická hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_v$	měrná hmotnost vzduchu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\bar{\sigma}_a$	napětí od aktivního zemního tlaku [kN/m, kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{c,0,ed}$	návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$\sigma_{m,crit}$	kritické ohybové napětí [MPa]
$\sigma_{m,ed}$	návrhové napětí v ohybu [MPa]
$\sigma_{m,\alpha,ed}$	návrhové napětí v ohybu pod úhlem $\alpha$ k vláknům [MPa]
$\sigma_{t,0,ed}$	návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$\tau_{v,d}$	návrhové napětí ve smyku [MPa]
$\Phi$	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti [-]
$\psi_2$	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení [-]
$\chi$	součinitel vzpěrnosti [-]
$\varphi_d'$	úhel vnitřního tření [°]

### Hodnoty bezpečnostních součinitelů

Typ konstrukce	Označení	Hodnota
Ocelové konstrukce	$\gamma_{m0}$	1
	$\gamma_{m1}$	1
	$\gamma_{m2}$	1,25
Rostlé dřevo	$\gamma_m$	1,3
Lepené lamelové dřevo	$\gamma_m$	1,25
Dřevěné spoje	$\gamma_m$	1,3



# 1 Úvod

Na začátku roku 2017, proletěla zpravodajskými médii zpráva o kolapsu střechy právě nově otevřené sportovní haly v České Třebové v ulici Skalka. Kolaps byl z výsledků vyšetřování zaviněn špatně navrženými vazníky od subdodavatelské firmy.

Následně se během jednoho roku podařilo odstranit škody, vypracovat novou projektovou dokumentaci a zrealizovat novou konstrukci střechy tak, že na začátku roku 2018 mohla být sportovní hala opět slavnostně otevřena. Momentálně slouží jak pro výuku VOŠ a SŠ technické v České Třebové, tak i široké veřejnosti pro sportovní aktivity.

Medializací této katastrofy, pak vznikl nápad na téma této bakalářské práce.

## **Cíle práce**

Hlavním cílem práce je řešení tří různých variant nosných prvků (vazníků) střechy nad sportovní plochou, jež vychází ze stejných okrajových podmínek.

To zahrnuje návrh a posouzení geometrie vazníků, vybraných detailů a způsob ztužení střešní konstrukce.

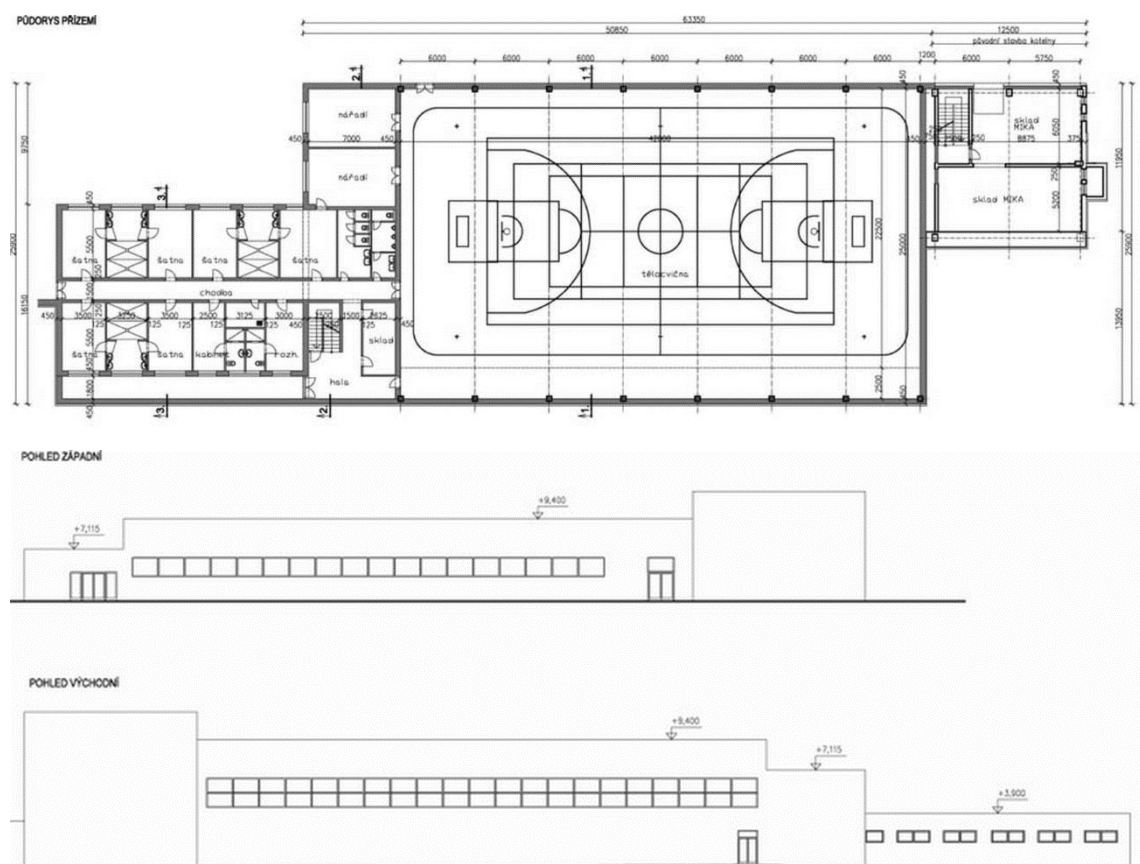
Nedílnou součástí je závěrečné vyhodnocení variant a jejich vzájemné porovnání.

Práce je koncipovaná, jako postupný návrh a výpočet jednotlivých variant, kde jsou následně porovnány a vyhodnoceny jejich výhody a nevýhody, přičemž nahrazuje, možno říci i převyšuje, svým obsahem i technickou zprávu.

## 2 Základní informace

Samotný objekt, jak je zmíněno v úvodu, se nachází v České Třebové v ulici Skalka. Toto umístění je důležité zohlednit především u výpočtů zatížení vzniklého od sněhu nebo větru. V případě, kdyby došlo ke špatně zvolenému umístění, či určení některých parametrů vyplývajících z pozice stavby vůči okolí, může dojít jak ke zbytečnému předdimenzování konstrukce, nebo v horším případě k poddimenzování konstrukce.

Co se týká základních rozměrů a geometrie stavby, tak ty byly převzaty ze studie, která se zabývala stavbou nové sportovní haly (jedná se o variantu před kolapsem).



Obrázek 2.1 - Půdorys 1.NP a pohledy ze studie [13]

Při návrhu jednotlivých variant, byla snaha dodržet některé parametry studie. Mezi ně patří například minimální světlá výška hrací plochy 7,000 m, celková výška hřebene zastřešení hrací plochy pohybující se okolo hodnoty 9,400 m a osová vzdálenostech nosného systému.

Zároveň se vychází u všech tří variant ze stejného statického modelu, který se skládá ze dvou vetknutých sloupů a na ně kloubově připojeného vazníku, dále pak ze stejného sklonu střechy a stejných materiálů použitých pro obalové konstrukce.



Veškeré výkresy se nachází v příloze [Příloha A], která obsahuje jak orientační půdorysy podlaží se základními kótami, tak jednotlivé výkresy ke všem třem variantám zahrnující řez, půdorys řešené části konstrukce střechy, a vybrané detaily.

## 2.1 Charakteristika objektu

Stavba je umístěná ve svažujícím se terénu, což má za následek značný výškový rozdíl terénů na opačných stranách haly, který je 3,400 m

Celý objekt se dá rozdělit na tři samostatné části. První část, nacházející se na jihu stavby, slouží jako zázemí pro sportovce a převážně je jednopodlažní s výškou 3,4900 m, popřípadě 7,115 m. Hlavní část se nachází uprostřed, a jedná se o samotnou hrací plochu o výšce okolo 9,400 m (závisí na zvolené variantě). Na severní části objektu se pak nachází sklady, technické vybavení a kanceláře. Zároveň je tato část trojpodlažní a ze všech tedy nejvyšší dosahující výšky 11,400 m.

Celkem se zde nachází dvakrát prefabrikované schodiště, jedno v zázemí a jedno v severní části. Vstupy pak jsou řešeny z různých stran v různých výškových úrovních v závislosti na terénu.

Základy jsou navrženy jako patky pod sloupy spojené základovými pasem, s podrobnějším popisem a návrhem v kapitole 7.

Cihelné části mají dostatečnou vlastní tuhost, a ztužení samotné haly je vždy součástí dané varianty.

### 2.1.1 Svislé konstrukce

Kvůli zemnímu tlaku, působícího z jedné strany na budovu, je celá suterénní stěna řešená jako železobetonová tloušťky 250 mm, jež je pnutá mezi železobetonové sloupy. Celá stěna je chráněna z vnější strany hydroizolací a tepelnou izolací.

Jižní a severní část objektu má zbytek svislých konstrukcí zděných. Obvodové stěny jsou z cihel Porotherm 38 Profi spolu s tepelnou izolací tloušťky 120 mm. Ze stejných cihel jsou pak tvořeny i některé vnitřní nosné stěny. Zbytek vnitřních svislých konstrukcí tvoří cihly Porotherm 24 Profi a Porotherm 14 Profi.

Sportovní plocha má nosnou svislou konstrukci řešenou pomocí železobetonových sloupů s rozměry 400/300 u strany se suterénní stěnou s rozměry 300/300 na protější straně. Nosnou funkci doplňuje na kratších stranách cihelné zdivo Porotherm 38 Profi. Samotnou obalovou svislou konstrukci pak tvoří Stěnový izolační panel Kingspan KS1150 TL tloušťky 120 mm.





### 2.1.2 Vodorovné konstrukce

Konstrukce podlahy v zázemí sportovců se skládá z železobetonové desky, hydroizolace, tepelné izolace, betonového potěru a jako nášlapná vrstva je po většině plochy volená keramická dlažba. V místě dvou podlaží je nosná konstrukce tvořená železobetonovou deskou. Tato část pak má střechu řešenou jako plochou, kde nosnou funkci opět přebírá železobetonová deska.

Podlaha pod sportovní plochou má obdobnou konstrukci jako je v zázemí, akorát místo keramické dlažby, se zde nachází sportovní PUR podlaha na dřevěném roštu. Zde se také nachází vykonzolovaný železobetonový balkón, sloužící jako tribuna pro diváky. Střecha je pak plochá, řešená pomocí střešních sendvičových panelů Kingspan KS1000 RW tloušťky 160 mm uložených pak podle dané varianty buď na ocelových Z vaznicích, nebo dřevěných vaznicích. Vaznice pak jsou podpírány vazníky, které jsou opět závislé na variantě. Mohou to být ocelové příhradové vazníky, dřevěné plnostěnné vazníky nebo dřevěné příhradové vazníky.

U skladů je podlaha taktéž stejná až na nášlapnou vrstvu, která je zde tvořena jen ochranným nátěrem betonového potěru. U dalších pater přebírá nosnou funkci železobetonová deska a střecha je plochá, opět s nosnou železobetonovou deskou.



## 3 Zatížení

Pro návrh střešních vazníků, je nedílnou součástí stanovení všech zatížení, která působí na konstrukci. To obsahuje jak zatížení způsobená samotnou konstrukcí, či jejím užíváním, tak i výskytem a charakterem vnějších zatížení jako je například zatížení způsobené větrem či sněhem.

Proto se následující kapitola věnuje charakterizování a stanovení jednotlivých zatížení, která ovlivňují konstrukci.

### 3.1 Vlastní tíha konstrukce

#### 3.1.1 Nosná konstrukce

Sem patří zatížení, které je způsobeno tíhou nosných prvků, do kterých jsou řazeny samotné navrhované vazníky spolu se sloupy, jež tyto vazníky podpírají.

Toto zatížení je vypočteno a zahrnuto do výpočtu samotným výpočetním softwarem.

#### 3.1.2 Obalová konstrukce

Do této kategorie je zařazeno zatížení působící od konstrukcí, jež chrání budovu před venkovními vlivy. Jmenovitě pak stěnové izolační panely Kingspan KS1150 TL tloušťky 120 mm, střešní izolační panely Kingspan KS1000 RW tloušťky 160 mm a vaznice firmy Kovové profily Z 270/3, popřípadě dřevěné vaznice KVH C30 260/120 mm.

#### **Stěnový izolační panel KS1150 TL tloušťky 120 mm**

Vlastní tíha:	13,29 kg/m <sup>2</sup>	0,133 kN/m <sup>2</sup>
Osová vzdálenost sloupů:	6 m	
Zatížení na sloup:	<b>0,797</b> kN/m	

Zatížení je spočteno jako liniové působící na sloup ve směru kolmo k zemi.



### Střešní izolační panel KS1000 RW tloušťky 160 mm

Střešní izolační panel KS1000 RW - 160 mm

Vlastní tíha:	13,630 kg/m <sup>2</sup>	0,136 kN/m <sup>2</sup>
Vzdálenost vazníků:	6 m	
	ocelové vaznice	dřevěné vaznice
Vzdálenost vaznic (běžná) a :	2,4 m	1,24 m
Vzdálenost vaznic (krajní pole) b:	1,2 m	0,62 m
Bodové zatížení krajního vazníku $g_{pan,1a}$ :	<b>0,981</b> kN	<b>0,507</b> kN
Bodové zatížení krajního vazníku $g_{pan,1b}$ :	<b>0,491</b> kN	<b>0,254</b> kN
Bodové zatížení běžného vazníku $g_{pan,2}$ :	<b>1,963</b> kN	<b>1,014</b> kN

Maximální vzdálenost vaznic se určila dle tabulek únosnosti viz. příloha [Příloha B].

Zatížení je převedeno na bodové síly působící v místě uložení vaznic. Kvůli rozdílné vzdálenosti vaznic vznikají rozdílné působící síly.

Na běžný vazník působí bodová síla  $g_{pan,2}$ . pro krajní vazník působí ze strany s roztečí vaznic 2,4 m (popř. 1,24 m) síly  $g_{pan,1a}$ , a pro stranu s roztečí 1,2m (popř. 0,62 m) bodové síly  $g_{pan,1b}$ .

### Vaznice

Jelikož v dalších kapitolách jsou řešeny různé typy vazníků z rozdílných materiálů tak i vaznice mají materiál přizpůsobený danému typu vazníku.

Pro návrh ocelových vaznic byly také využity statické tabulky výrobce, které se nachází v příloze [Příloha B].

Zatížení ocelových vaznic:

Běžná vaznice $f_{1,ed}$ :	6,20 kN/m
Krajní vaznice $f_{2,ed}$ :	5,26 kN/m
Síla ve vaznici $N_{ed}$ :	11,89 kN

Normálová síla vzniká jako důsledek využití vaznic pro ztužení střešní konstrukce, jejíž výpočet se nachází v kapitole 4.4.

Vaznice Z 270/3,0

Vlastní tíha:	10,62 kg/m	0,11 kN/m
Vzdálenost vazníků:	6 m	



Bodové zatížení krajního vazníku $g_{vaz,1a}$ :	<b>0,319</b> kN
Bodové zatížení krajního vazníku $g_{vaz,1b}$ :	<b>0,319</b> kN
Bodové zatížení běžného vazníku $g_{vaz,2}$ :	<b>0,637</b> kN

Dřevěné vaznice je třeba navrhnout a posoudit pro mezní stavy únosnosti a použitelnosti.

Samotné posouzení návrhu dřevěných vaznic se nachází v kapitole 5.2.

Zde je pouze jejich návrh pro vypočtení velikosti a vzdálenosti sil, jimiž je zatěžován vazník.

Dřevěné vaznice: C30 260/120 mm

Vlastní tíha:	14,35 kg/m	0,14 kN/m
Vzdálenost vazníků:	6 m	
Bodové zatížení krajního vazníku $g_{vaz,1a}$ :	<b>0,431</b> kN	
Bodové zatížení krajního vazníku $g_{vaz,1b}$ :	<b>0,431</b> kN	
Bodové zatížení běžného vazníku $g_{vaz,2}$ :	<b>0,861</b> kN	

Zatížení je opět přepočteno na bodové síly, jako tomu bylo u střešních panelů.

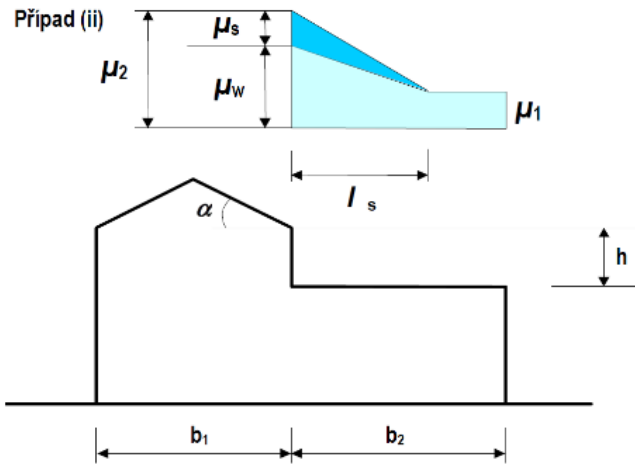
### 3.1.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je vypočteno podle ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem [4].

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

Sněhová oblast:	IV
Charakteristická hodnota $s_k$ :	2 kN/m <sup>2</sup>
Součinitel expozice $C_e$ :	1
Tepelný součinitel $C_t$ :	1

Jelikož přilehlá část budovy je vyšší než posuzovaná stěna, je třeba vzít do úvahy také navátí sněhu. V závislosti na tom se pak mění hodnoty  $\mu$ .



Obrázek 3.1 - Tvarové součinitele zatížení pro střechy přiléhající k vyšším stavbám [4]

Tvarový součinitel expozice  $\mu_1$ : 0,8  
Tvarový součinitel expozice  $\mu_2$ : 2

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \leq 2,0$$

$$\mu_w = \frac{b_1 - b_2}{2h} \leq \gamma_s * h/s_k$$

Pro  $\alpha \leq 15^\circ$  je  $\mu_s = 0$

b1: 12,745 m  
b2: 42,900 m  
h: 2,000 m  
 $\gamma_s$ : 2,000 kN/m<sup>3</sup>

$$5 \text{ m} \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

Délka návěje  $l_s$ : 6 m

Charakteristická hodnota zatížení sněhem  $s_1$ : 1,6 kN/m<sup>2</sup>

Charakteristická hodnota zatížení sněhem  $s_2$ : 4 kN/m<sup>2</sup>

Vzdálenost vazníků: 6 m

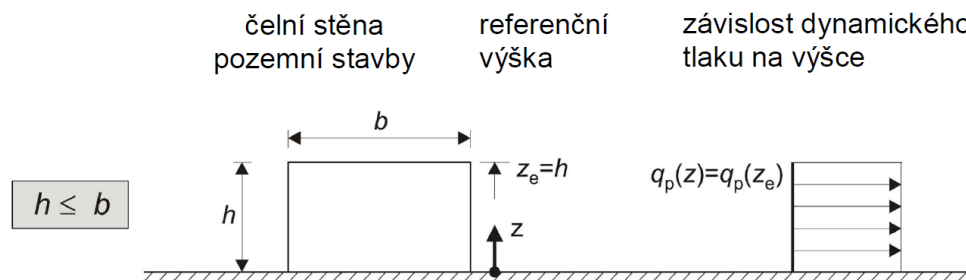
	ocelové vaznice	dřevěné vaznice
Vzdálenost vaznic (běžná) a :	2,4 m	1,24 m
Vzdálenost vaznic (krajní pole) b:	1,2 m	0,62 m
Bodové zatížení krajního vazníku $q_{snih,1a}$ :	11,520 kN	5,952 kN
Bodové zatížení krajního vazníku $q_{snih,1b}$ :	8,640 kN	4,464 kN
Bodové zatížení běžného vazníku $q_{snih,2}$ :	23,040 kN	11,904 kN

Opakuje se přepoččet na bodové síly působící v místě dotyku vaznice a vazníku, jak tomu bylo u předchozích zatížení.

### 3.1.4 Zatížení větrem

Touto problematikou se zabývá norma ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem [5].

Před samotným výpočtem zatížení, jež způsobuje vítr na konstrukci, je třeba jako první stanovit maximální dynamický tlak větru  $q_p$  a následně jej použít pro další výpočty. Přičemž v tomto případě, je třeba určit danou hodnotu pro tři různé výšky vzhledem ke geometrii stavby.



Obrázek 3.2 - Referenční výška  $z_e$ , závislost  $h$  a  $b$ , a odpovídající profil dynamického tlaku [5]

Šířka objektu $b$ :	42,9 m
Šířka objektu $b$ :	25,6 m
Výška objektu $z_1$ :	5,5 m
Výška objektu $z_2$ :	9,4 m
Výška objektu $z_3$ :	11,4 m
Větrná oblast:	II
Vych. hodnota zak. rych. větru $v_{b,0}$ :	25 m/s
Katategorie terénu:	III
Parametr drsnosti terénu $z_o$ :	0,3 m
Minimální výška $z_{min}$ :	5 m
Součinitel směru větru $C_{dir}$ :	1
Součinitel ročního období $C_{season}$ :	1
Součinitel orografie $C_o$ :	1
Součinitel turbulence $k_i$ :	1
Kategorie terénu II $z_{0,II}$ :	0,05



Měrná hmotnost vzduchu  $\rho_v$ : 1,25 kg/m<sup>3</sup>

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

Základní rychlost větru  $v_b$ : 25 m/s

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

Součinitel terénu  $k_r$ : 0,215

$$C_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_{0,II}}\right)$$

Součinitel drsnosti terénu  $C_r(z)$ :

$C_r(z_1)$  0,627

$C_r(z_2)$  0,742

$C_r(z_3)$  0,783

$$v_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * v_b$$

Střední rychlost větru  $v_m(z)$ :

$v_m(z_1)$  15,66 m/s

$v_m(z_2)$  18,55 m/s

$v_m(z_3)$  19,59 m/s

$$I_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Intenzita turbulence  $I_v(z)$ :

$I_v(z_1)$  0,344

$I_v(z_2)$  0,290

$I_v(z_3)$  0,275

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

Maximální dynamický tlak  $q_p(z)$ :

$q_p(z_1)$	522,3 N/m <sup>2</sup>	<b>0,522</b> kN/m <sup>2</sup>
$q_p(z_2)$	652,0 N/m <sup>2</sup>	<b>0,652</b> kN/m <sup>2</sup>
$q_p(z_2)$	701,2 N/m <sup>2</sup>	<b>0,701</b> kN/m <sup>2</sup>

Po spočítání maximálního dynamického tlaku jej můžeme použít pro vypočtení zatížení, které způsobuje vítr v jednotlivých oblastech dle jeho směru. Základní rozdělení je na vítr působící příčně (kolmo na delší stranu) a podélně (kolmo na kratší stranu). Zároveň je třeba zahrnout i výšky konstrukce v daných směrech.

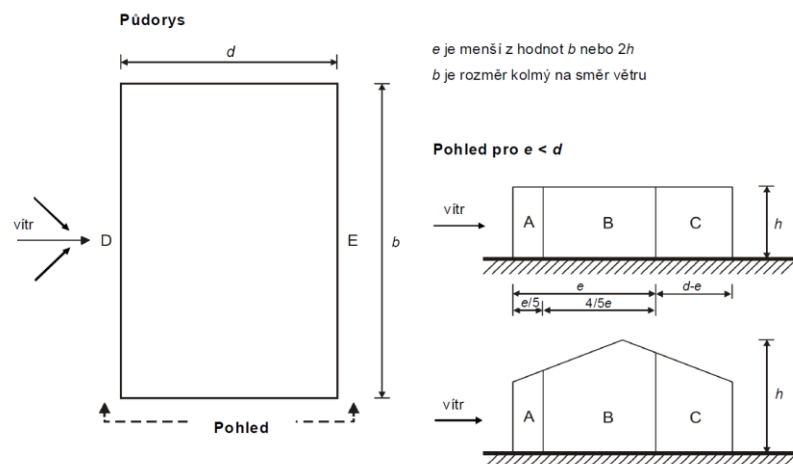
Pro rozdělení povrchu konstrukcí na jednotlivé oblasti je třeba zvolit vzdálenost od okraje, jež se v našem případě rovná vždy dvojnásobné výšce konstrukce.

$e_1$ :	11 m	$e_2$ :	18,8 m	$e_3$ :	22,8 m
$e_1/4$ :	2,75 m	$e_2/4$ :	4,7 m	$e_3/4$ :	5,7 m
$e_1/5$ :	2,2 m	$e_2/5$ :	3,76 m	$e_3/5$ :	4,56 m
$e_1/10$ :	1,1 m	$e_2/10$ :	1,88 m	$e_3/10$ :	2,28 m

Tlak větru v jednotlivých oblastech se dále spočítá jako:

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

### 3.1.4.1 Zatížení větrem na stěny



Obrázek 3.3 - Legenda pro svislé stěny [5]





### Příčný vítr

Součinitel vnějšího tlaku  $C_{pe}$ :

$C_{pe,1}(A)$	-1,28	$C_{pe,2}(A)$	-1,23
$C_{pe,10,1}(B)$	-0,80	$C_{pe,10,2}(B)$	-0,80
$C_{pe,10,1}(C)$	-0,50	$C_{pe,10,2}(C)$	-0,50
$C_{pe,10,1}(D)$	0,70	$C_{pe,10,2}(D)$	0,72
$C_{pe,10,1}(E)$	-0,30	$C_{pe,10,2}(E)$	-0,30

Tlak větru  $w$ :

$w_{e1}(A)$ :	<b>-0,669</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(A)$ :	<b>-0,802</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(B)$ :	<b>-0,418</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(B)$ :	<b>-0,522</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(C)$ :	<b>-0,261</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(C)$ :	<b>-0,326</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(D)$ :	<b>0,366</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(D)$ :	<b>0,469</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(E)$ :	<b>-0,157</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(E)$ :	<b>-0,196</b> kN/m <sup>2</sup>

### Podélný vítr

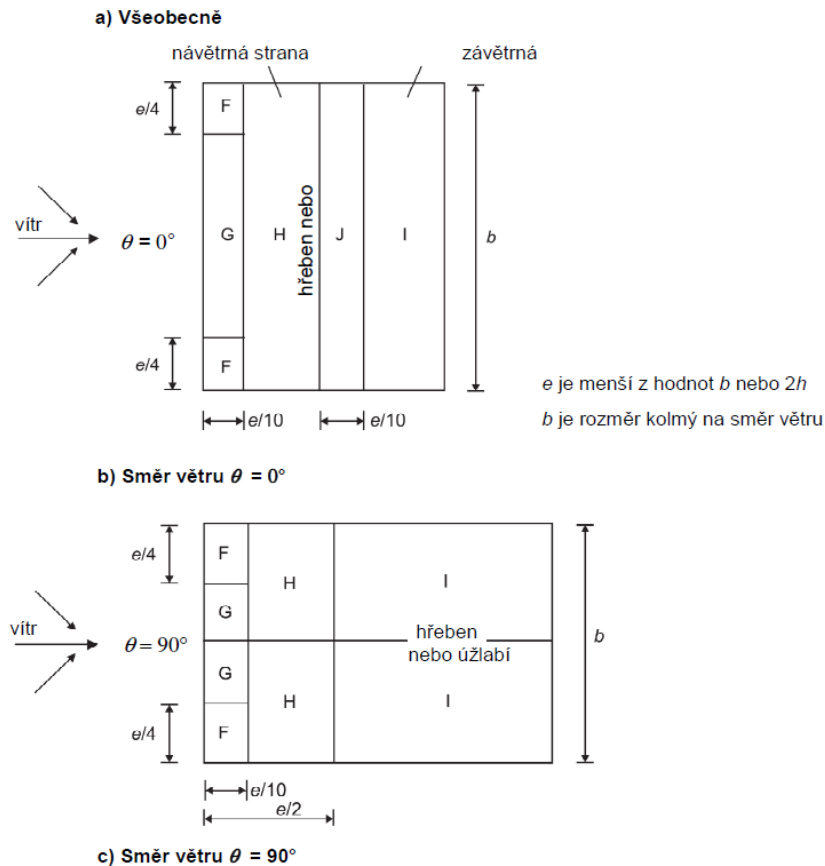
Součinitel vnějšího tlaku  $C_{pe}$ :

$C_{pe,10}(A)$	-1,20	$C_{pe,10}(C)$	-0,50	$C_{pe,10}(E)$	-0,30
$C_{pe,10}(B)$	-0,80	$C_{pe,10}(D)$	0,70		

Tlak větru  $w$ :

$w_{e1}(A)$ :	<b>-0,627</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(A)$ :	<b>-0,782</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(A)$ :	<b>-0,841</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(B)$ :	<b>-0,418</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(B)$ :	<b>-0,522</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(B)$ :	<b>-0,561</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(C)$ :	<b>-0,261</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(C)$ :	<b>-0,326</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(C)$ :	<b>-0,351</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(D)$ :	<b>0,366</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(D)$ :	<b>0,456</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(D)$ :	<b>0,491</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(E)$ :	<b>-0,157</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(E)$ :	<b>-0,196</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(E)$ :	<b>-0,210</b> kN/m <sup>2</sup>

### 3.1.4.2 Zatížení větrem na střechu



Obrázek 3.4 - Legenda pro sedlové střechy

### Příčný vítr

Součinitel vnějšího tlaku  $C_{pe}$ :

	vztlak	tlak		vztlak	tlak
$C_{pe,1}(F)$	-2,11	0	$C_{pe,2}(F)$	-1,74	0
$C_{pe,10,1}(G)$	-1,20	0	$C_{pe,10,2}(G)$	-1,20	0
$C_{pe,10,1}(H)$	-0,60	0	$C_{pe,10,2}(H)$	-0,60	0
$C_{pe,10,1}(I)$	-0,60	0	$C_{pe,10,2}(I)$	-0,60	0
$C_{pe,10,1}(J)$	-0,60	0,2	$C_{pe,10,2}(J)$	-0,60	0,2

Tlak větru  $w$ :

$w_{e1}(F)$ :	<b>-1,102</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(F)$ :	<b>-1,376</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(G)$ :	<b>-0,627</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(G)$ :	<b>-0,782</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(H)$ :	<b>-0,313</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(H)$ :	<b>-0,391</b> kN/m <sup>2</sup>



$w_{e1}(I):$	<b>-0,313</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(I):$	<b>-0,391</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(J-):$	<b>-0,313</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(J-):$	<b>-0,391</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e1}(J+):$	<b>0,104</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e2}(J+):$	<b>0,130</b> kN/m <sup>2</sup>

### Podélný vítr

Součinitel vnějšího tlaku  $C_{pe}$ :

$C_{pe,2}(F)$	-1,63	$C_{pe,10,3}(F)$	-1,28
$C_{pe,10,2}(G)$	-1,30	$C_{pe,10,3}(G)$	-1,04
$C_{pe,10,2}(H)$	-0,70	$C_{pe,10,3}(H)$	-0,56
$C_{pe,10,2}(I)$	-0,60	$C_{pe,10,3}(I)$	-0,48

Tlak větru  $w$ :

$w_{e2}(F):$	<b>-1,063</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(F):$	<b>-0,835</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e2}(G):$	<b>-0,848</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(G):$	<b>-0,678</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e2}(H):$	<b>-0,456</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(H):$	<b>-0,365</b> kN/m <sup>2</sup>
$w_{e2}(I):$	<b>-0,391</b> kN/m <sup>2</sup>	$w_{e3}(I):$	<b>-0,313</b> kN/m <sup>2</sup>

Součinitele vnějšího tlaku  $C_{pe,i,3}$  jsou vynásobeny hodnotou 0,8 z důvodu zastínění střechy vyšší konstrukcí.

### 3.1.5 Zatížení od zemního tlaku

Jelikož jedna strana je do výšky 3,4 m zasypaná zeminou, je třeba zahrnout i aktivní zemní tlak, který je tím způsoben. Ten musí přenášet sloupy, mezi kterými je pnutá suterénní železobetonová stěna.

Zásyp je odvodněn drenáží, a tudíž hladina podzemní vody je až pod základy. Tvoří ho z vrchu zhutněný písčité zasypané a pod ním se pak nachází štěrkový zasypané.

zhutněný písčité zasypané

mocnost $H$ :	0,5 m
objemová hmotnost $\gamma$ :	18 kN/m <sup>3</sup>
úhel vnitřního tření $\varphi_d'$ :	28 °



šterkový zásyp

mocnost H:	3 m
objemová hmotnost $\gamma$ :	20 kN/m <sup>3</sup>
úhel vnitřního tření $\varphi_d'$ :	33 °
rostlá zemina	
od hloubky:	3,5 m
Vzdálenost sloupů:	6 m

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi_d'}{2}\right)$$

Součinitel aktivního zemního tlaku  $K_a$ :

Ka1:	0,528
Ka2:	0,295

$$\sigma_a = H * \gamma * K_a$$

Zemní tlak  $\sigma_a$ :

$\sigma_{a1}$ :	4,751 kN/m <sup>2</sup>	<b>28,505</b> kN/m
$\sigma_{a2}$ :	17,688 kN/m <sup>2</sup>	<b>106,128</b> kN/m

### 3.1.6 Zatížení balkónu

Balkon je zatížen především vlastní vahou a užitným zatížením.

Užitné zatížení $q_{bal,k}$ :	5 kN/m <sup>2</sup>
Zatěžovací délka l:	6 m
Výška podesty h:	0,4 m
Tíha betonu $\gamma_b$ :	25 kN/m <sup>3</sup>
Liniové zatížení $q_{bal,k}$ :	30 kN/m
Liniové zatížení $g_{b,k}$ :	60 kN/m



## 4 Varianta A: ocelový příhradový vazník

### 4.1 Popis

První variantou je řešení střešního vazníku jako příhradové konstrukce. Při překlenutí větších rozpětí, vstupuje do návrhu významně i vlastní tíha vazníku. Tento problém z části eliminují právě příhradové konstrukce, kde za cenu větší výšky vazníku získáme jeho nižší hmotnost.

U příhradových vazníků dochází k výrazné eliminaci momentů, který je jinak závislý druhou mocninou na délce vazníku, za cenu navýšení normálových sil. To má za následek možnost navržení subtilnějších a méně masivních prvků, a tím vniká konstrukce, která se zdá lehká, ale zároveň velice únosná.

V této variantě jsou využívány výše zmíněné specifické vlastnosti příhradové konstrukce spolu v kombinaci s vlastnostmi ocelových prvků, jež se vyznačují v porovnání s ostatními běžně používanými materiály svou velkou únosností v tahu a tlaku.

Zároveň při téhle variantě jsou použity již navržené ocelové vaznice.

### 4.2 Návrh a posouzení geometrie vazníku

Při návrhu je vhodné začít navržením geometrie celé konstrukce příhradového vazníku. V návrhu je snaha se přiblížit, výše zmíněným požadavkům, jako je minimální výška hrací plochy 7,000 m a výška hřebene okolo 9,400 m.

Zároveň je vhodné, pokud to okolnosti dovolí, aby zatížení u příhradových konstrukcí působilo ve styčnicích vazníku a tím došlo k eliminaci momentů. Bohužel v tomhle případě při návrhu krajního vazníku se tomuhle nedá zcela vyhnout, ale aspoň z části se dá omezit.

Kvůli značnému rozpětí haly, je navržen vazník, který se skládá ze tří částí pro jednodušší možnost dopravy

Jelikož se jedná o interakční proces, kde je třeba udělat návrh posléze posoudit a tenhle proces opakovat, dokud výsledky nebudou odpovídat představě, je zde uveden až konečný návrh s posouzením.



#### 4.2.1 Výpočetní model

Model pro výpočet vnitřních sil byl vytvořen v programu *SCIA Engineer* [4]. Kompletní schéma zatížení, výsledky a průřezové charakteristiky prvků jsou v příloze [Příloha C].

#### 4.2.2 Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ)

Navržené prvky je třeba posoudit na účinky působících vnitřních sil. U příhradových konstrukcí, jak je zmíněno v úvodu, vznikají převážně jen tahová a tlaková napětí. Jelikož však vlivem umístění vaznic i mimo styčníky vznikají momenty, je nutné posoudit některé prvky i na kombinaci namáhání tlakového a ohybového, v případě nutnosti i smykového napětí.

Pro posouzení se využilo normy *ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby* [6], která udává jak způsoby výpočtu, tak i podmínky které je nutné výpočtem splnit.

Bylo postupováno nejdříve výpočtem únosnosti prvků pro dané namáhání a následně jejich posouzením na působící namáhání, přičemž se při jednotlivých posudcích uvažovala vždy nejnepříznivější kombinace všech působících sil.

Všechny prvky vazníku jsou navrženy z oceli S355:

Mez kluzu $f_y$ :	355 MPa
Pevnost v tahu $f_u$ :	510 MPa

##### 4.2.2.1 Namáhání tahem

Pro výpočet únosnosti průřezu v tahu byl použit vzorec

$$N_{t,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

označení	A [mm <sup>2</sup> ]	N <sub>t,rd</sub> [kN]
horní pás	3330	1182,15
dolní pás	2820	1001,10
diagonály 1, 2	1800	639,00
diagonály 3, 4, 5	575	204,13
sloupky	483	171,47

Tabulka 4.1 – Únosnost průřezů v tahu



Následně můžou být dané profily posouzeny na vnitřní síly které v nich působí.

označení	$N_{t,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
horní pás	1182,15	71,20	0,06	vyhovuje
dolní pás	1001,10	784,56	0,78	vyhovuje
diagonály 1, 2	639,00	454,38	0,71	vyhovuje
diagonály 3, 4, 5	204,13	127,04	0,62	vyhovuje
sloupky	171,47	56,37	0,33	vyhovuje

Tabulka 4.2 – Posouzení průřezů v tahu

#### 4.2.2.2 Namáhání tlakem

U prvků namáhaných tahovou normálovou silou nestačí posoudit prvky na obyčejný tlak, ale je třeba vzít do úvahy i možnost vybočení daného prvku. Tím pádem, se musí prvky posoudit na vzpěrný tlak, kde se únosnost prvku zmenšuje v závislosti na vzpěrnosti prvků. Únosnost se vypočte jako:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde  $\chi$  je součinitel vzpěrnosti který snižuje únosnost prvku v tlaku.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 * \sqrt{235/355}}$$

označení	A [mm <sup>2</sup> ]	$L_{cr}$ [m]	i [mm]	$\lambda$	$\bar{\lambda}$	$\alpha$	$\Phi$	$\chi$	$N_{c,rd}$ [kN]
horní pás	3330	2,41	54,00	44,54	0,583	0,49	0,764	0,795	940,33
dolní pás	2820	10,60	46,00	230,43	3,016	0,49	5,739	0,094	94,26
diagonály 1, 2	1800	2,79	34,00	82,09	1,074	0,49	1,291	0,498	318,22
diagonály 3, 4, 5	575	3,39	26,00	130,50	1,708	0,49	2,328	0,256	52,20
sloupky 1	483	1,59	14,00	113,79	1,489	0,49	1,925	0,318	54,53

Tabulka 4.3 – Únosnost průřezů ve vzpěrném tlaku

označení	$N_{c,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
horní pás	940,33	771,86	0,82	vyhovuje
dolní pás	94,26	77,11	0,82	vyhovuje
diagonály 1, 2	318,22	274,04	<b>0,86</b>	vyhovuje
diagonály 3, 4, 5	52,20	50,59	<b>0,97</b>	vyhovuje
sloupky	54,53	44,85	<b>0,82</b>	vyhovuje

Tabulka 4.4 – Posouzení průřezů ve vzpěrném tlaku



#### 4.2.2.3 Namáhání smykem

Jelikož krajní vazník je zatížen i mimo styčníky, dochází ke vzniku smykových sil. Je tedy nutné profily takto namáhané posoudit i na smyk.

Únosnost se spočítá:

$$V_{pl,rd} = \frac{A_v * f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

označení	$A_v$ [mm <sup>2</sup> ]	$V_{pl,rd}$ [kN]
horní pás	1650	338,16
dolní pás	1397	286,33

Tabulka 4.5 – Únosnost průřezů ve smyku

označení	$V_{pl,rd}$ [kN]	$V_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
horní pás	338,16	24,29	0,07	vyhovuje
dolní pás	286,33	1,83	0,01	vyhovuje

Tabulka 4.6 – Posouzení průřezů ve smyku

Využití průřezů je podstatě zanedbatelné a nedosahuje hodnoty 0,5 (neboli platí podmínka  $V_{ed} < 0,5V_{pl,rd}$ ) není třeba smykové namáhání zohlednit při posouzení v kombinaci ohybového momentu a normálové síly

#### 4.2.2.4 Namáhání kombinací ohybu a osově síly

V příhradových konstrukcích, jak je již výše zmíněno, dochází k přenosu hlavních namáhání pomocí normálových sil. Avšak daná konstrukce je v na krajním vazníku namáhaná také momentem, který vzniká od ukotvení vaznic i mimo styčníky.

Některé průřezy jsou tedy namáhané jak normálovou silou, tak ohybem, kvůli čemuž se musí posoudit kombinace obou namáhání.

Únosnost při namáhání normálovou silou je spočtena výše, proto nyní byla spočtena únosnost průřezu v ohybu. Únosnost není třeba snižovat součinitelem klopení, jelikož se jedná o uzavřené průřezy, které nejsou náchylné ke klopení. Spočteno jako:

$$M_{y,rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}}$$





označení	$W_{pl,y}$ [m <sup>3</sup> ]	$M_{y,rd}$ [kNm]
horní pás	1,64E-04	58,35
dolní pás	1,18E-04	42,00

Tabulka 4.7 – Únosnost průřezů v ohybu

Při posouzení se vychází ze vztahu:

$$\frac{N_{ed}}{N_{i,rd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,ed}}{M_{y,rd}} \leq 1$$

Součinitele bezpečnosti a na snížení únosnosti vlivem klopení či vzpěru jsou zahrnuti již v hodnotách  $N_{i,rd}$  a  $M_{y,rd}$ .

Kvůli různým návrhovým situacím dochází k namáhání jak tlakem, tak tahem a proto je třeba ověřit obě varianty.

Součinitel interakce se počítá jako:

$$k_{yy} = C_{my} * [1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ed}}{N_{i,rd}}] \leq C_{my} * (1 + 0,8 \frac{N_{ed}}{N_{i,rd}})$$

### Posouzení tahu za ohybu

označení	$C_{my}$	$N_{t,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	$\bar{\lambda}$	$k_{yy}$	
horní pás	0,46	1182,15	63,74	0,583	<b>0,466</b>	0,476
dolní pás	0,74	1001,10	784,56	3,016	2,373	<b>1,204</b>

Tabulka 4.8 – Součinitel interakce pro kombinaci tahu za ohybu

označení	$N_{t,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	$k_{yy}$	$M_{y,rd}$ [kNm]	$M_{y,ed}$ [kNm]	využití	posouzení
horní pás	1182,15	63,74	0,466	58,35	1,09	0,06	vyhovuje
dolní pás	1001,10	784,56	1,204	42,00	3,38	<b>0,88</b>	vyhovuje

Tabulka 4.9 – Posouzení průřezů na kombinaci tahu za ohybu

### Posouzení tlaku za ohybu

označení	$C_{my}$	$N_{c,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	$\bar{\lambda}$	$k_{yy}$	
horní pás	0,53	940,33	752,30	0,583	<b>0,697</b>	0,875
dolní pás	0,74	94,26	71,74	3,016	2,332	<b>1,194</b>

Tabulka 4.10 – Součinitel interakce pro kombinaci tlaku za ohybu

označení	$N_{c,rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	$k_{yy}$	$M_{y,rd}$ [kNm]	$M_{y,ed}$ [kNm]	využití	posouzení
horní pás	940,33	752,30	0,697	63,74	12,74	<b>0,94</b>	vyhovuje
dolní pás - kraj	94,26	71,74	1,194	42,00	0,45	0,77	vyhovuje
dolní pás - střed	94,26	77,11	1,194	42,00	0,47	0,83	vyhovuje

Tabulka 4.11 – Posouzení průřezů na kombinaci tlaku za ohybu



Působením vztlaku vzniká na spodním pásu tlaková normálová síla. Jelikož na krajní vazník, vlivem zvýšeného počtu vaznic, působí větší stálé zatížení než na běžný vazník, je třeba posoudit v tomhle případě i vazník v běžném poli, protože při této kombinaci zatížení znamená čím menší stálé zatížení, tím větší namáhání.

### 4.2.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP)

Pro posouzení je vhodné využít spočtené průhyby pro kombinaci MSP a ty porovnat s limitními hodnotami průhybů. Ty se pro ocelový vazník rovnají  $L/250$ .

prvek	délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$\delta_{lim}$ [mm]	využití	posouzení
vazník	25 000	82,8	100	<b>0,83</b>	vyhovuje

Tabulka 4.12 – Posouzení vazníku na MSP

## 4.3 Návrh a posouzení vybraných detailů

Po návrhu geometrie se pokračuje návrhem a posouzením klíčových detailů příhradové konstrukce.

Pro návrh se využívá norma *ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků* [7].

U spojů řešených pomocí šroubů rozteče vždy splňují minimální rozteče podle zmíněné normy, popřípadě jsou navýšeny a zaokrouhleny.

### 4.3.1 Montážní spoj dolního pásu

Jako první byly posouzeny montážní spoje, které vznikly v místech rozdělení vazníku na části pro snadnější dopravu.

Kvůli převládajícímu tahovému namáhání je spoj dolního pásu řešen pomocí dvojice příložek umístěných na horní a spodní straně pásu, které jsou spojeny šroubovým spojením.

Návrh:

Šroub M20 8.8

$f_{yb}$ :	640 MPa	d:	22 mm
$f_{ub}$ :	800 MPa	$d_0$ :	24 mm
A:	380 mm <sup>2</sup>	$e_1$ :	55 mm



$A_s$ :	303 mm <sup>2</sup>	$e_2$ :	55 mm
střihů:	2	$\rho_1$ :	80 mm
kusů:	4		
Příložka FLA 110/14			
šířka b:	110 mm		
tloušťka $t_{př}$ :	12 mm		
Plocha příložky $A_{př}$ :	1320 mm <sup>2</sup>		
počet:	2		
Profil dolního pásu SHS 120/120/6,3			
tloušťka $t_{DP}$ :	6,3 mm		

Jelikož se v místě spoje vyskytuje také moment, je třeba jej zohlednit také ve výpočtu. Toho docílíme převedením momentu na dvojici sil působících v příložkách.

Působící moment $M_{ed}$ :	3,27 kNm
rameno vnitřních sil r:	60 mm
Síla vzniklá od momentu $F_{m,ed}$ :	27,25 kN
Přídavná síla na spodní šroub:	6,81 kN
stávající $N_{ed}$ :	784,56 kN
síla na jeden šroub od $N_{ed}$ :	98,07 kN

U spoje musí být posouzena únosnost na střih a na otláčení.

Únosnost na střih se spočte jako:

$$F_{v,rd} = \frac{\alpha_v * f_{yb} * A}{\gamma_{M2}}$$

Součinitel  $\alpha_v$ : 0,6

Typ šroubu	umístění	$F_{v,rd}$ [kN]	$F_{v,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M20 8.8	spodní kraj	116,35	104,88	0,90	vyhovuje

Tabulka 4.13 – Posouzení šroubového spoje ve střihu

Únosnost v otláčení pak jako:

$$F_{b,rd} = \frac{k_1 * \alpha_d * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$
$$t = \min(t_{př}; t_{DP})$$

Krajní šroub:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \qquad k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

Vnitřní šroub:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \qquad k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

Součinitel  $k_1$  je pro oba případy stejný, jelikož šrouby jsou jen v jedné řadě a pro směr kolmý k působení zatížení se tedy všechny šrouby jeví jako krajní.

krajní šroub

$k_1$ : 2,5  
 $\alpha_d$ : 0,764  
 $F_{b,rd}$ : **107,99** kN

vnitřní šroub

$k_1$ : 2,5  
 $\alpha_d$ : 0,861  
 $F_{b,rd}$ : **121,74** kN

Typ šroubu	umístění	$F_{b,rd}$ [kN]	$F_{b,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M20 8.8	spodní kraj	107,99	104,88	<b>0,97</b>	vyhovuje
M20 8.8	spodní střed	121,74	104,88	0,86	vyhovuje

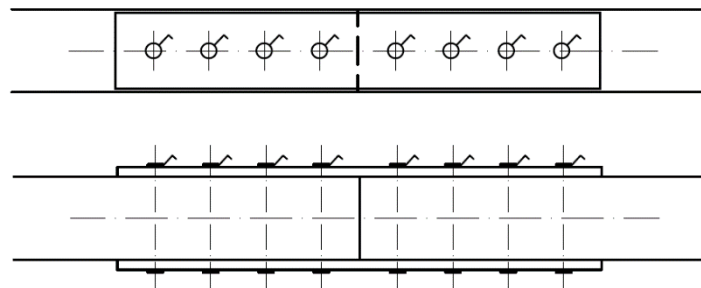
Tabulka 4.14 – Posouzení šroubového spoje v otláčení

Již zbylo jen posouzení samotných příložek, přičemž největší sílu, která působí v jedné příložce spočteme jako:

$$F_{př} = \frac{N_{ed}}{2} + F_{m,ed}$$

Typ	A [mm <sup>2</sup> ]	$F_{rd}$ [kN]	$F_{př}$ [kN]	využití	posouzení
FLA 100/12	1320	468,6	419,53	<b>0,90</b>	vyhovuje

Tabulka 4.15 – Posouzení příložky na normálové napětí



Obrázek 4.1 - Montážní spoj dolního pásu

### 4.3.2 Montážní spoj horního pásu

Ve spoji je převládající tlakové napětí, a proto byl spoj řešen přivařenými čelními deskami spojenými šrouby.

Kvůli náročným a pracným výpočtům, které jsou třeba pro posouzení, zde bylo využito počítačového programu.

Výstup z programu se nachází v příloze [Příloha F].



Obrázek 4.2 - Montážní spoj horního pásu

### 4.3.3 Montážní spoj diagonály

Při rozdělení vazníku na části, vznikají pole s diagonálou jejíž připevnění musí být možné až na stavbě obdobně jako je tomu u spoje horního, popřípadě spodního pásu.

Spoj je řešen pomocí dvou ocelových desek, jedné přivařené na ocelové konstrukci vazníku, a druhé přivařené na diagonále. Tyto dvě desky jsou dále spojeny pomocí šroubů.

#### 4.3.3.1 Šrouby a deska

Návrh a posouzení šroubů v otlacení, smyku a příložek na tah je velice obdobný a za použití stejných vzorců jako v kapitole 3.3.1. Rozdíly jsou například že všechny šrouby jsou krajní, nevyskytuje se zde zatížení od momentu, jedná se jen o jednu desku, a tudíž přenáší při posouzení veškeré zatížení.

Návrh:

Šroub M12 5.6.

$f_{yb}$ :	300 MPa	d:	12 mm
$f_{ub}$ :	500 MPa	$d_0$ :	14 mm
A:	113 mm <sup>2</sup>	$e_1$ :	40 mm
$A_s$ :	84 mm <sup>2</sup>	$e_2$ :	50 mm
střihů:	1	$p_1$ :	60 mm
kusů:	2		



FLA 100/10

šířka b: 110 mm

tloušťka  $t_{des}$ : 10 mm

Profil diagonály CHCF 76,1/2,5

tloušťka  $t_{dia}$ : 2,5 mm

Typ šroubu	$F_{v,rd}$ [kN]	$F_{v,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16 6.8.	20,16	16,27	<b>0,81</b>	vyhovuje

Tabulka 4.16 – Posouzení šroubového spoje ve stříhu

krajní šroub

$k_1$  2,5

$\alpha_d$  0,95238095

$F_{b,rd}$  **58,29** kN

Typ šroubu	umístění	$F_{b,rd}$ [kN]	$F_{v,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16 6.8.	kraj	58,29	16,27	0,28	vyhovuje

Tabulka 4.17 – Posouzení šroubového spoje v otláčení

Typ	A [mm <sup>2</sup> ]	$F_{ed}$ [kN]	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
FLA 100/10	1000	355	32,54	<b>0,09</b>	vyhovuje

Tabulka 4.18 – Posouzení desky na normálové napětí

#### 4.3.3.2 Svary

Pro návrh a posouzení svarů byla použita zjednodušená metoda výpočtu, která nebere ohled na druh a směr napětí ve svaru. a všechna napětí jsou brána jako  $\tau_{II}$ . Tato metoda je zároveň konzervativnější, a tudíž výsledky jsou na straně bezpečnosti.

#### Svar desky s diagonálou

Délka svaru L: 60 mm

Počet svarů n: 4

Síla ve svarech  $F_{ed}$ : 32,54 kN

Tloušťka svaru a: 3 mm

$$f_{vw,rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$$



$\beta_w$ : 0,9  
 $f_{vw,d}$ : 261,73 MPa

$$F_{vw,d} = L * a * f_{vw,d}$$

$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
188,45	32,54	0,17	vyhovuje

Tabulka 4.19 – Posouzení svaru ve smyku diagonály

### Svar desky k vazníku

Deska je svarem kotvena jak ke spodnímu pásu, tak ke sloupku. Pro zjednodušení výpočtu je síla v diagonále rozložena do směrů x a y, s tím že předpokládáme zatížení svaru s dolním pásem silou ve směru x, a svaru na sloupku silou ve směru y.

úhel diag.: 36 °  
 $F_{ed}$  32,54 kN  
 $F_{x,ed}$  26,33 kN  
 $F_{z,ed}$  19,13 kN

Vzorce pro výpočet jsou identické se vzorci pro posouzení svaru u diagonály. Stejný zůstává i korelační součinitel.

#### Svar ve směru X

Délka svaru L: 280 mm  
Počet svarů n: 2  
Tloušťka svaru a: 3 mm  
 $f_{vw,d}$ : 261,73 MPa

$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
439,70997	26,33	0,06	vyhovuje

Tabulka 4.20 – Posouzení svaru ve smyku ve směru X

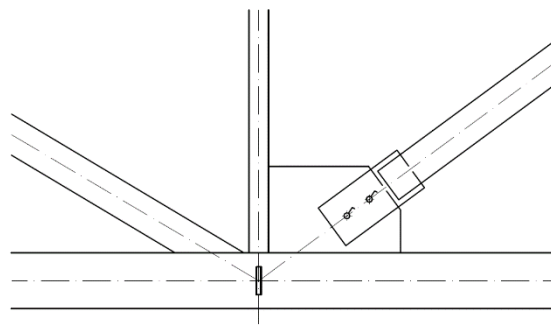
#### Svar ve směru y

Délka svaru L: 185 mm  
Počet svarů n: 2  
Tloušťka svaru a: 3 mm  
 $f_{vw,d}$ : 261,73 MPa

$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
290,52	19,13	0,07	vyhovuje

Tabulka 4.21 – Posouzení svaru ve smyku ve směru Y

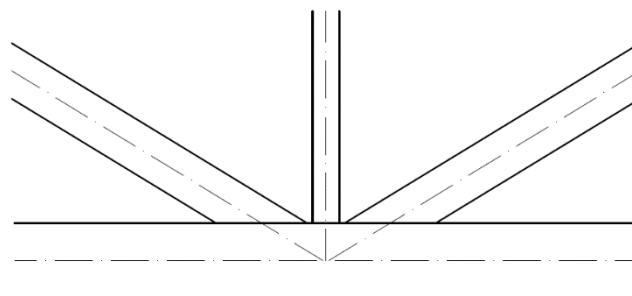
Samotná deska je namáhána silou od diagonály s excentricitou, což znamená vnést do výpočtu další síly vzniklé od momenty z excentricity. Avšak vzhledem k výsledkům a minimálnímu využití svarů, které vyšlo z předpokladu centricky namáhané desky, můžeme říci, že i bez posouzení na přídatnou sílu svari bez problémů vyhoví.



Obrázek 4.3 - Montážní spoj diagonály

#### 4.3.4 Prostřední styčník na dolním pásu

Tento detail byl opět kvůli náročnosti výpočtu spočten počítačovým programem a výstup se taktéž nachází v příloze [Příloha F].



Obrázek 4.4 - Detail prostředního styčníku na dolním pásu

#### 4.3.5 Napojení vazníku na sloup

Ze statického modelu je předpoklad, že styčník je kloubový. Proto je spoj řešen pomocí ocelové desky s kulovou hlavicí kvůli eliminaci momentů a umožnění malých pootočení.





Z vazníku jsou síly přenášeny pomocí ocelové desky s výztuhami na kulovou hlavici upevněnou na sloupu. Styčnick je jištěn šrouby v případě namáhání styčnicku tahem při sání.

#### 4.3.5.1 Šrouby

Šrouby jsou navrženy jen pro případ kombinace zatížení, kdy ve spoji vznikají tahová napětí, a tedy návrh je proveden jako posouzení šroubů v tahu.

Návrh:

Šroub M12 5.6.

fyb:	300 MPa	d:	12 mm
fub:	500 MPa	d0:	14 mm
A:	113 mm <sup>2</sup>	e1:	40 mm
As:	84 mm <sup>2</sup>	e2:	40 mm
kusů:	4	p1:	160 mm

Pro únosnost šroubu v tahu platí:

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

k2:	0,9
F <sub>t,rd</sub> :	30,24 kN

Typ šroubu	F <sub>t,rd</sub> [kN]	F <sub>t,ed</sub> [kN]	využití	posouzení
M12 5.6.	120,96	20,19	0,17	vyhovuje

Tabulka 4.23 – Posouzení šroubů na tah

#### 4.3.5.2 Svary

Posouzeny byly svary, které se nachází mezi deskou a diagonálou, a pak mezi deskou a horním pasem.

Svary jsou opět počítány stejně, jako tomu bylo v předchozích kapitolách.



### Svar diagonály s deskou

Délka svaru L: 300 mm  
Počet svarů n: 2  
Tloušťka svaru a: 4 mm  
 $f_{vw,d}$ : 261,73 MPa

$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
628,16	454,38	0,72	vyhovuje

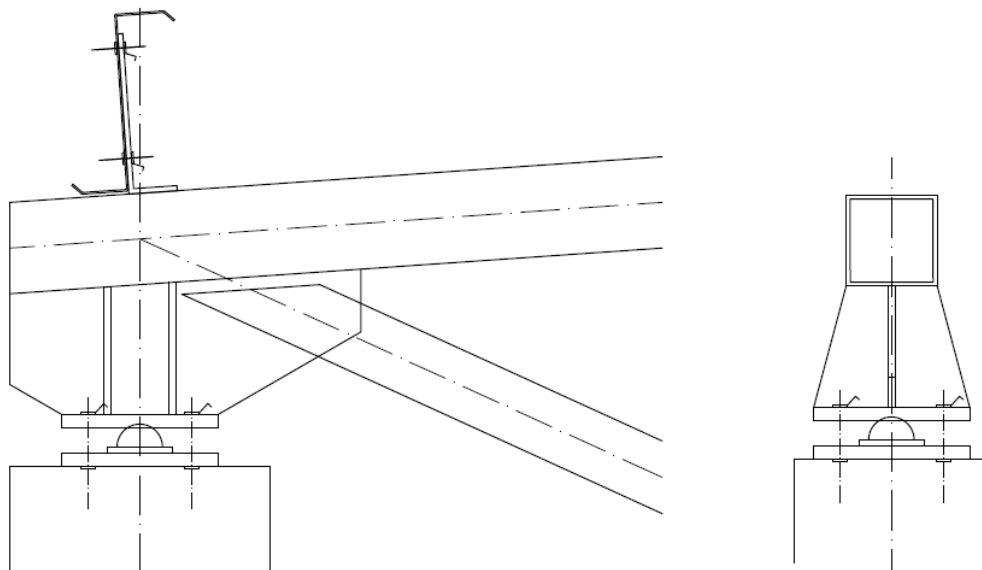
Tabulka 4.22 – Posouzení svaru diagonály na desku u sloupu

### Svar Horního pásu s deskou

Délka svaru L: 541 mm  
Počet svarů n: 2  
Tloušťka svaru a: 3 mm  
 $f_{vw,d}$ : 261,732 MPa

$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
849,58	426,63	0,50	vyhovuje

Tabulka 4.23 – Posouzení svaru desky s horním pásem



Obrázek 4.5 - Napojení vazníku na sloup



#### 4.3.6 Přípoj vaznic na vazník

Při této variantě, jsou použity ocelové vaznice Z 270 od firmy Kovové profily, jež nabízí přímo i možnosti jejich kotvení, a to pomocí ocelových botek. Výběr typu botky byl pak posouzen.

Přípoj je nutné posoudit jak v tlaku, tak v tahu se zohledněním směru působení zatížení.

Návrhové síly působící ve spoji

Vlastní tíha $F_{Iz}$ :	-2,84 kN
Vlastní tíha $F_{Ix}$ :	-0,20 kN
Sníh $F_{Iz}$ :	-30,17 kN
Sníh $F_{Ix}$ :	-2,11 kN
Vítr $F_{Iz}$ :	6,33 kN

##### 4.3.6.1 Šrouby

Šrouby byly navrženy dle doporučení výrobce a následně posouzen pro počet a umístění odpovídající otvorům v botce podle vzorců výše.

Návrh:

Šroub M16 8.8.

$f_{yb}$ :	640 MPa	$d$ :	16 mm
$f_{ub}$ :	800 MPa	$d_0$ :	18 mm
$A$ :	201 mm <sup>2</sup>	$e_{1,a}$ :	55 mm
$A_s$ :	157 mm <sup>2</sup>	$e_{1,b}$ :	22 mm
kusů	2	$e_2$ :	50 mm
		$p_1$ :	170 mm

Typ šroubu	$F_{v,rd}$ [kN]	$F_{v,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16 8.8.	60,288	16,50	0,27	vyhovuje

Tabulka 4.24 – Posouzení šroubového spoje ve stříhu



Tloušťka vaznice t:	2,5	mm		
$k_1$	2,5		$k_1$	2,5
$\alpha_{d,a}$	1,02		$\alpha_{d,b}$	0,41
$F_{b,rd}$	<b>41,56</b>	kN	$F_{b,rd}$	<b>16,62</b> kN

Typ šroubu	typ zatížení	$F_{b,rd}$ [kN]	$F_{b,ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16 6.8.	tlak	41,56	16,50	<b>0,40</b>	vyhovuje
M16 6.8.	sání	16,62	3,49	<b>0,21</b>	vyhovuje

Tabulka 4.25 – Posouzení šroubového spoje v otláčení

#### 4.3.6.2 Svary

Botka je k vazníku přikotvena svary.

Délka svaru L:	250	mm
Tloušťka svaru a:	3	mm
$f_{vw,d}$ :	261,73	MPa

Typ zatížení	$F_{vw,rd}$ [kN]	$F_{vw,ed}$ [kN]	využití	posouzení
max $F_{lz}$ :	196,30	3,49	0,02	vyhovuje
max $F_{lx}$ :	196,30	2,31	0,01	vyhovuje

Tabulka 4.26 – Posouzení svaru botky k vazníku

## 4.4 Ztužení konstrukce

Střešní konstrukce je nyní navržena na MSÚ, popřípadě MSP. Při posuzování se však vycházelo z několika předpokladů, jako je například zabránění vybočení jak horního, tak spodního pásu v některých bodech, a tím zkrácení vzpěrné délky. Také se zatím nezohlednilo působení větru v příčném směru na krajní štít. V souvislosti s tímhle vším, má pak souvislost přenesení vodorovných sil v úrovni střechy do základů.



#### 4.4.1 Zatížení od vybočení

Prvky zatížené tlakovou silou mají tendenci k vybočení. V konstrukci se nachází vazníky, které jsou zatíženy jinou silou, a proto pro výpočet byla použita průměrná hodnota.

Ztužení horního pásu je řešeno pomocí samotných vaznic, přičemž u návrhu bylo přihlíženo na přídavné síly od tohoto namáhání.

Ztužení dolního pásu je pak provedeno pomocí dvou podélných ztužidel, jež jsou tvořena táhly.

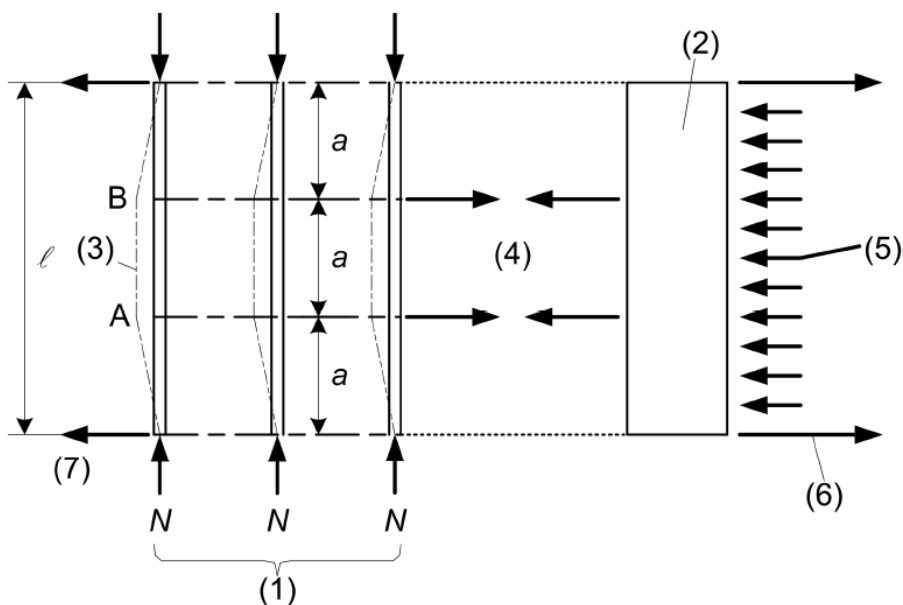
Z celkového počtu vazníků, je pak jeden krajní vazník řešen ocelovým profilem, který je přikotven ke štítu, a tudíž nepřispívá k silám způsobené vybočení. Při tlaku v dolním pásu pak je ztužení prováděno táhly vedoucími od horního pásu k dolnímu, a proto je dané táhlo zatíženo silou pouze od jednoho vazníku.

Pro výpočet sil od vybočení, využijeme převedení normálových sil v profilech na podélné liniové zatížení působící kolmo na vazník ve střešní rovině a následný přepoččet do zatížení vaznic či ztužidel.

$$q_d = k_1 \frac{n * N_{ed}}{k_{f,3} * l} \quad \text{kde} \quad k_1 = \min\left(1; \sqrt{\frac{15}{l}}\right)$$

L:	25 m		
k <sub>l</sub> :	0,775		
k <sub>f,3</sub> :	30		
n <sub>HP</sub> :	7	n <sub>DP</sub> :	1
N <sub>HP,ed</sub> :	685,00 kN	N <sub>DP,ed</sub> :	73,07 kN
q <sub>HP,d</sub> :	<b>4,95</b> kN/m	q <sub>DP,d</sub> :	<b>0,08</b> kN/m

Vzdálenost vaznic:	2,40 m
Síla ve vaznici N <sub>ed</sub> :	<b>11,89</b> kN
Vzdálenost ztužidel:	12,50 m
Síla v pod. ztuž.	
F <sub>zt,g,x</sub> :	0,94 kN
Úhel ztužidla:	15 °
Síla v pod. ztuž. N <sub>ed</sub> :	<b>0,98</b> kN



Obrázek 4.6 - Nosníková nebo příhradová soustava vyžadující příčné podpěry [7]

#### 4.4.2 Podélné svislé ztužení

Jak je popsáno v předešlé kapitole, podélné svislé ztužení slouží jako podpora dolního pásu v případě namáhání tlakem proti vybočení. Jsou navržena dva ztužidla v symetrických vzdálenostech od středu.

Návrh:

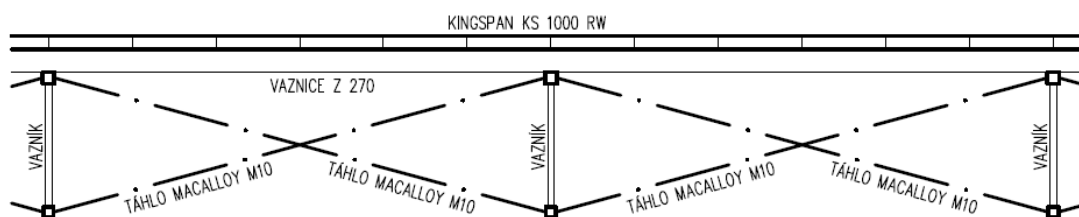
Táhla Macalloy M10

Průměr táhla  $d$ : 10 mm

Min. mez kluzu  $N_{rd}$ : 25,00 kN

označení	$N_{rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
M10	25,00	0,98	<b>0,04</b>	vyhovuje

Tabulka 4.27 – Posouzení táhla v podélném svislém ztužení



Obrázek 4.7 - Schéma podélného ztužení

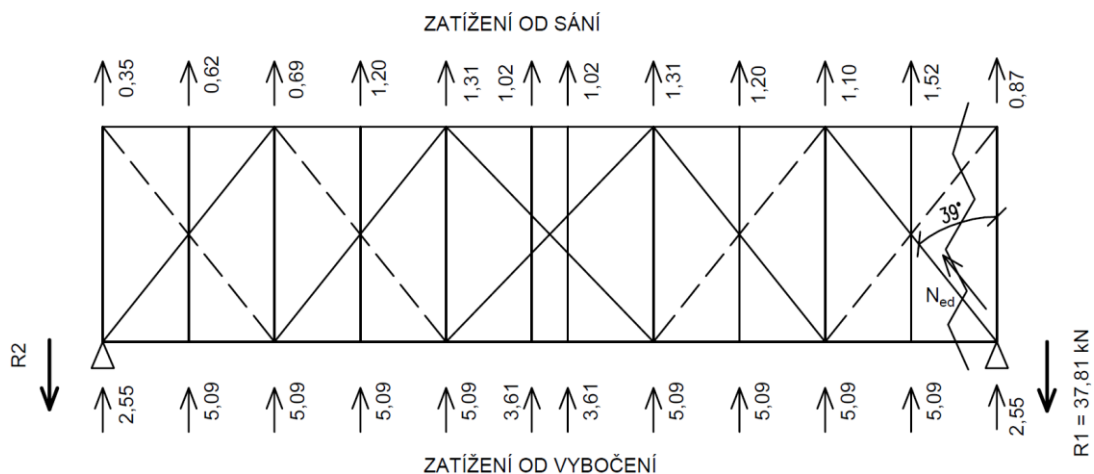
#### 4.4.3 Příčné střešní ztužení

Příčné střešní ztužení slouží k zachycení účinků příčného větru a sil vzniklých od využití vaznic pro ztužení vazníků.

Mnohdy se bere v úvahu jen zatížení od větru a zatížení od ztužení se zanedbává, avšak v tomhle případě, kde zatížení od větru vlivem přilehlých částí je malé, hraje zatížení od vybočení značný vliv a je nutné jej započítat.

Ztužidla byla navržena na obou kratších stranách haly. Proto, pak započítaná síla, která je způsobená od vybočení, je pro návrh ztužidla poloviční (každé ztužidlo přebere polovinu zatížení).

Výpočet je řešený pomocí příhradové analogie s vyloučením tlačných táhel.



Obrázek 4.8 - Síly působící na příčné a stěnové ztužení

R 37,81 kN

N<sub>ed</sub>: 44,25 kN

Návrh:

Táhla Macalloy M16

Průměr táhla d: 16 mm

Min. mez kluzu N<sub>rd</sub>: 69,00 kN

označení	N <sub>rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
M16	69,00	44,25	<b>0,64</b>	vyhovuje

Tabulka 4.28 – Posouzení táhla v příčném ztužení

#### 4.4.4 Podélné stěnové ztužení

Na toto ztužení jsou použity dvojice táhel, která se nachází vždy v krajních polích (celkem čtyři dvojice). Táhla spojují horní pás vazníku a směřují sílu do základů.

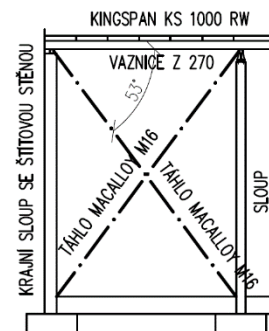
Horizontální síla  $H_{ed}$ : 37,81 kN  
Úhel: 53 °  
Osová síla  $N_{ed}$ : 62,82 kN

Návrh:

Táhla Macalloy M16

Průměr táhla  $d$ : 16 mm

Min. mez kluzu  $N_{rd}$ : 69,00 kN



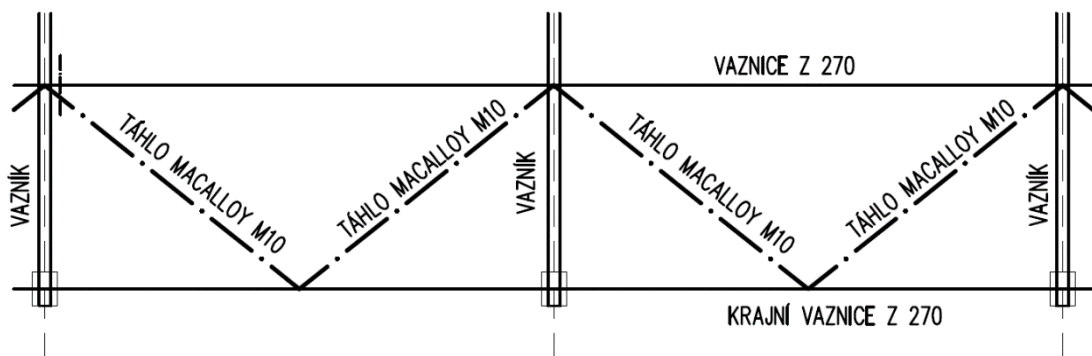
Obrázek 4.9 - Schéma podélného stěnového ztužení

označení	$N_{rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16	69,00	62,82	<b>0,91</b>	vyhovuje

Tabulka 4.29 – Posouzení táhla v podélném stěnovém ztužení

#### 4.4.5 Podélné střešní ztužení

Nachází se podél delší strany haly a slouží k zabránění vybočení krajní vaznice vlivem zatížení. Je tomu bráněno dvojicí táhel (táhla Macalloy M10) kotvených do středu vaznice a následně vedených na vazníky.



Obrázek 4.10 - Schéma podélného střešního ztužení





## 4.5 Montáž

Kvůli jednodušší přepravě, byla zvolena varianta, kdy vazník je rozdělen na tři části a následně smontován na místě stavby. To bude probíhat na zemi pomocí navržených spojovacích prostředků, jak obou pásů, tak vložené diagonály v místě spoje.

Následně bude jeřábem přemístěn nad sloupy, usazen a provizorně zavětrován. Postupovat se bude ze stran, kde hned od začátku tvoří oporu již části budovy, které jsou z cihel a mají dostatečnou tuhost.

Spolu s instalací dalších vazníků se budou postupně spojovat vaznicemi a ztužením.

Následně bude montováno opláštění budovy z panelů KS1150 TL pro stěny a KS100 RW pro střechu.



## 5 Varianta B: Plnostěnný dřevěný vazník

### 5.1 Popis

V druhé variantě je přistoupeno k návrhu střešního vazníku zcela jiným způsobem. Dochází ke změně jak materiálu, který se z oceli změnil na lepené dřevo, tak i celkovou geometrií vazníku. Ta nyní místo příhradoviny je tvořena plnostěnným vazníkem sedlového tvaru, který kopíruje tvar střechy.

Oproti předchozí variantě, zde na rozdíl od normálových sil vzniká velký moment uprostřed pole způsobený značným rozpětím haly. Zde pomáhá právě onen tvar sedlového vazníku, kde v místě velkých momentů má vlivem většího průřezu i větší únosnost.

Kvůli změně materiálu vazníku, dochází i ke změně materiálu vaznic, kde ocelové Z vaznice jsou nahrazeny dřevěnými, které bylo třeba navrhnout.

### 5.2 Dřevěné vaznice

Jelikož vzdálenost mezi vazníky je 6 metrů, bylo zvoleno řešení navýšení počtu vaznic a z toho vyplývající menší zatížení vaznice, a tedy i menší průřez. Ten bylo následně nutné posoudit na MSÚ, MSP a také navržení a posouzení detailu přikotvení vaznic.

#### Návrh: KVH C30 260/120 mm

Vzdálenost vaznic (běžná) a :			1,24 m		
Vzdálenost vaznic (krajní pole) b:			0,62 m		
$f_{m,k}$ :	30,0 MPa	$f_{m,d}$ :	20,8 MPa	b:	0,120 m
$f_{t,0,k}$ :	18,0 MPa	$f_{t,0,d}$ :	12,5 MPa	h:	0,260 m
$f_{c,0,k}$ :	23,0 MPa	$f_{c,0,d}$ :	15,9 MPa	A:	0,0312 m <sup>2</sup>
$f_{c,90,k}$ :	2,7 MPa	$f_{c,90,d}$ :	1,9 MPa	$\rho_k$ :	460 kg/m <sup>3</sup>
$f_{v,k}$ :	4,0 MPa	$f_{v,d}$ :	2,8 MPa	$W_y$ :	1,35E-03 m <sup>3</sup>
E:	12000 MPa	$E_{0,05}$ :	8000 MPa	$W_z$ :	6,24E-04 m <sup>3</sup>
G:	750 MPa	$G_d$ :	519,2 MPa	$I_z$ :	3,74E-05 m <sup>4</sup>
$k_{mod}$ :	0,9	$k_{def}$ :	0,8	$i_z$ :	35 mm
$k_m$ :	0,7	$k_{cr}$ :	0,67	$I_t$ :	1,06E-04 m <sup>4</sup>



### 5.2.1 Výpočetní model

Jelikož se vaznice nachází v šikmé střešní rovině, je namáhaná šikmým ohybem. Z toho důvodu byl jak pro výpočet vnitřních sil, tak průhybů vytvořen počítačový model vaznice zatížen nejnepříznivějším zatížením, které se v konstrukci může objevit. Výstup z programu se nachází v příloze [Příloha G].

Zároveň se nesmí zapomenout na normálovou sílu, která je způsobena využitím vaznic na ztužení a zabránění vybočení vazníků, či jejich částí. Přesný výpočet této síly je v kapitole 5.5.

### 5.2.2 Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ)

Po návrhu vaznice a vypočtení vnitřních sil, je třeba daný prvek posoudit, zda vyhoví na dané zatížení.

Posuzováním dřeva se zabývá norma *ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby [8]* a dle ní jsou také prováděny následující posudky.

#### 5.2.2.1 Namáhání smykem

Vaznice je prostě uložena na vaznicích, a v těchto místech vnikají největší posouvající síly na vaznici, na které je třeba prvek posoudit.

V konstrukci vznikají posouvající síly jak ve směru y, tak z. Při posouzení jsou tyto síly pro zjednodušení obvykle sečteny.

Aby prvek vyhověl, musí být splněna podmínka:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$
$$\tau_{v,d} = 1,5 * \frac{V_{ed}}{k_{cr} * A}$$

$V_{ed}$ [kN]	$\tau_{v,d}$ [kPa]	$f_{v,d}$ [kPa]	využití	posouzení
10,67	765,64	2769,23	0,28	vyhovuje

Tabulka 5.1 – Posouzení průřezu ve smyku

#### 5.2.2.2 Namáhání kombinací ohybu a osově síly



Jak je již zmíněno, prvek je namáhán jak ohybem, tak osovou silou. Vzhledem k charakteru a vzniku těchto namáhání, nemůže nastat namáhání jen osovou silou, jelikož ta je podmíněna zatížením vazníků a vzniku tlakových namáhání v horních částech vazníků. Proto velikost jak tahové či tlakové normálové síly je totožná jen s opačnou orientací. Z toho důvodu také při sání jsou normálové síly nulové (vazníky mají tlakové napětí na spodní straně) a prvek je namáhán pak jen šikmým ohybem od sání a vlastní tíhy.

Napětí vzniklé od zatížení je spočteno jako:

$$\sigma_{0,ed} = \frac{N_{ed}}{A} \quad \sigma_{m,ed} = \frac{M_{i,ed}}{W_i}$$

	$M_{ed}$ [kNm]	$W$ [m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{m,ed}$ [kPa]
osa y	14,96	1,35E-03	11065,09
osa z	1,05	6,24E-04	1682,69
osa y - sání	5,16	1,35E-03	3816,57
osa z - sání	0,10	6,24E-04	160,26

$N_{ed}$ [kN]	$\sigma_{0,ed}$ [kPa]
9,65	309,33

Tabulka 5.2 – Výpočet ohybových a normálových napětí

Vypočtená napětí pak jsou dále posouzena podle:

$$\text{Kombinace ohybu a osového tahu} \quad \frac{\sigma_{t,0,ed}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,ed}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,ed}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\text{Kombinace ohybu a osového tlaku} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,ed}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,ed}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,ed}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Vzhledem k tomu, že napětí  $\sigma_{m,z,d}$  je o tolik menší jak ve druhém, směru, je zbytečné posuzovat napětí v kombinaci kde  $k_m$  je u druhého členu.

	$\sigma_{0,ed}$ [kPa]	$f_{0,d}$ [kPa]	$\sigma_{y,m,ed}$ [kPa]	$\sigma_{z,m,ed}$ [kPa]	$f_{m,d}$ [kPa]	využití	posouzení
tah	309,33	12461,54	11065,09	1682,69	20769,2	<b>0,61</b>	vyhovuje
tlak	309,33	15923,08				<b>0,59</b>	vyhovuje
sání	-	-	3816,57	160,26	20769,231	0,19	vyhovuje

Tabulka 5.3 – Posouzení na kombinaci ohybu a normálové síly

### 5.2.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP)

U posuzování dřevěných prvků na MSP je třeba, na rozdíl od ocelových konstrukcí, zohlednit dotvarování konstrukce v čase vlivem působícího zatížení.

Proto se posuzuje zvlášť jak okamžitý průhyb, tak i finální průhyb.

Pro okamžitý průhyb je mezní hodnota deformace  $l/300$  a pro finální průhyb  $l/150$ .



### Okamžitý průhyb

#### Stálé zatížení

$w_{g,inst}$ : 3 mm

Náh. sních  $w_{q,s,inst}$ : 17 mm

$w_{inst}$ : 19 mm

délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
6 000	19	20	<b>0,96</b>	vyhovuje

Tabulka 5.4 – Posouzení vaznice na okamžitý průhyb

Přepočítání na finální průhyb pak byl proveden pomocí vzorců:

pro stálé zatížení  $w_{g,fin} = w_{g,inst}(1 + k_{def})$

pro hlavní proměnné zatížení  $w_{q,s,fin} = w_{q,s,inst}(1 + \psi_2 * k_{def})$

Finální průhyb  $w_{fin} = w_{q,s,inst} + w_{g,inst}$

kde  $\psi_2 = 0$  pro zatížení sněhem

### Finální průhyb

stálé zatížení  $w_{g,fin}$ : 5 mm

Náh. sních  $w_{q,s,fin}$ : 17 mm

$w_{fin}$ : 21 mm

délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
6 000	21	40	<b>0,53</b>	vyhovuje

Tabulka 5.5 – Posouzení vaznice na finální průhyb

## 5.2.4 Posouzení detailu uložení

Vaznice jsou navrženy jako prosté nosníky uložené na krajní podpory.

### 5.2.4.1 Tlak kolmo k vláknům

U dřevěných prvků, které jsou buď to lokálně zatížené, nebo jako v našem případě, lokálně podepřené, vzniká v těchto oblastech tlak kolmo k vláknům, na který je třeba dřevěný prvek posoudit.



Musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{c,90,d} = k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

Kde podle normy se  $k_{c,90} = 1,75$  a napětí spočteno jako:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{ed}}{A} \quad \text{kde } A = b * l_{ef}$$

přičemž  $l_{ef}$  můžeme bezpečně uvažovat i jen jako prostou délku podpory.

l [m]	A [m <sup>2</sup> ]	V <sub>ed</sub> [kN]	σ <sub>c,90,d</sub> [kPa]	k <sub>c,90</sub>	f <sub>c,90,d</sub> [kPa]	využití	posouzení
0,130	0,02	10,67	683,97	1,75	1869,23	0,22	vyhovuje

Tabulka 5.6 – Posouzení tlaku kolmo k vláknům v podpoře

#### 5.2.4.2 Vrutý

Kotvení vaznic, je řešeno pomocí dvojice vrutů v každé podpoře. Vrutý jsou vedeny v šikmém směru a z každé strany vaznice jeden.

Vzhledem k umístění jsou vrutý namáhány jak na smyk, tak na osový tah, a je tedy nutné posuzovat na jejich kombinaci.

Je důležité zmínit, že vrutý brání pouze sesunutí vaznice (ve sklonu střechy) a nadzvednutí při účincích vztlaku. Tlakové zatížení ve směru kolmém na střechu je přenášeno samotným dotykem dřevěných prvků.

Návrh:

RAPI-TEC HBS 8,0/240

d:	8,0 mm	d <sub>h</sub> :	15,0 mm
d <sub>eff</sub> :	5,3 mm	uhel 1	30 °
střihů			
n <sub>s</sub> :	1	počet n:	2
t <sub>1</sub> :	120 mm	t <sub>2(pen)</sub> :	120 mm
M <sub>y,rk</sub> :	31148 kNm	(tabulky výrobce)	

Před vypočtením sil které vrutý přenesou, je nutné spočítat charakteristickou pevnost v otláčení  $f_{h,i,k}$  a charakteristickou pevnost na vytažení pod úhlem  $f_{ax,\alpha,k}$ .

Pro prvky s předvrtanými otvory platí vzorec:

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

Následně je spočten poměr pevností v otláčení vaznice ku vazníku jako:

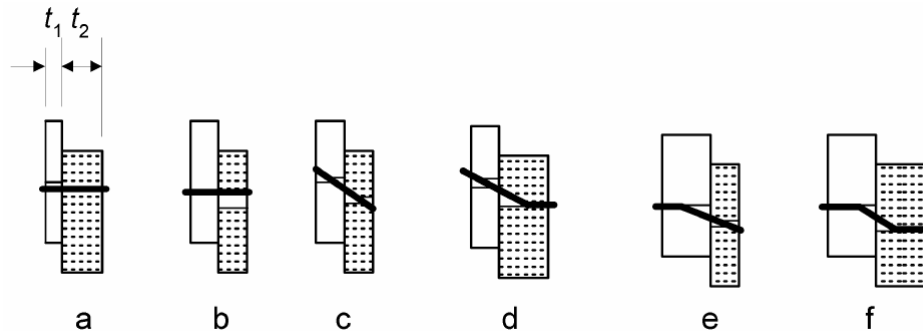
$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

$$f_{h,1,k}: 34,70 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k}: 32,06 \text{ MPa}$$

$$\beta: 0,92$$

Při výpočtu sil, které přenesou spoj v otlaci, se porovnávají několik variant porušení a za výslednou hodnotu se považuje jako nejmenší z nich.



Obrázek 5.1 - způsoby porušení pro spoje ze dřeva a desek [8]

$$F_{v,rk} = \min \left( \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d \text{ (a)} \\ f_{h,2,k} * t_2 * d \text{ (b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left( \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2\right) + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \right) \text{ (c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left( \sqrt{2 * \beta * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (2 + \beta) * M_{y,rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right) \text{ (d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,2,k} t_2 d}{2 + \beta} \left( \sqrt{2 * \beta * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (2 + \beta) * M_{y,rk}}{f_{h,2,k} * d * t_2^2}} - \beta \right) \text{ (e)} \\ 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,rk} * f_{h,1,k} * d} \text{ (f)} \end{array} \right)$$

$F_{v,rk}(a):$	22,07 kN	$F_{v,rk}(d):$	7,80 kN
$F_{v,rk}(b):$	20,39 kN	$F_{v,rk}(e):$	6,87 kN
$F_{v,rk}(c):$	8,79 kN	$F_{v,rk}(f):$	3,81 kN
$F_{v,rk}:$	3,81 kN		
$F_{v,rd}:$	<b>2,35 kN</b>		

Výpočet pevnosti pro vytažení pod úhlem je:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 * \cos^2 \alpha} \quad kde \quad f_{ax,k} = 3,6 * 10^{-3} * \rho_k^{1,5}$$

$f_{ax,k}$ : 31,54 MPa

$f_{ax,\alpha,k}$ : 31,17 MPa

Z toho pak vychází výpočet síly, kterou vrut přeneše na vytažení:

$$F_{ax,\alpha,rk} = (\pi * d * l_{ef})^{0,8} * f_{ax,\alpha,k}$$

$F_{ax,\alpha,rk}$ : 17,92 kN

$F_{ax,\alpha,rd}$ : **11,03** kN

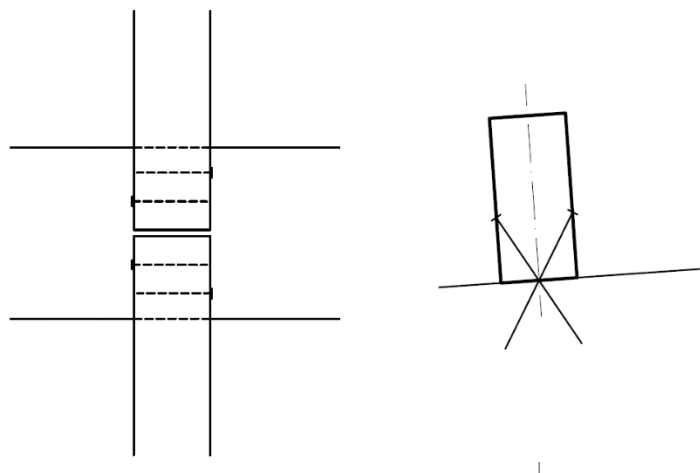
Po již vypočtených silách, co dokáže spoj přenést podle účinku namáhání, můžeme dané hodnoty posoudit se zatížením působícím v podpoře. Jelikož jsou vruty namáhány jak smykovou, tak normálovou silou, posouzení se provedlo podle:

$$\left(\frac{F_{ax,ed}}{F_{ax,\alpha,rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,ed}}{F_{v,rd}}\right)^2 \leq 1$$

	n	$F_{v,rd}$ [kN]	$F_{v,ed}$ [kN]	$F_{ax,rd}$ [kN]	$F_{ax,ed}$ [kN]	využití	posouzení
tlak	2	2,35	0,70	11,03	0,00	<b>0,02</b>	vyhovuje
sání			0,06		3,43		

Tabulka 5.7 – Posouzení vrutů v podpoře

Takhle nízké využití je způsobeno především nízkým sklonem střechy, kde dochází ke vzniku jen malých posouvajících sil ve směru sklonu střechy.



Obrázek 5.2 - Znárodnění kotvení vaznic





## 5.3 Návrh a posouzení geometrie vazníku

Návrh opět závisí na podmínkách určených na začátku ohledně minimální světlé výšky, či přibližné výšce celé haly a sklonu střechy. Sedlové vazníky mají oproti běžným vazníkům výhodu, že lépe pokrývají průběh momentu, a zároveň šetří materiálem v místě podpor, kde momenty nabývají minimálních hodnot.

Zároveň je statický model vazníku také řešen jako prut kloubově uložený na podporách.

Avšak samotný sedlový tvar sebou přináší svá specifika, jako je vznik kritického průřezu s největším napětím a nutností posoudit i středovou oblast navíc na tahová napětí působící kolmo k vláknům. Proto je při jeho návrhu a posuzování nutné brát na tyto skutečnosti ohled.

Jako ve variantě A, tak i zde kvůli rozpětí je vazník řešen pomocí tří samostatných částí, které jsou spojeny až na stavbě.

Vazník je navržen jako:

### Lepené lamelové dřevo GL 28h

$f_{m,k}$ :	28,0 MPa	$f_{m,d}$ :	20,2 MPa
$f_{t,0,k}$ :	22,4 MPa	$f_{t,0,d}$ :	16,1 MPa
$f_{t,90,k}$ :	0,5 MPa	$f_{t,90,d}$ :	0,4 MPa
$f_{c,0,k}$ :	28,0 MPa	$f_{c,0,d}$ :	20,2 MPa
$f_{c,90,k}$ :	2,5 MPa	$f_{c,90,d}$ :	1,8 MPa
$f_{v,k}$ :	3,5 MPa	$f_{v,d}$ :	2,5 MPa
E:	12600 MPa	$E_d$ :	9072,0 MPa
$G_{0,05}$ :	540 MPa	$G_d$ :	388,8 MPa
$E_{0,05}$ :	10500 MPa	$E_{90,mean}$ :	300 MPa
$k_{def}$ :	0,8	$k_{mod}$ :	0,9
b:	0,270 m	L:	25,000 m
$h_s$ :	0,975 m	$h_{ap}$ :	1,850 m

### 5.3.1 Výpočetní model

Opět je pro výpočet vnitřních sil a chování konstrukce využit počítačový software *SCIA Engineer* [4]. Výpočetní model, zatížení, a použité výsledky se nachází v příloze [Příloha D].



### 5.3.2 Posouzení na mezní stav únosnosti (MSÚ)

Na rozdíl od varianty A, jsou zde hlavní vnitřní síly moment v poli vazníku, a posouvající síla působící v podporách. Naopak normálové síly jsou téměř zanedbatelné.

#### 5.3.2.1 Namáhání smykem

Díky uložení vazníku jako prostý nosník, je veškeré svislé zatížení vazníku přenášeno do podpor, kde dochází k významným smykovým silám.

Posouzení vazníku je provedeno pomocí stejných vzorců, jako je tomu u posouzení vaznice v kapitole 5.2.2.1.

$V_{ed}$ [kN]	$\tau_{v,d}$ [kPa]	$f_{v,d}$ [kPa]	využití	posouzení
265,60	2258,79	2520,00	<b>0,90</b>	vyhovuje

Tabulka 5.8 – Posouzení vazníku ve smyku

#### 5.3.2.2 Posouzení v místě maximálního napětí

Specifikem sedlového vazníku je, že maximální napětí od ohybu nevzniká ve středu vazníku, ale vzniká tzv. kritický průřez. Dochází k tomu, jelikož sice s přibližováním se středu roste moment, ale také průřezový modul. A vzhledem k tomu, že napětí se pak spočte jako jejich vzájemný poměr, hledá se takové místo, kdy je tato hodnota nejvyšší, a to místo pak označujeme jako kritický průřez.

Vzdálenost od kraje $x_m$ :	6,613 m
Výška v daném místě $h_{xm}$ :	1,438 m
A:	0,3882 m <sup>2</sup>
$I_z$ :	0,0024 m <sup>4</sup>
$i_z$ :	77,95 mm
$W_{el,y}$ :	0,0930 m <sup>3</sup>
$I_{tor}$ :	0,0083 m <sup>4</sup>

Nejdříve byla spočtena napětí vzniklá od normálové síly a momentu v kritickém průřezu jak pro případ tlakových, tak i tahových namáhání

$N_{t,ed}$ [kN]	$N_{c,ed}$ [kN]	$\sigma_{t,0,ed}$ [kPa]	$\sigma_{c,0,ed}$ [kPa]
6,15	10,22	15,84	26,32

Tabulka 5.9 – Normálová napětí v kritickém průřezu



	$M_{y,ed}$ [kN/m]	$\sigma_{m,y,ed}$ [kPa]
tah	57,12	613,92
tlak	1335,35	14352,22

Tabulka 5.10 – Momentová napětí v kritickém průřezu

Následně jejich posouzení v kombinaci se spočte jako:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} \leq k_{m,\alpha} * f_{m,d}$$

$$\text{Pro napětí v tahu } k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 * f_{v,d}} * \text{tg } \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \text{tg}^2 \alpha\right)^2}}$$

$$\text{Pro napětí v tlaku } k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 * f_{v,d}} * \text{tg } \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \text{tg}^2 \alpha\right)^2}}$$

osová síla	$\sigma_{0,ed}$ [kN]	$f_{0,d}$ [kPa]	$\sigma_{m,y,ed}$ [kPa]	$k_{m,\alpha}$	$f_{m,y,d}$ [kPa]	využití	posouzení
tah	15,84	16128	613,92	0,783	20160	0,04	vyhovuje
tlak	26,32	20160	14352,22	0,936	20160	<b>0,76</b>	vyhovuje

Tabulka 5.11 – Posouzení napětí v kritickém průřezu

### Stabilita prvku

Jelikož je prvek namáhán momentem a tlakovou silou, musí se při této kombinaci posoudit prvek na stabilitu.

Toho docílíme vzorcem:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * k_{m,\alpha} * f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{crit} = \begin{pmatrix} 1,56 - 0,75 * \lambda_{rel,m} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1 & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 104 \\ \lambda_{rel,m} & \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad \text{přičemž } \sigma_{m,crit} = \frac{\pi * \sqrt{E_{0,05} * I_z * G_{0,05} * I_{tor}}}{l_{ef} * W_y}$$

Ve výpočtu místo  $G_{0,05}$  je použit  $G_d$ , z důvodu, že hodnota  $G_{0,05}$  se nenachází v žádných použitých normách. Velikost  $l_{ef} = l * 0,9$ .



$L_{ef}$ [m]	$\sigma_{m,cit}$ [kPa]	$\lambda_{rel,m}$	$k_{crit}$
1,12	318539	0,296	1,00

Tabulka 5.12 – Výpočet součinitele  $k_{crit}$

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

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

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{kde} \quad \lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z}$$

$L_{cr}$ [m]	$\lambda_z$	$\lambda_{rel,z}$	$k_z$	$k_{c,z}$
1,24	15,909	0,078	0,492	1,00

Tabulka 5.13 – Výpočet součinitele  $k_{c,z}$

$\sigma_{c,0,ed}$ [kN]	$f_{c,0,d}$ [kPa]	$k_{c,z}$	$\sigma_{m,y,d}$ [kPa]	$k_{crit}$	$k_{m,\alpha}$	$f_{m,y,d}$ [kPa]	využití	posouzení
26,32	20160	1,00	14352,22	1,00	0,936	20160	0,58	vyhovuje

Tabulka 5.14 – Posouzení stability prvku v kritickém průřezu

### 5.3.2.3 Posouzení tlaku na spodních vláknech

Při kombinaci zatížení, nastává kombinace, kdy se na spodní straně objevují tlaková napětí. Je nutné pak posoudit vazník na tato namáhání, a v případě nutnosti zamezit vybočení spodní hrany. Výpočet je proveden stejným způsobem jako v předchozí kapitole, akorát s rozdílným místem průřezu.

Vzdálenost od kraje $x_m$ :	2,500 m
Výška v daném místě $h_{xm}$ :	1,150 m
A:	0,3105 m <sup>2</sup>
$I_z$ :	0,0019 m <sup>4</sup>
$i_z$ :	77,94 mm
$W_{el,y}$ :	0,060 m <sup>3</sup>
$I_{tor}$ :	0,006 m <sup>4</sup>

$N_{c,ed}$ [kN]	$\sigma_{c,0,ed}$ [kPa]	$M_{y,ed}$ [kN/m]	$\sigma_{m,y,d}$ [kPa]
17,12	55,14	11,85	199,12

Tabulka 5.15 – Napětí od ohybu a normálové síly



$L_{ef}$ [m]	$\sigma_{m,cit}$ [kPa]	$\lambda_{rel,m}$	$k_{crit}$
22,50	19426	1,201	0,66

Tabulka 5.16 – Výpočet součinitele  $k_{crit}$

$L_{cr}$ [m]	$\lambda_z$	$\lambda_{rel,z}$	$k_z$	$k_{c,z}$
25,00	320,75	1,575	1,805	0,37

Tabulka 5.17 – Výpočet součinitele  $k_{c,z}$

$\sigma_{c,0,rd}$ [kN]	$f_{c,0,d}$ [kPa]	$k_{c,z}$	$\sigma_{m,y,d}$ [kPa]	$k_{crit}$	$f_{m,y,d}$ [kPa]	využití	posouzení
55,14	20160	0,37	199,12	0,66	20160	<b>0,01</b>	vyhovuje

Tabulka 5.18 – Posouzení stability prvku při tlaku na spodních vláknech

Vzhledem k tomu, že průřez i bez jakéhokoli podpěry spodní hrany je na tlak na spodních vláknech podstatě nevyužitý, není třeba navrhovat žádné podélné svislé ztužení haly.

#### 5.3.2.4 Posouzení ve středové oblasti

U sedlových plnostěnných nosníků, je třeba posoudit středovou oblast, avšak jiným způsobem než by se posuzoval běžný vazník konstantního průřezu.

Napětí v ohybu mají splňovat podmínku:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

Ohybový moment se ve středové oblasti spočte jako:

$$\sigma_{m,d} = k_1 * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2}$$

Pro sedlový vazník pak platí:

$$k_1 = k_1 = 1 + 1,4 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_r = 1$$

$k_1$	$M_{ap,d}$ [kN/m]	$\sigma_{m,d}$ [kPa]	$k_r$	$f_{m,d}$ [kPa]	využití	posouzení
1,124	1713,74	12512,18	1,00	20160	0,62	vyhovuje

Tabulka 5.19 – Posouzení napětí v ohybu ve středové oblasti

Je třeba také posoudit tah kolmo k vláknům ve středové oblasti podle:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}$$

$$k_{vol} = \left( \frac{V_0}{V} \right)^2 \quad k_{dis} = 1,4$$



referenční objem  $V_0$ : 0,01 m<sup>3</sup>  
namáhaný objem  $V$ : 1,06 m<sup>3</sup>

A napětí v tahu kolmo k vláknům vychází z:

$$\sigma_{m,d} = k_p * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2}$$
$$k_p = k_5 = 0,2 * \operatorname{tg} \alpha_{ap}$$

$k_p$	$M_{ap,d}$ [kN/m]	$\sigma_{t,90,d}$ [kPa]	$k_{dis}$	$k_{vol}$	$f_{t,90,d}$ [kPa]	využití	posouzení
0,014	1713,74	155,78	1,4	0,393	360	0,79	vyhovuje

Tabulka 5.20 – Posouzení napětí v tahu kolmo k vláknům ve středové oblasti

### 5.3.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP)

Pro posouzení vazníku na MSP platí zcela stejné limitní podmínky a stejný postup se vzorci, jako tomu bylo při posuzování vaznic na MSP.

Okamžitý průhyb

Stálé zatížení  $w_{g,inst}$ : 19 mm  
Náh. sníh  $w_{q,s,inst}$ : 62 mm  
 $w_{inst}$ : 81 mm

prvek	délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
vazník	25 000	81	83	<b>0,97</b>	vyhovuje

Tabulka 5.21 – Posouzení vazníku na okamžitý průhyb

Finální průhyb

Stálé zatížení  $w_{g,fin}$ : 35 mm  
Náh. sníh  $w_{q,s,fin}$ : 62 mm  
 $w_{fin}$ : 96 mm

prvek	délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
vazník	25 000	96	167	<b>0,58</b>	vyhovuje

Tabulka 5.22 – Posouzení vazníku na finální průhyb



## 5.4 Návrh a posouzení vybraných detailů

Při této variantě vazníku, vznikají zajímavá místa na posouzení v oblasti montážního spoje a v místě uložení na podporu.

Rozteče pro svorníky vždy splňují minimální hodnoty, přičemž zde jsou zapsány již skutečné hodnoty vyskytující se ve výkresech.

### 5.4.1 Montážní spoj vazníku

Spoj vzniká důsledkem rozdělení vazníku na tři části kvůli lehčí dopravě.

Zároveň při návrhu byla snaha vyhnout se kritickému průřezu, kde by byl spoj nejvíce namáhán. I přes to, však jsou ve spoji značné síly, které je třeba přenést.

Spoj se skládá ze dvou částí, jež se nachází jedna u horního a druhá u spodního okraje vazníku. Každá část obsahuje trojici plechů (jeden uprostřed a dva ze stran) které jsou následně propojeny s vazníkem pomocí svorníků.

Tato varianta je pro velké vazníky vhodnější než používat plechy přes celou výšku vazníku, kvůli odlišným vlastnostem dřeva a ocele.

Tento způsob řešení nám dále dovoluje převést moment na normálové síly pomocí dvojice sil na rameni mezi středy obou částí a těžnicí vazníku.

$N_{ed}$ :	-10,22 kN	celková síla:	
$V_{ed}$ :	74,60 kN	$F_{x,ed}$ :	1523,81 kN
$M_{ed}$ :	1581,70 kNm	$F_{z,ed}$ :	74,60 kN
$r$ :	0,523 m	$F_{ed}$ :	<b>1525,63 kN</b>
$F_{m,ed}$ :	1513,59 kN	úhel síly:	2,8 °

Návrh: Svorník M30, 6.8.

$d$ :	30 mm	$a_1$ :	150 mm
$d_0$ :	33 mm	$a_2$ :	120 mm
$f_y$ :	540 MPa	$a_{3,t}$ :	210 mm
$f_u$ :	600 MPa	$a_{3,c}$ :	210 mm
$\rho_k$ :	425 kg/m <sup>3</sup>	$a_{4,t}$ :	100 mm
uhel :	2,8 °	$a_{4,c}$ :	100 mm
střihů $n_s$ :	4	$t_{1/2}$ :	130 mm

### Návrh desek P 560/10

t: 10 mm

A [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>rd</sub> [kN]	F <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
5600	1988,00	507,94	<b>0,26</b>	vyhovuje

Tabulka 5.23 – Posouzení spojovací desky

Pro další výpočet je třeba hodnota charakteristického plastického momentu únosnosti pro svorník:

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

Charakteristickou hodnotu pevnosti v otláčení  $f_{h,0,k}$  jež se spočte stejně jako u vaznic a z ní plynoucí pevnost v otláčení pod úhlem  $\alpha$ :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{kde } k_{90} = 1,35 + 0,015d$$

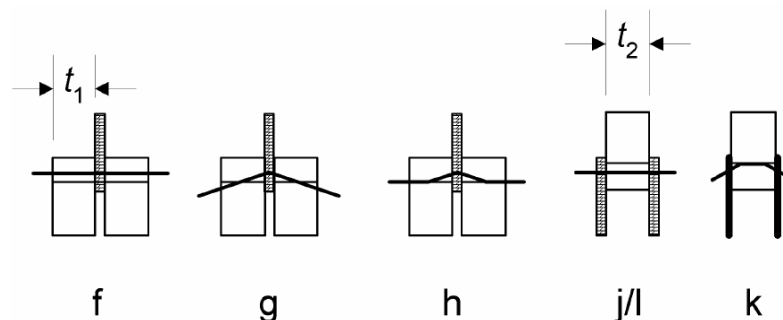
$M_{y,rk}$ : 1246774 kNm

$k_{90}$ : 1,8

$f_{h,0,k}$ : 24,40 MPa

$f_{h,\alpha,k}$ : **24,35** MPa

Při tomto typu spoje, může nastat několik typů porušení, přičemž nás zajímá hodnota nejmenší síly, která je třeba na vznik kteréhokoliv z nich.



Obrázek 5.3 - Způsoby porušení pro spoje ocel – dřevo [8]

$$F_{v,rk} = \min \left( \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d \quad (f) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,rk} * f_{h,1,k} * d} \quad (h) \\ 0,5 * f_{h,2,k} * t_2 * d \quad (j) \\ 1,15 \sqrt{2 * M_{y,rk} * f_{h,2,k} * d} \quad (k) \end{array} \right)$$



$F_{v,rk}(f)$ :	94,96 kN	$F_{v,rk}(j)$ :	94,96 kN
$F_{v,rk}(h)$ :	69,41 kN	$F_{v,rk}(k)$ :	49,08 kN
$F_{v,rk}$ :	49,08 kN		
$F_{v,rd}$ :	<b>30,20 kN</b>		

Jelikož v návrhu se vyskytují svorníky v řadách, je třeba v posouzení zahrnout jen efektivní počet v jedné řadě dle:

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

V závislosti na této skutečnosti bylo třeba navrhnout dostatečný počet svorníků, a optimalizovat počet do řad s příslušnými roztečemi.

$$n_{req} = \frac{F_{ed}}{n_s * F_{v,rd}}$$

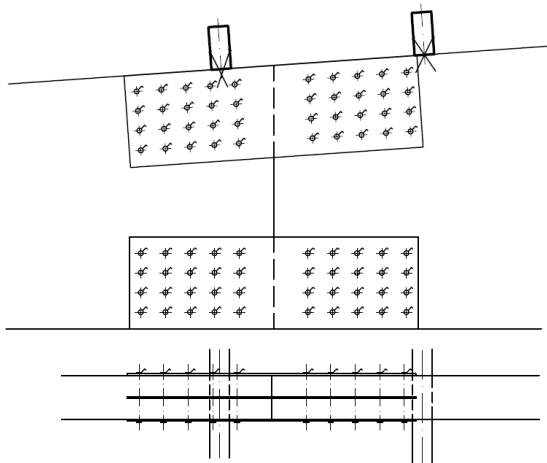
$n_{req}$ :	12,6	$n_{dim}$ :	<b>20</b>
$n_{ef}$ :	3,35		

Posouzení pak vychází ze vztahu:

$$\frac{F_{ed}}{F_{v,rd} * n_{ef,cel} * n_s} \leq 1$$

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
30,20	13,4	1525,63	<b>0,94</b>	vyhovuje

Tabulka 5.24 – Posouzení svorníků v montážním spoji



Obrázek 5.4 - Montážní spoj vazníku varianty B

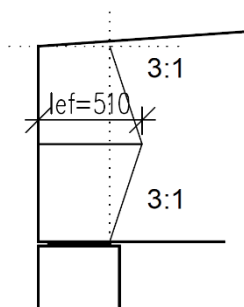
## 5.4.2 Napojení vazníku na sloup

Uložení vazníku na sloup je kloubové, a je řešeno pomocí ocelové patky (tvaru obráceného T). Většina zatížení je přenášena dotykem a tlakem v podpoře. Výjimku tvoří jen případ kombinace zatížení, kdy ve spoji můžou vznikat síly zvedající vazník, a proti tomuhle působení je styčník pojištěn svorníky.

### 5.4.2.1 Tlak kolmo k vláknům

Jak je tomu u dřevěných vaznic, tak stejně i zde je dřevěný prvek namáhaný lokálně, což vede k nutnosti posoudit prvek v podpoře na tlak kolmo k vláknům.

Posouzení je stejné, akorát místo délky podpory, si můžeme dovolit uvážit roznášení zatížení po výšce průběhu, a tedy navýšit délku podpory z  $l$  na  $l_{ef}$ .



Obrázek 5.5 - určení hodnoty  $l_{ef}$

$l_{ef}$ [m]	A [m <sup>2</sup> ]	$V_{ed}$ [kN]	$\sigma_{c,90,d}$ [kPa]	$k_{c,90}$	$f_{c,90,d}$ [kPa]	využití	posouzení
0,51	0,14	265,60	1928,83	1,75	1800,00	0,61	vyhovuje

Tabulka 5.25 – Posouzení vazníku v tlaku kolmo na vlákna v podpoře

### 5.4.2.2 Svorníky

Svorníky slouží pouze k zabránění nadzvednutí vazníku a aktivují se pouze při obrácení směru posouvajících sil u podpory.

Posouzení probíhá stejným způsobem, jako je tomu u montážního spoje. Je třeba ale upravit vzorce pro výpočet sil, nutných pro porušení, kvůli jiným způsobům porušení. Dále není třeba určovat  $n_{ef}$  z důvodu působení síly kolmo na směr vláken.



### Posouzení ocelové desky

Návrh desky P 300/10

t: 10 mm

A [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>rd</sub> [kN]	F <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
3000	1065,00	9,42	<b>0,01</b>	vyhovuje

Tabulka 5.26 – Posouzení desky

### Posouzení svorníků

Návrh: Svorník M12 , 6.8.

d:	12 mm	a <sub>1</sub> :	200 mm
d <sub>0</sub> :	14 mm	a <sub>2</sub> :	200 mm
f <sub>y</sub> :	540 MPa	a <sub>3,t</sub> :	150 mm
f <sub>u</sub> :	600 MPa	a <sub>4,t</sub> :	150 mm
ρ <sub>k</sub> :	425 kg/m <sup>3</sup>	a <sub>4,c</sub> :	150 mm
uhel :	90,0 °	t <sub>1</sub> :	130 mm
střihů n <sub>s</sub> :	2		
M <sub>y,rk</sub> :	115118 kNm		
k <sub>90</sub> :	1,53		
f <sub>h,0,k</sub> :	30,67 MPa		
f <sub>h,α,k</sub> :	<b>20,04</b> MPa		

Upravené vzorce pro možnosti porušení:

$$F_{v,rk} = \min \left( \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d \quad (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right) \quad (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,rk} * f_{h,1,k} * d} \quad (h) \end{array} \right)$$

F <sub>v,rk</sub> (f):	31,27 kN	n <sub>req</sub> :	0,6
F <sub>v,rk</sub> (g):	14,19 kN	n <sub>dim</sub> :	2
F <sub>v,rk</sub> (h):	12,10 kN		
F <sub>v,rk</sub> :	12,10 kN		
F <sub>v,rd</sub> :	<b>7,45</b> kN		

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{dim}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
7,45	2,0	9,42	<b>0,32</b>	vyhovuje

Tabulka 5.27 – Posouzení svorníků v podpoře

## 5.5 Ztužení konstrukce

Obdobně jako u varianty A, i zde je třeba si poradit se silami působící od zatížení větrem v příčném směru a sil vzniklých využitím vaznic pro ztužení v úrovni střešního pláště.

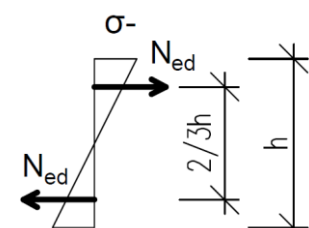
Z posouzení tlakových napětí na spodní hraně v kapitole 5.3.2, vychází dostatečná únosnost vazníku, tudíž není třeba zkracovat délku vazníku pro výpočet podélným svislým ztužením.

Také kvůli masivnosti použitých dřevěných vaznic, není potřeba střechu vybavovat podélným střešním ztužením, které by bránilo krajním vaznicím ve vybočení.

### 5.5.1 Zatížení od vybočení

Ač není třeba počítat síly od vybočení na dolní straně vazníku (není třeba podélných svislých ztužidel), stále zbývá vypočítat síly působící od vybočení na horní straně, jež musí přenášet vaznice.

Jelikož vazník je namáhán především momentem, a aby bylo možné síly vzniklé vybočením spočítat obdobně jako u ocelového příhradového vazníku, je třeba jej převést na normálovou sílu. Pro převod použijeme dvojici sil na rameni, s délkou ramene viz. obrázek. Výpočet síly od momentu je proveden v kritickém průřezu, což znamená, že se jedná o největší sílu od vybočení, která je po zbytku vazníku menší, a tudíž se jedná o zjednodušení, které je na straně bezpečnosti. Zbytek výpočtu sil je totožný jak v předchozí variantě.

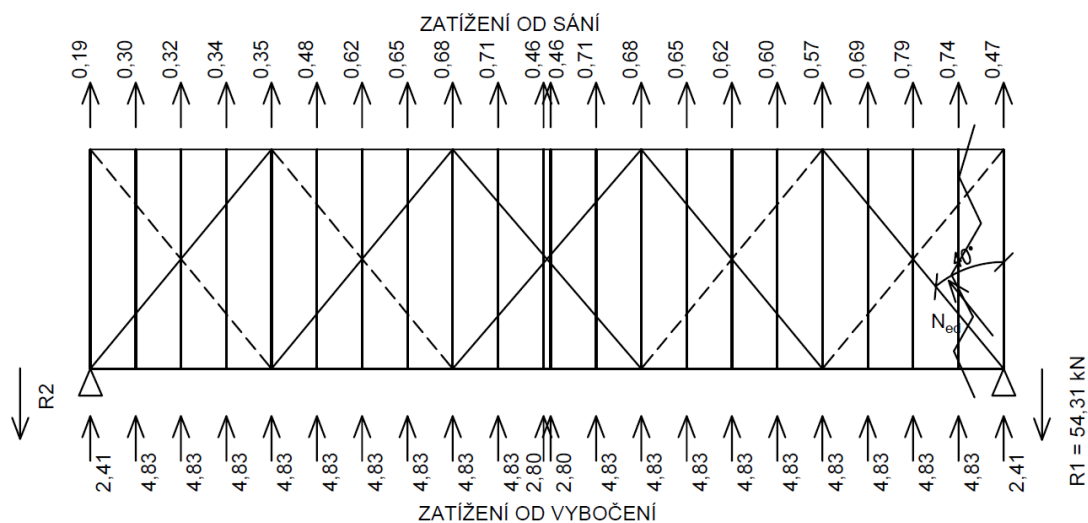


Obrázek 5.6 - Dvojice sil vyvolaná momentem

$l$ :	25 m	$k_l$ :	0,775
$k_{f,3}$ :	30	$n$ :	7
$M_{ed}$ :	1124,5 kNm	$r$ :	0,477 m
$N_{m,ed}$ :	1072,8 kN	$N_{c,ed}$ :	3,77 kN
$N_{ed}$ :	<b>1076,6 kN</b>	$q_d$ :	<b>7,78 kN/m</b>
Vzdálenost vaznic:			1,24 m
Síla ve vaznici $N_{ed}$ :			<b>9,65 kN</b>

## 5.5.2 Příčné střešní ztužidlo

I zde je návrh velice obdobný (využití táhel) jako u varianty A. Taktéž jsou navržena ztužení na obou stranách, a tedy síla působící ve vaznicích je při výpočtu táhel poloviční. Kvůli jiné vzdálenosti vaznic, velikosti zatížení od vybočení a úhlu táhel, vzniká jiné schéma zatížení v krajním poli.



Obrázek 5.7 - Síly působící na příčná a stěnová ztužidla

R 54,31 kN

$N_{ed}$ : 67,58 kN

Návrh:

Táhla Macalloy M16

Průměr táhla d: 16 mm

Min. mez kluzu  $N_{rd}$ : 69,00 kN

označení	$N_{rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
M16	69,00	67,58	<b>0,98</b>	vyhovuje

Tabulka 5.28 – Posouzení táhla v příčném ztužení



### 5.5.3 Podélné stěnové ztužení

Ani zde se výpočet neliší od posouzení v kapitole 4.4.4 a z tužení je řešeno stejným způsobem. A to pomocí táhel přenášející vodorovné síly ve střešní rovině do základů.

Horizontální síla  $H_{ed}$ : 54,31 kN  
Úhel: 53 °  
Osová síla  $N_{ed}$ : 90,24 kN

Návrh:

Táhla Macalloy M18

Průměr táhla  $d$ : 18 mm

Min. mez kluzu  $N_{rd}$ : 108,00 kN

označení	$N_{rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
M18	108,00	90,24	<b>0,84</b>	vyhovuje

Tabulka 5.29 – Posouzení táhla v podélném stěnovém ztužení

## 5.6 Montáž

Výše zmíněný návrh vazníku zahrnující jeho rozdělení na tři části kvůli vhodnější dopravě, je třeba na stavbě smontovat pomocí navržených spojovacích prostředků.

Poté můžou být, již kompletní vazníky, postupně usazovány na sloupy. Vhodné je začít od kraje, kde se pro stabilizaci dají použít vyžděné části stavby a zároveň se také použije zavětrování pomocí dřevěných latí. Při ukládání dalších vazníků se budou postupně propojovat vaznicemi pro jejich vzájemnou stabilizaci.

Následně již zbývá uložení střešních izolačních panelů KS1000 RW.



## 6 Varianta C: Dřevěný příhradový vazník

### 6.1 Popis

Třetí varianta kombinuje prvky jak ocelového příhradového vazníku, tak dřevěného sedlového vazníku. Při obou předchozích variantách byla jak geometrie, tak způsob namáhání a posouzení zcela odlišný. Tentokrát je snaha obě varianty zkombinovat a to stylem, kdy se využije geometrie příhradové konstrukce, ale použitým materiálem je dřevo.

Kvůli zvolenému materiálu jsou i zde použity dřevěné vaznice, jež jsou navrženy a posouzené v kapitole 5.2.

### 6.2 Návrh a posouzení geometrie

Podmínky pro návrh se nikterak neliší od podmínek pro předchozí varianty.

Kvůli příhradové konstrukci je většina prvků namáhána výhradně normálovou silou, popřípadě v některých případech kombinací normálové síly a momentu, na něž jsou prvky posuzovány.

Taktéž i tato konstrukce vazníku je řešena na tři části kvůli přepravě, což má za následek vznik montážních spojů.

Materiál použitý pro konstrukci vazníku je:

#### KVH C30

$f_{m,k}$ :	30,0 MPa	$f_{m,d}$ :	20,8 MPa
$f_{t,0,k}$ :	19,0 MPa	$f_{t,0,d}$ :	13,2 MPa
$f_{t,90,k}$ :	0,4 MPa	$f_{t,90,d}$ :	0,3 MPa
$f_{c,0,k}$ :	24,0 MPa	$f_{c,0,d}$ :	16,6 MPa
$f_{c,90,k}$ :	2,7 MPa	$f_{c,90,d}$ :	1,9 MPa
$f_{v,k}$ :	4,0 MPa	$f_{v,d}$ :	2,8 MPa
E:	12000 MPa	$E_{0,05}$ :	8000 MPa
G:	750 MPa	$G_d$ :	519,2 MPa
$k_{mod}$ :	0,9	$k_{def}$ :	0,8



## 6.2.1 Výpočetní model

Model pro výpočet vnitřních sil a chování konstrukce byl vytvořen, stejně jako je tomu v předchozích variantách, výpočetním programem s výsledky nacházejícími se v příloze [Příloha E].

## 6.2.2 Posouzení na mezní stav únosnosti [MSÚ]

Posouzení jednotlivých prvků je obdobné jako u varianty A. postup je taktéž stejný, což znamená, že jako první je vypočtená únosnost jednotlivých prvků, a následně porovnána s působícím zatížením.

### 6.2.2.1 Namáhání tahem

Únosnost v tahu rovnoběžně s vlákny je počítána jako:

$$N_{t,rd} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k} * A}{\gamma_M} = f_{c,0,d} * A$$

označení	A [mm <sup>2</sup> ]	N <sub>t,rd</sub> [kN]
horní pás	52800	694,52
dolní pás	66000	868,15
diag. střed	17600	231,51
diag. kraj	26400	347,26
sloup. střed	17600	231,51
sloupky kraj	48400	636,65

Tabulka 6.1 – Výpočet únosnosti prvků v tahu

označení	N <sub>t,rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
horní pás	694,52	46,71	0,07	vyhovuje
dolní pás	868,15	723,54	0,83	vyhovuje
diagonály střed	231,51	44,52	0,19	vyhovuje
diagonály kraj	347,26	305,62	<b>0,88</b>	vyhovuje
sloupky střed	231,51	2,63	0,01	vyhovuje
sloupky kraj	636,65	21,08	0,03	vyhovuje

Tabulka 6.2 – Posouzení prvků v tahu rovnoběžně s vlákny





### 6.2.2.2 Namáhání tlakem

Vlivem tlakového namáhání, vzniká u takto namáhaných prvků tendence k vybočení. Proto je nutné zahrnout do výpočtu součinitele vzpěru, které do něj tuto skutečnost zahrnují.

Jelikož materiálem je dřevo, některé prvky se posuzují obdobně či stejně jako ve variantě B. Tak tomu je i se součinitelem vzpěrnosti  $k_{c,min(z,y)}$ , který je spočten zcela stejně jako v kapitole 5.3.2.2.

Poté již únosnost na vzpěrný tlak je rovna:

$$N_{c,rd} = k_{c,min(y,z)} * f_{c,0,d} * A$$

označení	A [mm <sup>2</sup> ]	L <sub>cr</sub> [m]	i <sub>min(y,z)</sub> [mm]	λ <sub>min(y,z)</sub>	λ <sub>rel,min(y,z)</sub>	k <sub>z,min(y,z)</sub>	k <sub>c,min(y,z)</sub>	N <sub>c,rd</sub> [kN]
horní pás	52800	1,24	64,00	19,38	0,338	0,561	0,99	869,88
dolní pás	66000	8,68	64,00	135,63	2,365	3,502	0,16	180,21
diag. střed	17600	2,43	17,00	143,00	2,493	3,827	0,15	43,45
diag. kraj	26400	2,00	35,00	57,23	0,998	1,068	0,69	303,11
sloup. střed	17600	2,18	17,00	128,06	2,233	3,186	0,18	53,58
sloupky kraj	48400	1,40	64,00	21,88	0,381	0,581	0,98	789,20

Tabulka 6.3 – Výpočet únosnosti prvků ve vzpěrném tlaku

označení	N <sub>c,rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
horní pás	869,88	733,01	0,84	vyhovuje
dolní pás	180,21	66,62	0,37	vyhovuje
diagonály střed	43,45	20,89	<b>0,48</b>	vyhovuje
diagonály kraj	303,11	264,22	0,87	vyhovuje
sloupky střed	53,58	17,06	<b>0,32</b>	vyhovuje
sloupky kraj	789,20	258,02	<b>0,33</b>	vyhovuje

Tabulka 6.4 – Posouzení prvků na vzpěrný tlak

### 6.2.2.3 Namáhání smykem

Ač se jedná o příhradovou konstrukci, tak vlivem umístění vaznic v krajním poli mimo styčníky dochází ke vzniku posouvajících sil. Je tedy nutné takto zatížené styčníky posoudit na toto namáhání. Posouzení i zde probíhá stejně jako je tomu u varianty B v kapitole 5.2.2.1.

označení	V <sub>ed</sub> [kN]	τ <sub>v,d</sub> [kPa]	f <sub>v,d</sub> [kPa]	využití	posouzení
horní pás	18,23	772,98	2769,23	0,28	vyhovuje
dolní pás	4,34	147,22	2769,23	0,05	vyhovuje

Tabulka 6.5 – Posouzení ve smyku



#### 6.2.2.4 Namáhání kombinací ohybu a normálové síly

Umístění vaznic mimo styčníky způsobuje vznik posouvajících sil, na něž jsou prvky již posouzeny, ale posouvající síly sebou přináší i vznik momentu. Tudíž dochází ke kombinaci ohybu a normálových sil.

Únosnost prvků v ohybu je snížena příčnou stabilitou pomocí součinitele  $k_{crit}$  a i zde se opakuje výpočet daného součinitele dle 5.3.2.2.

označení	$L_{ef}$ [m]	$I_z$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{tor}$ [m <sup>4</sup> ]	$W_y$ [m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{m,crit}$ [kPa]	$\lambda_{rel,m}$	$k_{crit}$	$M_{y,rd}$ [kNm]
horní pás	1,12	2,13E-03	3,90E-04	2,80E-03	1867533	0,127	1,00	58,15
dolní pás	7,81	2,66E-04	5,85E-04	3,30E-03	98035	0,553	1,00	68,54

Tabulka 6.76– Výpočet únosnosti prvků v ohybu

Jelikož součinitel  $k_{crit} = 1$ , tak to znamená, že prvek není ovlivněn ztrátou stability při kombinaci ohybu a tlakové působící síly.

#### Posouzení tahu za ohybu

Pro posouzení na kombinaci ohybu a tahové normálové síly platí:

$$\frac{N_{t,ed}}{N_{t,rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{y,rd}} \leq 1$$

označení	$N_{t,rd}$ [kN]	$N_{t,ed}$ [kN]	$M_{y,rd}$ [kNm]	$M_{y,ed}$ [kNm]	využití	posouzení
horní pás	694,52	46,71	58,15	0,23	0,07	vyhovuje
dolní pás	868,15	723,54	68,54	6,62	<b>0,93</b>	vyhovuje

Tabulka 6.7 – Posouzení na kombinaci ohybu a tahové normálové síly

#### Posouzení tlaku za ohybu

Při posuzování na kombinaci ohyb a tlakové normálové síly, je třeba zohlednit součinitel vzpěru  $k_{c,y}$ , který však již je započítán do únosnosti na vzpěrný tlak  $N_{c,rd}$ .

Výpočet je proveden podle:

$$\frac{N_{c,ed}}{N_{c,rd}} + \left( \frac{M_{y,ed}}{M_{y,rd}} \right)^2 \leq 1$$



označení	$N_{c,rd}$ [kN]	$N_{c,ed}$ [kN]	$M_{y,rd}$ [kN/m]	$M_{y,ed}$ [kN/m]	využití	posouzení
horní pás	869,88	731,27	58,15	4,26	<b>0,85</b>	vyhovuje
dolní pás - kraj	180,21	54,71	68,54	0,30	0,30	vyhovuje
dolní pás - střed	180,21	66,62	68,54	0,32	0,37	vyhovuje

Tabulka 6.8 – Posouzení na kombinaci ohybu a tlakové normálové síly

### 6.2.3 Posouzení na mezní stav použitelnosti (MSP)

Jedná se o konstrukci ze dřeva, a tudíž je třeba posouzení MSP tomu podvolit. Postupuje se stejně, jako tomu je u dřevěných vaznic, či dřevěného plnostěnného vazníku. I zde stále platí stejné limitní hodnoty pro průhyb, jež jsou je u  $w_{inst} = l/300$  a u  $w_{fin} = l/150$ .

#### Okamžitý průhyb

Stálé zatížení $w_{g,inst}$ :	10 mm
Náh. sníh $w_{q,s,inst}$ :	48 mm
$w_{inst}$ :	59 mm

prvek	délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
vazník	25 000	59	83	<b>0,70</b>	vyhovuje

Tabulka 6.9 – Posouzení vazníku na okamžitý průhyb

#### Finální průhyb

Stálé zatížení $w_{g,fin}$ :	10 mm
Náh. sníh $w_{q,s,fin}$ :	48 mm
$w_{fin}$ :	59 mm

prvek	délka [mm]	$\delta_z$ [mm]	$w_{inst,lim}$ [mm]	využití	posouzení
vazník	25 000	59	167	<b>0,35</b>	vyhovuje

Tabulka 6.10 – Posouzení vazníku na finální průhyb



## 6.3 Návrh a posouzení vybraných detailů

Původní představa a návrh detailů vazníku, byl jako řešení pomocí desek s prolisovanými trny (gangnail), a jen v případě montážního spoje a v místě napojení vazníku na sloup, by byly detaily řešeny jinak.

Většinu styčniců, nacházejících se uprostřed vazníku, nebyl tímto způsobem problém navrhnout. Problém však nastává v krajních styčnicích, kde v diagonálách působí značné síly, které už desky s prolisovanými trny nejsou schopny přenášet a tyto styčnice pak jsou navrženy jako kolíkové.

### 6.3.1 Montážní spoj dolního vazníku

Ve spoji se vyskytuje moment, který je opět přepočten na normálovou sílu pomocí dvojice sil a následně tato síla je sečtena s působící normálovou silou vzniklou v důsledku příhradové konstrukce.

Působící moment $M_{ed}$ :	7,32 kNm
Rameno vnitřních sil $r$ :	85 mm
Síla vzniklá od momentu $F_m$ :	43,06 kN
Stávající $N_{ed}$ :	673,85 kN

Kvůli velkým normálovým silám, které působí ve spoji, bylo obtížné navrhnout spoj, který by si s tím poradil. Nakonec bylo použito řešení, kdy je použito 5 ocelových desek rozmístěných pravidelně po šířce a následně spojeno svorníky. Původně bylo v plánu použít kolíky, avšak pro průměry, které jsou potřeba ve spoji (aby nebylo potřeba obrovské množství spojovacích prostředků), se smluveně mezi výrobcí nevyrábí kombinace takových průměrů a potřebné délce.

Rozmístění spojovacích prostředků je do tří řad o dvou sloupcích.

Dále pak návrh a posouzení spoje probíhá zcela stejně, jak tomu bylo u posouzení montážního spoje dřevěného plnostěnného vazníku v kapitole 5.4.1.

$d$ :	20 mm	$a_1$ :	120 mm
$d_0$ :	22 mm	$a_2$ :	85 mm
$f_y$ :	640 MPa	$a_{3,t}$ :	140 mm
$f_u$ :	800 MPa	$a_{3,c}$ :	140 mm
$\rho_k$ :	460 kg/m <sup>3</sup>	$a_{4,t}$ :	65 mm



uhel : 0,0                       $a_{4,c}$ : 65 mm  
střihů  $n_s$ : 8                       $t_1$ : 45 mm  
 $M_{y,rk}$ : 579281 kNm  
 $f_{h,0,k}$ : **30,18** MPa

Únosnost prvku dle typu porušení pak je:

$F_{v,rk}(f)$ : 27,16 kN                       $F_{v,rk}(j)$ : 27,16 kN  
 $F_{v,rk}(h)$ : 43,00 kN                       $F_{v,rk}(k)$ : 30,41 kN  
 $F_{v,rk}$ : 27,16 kN  
 $F_{v,rk}$ : **16,71** kN  
 $n_{req}$ : 5,4                       $n_{dim}$ : **6**  
 $n_{ef}$ : 1,54

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
16,71	6,2	716,91	<b>0,87</b>	vyhovuje

Tabulka 6.11 – Posouzení svorníků v montážním spoji DP

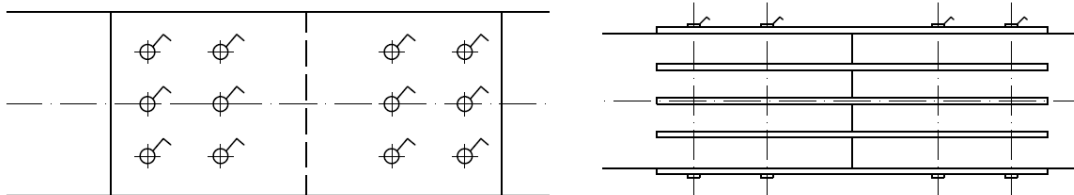
A nesmí chybět posouzení jedné desky na působící zatížení.

Návrh desek P 280/10

$t$ : 10 mm

$N_{ed}$ [kN]	$N_{rd}$ [kN]	$M_{ed}$ [kNm]	$W_{pl,y}$ [m <sup>3</sup> ]	$M_{y,rd}$ [kNm]	využití	posouzení
177,83	994	2,44	1,31E-03	457,33	<b>0,18</b>	vyhovuje

Tabulka 6.12 – Posouzení spojovací desky DP



Obrázek 6.1 - Montážní spoj dolního pásu

### 6.3.2 Montážní spoj horního pásu

Postup je opět identický jako je tomu v předchozí kapitole, rozdílný je akorát průměr spojovacího prostředku a jeho jiné rozmístění, které je tentokrát ve dvou řadách po třech sloupcích.

d:	20 mm	a <sub>1</sub> :	120 mm
d <sub>0</sub> :	22 mm	a <sub>2</sub> :	85 mm
f <sub>y</sub> :	640 MPa	a <sub>3,t</sub> :	140 mm
f <sub>u</sub> :	800 MPa	a <sub>3,c</sub> :	140 mm
ρ <sub>k</sub> :	460 kg/m <sup>3</sup>	a <sub>4,t</sub> :	65 mm
uhel :	0,0	a <sub>4,c</sub> :	65 mm
střihů n <sub>s</sub> :	8	t <sub>1</sub> :	45 mm
M <sub>y,rk</sub> :	579281 kNm		
f <sub>h,0,k</sub> :	<b>30,18</b> MPa		

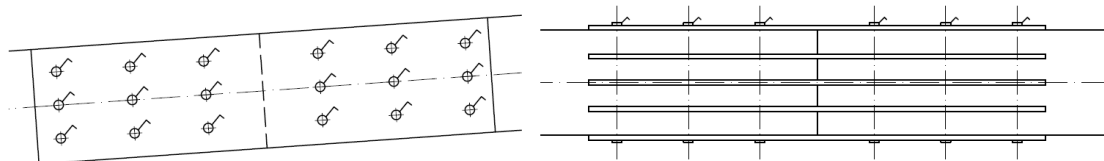
Možnosti porušení zůstávají identické s předchozím posouzením.

F <sub>v,rk(f)</sub> :	27,16 kN	F <sub>v,rk(j)</sub> :	27,16 kN
F <sub>v,rk(h)</sub> :	43,00 kN	F <sub>v,rk(k)</sub> :	30,41 kN
F <sub>v,rk</sub> :	27,16 kN		
F <sub>v,rk</sub> :	<b>16,71</b> kN		
n <sub>req</sub> :	5,4	n <sub>dim</sub> :	<b>6</b>
n <sub>ef</sub> :	1,54		

F <sub>v,rd</sub> [kN]	n <sub>ef,cel</sub>	F <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
16,71	6,2	716,91	<b>0,87</b>	vyhovuje

Tabulka 6.13 – Posouzení svorníků v montážním spoji HP

Kvůli působícím silám v DP a HP, které jsou velice obdobné (a deska má dostatečnou rezervu v únosnosti), je posouzení desky spočteno v předchozí kapitole.



Obrázek 6.2 - Montážní spoj horního pásu



### 6.3.3 Montážní spoj diagonály

Tento spoj nastává v místě, kde je spodní a horní pás rozdělen Montážním spojem na části. Tedy je nutné mít navrženo připojení diagonály, které bude možné provést spolu při sestavování vazníku.

Toho je docíleno pomocí ocelové desky, která je v zářezu kotvená k dolnímu, respektive k hornímu pásu a na ni se následně nasadí diagonála taktéž na zářez.

Návrh spojovacích prostředků v diagonále je:

Návrh: svorníky M12, 8.8.

d:	12 mm	a <sub>1</sub> :	100 mm
d <sub>0</sub> :	14 mm	a <sub>2</sub> :	100 mm
f <sub>y</sub> :	640 MPa	a <sub>3,t</sub> :	97 mm
f <sub>u</sub> :	800 MPa	a <sub>3,c</sub> :	97 mm
ρ <sub>k</sub> :	460 kg/m <sup>3</sup>	a <sub>4,t</sub> :	40 mm
uhel :	0,0	a <sub>4,c</sub> :	40 mm
střihů n <sub>s</sub> :	2	t <sub>1</sub> :	105 mm
M <sub>y,rk</sub> :	153491 kNm		
f <sub>h,0,k</sub> :	<b>33,19</b> MPa		

Možnosti porušení jsou tentokrát však jiné, a ty se spočítají jako:

$$F_{v,rk} = \min \left( \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d \quad (f) \\ f_{h,1,k} * t_1 * d * \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right) \quad (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,rk} * f_{h,1,k} * d} \quad (h) \end{array} \right)$$

F <sub>v,rk</sub> (f):	41,82 kN
F <sub>v,rk</sub> (g):	19,36 kN
F <sub>v,rk</sub> (h):	17,98 kN
F <sub>v,rk</sub> :	17,98 kN
F <sub>v,rd</sub> :	<b>11,07</b> kN
n <sub>req</sub> :	2,0
n <sub>ef</sub> :	2,41

n<sub>dim</sub>: **3**



$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
11,07	2,4	44,52	<b>0,84</b>	vyhovuje

Tabulka 6.14 – Posouzení svorníků v montážním spoji diagonály v diagonále

A návrh spojovacích prostředků v dolním pásu je obdobný, akorát je třeba zohlednit působení síly šikmo k vláknům pod úhlem  $\alpha$ .

Návrh: kolíky M10 , 8.8.

d:	10 mm	$a_1$ :	50 mm
$d_0$ :	10 mm	$a_2$ :	30 mm
$f_y$ :	640 MPa	$a_{3,t}$ :	80 mm
$f_u$ :	800 MPa	$a_{3,c}$ :	80 mm
$\rho_k$ :	460 kg/m <sup>3</sup>	$a_{4,t}$ :	40 mm
uhel :	53,0	$a_{4,c}$ :	30 mm
střihů $n_s$ :	2	$t_1$ :	105 mm
$M_{y,rk}$ :	95546 kNm		
$f_{h,0,k}$ :	33,95 MPa	$k_{90}$ :	1,5
$f_{h,\alpha,k}$ :	<b>25,74</b> MPa		

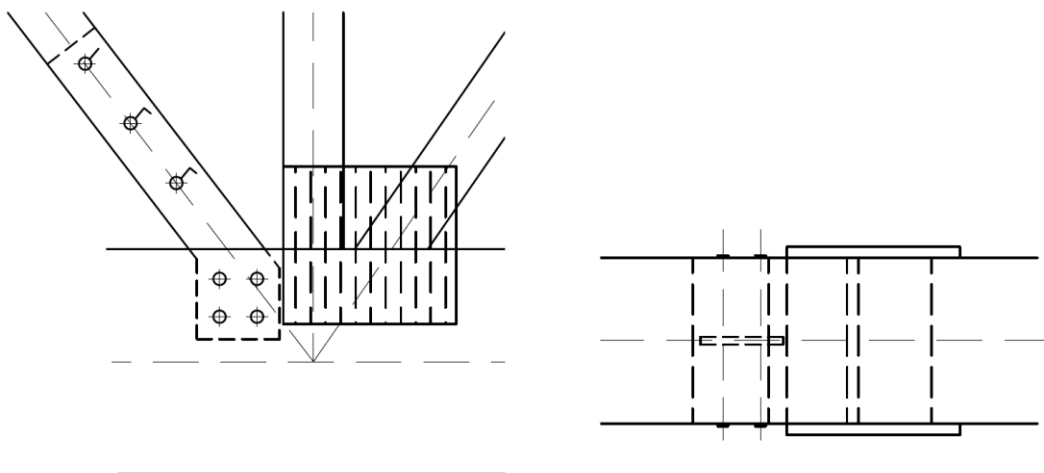
K porušení dochází opět stejným způsobem jako v diagonále.

$F_{v,rk}(f)$ :	35,65 kN		
$F_{v,rk}(g)$ :	16,04 kN		
$F_{v,rk}(h)$ :	13,10 kN		
$F_{v,rk}$ :	13,10 kN		
$F_{v,rd}$ :	<b>8,06</b> kN		
$n_{req}$ :	2,8	$n_{dim}$ :	<b>4</b>
$n_{ef}$ :	1,47		

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
8,06	2,9	44,52	<b>0,94</b>	vyhovuje

Tabulka 6.15 – Posouzení kolíků v montážním spoji diagonály v DP





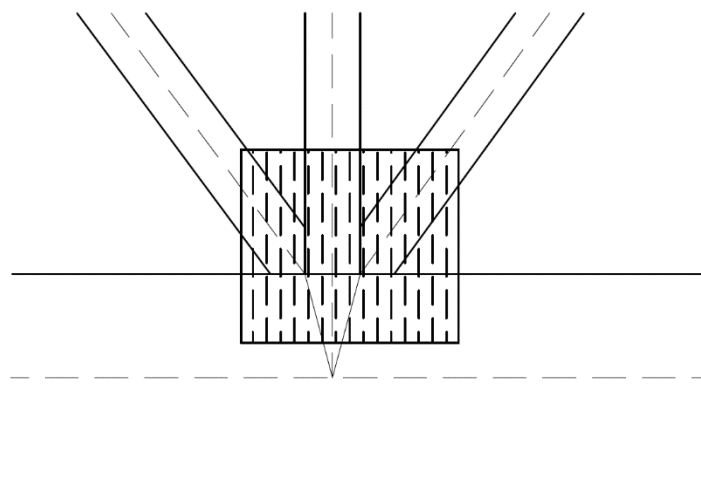
Obrázek 6.3 - Montážní spoj diagonály s DP

#### 6.3.4 Prostřední styčník na dolním pásu

Jak je již zmíněno, styčníky by měly být řešeny pomocí desek s prolisovanými trny. Na tyto výpočty a posouzení je použit program *TRUSS4* [5], jež se specializuje právě na návrhy konstrukcí s takovými styčníky.

Výsledky s posouzení se nachází v příloze [Příloha H].

Excentrický návrh desky je způsoben především rozdílným namáháním jednotlivých diagonál, a tudíž jinou potřebou jejich spojení.



Obrázek 6.4 - Prostřední styčník na DP



### 6.3.5 Napojení vazníku na sloup

Základní přenos sil je zprostředkován prostým dotykem dřevěného prvku s ocelovou patkou (tvaru U) na sloupu.

Připojení je jištěno kolíky proti posunu a tendenci nadzvednutí vazníku, když nastane obrácené působení vnitřních sil vlivem sání.

Dolní pás je v tom to místě připojen opět deskou s prolisovanými trny, ale jedná se jen o konstrukční spojení, jelikož v DP se nenachází jiné vnitřní síly, než které vznikly v posledním poli od vlastní váhy.

Posouzení dřevěného sloupku, jež přenáší osová zatížení do ŽB sloupu je již provedeno v kapitole 6.2.2.

Proto zbývá navrhnout a posoudit styčnick právě na případ tahu, což se opakuje postup z posuzování předchozích detailů.

Návrh: kolík M10 , 8.8.

d:	10 mm	a <sub>1</sub> :	80 mm
d <sub>0</sub> :	10 mm	a <sub>2</sub> :	80 mm
f <sub>y</sub> :	540 MPa	a <sub>3,t</sub> :	80 mm
f <sub>u</sub> :	600 MPa	a <sub>3,c</sub> :	80 mm
ρ <sub>k</sub> :	425 kg/m <sup>3</sup>	a <sub>4,t</sub> :	70 mm
uhel :	2,0	a <sub>4,c</sub> :	70 mm
střihů n <sub>s</sub> :	2	t <sub>1</sub> :	220 mm
M <sub>y,rk</sub> :	71659 kNm		
f <sub>h,0,k</sub> :	<b>31,37</b> MPa		

Spoj se může porušit typem I a m s posouzením, kvůli malým průměrům spojovacích prostředků, jako spoj řešen tlustou deskou.

$$F_{v,rk} = \min \left( \begin{array}{l} 0,5 * f_{h,1,k} * t_1 * d \quad (l) \\ 2,3 * \sqrt{M_{y,rk} * f_{h,1,k} * d} \quad (m) \end{array} \right)$$

F <sub>v,rk(l)</sub> :	69,00 kN
F <sub>v,rk(m)</sub> :	10,90 kN
F <sub>v,rk</sub> :	10,90 kN
F <sub>v,rk</sub> :	<b>6,71</b> kN
n <sub>req</sub> :	1,6

n<sub>dim</sub>: **2**

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
6,71	2,0	21,08	<b>0,79</b>	vyhovuje

Tabulka 6.16 – Posouzení svorníků v napojení vazníku na sloup

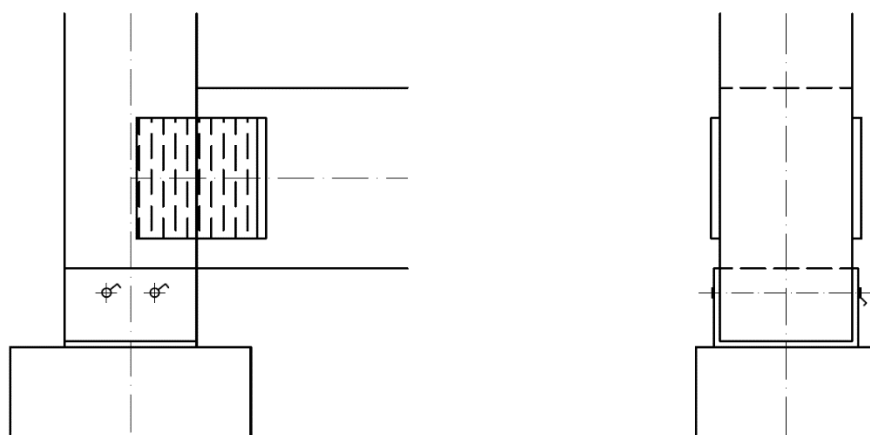
Na závěr také posouzení ocelové patky v tahu:

Návrh desky P 300/10

t: 10 mm

A [mm <sup>2</sup> ]	$F_{rd}$ [kN]	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
3000	1065,00	10,54	<b>0,01</b>	vyhovuje

Tabulka 6.17 – Posouzení ocelové patky na tah



Obrázek 6.5 - Napojení vazníku na sloup

### 6.3.6 Krajní styčník na DP s diagonálami

Původní návrh těchto styčnicků byl zamýšlen opět pomocí desek s prolisovanými trny. Bohužel však kvůli velikosti sil působících v diagonálách blízkých kraji nedokázal ani počítačový program navrhnout styčník tak, aby byl schopen přenést tyto síly.

Možným řešením by bylo zvýšit výšku profilů, a tím vznikne větší plocha, která přenáší zatížení. Avšak tato možnost vycházela při návrhu jako extrémně předimenzovaná v únosnosti prvku a taktéž extrémní velikosti hranolů, jež by byly větší, než jsou použity na DP a HP.

Z toho důvodu byla pro řešení využita varianta spojení pomocí tří ocelových desek umístěných po stranách a v zářezu uprostřed prvků.

Posouzení styčníku je pak spočteno obdobně jako například montáží spoj, akorát jsou použity kolíky místo svorníků.



### 6.3.6.1 Přípoj tažené diagonály

Návrh: kolíky M10, 8.8.

d:	10 mm	a <sub>1</sub> :	50 mm
d <sub>0</sub> :	10 mm	a <sub>2</sub> :	30 mm
f <sub>y</sub> :	640 MPa	a <sub>3,t</sub> :	80 mm
f <sub>u</sub> :	800 MPa	a <sub>3,c</sub> :	80 mm
ρ <sub>k</sub> :	460 kg/m <sup>3</sup>	a <sub>4,t</sub> :	30 mm
uhel :	0,0	a <sub>4,c</sub> :	30 mm
střihů n <sub>s</sub> :	4	t <sub>1</sub> :	105 mm
M <sub>y,rk</sub> :	95546 kNm		
f <sub>h,0,k</sub> :	<b>33,95</b> MPa		

Možnosti porušení jsou stejné, jako tomu bylo u montážních spojů.

F <sub>v,rk</sub> (f):	35,65 kN	F <sub>v,rk</sub> (j):	35,65 kN
F <sub>v,rk</sub> (h):	13,10 kN	F <sub>v,rk</sub> (k):	9,26 kN
F <sub>v,rk</sub> :	9,26 kN		
F <sub>v,rk</sub> :	<b>5,70</b> kN		
n <sub>req</sub> :	13,4	n <sub>dim</sub> :	<b>21</b>
n <sub>ef</sub> :	4,54		

F <sub>v,rd</sub> [kN]	n <sub>ef,cel</sub>	F <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
5,70	13,6	305,62	<b>0,98</b>	vyhovuje

### 6.3.6.2 Přípoj tlačené diagonály

Navrženy jsou stejné spojovací prostředky jako pro taženou diagonálu. Kvůli jiné velikosti působící síly je navržen pouze jiný počet prvků.

n <sub>req</sub> :	11,6	n <sub>dim</sub> :	<b>18</b>
n <sub>ef</sub> :	3,95		

F <sub>v,rd</sub> [kN]	n <sub>ef,cel</sub>	F <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
5,70	11,8	264,22	<b>0,98</b>	vyhovuje

Tabulka 6.19 – Posouzení kolíků v tlačené diagonále



### 6.3.6.3 Připojení desky k dolnímu pásu

Ve styčnicku se navzájem eliminují síly působící šikmo od diagonál. Pak samotný dolní pás je namáhán taktéž zatížením jen ve směru vláken. Spojovací prostředky rovněž zůstávají totožné s předchozími přípoji, jen jsou použité jiné rozteče a jiný počet.

Rozteče jsou:

$a_1$ :	70 mm	$a_{4,t}$ :	75 mm
$a_2$ :	50 mm	$a_{4,c}$ :	75 mm

Stejně tak se ani nezměnila únosnost kolíků, a tedy posouzení pak je:

$n_{req}$ :	15,4	$n_{dim}$ :	<b>24</b>
$n_{ef}$ :	4,30		

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
5,70	17,2	350,91	<b>0,90</b>	vyhovuje

Tabulka 6.20 – Posouzení kolíků v dolním pásu

### 6.3.6.4 Přípoj sloupku

Pro tento přípoj jsou použity, kvůli malým silám, kolíky menšího průměru, zároveň i rozteče jsou jiné, ale postup výpočtu a posouzení zůstává i nadále stejný.

Návrh: kolíky M8, 8.8.

$d$ :	8 mm	$a_1$ :	40 mm
$d_0$ :	8 mm	$a_2$ :	30 mm
$f_y$ :	640 MPa	$a_{3,t}$ :	80 mm
$f_u$ :	800 MPa	$a_{3,c}$ :	80 mm
$\rho_k$ :	460 kg/m <sup>3</sup>	$a_{4,t}$ :	25 mm
uhel :	0,0	$a_{4,c}$ :	25 mm
střihů $n_s$ :	4	$t_1$ :	105 mm
$M_{y,rk}$ :	53487 kNm		
$f_{h,0,k}$ :	<b>34,70</b> MPa		

$F_{v,rk}(f)$ :	29,15 kN	$F_{v,rk}(j)$ :	29,15 kN
$F_{v,rk}(h)$ :	8,86 kN	$F_{v,rk}(k)$ :	6,27 kN
$F_{v,rk}$ :	6,27 kN		
$F_{v,rk}$ :	<b>3,86</b> kN		
$n_{req}$ :	1,6	$n_{dim}$ :	<b>4</b>
$n_{ef}$ :	1,47		

$F_{v,rd}$ [kN]	$n_{ef,cel}$	$F_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
3,86	2,9	24,33	<b>0,54</b>	vyhovuje

Tabulka 6.21 – Posouzení kolíků v připojovaném sloupku

### 6.3.6.5 Spojovací desky

Ve styčnicku zbývá posouzení samotných ocelových desek, jimiž jsou prvky spojeny.

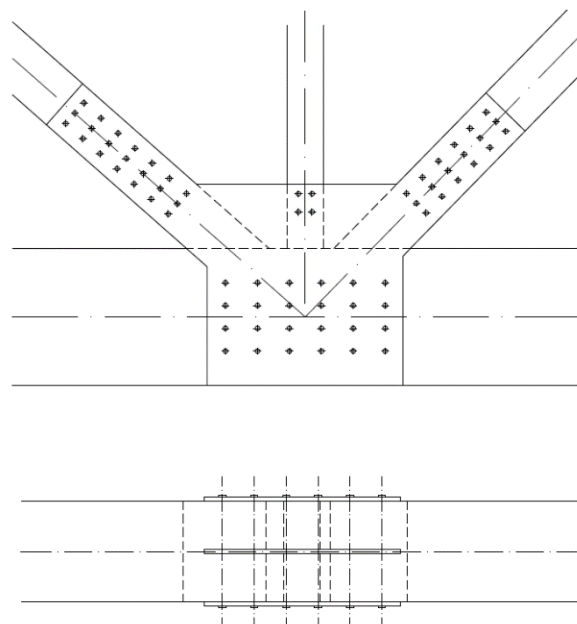
Deska je posouzena v nejlépe namáhaném místě, které se nachází vzhledem k ploše desek a působící síly v přípoji tažené diagonály.

návrh desek P 120/10

t: 10 mm

$N_{ed}$ [kN]	$N_{rd}$ [kN]	využití	posouzení
101,87	426	<b>0,24</b>	vyhovuje

Tabulka 6.22 – Posouzení spojovací desky ve styčnicku



Obrázek 6.6 - Krajní styčnick na DP s diagonálami



## 6.4 Ztužení konstrukce

Důvody ztužení konstrukce zůstávají stále stejné, jak tomu je u jiných variant.

Opět je třeba se vrátit a nezapomenout na sílu vyvolanou vybočením dolního pásu vlivem tlakových sil, jak tomu bylo u varianty A. naopak z varianty B se sem přenáší změny způsobené dřevěnými vaznicemi, jako je jejich jiná vzdálenost, či pozbytí nutnosti navrhovat podélné střešní ztužení.

Samotné výpočty pak probíhají stejným způsobem jako ocelového příhradového vazníku v kapitole 4.4.

### 6.4.1 Zatížení od vybočení

Předpoklady zůstávají stejné, a to že ve střešní rovině síly od vybočení přebírají vaznice a v úrovni dolního pásu zase podélná svislá ztužidla.

Výpočet je proveden stejnou analogií jako v minulých variantách.

$l$ :	25 m		
$k_{f,3}$ :	30	$k_j$ :	0,775
$n_{HP}$ :	7	$n_{DP}$ :	1
$N_{HP,ed}$ :	616,5 kN	$N_{DP,ed}$ :	53,8 kN
$q_{HP,d}$ :	<b>4,46</b> kN/m	$q_{DP,d}$ :	<b>0,06</b> kN/m

Síla ve vaznici $N_{ed}$ :	<b>5,53</b> kN
Síla v pod. ztuž.	
$F_{zt,g,x}$ :	0,45 kN
Úhel ztužidla:	16 °
Síla v pod. ztuž. $N_{ed}$ :	<b>0,47</b> kN

### 6.4.2 Podélné svislé ztužení

Jedná se o dva ztužidla umístěné symetricky podle středu, jež jsou tvořena táhly Macalloy. Spojují horní pás jednoho vazníku s dolním pásem druhého vazníku (stejně jako u varianty A).

Kvůli jiné výšce vazníku jsou táhla namáhána pod jiným úhlem.

Návrh:

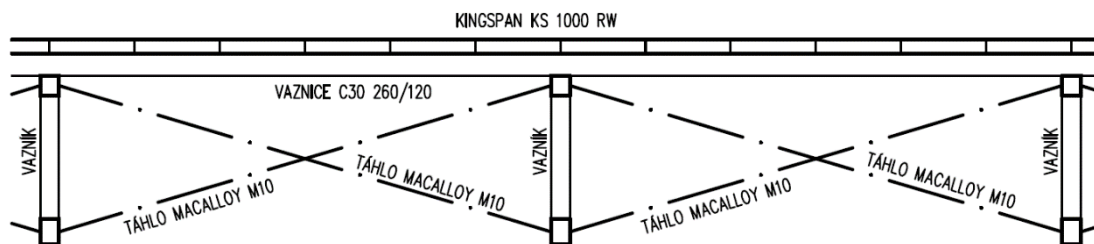
Táhla Macalloy M10

Průměr táhla  $d$ : 10 mm

Min. mez kluzu  $N_{rd}$ : 25,00 kN

označení	$N_{rd}$ [kN]	$N_{ed}$ [kN]	využití	posouzení
M10	25,00	0,47	<b>0,02</b>	vyhovuje

Tabulka 6.23 – Posouzení táhla v podélném svislém ztužení

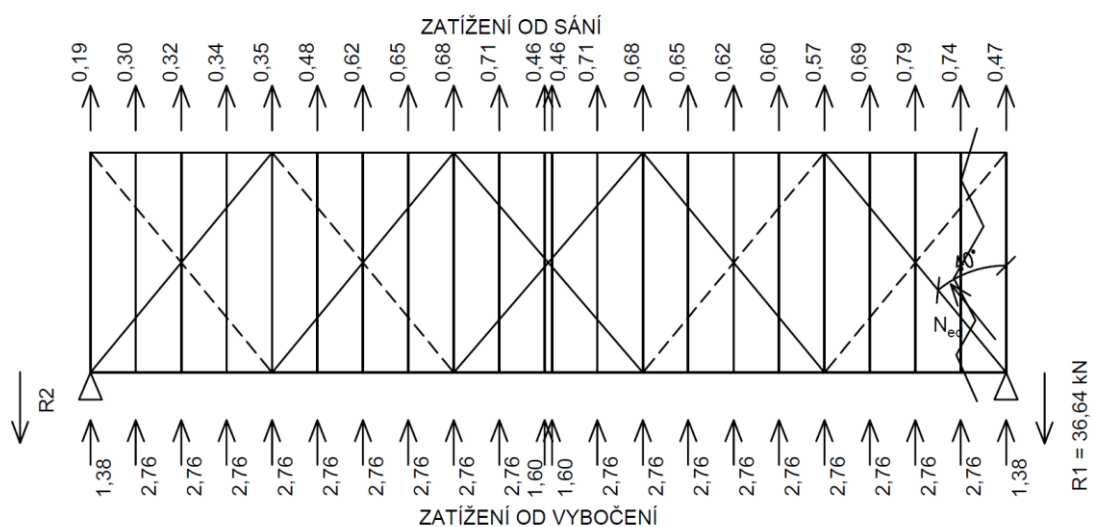


Obrázek 6.7 - Schéma podélného svislého ztužení

### 6.4.3 Příčné střešní ztužení

Síly pro návrh ztužidla jsou stejného původu jako pro předešlé varianty, což znamená od větru a od využití vaznic pro ztužení konstrukce.

Jinak postup je stejný jako je tomu ve variantě B.



Obrázek 6.8 - Síly působící na příčná a stěnová ztužidla





R            34,64 kN  
N<sub>ed</sub>:        42,27 kN

Návrh:

Táhla Macalloy M16

Průměr táhla d:            16 mm

Min. mez kluzu N<sub>rd</sub>:        69,00 kN

označení	N <sub>rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
M16	69,00	42,27	<b>0,61</b>	vyhovuje

Tabulka 6.24 – Posouzení táhla v příčném ztužení

#### 6.4.4 Podélné stěnové ztužení

Reakce na krajích jsou opět svedeny táhly do základů stejným způsobem jako je tomu v předchozích variantách.

Horizontální síla H<sub>ed</sub>:        34,64 kN  
Úhel:                            53 °  
Osová síla N<sub>ed</sub>:                **57,56** kN

Návrh:

Táhla Macalloy M16

Průměr táhla d:            16 mm

Min. mez kluzu N<sub>rd</sub>:        69,00 kN

označení	N <sub>rd</sub> [kN]	N <sub>ed</sub> [kN]	využití	posouzení
M16	69,00	57,56	<b>0,83</b>	vyhovuje

Tabulka 6.25 – Posouzení táhla v podélném stěnovém ztužení



## 6.5 Montáž

Montážní postup se výrazně také nijak neliší od předchozích variant. Jednotlivé části samostatně dovezené na stavbu, budou namísto smontovány, s tím že se nesmí zapomenout hned ze začátku připevnit montážní diagonálu, jelikož po spojení částí vazníku by již nešla usadit. Proto je nutné to udělat před samotným spojením a usadit ji společně s dalšími částmi.

Dále se již pokračuje stejný postup jako u varianty B.

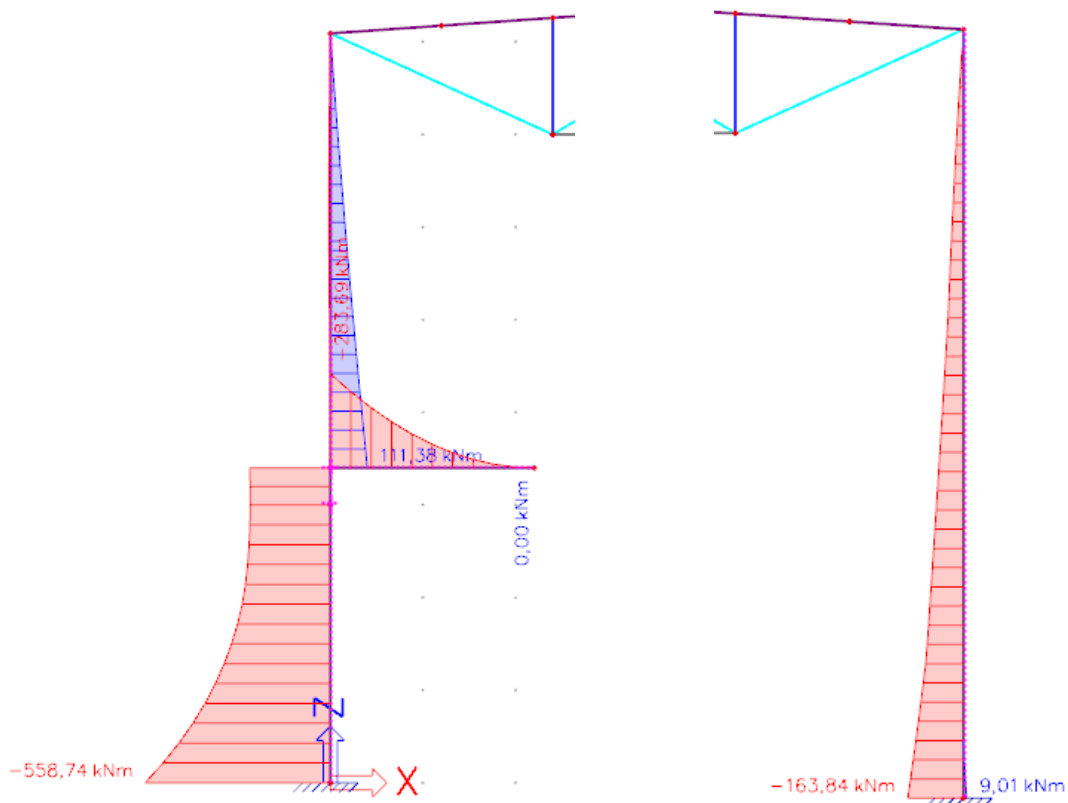
## 7 Sloupy a základy

Tato kapitola není hlavním tématem práce, a slouží především pro doplnění a lepší představu celkové nosné konstrukce halové části stavby.

Použitý návrh řešení těchto částí obsahuje železobetonové sloupy 300/300, respektive u strany se suterénní stěnou 300/400. Tyto sloupy pak jsou zakončeny základovými patkami.

Návrh sloupů, suterénní stěny a základů, by bylo třeba podrobněji spočítat a posoudit, avšak vzhledem ke složitosti zatížení těchto konstrukcí, by tento návrh byl dobrým tématem další bakalářské práce.

Velkým problémem je spojen se vznikem značných momentů v patách sloupů. Ty jsou způsobeny především od větru, zemního tlaku a v neposlední řadě od vykonzolovaného balkónu.



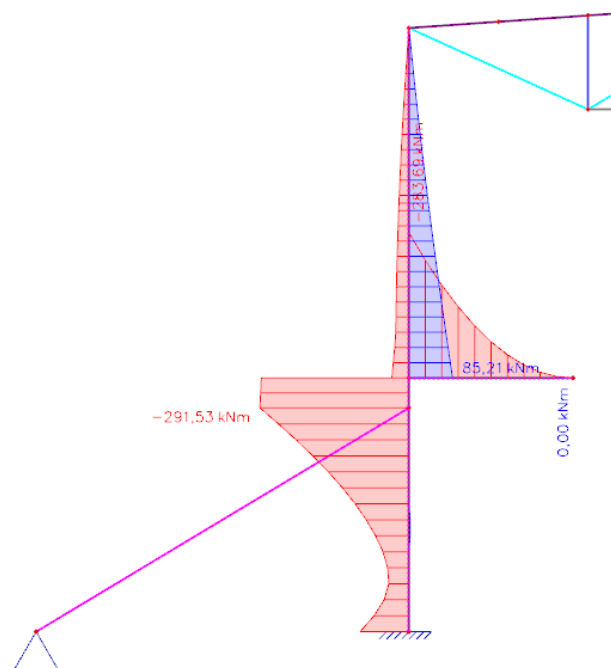
Obrázek 7.1 - Průběh momentů na sloupech od MSU

Jak znázorňují obrázky, ony momenty vytváří značný problém při návrhu. Navíc je to umocněno tím, že v některých kombinacích jsou tlakové síly působící na základ velice malé, přičemž moment zůstává stále velice vysoký.

Jednou z možných variant řešení je například postavit odlehčující suterénní předstěnu pro snížení zatížení od zemního tlaku.

Dalo by se také navrhnout základy na pilotách, což vyřeší přenesení momentů do zeminy, ale neřeší velké momenty, jejichž pokrytí výztuží, by bylo velice obtížné a mohlo by vést i k návrhu velice masivních sloupů.

Varianta, která je použita i ve výkresech je kombinace základových patek spolu s kotvami. jenž do značné míry eliminují momenty, a to nejen od zemního tlaku, ale i od dalších zatížení.



Obrázek 7.2 - Průběh momentů na sloupu s přidanou kotvou od MSU

Lze vidět významnou změnu v rozložení momentů po přidání kotvy. Moment v patě se podařilo touto variantou výrazně zmenšit. Zůstal však velký moment způsobený vykonzolovaným balkónem. Ten by se již mohl pokrýt výztuží, popřípadě by jej šlo podepřít, nebo část vytáhnout ven mimo objekt, kde by mohla mít betonová deska další využití.



## 8 Vyhodnocení

Jelikož se při návrhu všech variant vycházelo ze stejných okrajových podmínek, lze nyní celkem přesně vyhodnotit a porovnat jednotlivé varianty mezi sebou.

Mezi podmínky patřily především minimální světlá výška hrací plochy 7,000 m, výška hřebene pohybuující se okolo 9,400 m, sklon a materiál střechy, zatížení, geometrie svislých nosných konstrukcí a statické schéma.

Je vhodné upozornit, že ne vždy mohou být například výhody a nevýhody jednotlivých variant objektivní, jelikož některé výhody, mohou být jinými brány jako nevýhody. Například pro někoho je výhodou, že dřevo je přírodní a organický materiál, což naopak někdo může vnímat jako nevýhodu, ať už kvůli větší možnosti vad, nebo kvůli jinému nebezpečí degradace. Obdobně pak se vzhledem, kde je to taktéž subjektivní.

### 8.1 Vnitřní síly

Lze vidět velký rozdíl v působení sil v příhradových konstrukcích a ve variantě s plnostěnným nosníkem.

U variant, kde je použita příhradovina, lze vidět, jak primární vnitřní síly jsou normálové (neboli tahové a tlakové). Tudíž pak posouzení těchto prvků je závislé především na velikosti právě těchto sil. Ty se dají zmenšit například zvětšením výšky nosníku, jak je patrné u rozdílu sil z variant A a C.

U plnostěnného vazníku dochází k opačnému jevu, čili hlavním problémem jsou ohybové momenty uprostřed pole a smykové síly na kraji pole. Zde však již navýšení průřezu vnitřní síly nijak nezmenšuje, ba naopak může mít opačný vliv kvůli většímu množství materiálu. Na druhou stranu čím větší profil (přesněji čím větší poloměr setrvačnosti), tím větší únosnost. Proto se u konstrukcí namáhaných ohybem doporučuje převážně navyšovat výšku, jelikož má větší vliv na únosnost než měnit šířku. To u příhradových konstrukcí je naopak vhodné rozšiřovat prvky rovnoměrně a spíše docílit k vyrovnání tuhostí k oběma osám, aby konstrukce nebyla, v případě tlaku, tolik náchylná na vzpěr.

### 8.2 Materiály

V práci jsou použity tři hlavní materiály pro nosnou konstrukci, prvním je ocel S355, druhým lepené lamelové dřevo GL28h a třetím pak dřevo typu KVH C30.



Z návrhu první varianty A lze vidět některé přednosti ocelových prvků. Jedním z nich je obrovský rozdíl meze pevnosti oproti oběma dřevěným materiálům, což má za následek možnost navržení subtilnějších konstrukcí, a tím eliminovat častou nevýhodu ocelových konstrukcí, a tou je hmotnost materiálu.

U lepeného lamelového dřeva přichází na řadu možnost mít vysoký, tvarově proměnný, a především spojitý průřez, jež na svůj objem má mnohonásobně menší hmotnost, než kdyby byl z oceli.

U dřevěných variant, především pak ve variantě C, lze vidět že dřevo dokáže dobře přenášet vnitřní síly, avšak mohou nastat výrazné problémy při spojení jednotlivých dřevěných prvků, což může vést například k předimenzování prvků, či k úplné změně návrhu spojení.

Zajímavé je také to, že ač příhradové konstrukce mají menší spotřebu materiálu než plnostěnná varianty, tak je toho dosaženo na úkor zvětšení výšky vazníku.

## 8.3 Celková geometrie

U jednotlivých variant, především vlivem různých návrhů materiálů a geometrie, došlo k mírným změnám geometrie i celé haly. Především nepohyblivější je výška celé haly. Zde si můžeme povšimnout například toho, že u varianty B byla nejen dodržena minimální světlá výška, ba naopak byla navýšena o 100 mm, ale zároveň i celková výška haly je ze všech variant nejnižší (způsobeno volbou typu geometrie vazníku). Oproti tomu varianta dřevěné příhradové konstrukce, při dodržení světlé výšky 7,000 m sahá téměř o 300 mm výše (neboli výška vazníku je vyšší takřka o 400 mm).

Jinak kvůli snaze dodržet okrajové podmínky, další výraznější změny v geometrii nenastaly.

## 8.4 Závěrem (subjektivní zhodnocení)

Každá z navrhovaných variant, jak se ukázalo má svá specifika, ať už jsou závislá na materiálu, či geometrii. Je zajímavé pak sledovat a porovnat změny, které jsou tím vyvolané, ať už to je například jiné působení vnitřních sil, chování materiálů, nutnost upravení geometrie samotného vazníku a pod.

Nevýhody jednotlivých variant, by se pak daly omezit například výraznější změnou návrhu konstrukce (což znamená i změnu okrajových podmínek), ale v tu chvíli by jejich porovnání spočívalo v jiných aspektech než nyní.



Za sebe pak mohu říci, že takto navržená varianta C není moc vhodné řešení. Pro halu s menším rozponem by to již mohlo být jinak, a naopak by se mohla stát favoritem.

Co se týká variant A a B, tak jsou podle mne obě vhodnými řešeními. Jak varianta A, která je lehká jak do váhy, tak do vzhledu a vytváří vizuálně volnější prostor, tak i varianta B, kde je vazník menší výšky, kvůli čemu pak dostáváme větší světlost výšku, tak kvůli přírodnímu materiálu (jedná se sice o lepené lamelové dřevo, ale stále na mne působí přírodněji a příjemněji než ocel).



## 9 Zdroje

### 9.1 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 14080. Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [2] ČSN EN 1990-1-1. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [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: ÚNMZ, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [5] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [7] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [8] ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [9] ČSN EN 338. Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [10] ČSN ISO 8734. Válcové kolíky z kalené oceli nebo martenzitické korozivzdorné oceli. Praha: ÚNMZ, 1999.
- [11] Do roka a do dne. Hala, které se loni zřítla střecha, přivítala sportovce. Orlický deník [online]. Copyright © VLTAVA LABE MEDIA a.s. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z [https://orlicky.denik.cz/zpravy\\_region/do-roka-a-do-dne-hala-ktere-se-loni-zritila-strecha-privita-sportovce-20180108.html](https://orlicky.denik.cz/zpravy_region/do-roka-a-do-dne-hala-ktere-se-loni-zritila-strecha-privita-sportovce-20180108.html).
- [12] KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [13] Na Skalce v České Třebové vyroste nová tělocvična. Českotřebovský zpravodaj [online]. Česká Třebová, 2015 [cit. 2018-05-08] Dostupné z [http://zpravodaj.probit.cz/2015/3\\_15web/Telocvicna\\_Skalka.htm](http://zpravodaj.probit.cz/2015/3_15web/Telocvicna_Skalka.htm).
- [14] STUDNIČKA, Jiří. Navrhování nosných konstrukcí. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1.





- [15] V České Třebové se během zápasu zřítla střecha nové sportovní haly, všichni stačili utéct. Zprávy – Aktuálně.cz [online]. Copyright © Economia, a.s. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z <https://zpravy.aktualne.cz/regiony/v-ceske-trebove-se-zritila-strecha-sportovni-haly-nikdo-se-n/r~16d9b3c4daa711e6a78c002590604f2e/?redirected=1525772950>.
- [16] VRANÝ, Tomáš a František WALD. Ocelové konstrukce: tabulky: Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-08-01-03140-7.

## 9.2 Použité programy

- [1] Autodesk AutoCAD 2018, studentská licence.
- [2] IDEA StatiCa 2009 – 2018, studentská licence.
- [3] Microsoft Office 365, studentská licence.
- [4] SCIA Engineer 17.1, studentská licence.
- [5] TRUSS4, Fine – civil engineering software, studentská licence.



## 10 Seznam příloh

[Příloha A]	Výkresy
[Příloha B]	Statické tabulky
[Příloha C]	Výpočetní model varianty A
[Příloha D]	Výpočetní model varianty B
[Příloha E]	Výpočetní model varianty C
[Příloha F]	Výsledky posouzení detailů varianty A
[Příloha G]	Výpočetní model dřevěné vaznice
[Příloha H]	Výsledky posouzení detailu varianty C