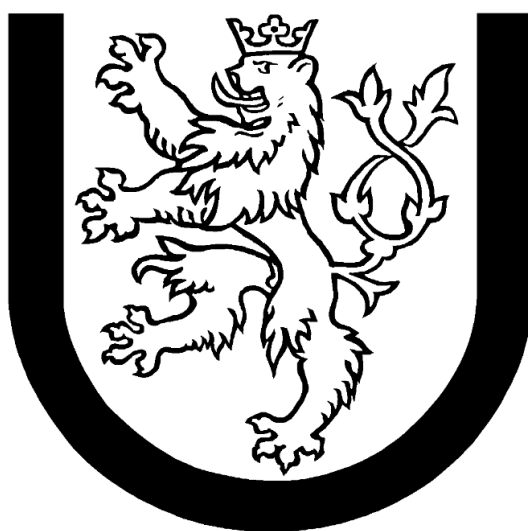


Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

Diplomová práce



Variantské řešení zastřešení víceúčelové sportovní haly

Autor:	Bc. Jakub Halík
Vedoucí práce:	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.
Datum odevzdání:	20. 12. 2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta aplikovaných věd  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub HALÍK**  
Osobní číslo: **A13N0034P**  
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Stavitelství**  
Název tématu: **Variantní řešení zastřešení víceúčelové sportovní haly**  
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

#### **Obsah práce**

Zpracování projektového stavebního a statického návrhu zastřešení víceúčelové sportovní haly na základě semestrální práce v předmětu Projektu S2.

#### **Cíl práce**

Návrh technického řešení stavební konstrukce zastřešení haly a posouzení variantních řešení.

#### **Rozsah grafických prací**

Výkresy v měřítku 1:50, event. 1:100 - půdorysy, řezy, nosné konstrukce střechy, plášť, detaily.

#### **Rozsah textových prací a výpočtových prací**

Textová zpráva (stavební, konstrukční), rozbor, zhodnocení variant a zdůvodnění řešení, technické a statické výpočty k tématu.

Rozsah grafických prací: **projekt skládající se z výkresů a textových zpráv**  
Rozsah pracovní zprávy: **80 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:


1. **Kuklík: Dřevěné konstrukce - skripta FSv ČVUT.**
2. **Přednášky z předmětu Stavitelství 6 a Dřevěné konstrukce, včetně citované studijní literatury.**
3. **Platné normy - pro konstrukci řady ČSN EN 1990,1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998 pro tepelnou ochranu budov - ČSN 730540.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.**  
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **15. srpna 2014**  
Termín odevzdání diplomové práce: **1. března 2015**

  
Doc. RNDr. Miroslav Lávička, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. září 2014

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá variantním řešením zastřešení víceúčelové sportovní haly. Předmětem této práce je zpracování rozdílných konstrukčních variant, u kterých je proveden návrh, posouzení a jejich zhodnocení včetně vzájemného porovnání. Návrhy dimenzí jednotlivých prvků byly provedeny na základě výpočtového modelu v programu Scia Engineer.

## **Klíčová slova**

Dřevo, ocel, plnostěnný obloukový vazník, dřevěný příhradový vazník, výkresová část

## **Abstract**

Dissertation describes variant solutions for roof structures of multipurpose sport hall. Dissertation includes different types of roof structures with design, static appraisals, drawing section and their comparison. The design is based on computer model created in Scia Engineer software.

## **Keywords**

Wood, steel, curved girder, wood truss girder, drawing section

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....

Bc. Jakub Halík

V Plzni 1. Března 2015

## **Poděkování**

Za odborné vedení mé práce a za rady při řešení problémů děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ludřku Vejvarovi, Ph.D.



## Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Konstrukce hal a jejich dělení .....	10
1.2	Projekt S2: „ Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem a zázemím. 11	
2	Popis konstrukčních variant zastřešení víceúčelové sportovní haly.....	14
2.1	Střešní plášť.....	15
2.2	Krokev.....	15
2.3	Vaznice .....	16
2.4	Vazník .....	16
2.4.1	Vazník – varianta č. 1 .....	16
2.4.2	Vazník – varianta č. 2 .....	17
2.5	Ztužení.....	18
3	Materiálové charakteristiky .....	19
3.1	Rostlé dřevo C24 .....	19
3.2	Lepené lamelové dřevo Gl24h .....	20
3.3	Ocel S335.....	20
3.4	Ocel 8.8 pro spojovací prostředky .....	20
4	Zatížení konstrukce .....	21
4.1	Zatížení stálá.....	21
4.1.1	Vlastní tíha .....	21
4.1.2	Střešní plášť.....	22
4.2	Zatížení proměnná .....	23
4.2.1	Zatížení užité .....	23
4.2.2	Zatížení sněhem .....	23
4.2.3	Zatížení větrem .....	24
5	Statický výpočet.....	28
5.1	OSB desky .....	29



5.2	Krokve .....	30
5.2.1	MSÚ .....	30
5.2.2	MSP .....	32
5.2.3	Požární odolnost .....	33
5.3	Vaznice .....	34
5.3.1	MSÚ .....	35
5.3.2	MSP .....	40
5.3.3	Požární odolnost .....	41
5.4	Plnostěnný vazník - varianta č. 1 .....	42
5.4.1	MSÚ .....	43
5.4.2	MSP .....	50
5.4.3	Požární odolnost .....	50
5.5	Příhradový vazník - varianta č. 2 .....	52
5.5.1	MSÚ .....	52
5.5.2	MSP .....	58
5.5.3	Požární odolnost .....	59
5.6	Ztužidlo - varianta č. 1 .....	63
5.6.1	MSÚ .....	64
5.7	Ztužidlo - varianta č. 2 .....	65
5.7.1	MSÚ .....	66
5.8	Montážní spoj vazníku – Varianta č. 1 .....	67
5.8.1	Geometrie .....	67
5.8.2	Zatížení .....	68
5.8.3	Část přenášející ohybový moment a normálovou sílu .....	69
5.8.4	Část přenášející posouvající sílu .....	74
5.9	Montážní spoj příhradového vazníku – Varianta č. 2 .....	77
5.9.1	Geometrie .....	77
5.9.2	Zatížení .....	77
5.9.3	Rozmístění spojovacích prostředků .....	78
5.9.4	Posouzení spoje .....	80





6	Vyhodnocení variant.....	84
6.1	Popis zastřešení víceúčelové sportovní haly .....	84
6.2	Výkaz materiálu – Varianta č. 1 .....	85
6.3	Výkaz materiálu – Varianta č. 2 .....	85
6.4	Posouzení konstrukčních variant.....	86
6.5	Problematika spojená s konstrukčním řešením zastřešení víceúčelové sportovní haly .....	86
6.6	Alternativní řešení při návrhu zastřešení víceúčelové sportovní haly .....	86
7	Závěr .....	87
	Seznam použitých zdrojů: .....	88
	Seznam použitých symbolů: .....	89
	Použitý software: .....	92
	Přílohy: .....	92



## 1 Úvod

Předmětem této práce byl návrh a posouzení konstrukčních variant zastřešení víceúčelové sportovní haly. Jako hlavní podklad byl použit Projekt S2:

„Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem a zázemím“, který byl vypracován v rámci samostatného předmětu v akademickém roce 2013/2014.

Práce zahrnuje výpočet zatížení na střešní konstrukci víceúčelové sportovní haly, statické výpočty – návrh a posouzení nejvíce namáhaných prvků jednotlivých konstrukčních variant, výkresovou dokumentaci – půdorys, řez, detaily spojů, a vzájemné porovnání jednotlivých variant z hlediska provedení, ceny a pracnosti konstrukce.

Pro kompletní návrh konstrukce byly použity platné normy určené pro návrh pozemních staveb, dřevěných a ocelových konstrukcí, výpočet zatížení a posouzení vnitřních sil.

### 1.1 Konstrukce hal a jejich dělení

Nezákladnější charakteristikou halových objektů je absence vnitřních podpor. Jsou tedy určeny k zastřešení objektů, u kterých je požadováno volné vnitřní uspořádání. Halové objekty lze zařadit podle několika kritérií. Základní zařazení hal je podle jejich účelu (sportovní haly, bazény, kinosály, haly průmyslové výroby, sklady atd.). Další dělení hal vychází především z jejich konstrukčního provedení, velikosti rozponu, materiálového provedení a způsobu statického chování.

Rozdělení halových konstrukcí podle způsobu statického chování:

- Ohýbané systémy:
  - deskové soustavy
  - vazníkové soustavy
  - rámové soustavy
  
- Převážně tlačené systémy:
  - nosíkové (plnostěnné, příhradové oblouky)
  - deskové (klenby, skořepiny)



- Tažené systémy:
- visuté soustavy (lanové, membránové)
- pneumatické soustavy (nízkotlaké, vysokotlaké)

Druhů halových objektů tedy existuje velké množství. Při návrhu halového objektu se musí vždy brát ohled na specifické otázky spojené s daným systémem. Tato práce je zaměřená na víceúčelovou sportovní halu o středním rozponu, dřevěné konstrukce s různým způsobem statického namáhání.

Varianta č. 1: Plnostěnný obloukový vazník - Ohýbaný, třístupňový systém

Varianta č. 2: Příhradová dřevěná konstrukce - Převážně tlačенý, třístupňový systém

## **1.2 Projekt S2: „ Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem a zázemím.**

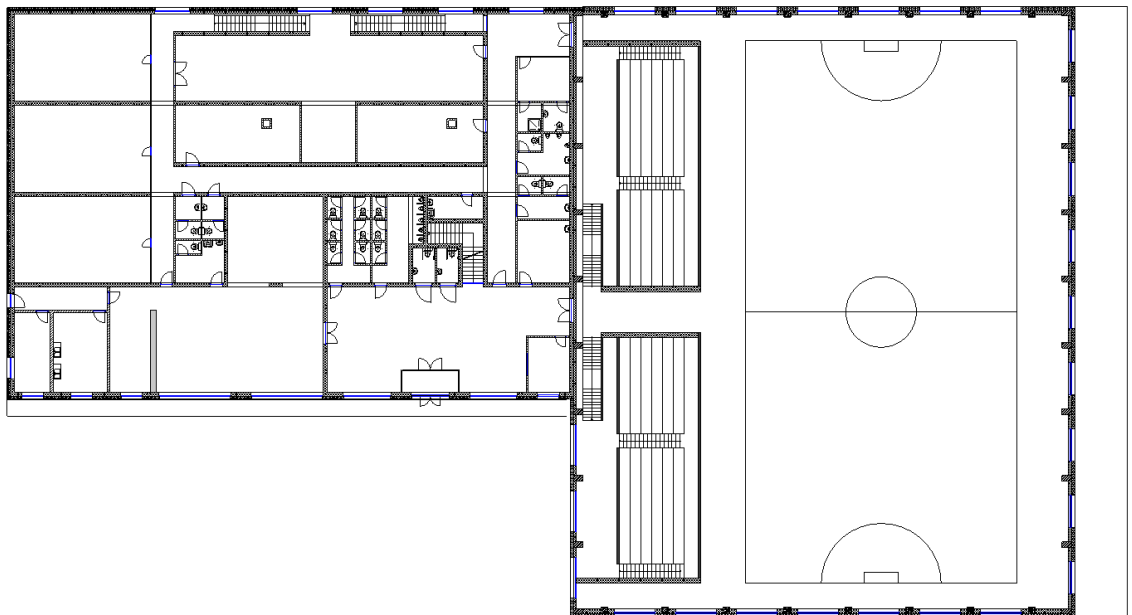
Náplní předmětu Projekt S2 bylo zpracování projektové dokumentace architektonicko-stavební části ke stavebnímu povolení akce: Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem a zázemím.

Víceúčelová hala má obdélníkový půdorys o rozměrech 45 x 36,8 m. Nosný systém tvoří železobetonové sloupy s osovou vzdáleností 5 m. Střešní konstrukci tvoří vazníky s nepravidelným obloukovým zakřivením o poloměru 74,4 m. Další řešení střešní konstrukce vychází z jednotlivých konstrukčních variant. Minimální vnitřní světlá výška je 7,8 m v prostorách hlediště a 8,8 m nad hrací plochou. Vnitřní dispozice sportovní haly jsou navrženy tak, aby umožnily hraní basketbalu, sálové kopané, házené, volejbalu a florbalu na hřištích o standardních rozměrech vycházejících z mezinárodních pravidel a regulí těchto sportů. Dále jsou v hale dvě samostatné tribuny o celkové kapacitě 360 sedících diváků. Přístup do haly je umožněn dvěma vnitřními vstupy ze sportovního centra, jeden je určen pro diváky, jeden pro veřejnost, a jedním venkovním

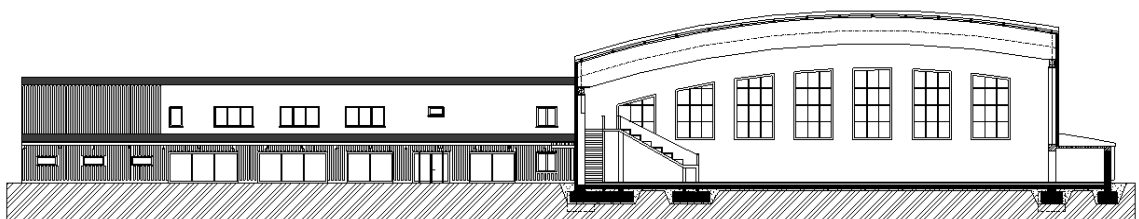


vstupem, který je určen ke stěhování objemných předmětů a plní funkci nouzového východu.

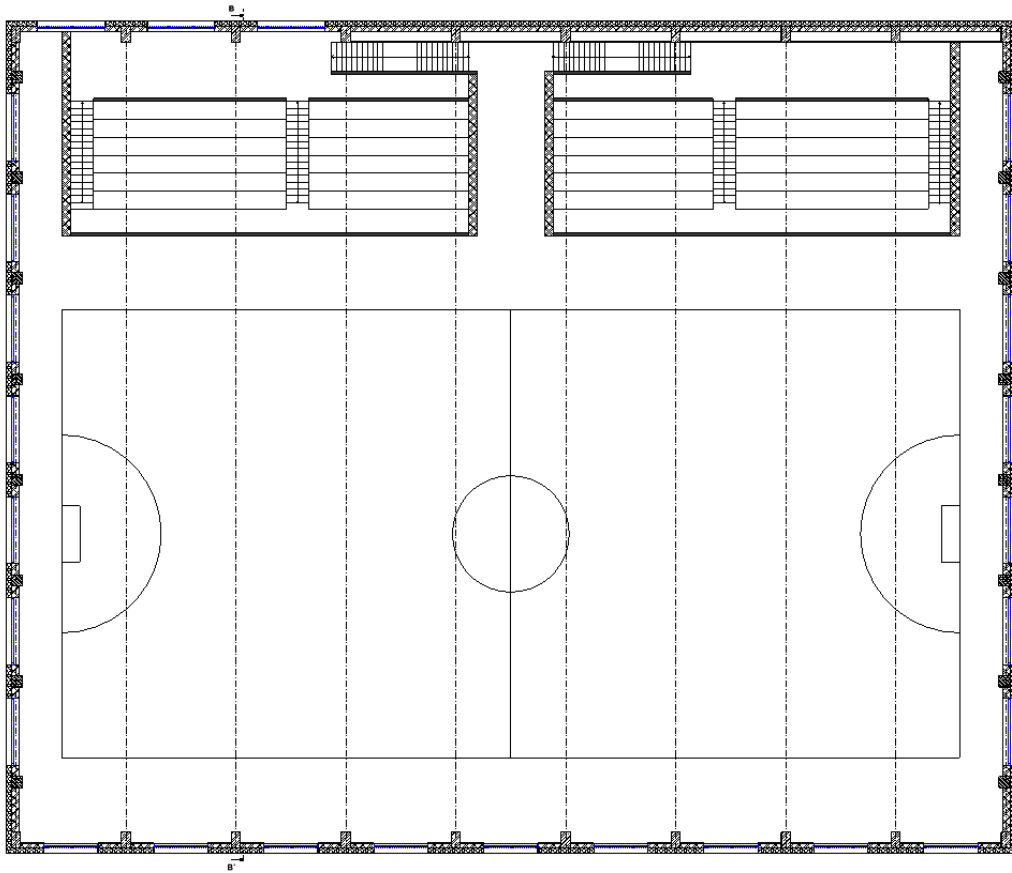
Sportovní centrum má také obdélníkový půdorys o rozměrech 41,7 x 28,8, jehož kratší strana přiléhá k delší straně víceúčelové sportovní haly a tvoří tak půdorysem písmeno L. Sportovní centrum má dvě nadzemní podlaží, přičemž druhé ustupuje o jeden konstrukční modul. V přízemí centra se nachází recepce, vstupní hala, bar, fitness, technické místnosti, toalety a tři squashové kurty. V patře centra jsou šatny, sportovní sál a kancelář. Nosný systém tvoří stěny z cihelných bloků a stropní konstrukce jsou z železobetonových nosníků a keramických vložek.



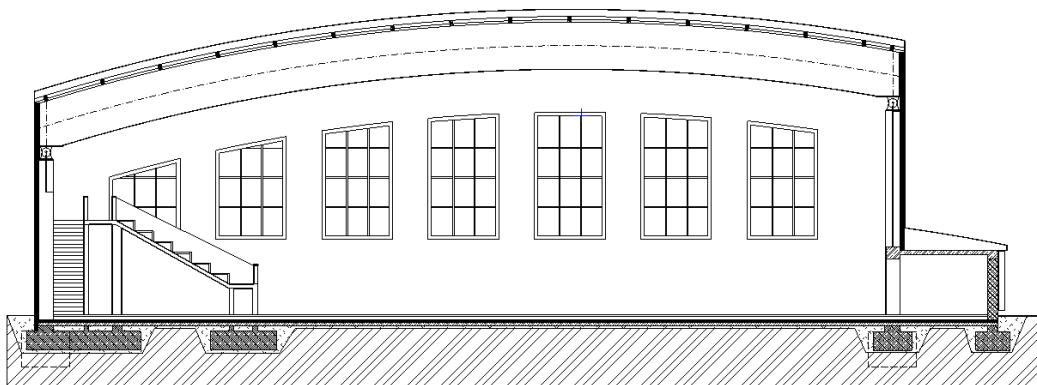
*Půdorys sportovního centra a víceúčelové sportovní haly*



*Řez sportovního centra a víceúčelové sportovní haly*



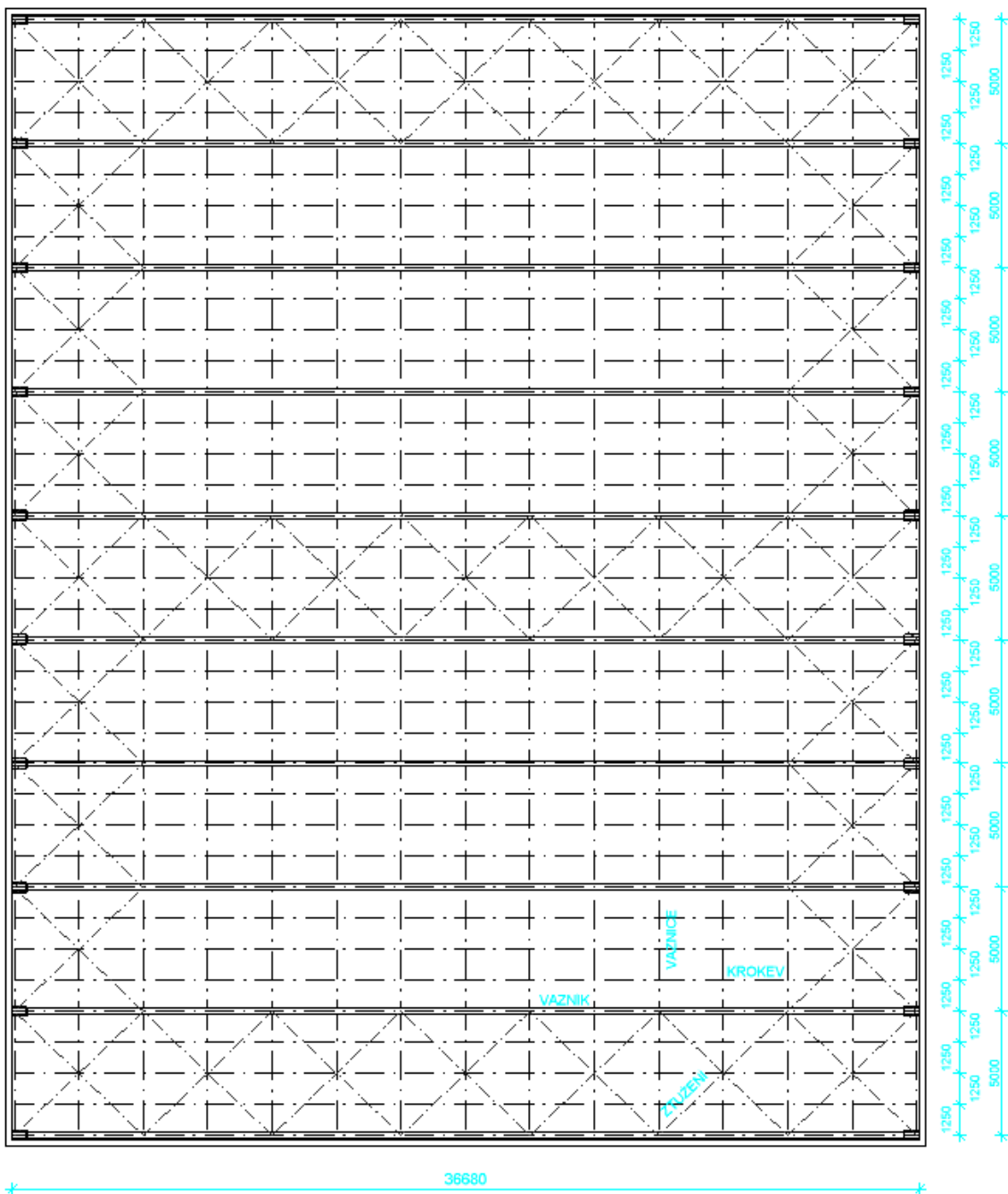
*Samostatný půdorys víceúčelové sportovní haly*



*Samostatný řez víceúčelovou sportovní halou*

## 2 Popis konstrukčních variant zastřešení víceúčelové sportovní haly

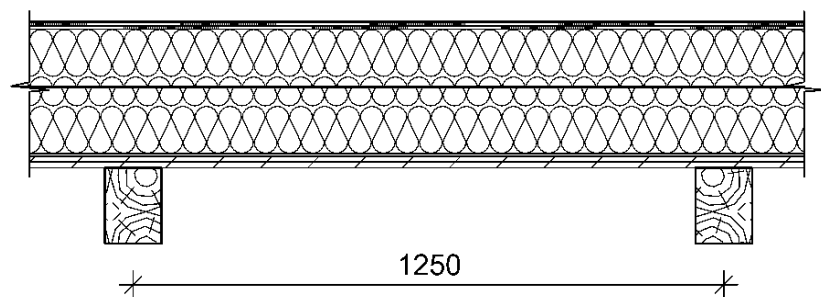
Cílem této práce je navržení a posouzení dvou variant střešní konstrukce víceúčelové sportovní haly. Obě posuzované varianty jsou navrženy jako dřevěné konstrukce s třístupňovým nosným systémem. Střešní plášť, krokve a vaznice jsou navrženy pro obě varianty stejné. Hlavní rozdíl mezi posouzeným variantami je v hlavním nosném prvku – střešním vazníku.



Půdorys zastřešení víceúčelové sportovní haly

## 2.1 Střešní plášt'

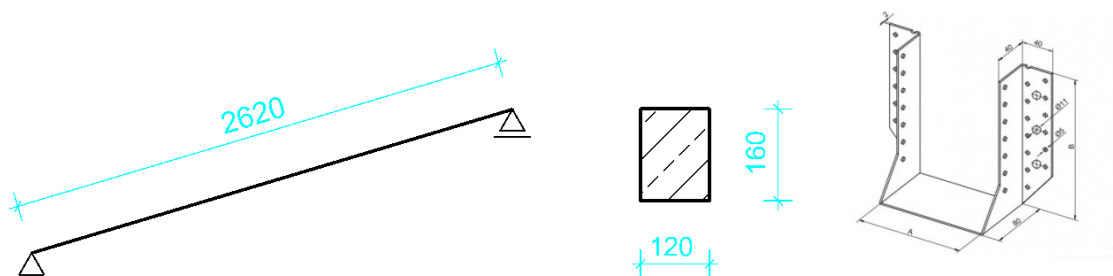
Spodní, plošně nosnou vrstvu, neboli záklop tvoří dvě vrstvy OSB desek o rozměrech 625 x 2500 mm, které jsou kladeny v podélném směru zastřešení na krokve a vazníky, ke kterým jsou připojeny ocelovými sponkami. Osová vzdálenost krokví je 1250 mm, čímž vzniká ze statického hlediska spojitý nosník o 2 polích. Při pokládání OSB desek musí být brán zřetel na překrytí jednotlivých spár v podélném i příčném směru, aby došlo k jejich dokonalému spolupůsobení. Dalšími vrstvami této skladby jsou v pořadí od OSB desek oxidovaný asfaltový pás, studené asfaltové lepidlo, první vrstva tepelné izolace, studené asfaltové lepidlo, druhá vrstva tepelné izolace, pojistná hydroizolace z modifikovaného asfaltového pásu, hydroizolace a titan-zinkový plech, který tvoří střešní krytinu.



Řez střešním pláštěm

## 2.2 Krokve

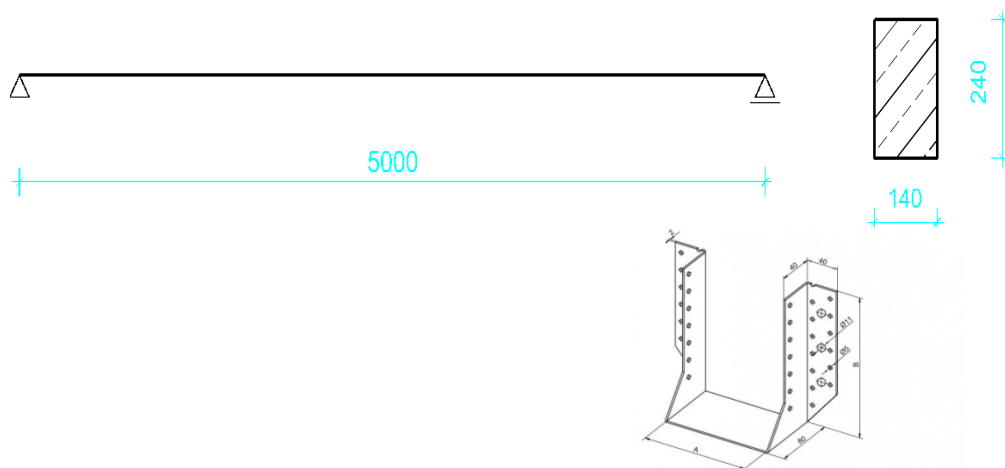
Krokve jsou z rostlého dřeva pevnostní třídy C24 o průřezu 120 x 160 mm, jejich délka je 2,62 m. Osová vzdálenost krokví je 1,25 m. Pomocí ocelových třmenů jsou připevněny k vaznicím, čímž tvoří prosté nosníky s kloubovým uložením. Příčná a torzní stabilita krokví je zajištěna záklopem z OSB desek.



Statické schéma a průřez krokve, spojovací třmen - úhelník

## 2.3 Vaznice

Vaznice jsou z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h o průřezu 140 x 240 mm, jejich délka je 5 m. Osová vzdálenost vaznic je 2,62 m. Vaznice jsou kotveny pomocí ocelových třmenů k hornímu líci vazníku, čímž tvoří stejně jako krokve prostě uložené nosníky s kloubovým připojením.



*Statické schéma a průřez krokve, spojovací třmen - úhelník*

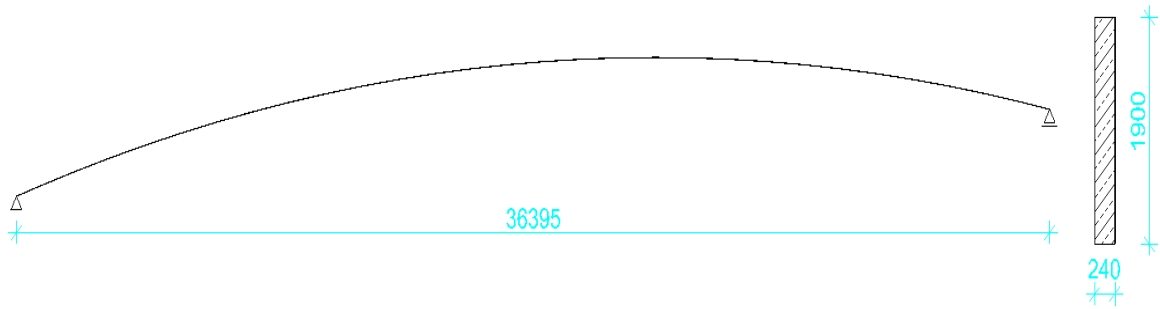
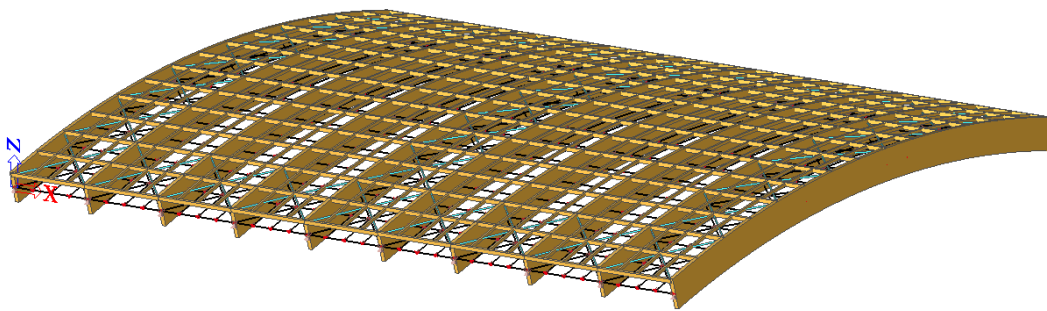
## 2.4 Vazník

Vazník tvoří hlavní nosný prvek soustavy. V obou posuzovaných variantách vychází návrh vazníku z obloukového zakřivení střechy.

### 2.4.1 Vazník – varianta č. 1

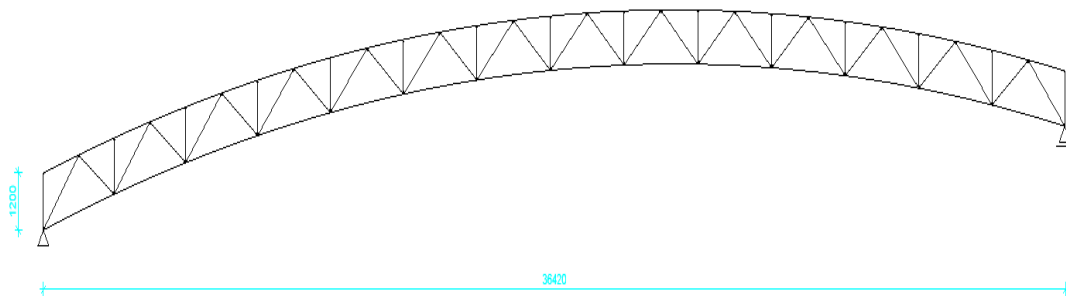
Ve variantě číslo 1 tvoří vazník obloukově zakřivený nosník plnostěnného průřezu s poloměrem vnitřní osy 74,4 m. Vazník má průřez 240 x 1900 mm a je z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h. Vzdálenost mezi podporami vazníku je 36,4 m a osová vzdálenost vazníků je 5 m. Vazník je pomocí ložisek prostě podepřen na železobetonové sloupy, jedno ložisko je řešeno jako pevný kloub, druhé jako posuvný kloub (elastomerové ložisko). Vazník bude vzhledem k jeho délce rozdělen na tři části, poměr jednotlivých délek jednotlivých částí bude 35 : 30 : 35 %.

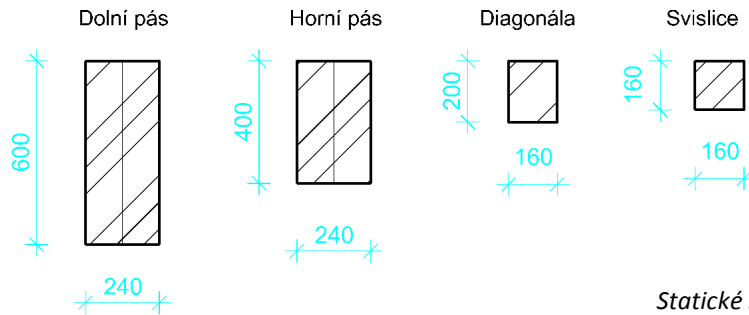


*Statické schéma a průřez plnostěnného vazníku**Axonometrický pohled na konstrukci varianty č. 1*

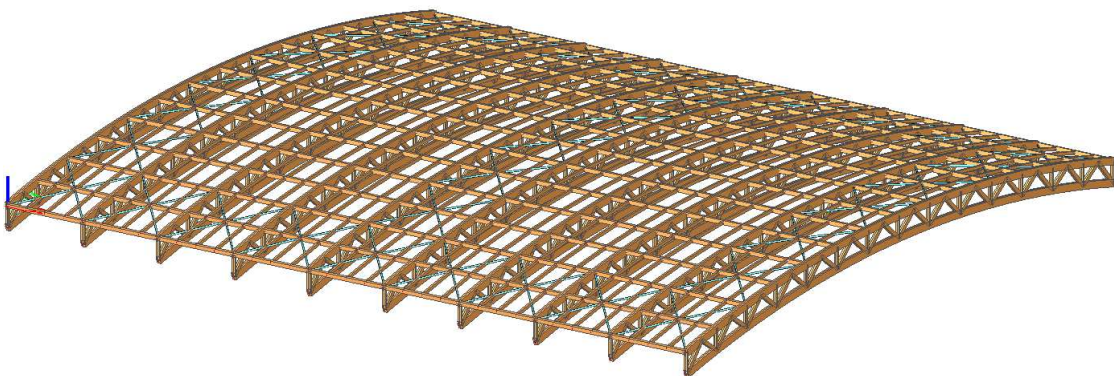
### 2.4.2 Vazník – varianta č. 2

Ve variantě číslo 2 je hlavním nosným prvkem soustavy příhradový vazník. Skládá se z horního a dolního pásu, které jsou obloukově zakřivené a jsou rozděleny svislicemi do 14 polí. V každém poli jsou dvě diagonály do tvaru obráceného písmene „v“. Vazník je z lepeného lamelového dřeva GL24h. Jeho uložení je uvažované stejné jako ve variantě č. 1. Diagonály a svislice jsou pak uvažovány s kloubovým připojením pomocí vložené ocelové desky se svorníky a kolíky. Vazník bude vzhledem k jeho délce rozdělen na tři části, poměr jednotlivých délek jednotlivých částí bude 35 : 30 : 35 %.





Statické schéma a průřezy příhradového vazníku



Axonometrický pohled na konstrukci varianty č. 2

## 2.5 Ztužení

Ztužení hal je v obou konstrukčních variantách zajištěno pomocí trubkových táhel. Na ztužidla je použita ocel vyšší pevnosti S355. Ztužidla jsou pomocí šroubového přípoje připojena k ocelovým úhelníkům na spodním okraji vaznic. Ztužení je navrženo jako křížové, přičemž se vždy skládá ze čtyř prutů kloubově připojeným k vaznici. Průměrná délka jednoho prutu je 3,62 metru.



Statické schéma a průřez trubkového táhla



### 3 Materiálové charakteristiky

Konstrukční varianty jsou vypracovány pro víceúčelovou sportovní halu, u které se očekává pouze provoz charakteru sportovních akcí – tréninků a zápasů, s naplněním maximální kapacity pouze výjimečně. Z těchto vstupních podmínek, velikosti zatížení a konstrukčního řešení byly zvoleny materiály odpovídajících vlastností.

#### Třída provozu 2

Třída provozu 2 je charakterizována vlhkostí materiálu odpovídající teplotě 20° a relativní vlhkosti okolního vzduchu, přesahující 85% pouze několik týdnů v roce. Ve třídě provozu 2 nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny dřeva jehličnatých dřevin 20%.

#### 3.1 Rostlé dřevo C24

Materiálové charakteristiky rostlého jehličnatého dřeva dle EN 14081-1 a EN 338

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

$$k_{def} = 0,8$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{24}{1,3} = 16,61 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0k} = 14 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{14}{1,3} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0k} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

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



### 3.2 Lepené lamelové dřevo Gl24h

Materiálové charakteristiky lepeného lamelového dřeva z jehličnatých dřevin dle EN 14080 a EN 1194

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

$$k_{def} = 0,8$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0k} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0d} = k_{mod} * \frac{f_{t,0k}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{16,5}{1,25} = 11,88 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0k} = 24 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

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

$$E_{0,05} = 9400 \text{ MPa}$$

### 3.3 Ocel S335

Materiálové charakteristiky ocele vyšší pevnosti S355 dle ČSN EN 193-1-1:

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 470 \text{ MPa}$$

### 3.4 Ocel 8.8 pro spojovací prostředky

Materiálové charakteristiky ocele vyšší pevnosti 8.8 dle ČSN EN 193-1-1:

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

$$\gamma_{M3} = 1,25$$



$$f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{u,b} = 800 \text{ MPa}$$

## 4 Zatížení konstrukce

Charakteristické hodnoty všech zatížení uvažovaných pro návrh střešní konstrukce víceúčelové sportovní haly byly zjištěny a vypočteny podle aktuálních platných norem používaných pro návrh pozemních staveb [1], [2], [3]. V návrhu byla uvažována zatížení stálá (vlastní tíha), proměnná (užitné zatížení, klimatická zatížení) a dále jejich kombinace pro mezní stav únosnosti a použitelnosti [6]. Použité normy jsou vždy uvedeny v jednotlivých podkapitolách výpočtu zatížení. Seznam všech použitých materiálů a norem je uveden v souhrnném rejstříku použité literatury a informačních zdrojů.

### 4.1 Zatížení stálá

Byla zde uvažována vlastní tíha celé nosné konstrukce podle typu jednotlivých konstrukčních variant. V počítačovém modelu byla vlastní tíha nosné konstrukce a vodorovných nosných prvků zavedena přímo zatěžovacím stavem. Vlastní tíha střešního pláště byla dále určena výpočtem. Do počítačového modelu byla zavedena jako charakteristická hodnota spojitého zatížení.

#### 4.1.1 Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou bylo do výpočtového modelu zaneseno vlastním zatěžovacím stavem pro jednotlivé konstrukční varianty.

- Rostlé dřevo C24:  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
- Lepené lamelové dřevo Gl24h:  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$
- Ocel S355:  $\rho_k = 7850 \text{ kg/m}^3$

#### 4.1.2 Střešní plášť

Volba střešního pláště vždy vychází z účelu stavby, přičemž se musí brát zřetel na konstrukční, geometrické a materiálové řešení zastřešení. V našem případě je skladba střešního pláště shodná u varianty 1 a varianty 2, kdy se v obou případech jedná o dřevěnou nosnou konstrukci víceúčelové sportovní haly. Spodní, plošně nosnou vrstvu, neboli záklop, u těchto variant tvoří dvě vrstvy OSB desek o rozměrech 625 x 2500 mm, které jsou kladeny v podélném směru zastřešení na krokve a vazníky, ke kterým jsou připojeny ocelovými sponkami. Osová vzdálenost krokví je 1250 mm, čímž vzniká ze statického hlediska spojitý nosník o 2 polích. Při pokládání OSB desek musí být brán zřetel na překrytí jednotlivých spár v podélném i příčném směru, aby došlo k jejich dokonalému spolupůsobení. Dalšími vrstvami této skladby jsou v pořadí od OSB desek oxidovaný asfaltový pás, studené asfaltové lepidlo, první vrstva tepelné izolace, studené asfaltové lepidlo, druhá vrstva tepelné izolace, pojistná hydroizolace z modifikovaného asfaltového pásu, hydroizolace a titanzinkový plech, který tvoří střešní krytinu.

Stálé zatížení - střešní plášť			
Vrstva	Tloušťka [mm]	Obj. tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	g <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Titanzinkový plech Rheinzink	0,8	72	0,0576
Hydroizolace Delta Trela	8	0,475	0,0038
Pojistná hydroizolace z mod. asfalt. pásu	4	11,9	0,0476
Tepelná izolace foamglass readyboard	120	1,15	0,138
Studené asfalt. Lepidlo PC11	2	13	0,026
Tepelná izolace foamglass readyboard	140	1,15	0,161
Studené asfalt. Lepidlo PC11	2	13	0,026
Oxidovaný asfalt. pás extrasklobit bitumat	4	11,25	0,045
2 x OSB deska 4 Superfinish BAU ECO	24	5,5	0,132
CELKEM	304,8		0,637

*Skladba střešního pláště*



## 4.2 Zatížení proměnná

Jako proměnné zatížení bylo uvažováno zatížení užité a zatížení klimatická. Všechno tyto zatížení byly určeny na základě příslušné normy a výpočtu. Do výpočtového modelu byla zanesena jako spojité, nebo bodové zatížení.

### 4.2.1 Zatížení užité

Užité zatížení bylo stanoveno podle normy [1].

zatížení	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Užité – střecha kat. H	0,4

### 4.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem bylo spočteno podle normy [3], ve které jsou uvedeny veškeré návrhové hodnoty, hodnoty součinitelů pro výpočet zatížení sněhem a jsou v ní detailně popsány.

Sněhová oblast I., Plzeň.

Pro trvalé nebo dočasné návrhové situace se zatížení sněhem na střеше určí ze vztahu:  $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

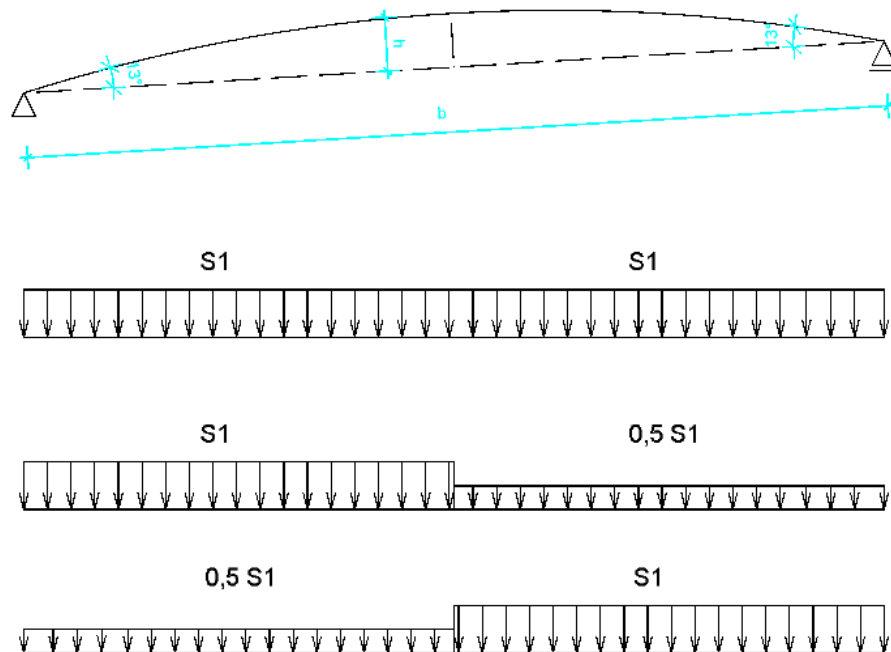
$C_e$  – součinitel expozice, obvyklá hodnota = 1

$C_t$  – tepelný součinitel, obvyklá hodnota = 1

$s_k$  – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi [kN/m<sup>2</sup>], určí se dle sněhové mapy

$\mu_i$  – tvarový součinitel zatížení sněhem = 0,8 ( $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ )

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

*Schéma působení zatížení sněhem*

### 4.2.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo spočteno podle normy [2], ve které jsou uvedeny veškeré návrhové hodnoty, hodnoty součinitelů pro výpočet tlaku větru a jsou v ní detailně popsány. Zatížení v obou směrech vyvoluje pouze sání.

Uvažovaná větrová oblast Domažlice, kategorie terénu III.

$V_{b0} = 25$  m/s – charakteristická desetiminutová rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí

$\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup> – měrná hmotnost vzduchu

$C_0 = 1$  – součinitel orografie

$C_{dir} = 1$  – součinitel směru větru

$C_{SEASON} = 1$  – součinitel ročního období

$z_0 = 0,3$  m – parametr drsnosti terénu

$z_{min} = 5$  m

$z_{max} = 200$  m

$z = h + f = 11,85 + 2,27 = 14,12$



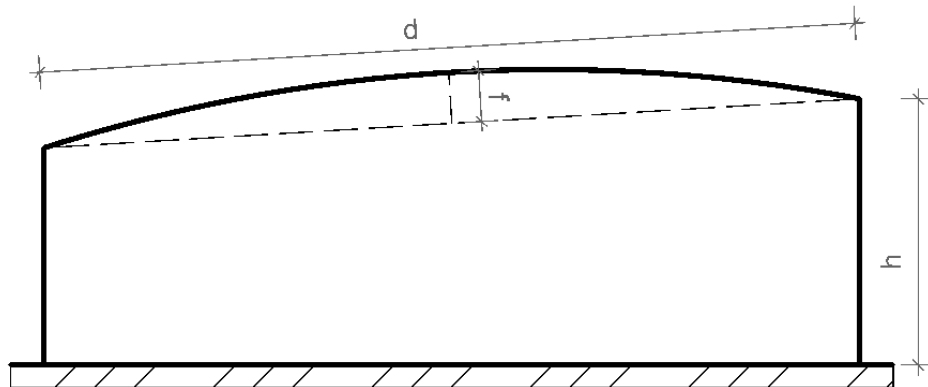


Schéma víceúčelové sportovní haly

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{14,12}{0,3}\right) = 0,828$$

$$c_0(z) = 1$$

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,828 * 1 * 25 = 20,68 \text{ m/s}$$

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l = 0,215 * 25 * 1 = 5,375 \text{ kPa}$$

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,375}{20,68} = 0,260$$

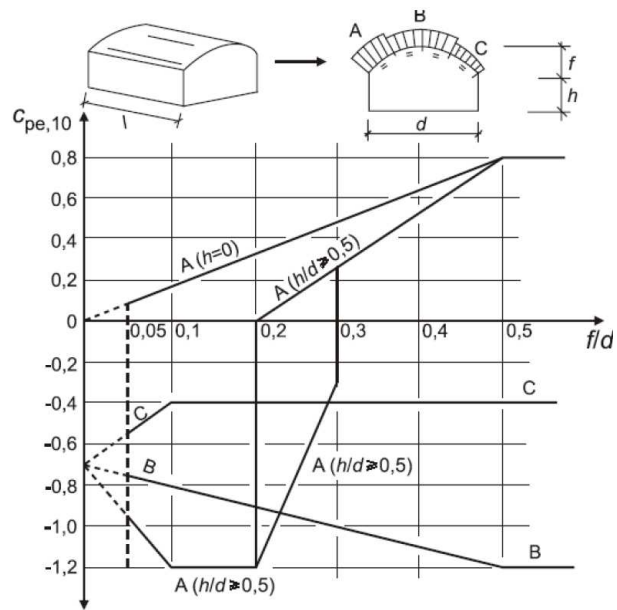
$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7l_v(z)] * 0,5\rho * v_m^2(z) = \\ &= (1 + 7 * 0,26) * 0,5 * 1,25 * 20,68^2 = 753,75 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

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

## Vitr příčný

$$\frac{f}{d} = \frac{2,265}{36,46} = 0,062$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11,85}{36,46} = 0,325$$

Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku  $c_{pe}$ 

- Koeficienty  $C_{pe,10,A}$ ,  $C_{pe,10,B}$ ,  $C_{pe,10,C}$  získáme grafickým odečtem a lineární interpolací

$$C_{pe,10,A} = -0,632$$

$$C_{pe,10,B} = -0,765$$

$$C_{pe,10,C} = -0,465$$

$$w_{e,A} = 753,75 * (-0,632) * 10^{-3} = -0,476 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 753,75 * (-0,765) * 10^{-3} = -0,577 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = 753,75 * (-0,465) * 10^{-3} = -0,351 \text{ kN/m}^2$$

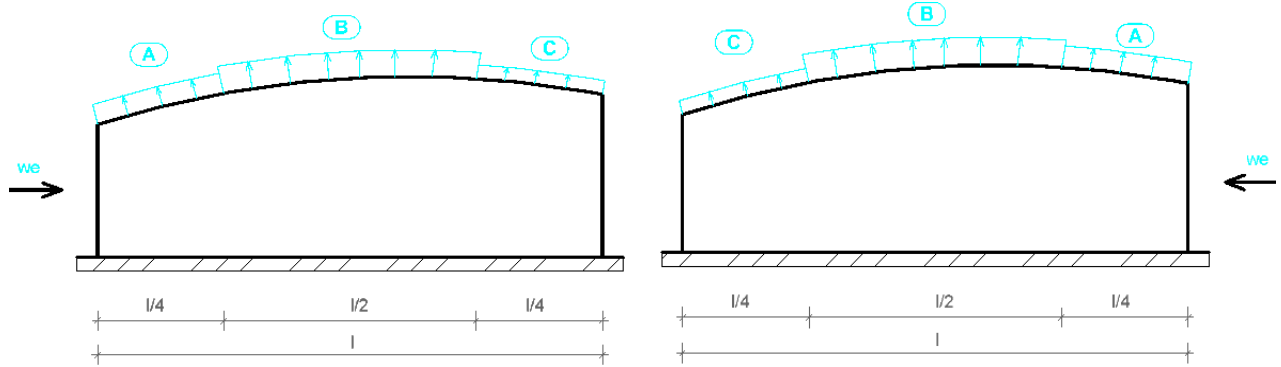
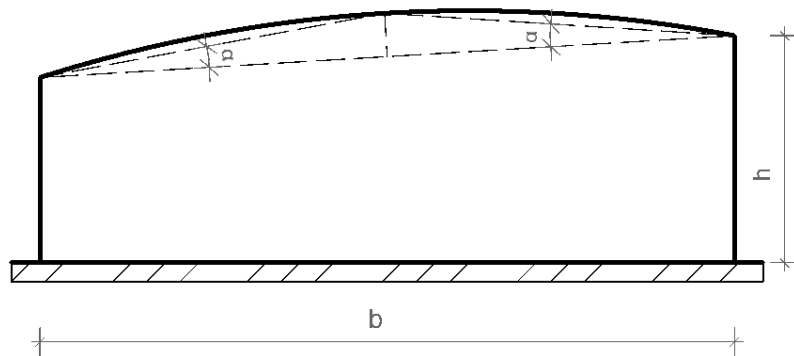
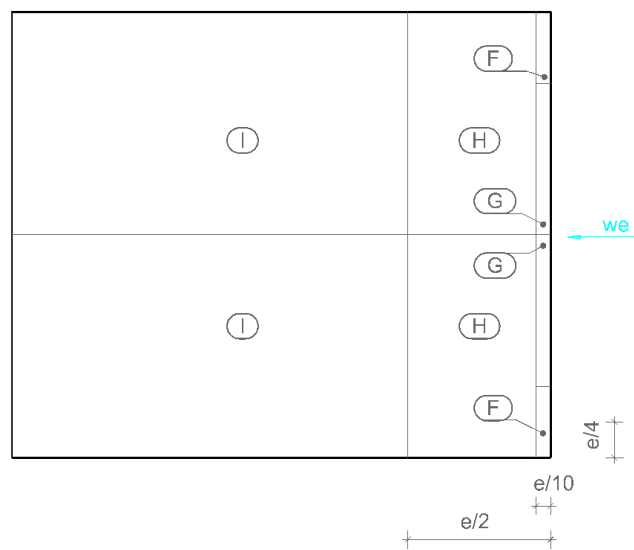


Schéma působení tlaku na střechu haly

### Vítr podélný



Idealizace na sedlovou střechu



Rozložení oblastí na střechě



$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{36,8, 2 * 11,85 = 23,7\} = 23,7 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{23,7}{2} = 11,85 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{23,7}{4} = 5,925 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{23,7}{10} = 2,37 \text{ m}$$

- Koeficienty  $C_{pe,10,F}$ ,  $C_{pe,10,G}$ ,  $C_{pe,10,H}$ ,  $C_{pe,10,I}$  získáme lineární interpolací z tabulky součinitelů vnějšího tlaku normy ČSN EN 1991- 1-4 Tabulka 7.4a

$$C_{pe,10,F} = - 1,54$$

$$C_{pe,10,G} = - 1,25$$

$$C_{pe,10,H} = - 0,72$$

$$C_{pe,10,I} = - 0,54$$

$$w_{e,F} = 753,75 * (-1,54) * 10^{-3} = -1,16 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 753,75 * (-1,25) * 10^{-3} = -0,942 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 753,75 * (-0,72) * 10^{-3} = -0,542 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 753,75 * (-0,54) * 10^{-3} = -0,407 \text{ kN/m}^2$$

## 5 Statický výpočet

Jednotlivé prvky budou posouzeny na mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti a požární odolnost. Posouzení bude vždy provedeno na nejnepříznivější účinky od zatěžovacích stavů. K sestavení kombinací



zatěžovacích stavů pro MSÚ a MSP byly použity rovnice podle normy [6].

Kombinace pro mezní stavy byly zavedeny do výpočtu v programu SCIA Engineer 2014.0

Dimenze jednotlivých prvků byly navrženy na základě výpočtu vnitřních sil v programu SCIA Engineer.

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

*Kombinace pro mezní stav únosnosti podle normy [6]*

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

*Kombinace pro mezní stav použitelnosti podle normy [6]*

## 5.1 OSB desky

Únosnost OSB desek byla určena na základě tabulek od výrobce dle ČSN 73 1701:1984. OSB desky jsou kladeny ve dvou vrstvách, tloušťka jedné OSB desky je 12 mm. V posouzení se uvažuje deska tloušťky 24 mm. Spolupůsobení jednotlivých vrstev však nejde považovat za dokonalé, proto je navržena dostatečná rezerva.

Největší přípustné zatížení pro desku šířky 1 běžný metr na spojitém nosníku o dvou polích délky 1,25 m a pro tloušťku desky 24 mm je 1,95 kN/m<sup>2</sup> (určeno na základě lineární interpolace).

$$\text{Zatížení: } q_{OSB} = g_k + s_1 = 0,64 + 0,56 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Podmínka: } \frac{q_{OSB}}{q_{Rd}} = \frac{1,2}{1,95} = \mathbf{0,615} < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## 5.2 Krokve

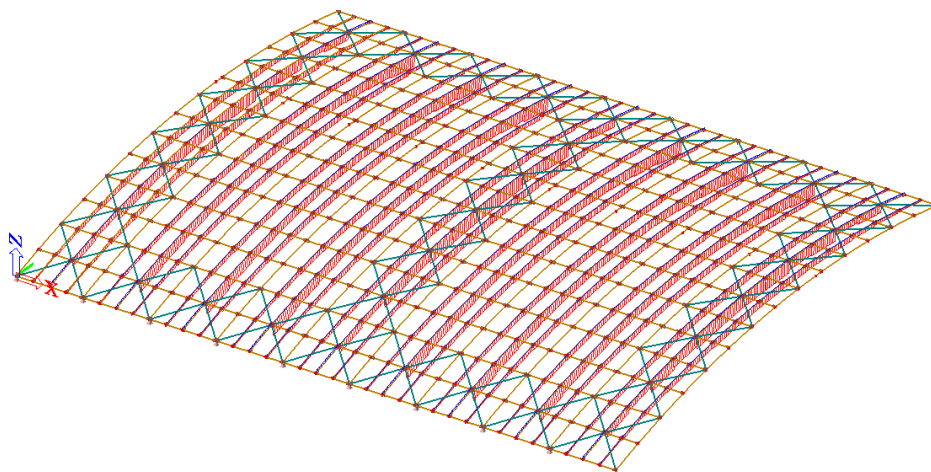
- počet: 378 ks
- typ: prutový prvek kloubově připojený k vaznicím
- délka: 2,62 m
- průřez: obdélníkový 120 x 160 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = b * h = 120 * 160 = 19\,200 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 120 * 160^2 = 256 * 10^3 \text{ mm}^3$$

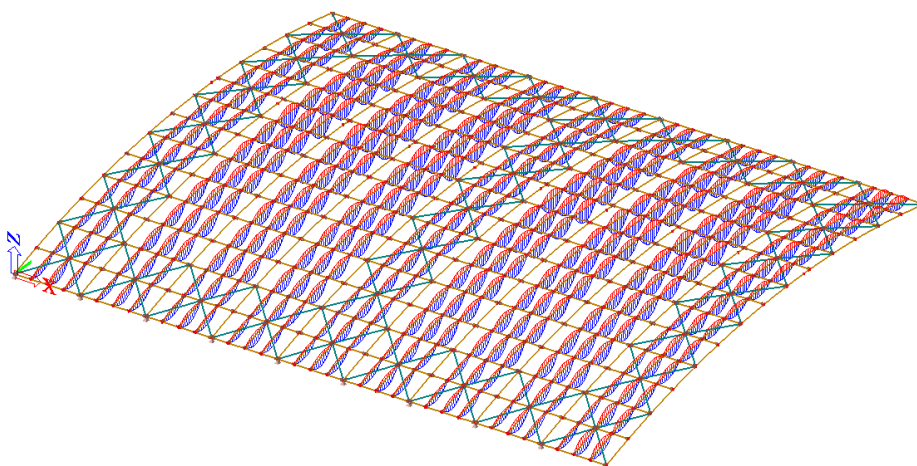
- materiál: jehličnaté rostlé dřevo C24

### 5.2.1 MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Krokve MSÚ

Pozn.: Dominantní namáhání vzpěrem je způsobeno výpočtovým 3D modelem



Průběh ohybových momentů – Krokve MSÚ



Prvek	Stav	Dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
krokev	CO1 - MS únosnosti	0	-126,96	0	1,22	0	0	0
krokev	CO1 - MS únosnosti	2,618	19,96	0	-1,18	0	0	0
krokev	CO1 - MS únosnosti	1,309	-55,63	0	0	0	2,05	0

Hodnoty vnitřních sil a momentů – krokev, CO1 MSÚ

### 5.2.1.1 Tlak rovnoběžně s vlákny - vzpěr

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + vítr příčný, levý
- Zatížení:  $N_{Ed} = 126,96 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{126,96 \cdot 10^3}{19\,200} = 6,61 \text{ MPa}$$

- Součinitel vzpěrnosti:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,019 + \sqrt{1,019^2 - 0,985^2}} = 0,781$$

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

$$0,5 \cdot (1 + 0,1(0,985 - 0,3) + 0,985^2) = 1,019$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{56,725}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{20}{6700}} = 0,985$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2620}{46,188} = 56,725$$

$$L_{cr} = \beta L = 2620 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{40,96 \cdot 10^6}{19200}} = 46,188 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 160^3 = 40,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} = \frac{6,61}{0,781 * 13,85} = 0,611 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.2.1.2. Tah rovnoběžně s vlákny

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sních plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 19,96 \text{ kN}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{19,96 * 10^3}{19200} = 1,039 \text{ MPa}$$

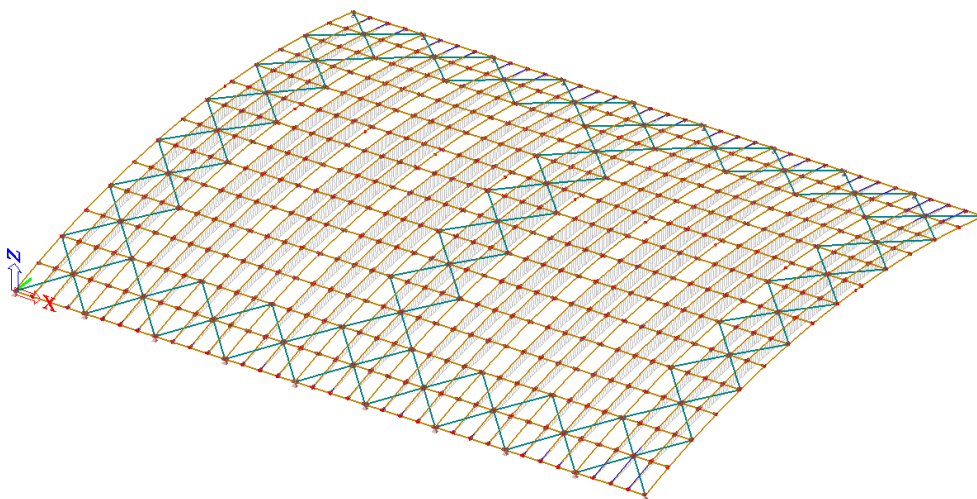
**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,039}{9} = 0,115 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.2.1.3 Posouzení stability

- Krokve jsou zajištěny proti ztrátě příčné a torzní stability záklopem z OSB desek.

## 5.2.2 MSP



Průběh deformace prutu – Krokve MSP





- průhyb od stálého zatížení:  $u_{1,inst} = 1,2 \text{ mm}$
- průhyb od sněhu:  $u_{2,inst} = 1,5 \text{ mm}$

$$u_{inst} = u_{1,inst} + u_{2,inst} = 1,2 + 1,5 = 2,7$$

$$u_{net,fin} = u_{1,inst} * (1 + k_{def}) + u_{2,inst} * (1 + \psi_2 k_{def})$$

$$u_{net,fin} = 1,2 * (1 + 0,8) + 1,5 * (1 + 0 * 0,8) = 3,66$$

$$u_{lim} = -\frac{L}{200} = \frac{2620}{200} = \mathbf{13,1 \text{ mm}}$$

**Podmínka:**

$$\frac{u_{net,fin}}{u_{lim}} = \frac{3,66}{13,1} = 0,279 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

### 5.2.3 Požární odolnost

- Návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:

Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,8 * 30 + 1 * 7 = 31 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 120 - 2 * 31 = 58 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 160 - 2 * 31 = 98 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 58 * 98 = 5684 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 58 * 98^2 = 92 \text{ 838 mm}^3$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$



Redukované zatížení a napětí:

$$N_{c,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{c,Ed} = 0,384 * 126,96 = 48,753 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{c,Ed,fi}}{A_r} = \frac{48,753 * 10^3}{5684} = 8,577 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,25 * \frac{20}{1} = 25$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c * f_{c,0,d,fi}} = \frac{8,577}{0,781 * 25} = 0,439 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

### 5.3 Vaznice

- počet: 135 ks
- typ: prutový prvek kloubově připojený k vazníkům
- délka: 5 m
- průřez: obdélníkový 140 x 240 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = b * h = 140 * 240 = 33\,600 \text{ mm}^2$$

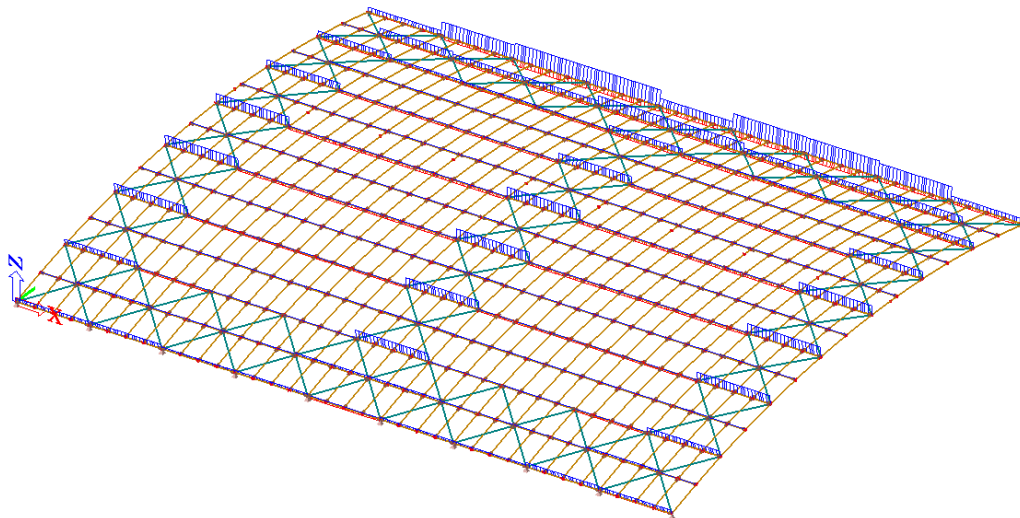
$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 140 * 240^2 = 1344 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} * h * b^2 = \frac{1}{6} * 240 * 140^2 = 784 * 10^3 \text{ mm}^3$$

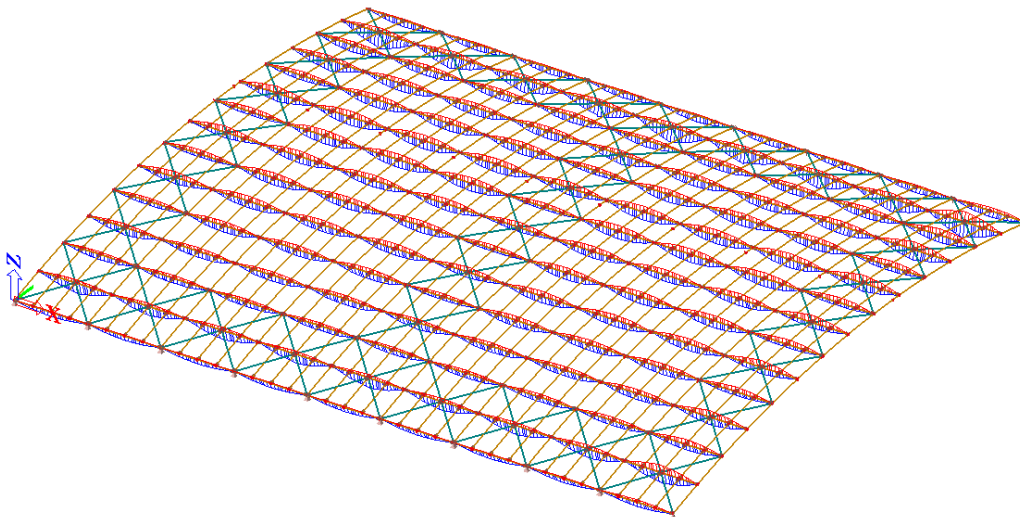
- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h



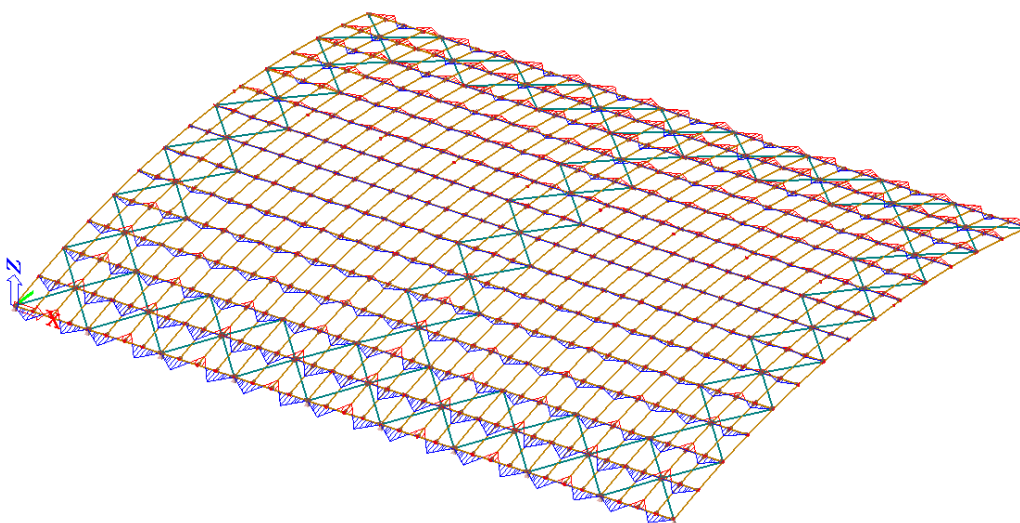
### 5.3.1 MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Vaznice MSÚ



Průběh momentů  $M_y$  – Vaznice MSÚ



Průběh momentů  $M_z$  – Vaznice MSÚ



Prvek	Stav	Dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vaznice	CO1 - MS únosnosti	0	-21,09	0	1,22	0	0	0
Vaznice	CO1 - MS únosnosti	0	61,48	5,02	3,42	0	0	0
Vaznice	CO1 - MS únosnosti	0	24,79	-4,6	7,87	1,32	0	0
Vaznice	CO1 - MS únosnosti	0	10,37	5,58	6,3	2,25	0	0
Vaznice	CO1 - MS únosnosti	2,5	26,8	-9,38	-4,18	-1,41	14,66	5,66

Hodnoty vnitřních sil a momentů – vaznice, CO1 MSÚ

### 5.3.1.1 Tah rovnoběžně s vlákny

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 61,48$  kN

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{61,48 * 10^3}{33600} = 1,83 \text{ MPa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,83}{11,88} = 0,154 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.3.1.2 Kombinace šikmého ohybu a tahu rovnoběžně s vlákny

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 26,8$  kN

$$M_{y,Ed} = 14,66 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 5,66 \text{ kNm}$$



$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{26,8 * 10^3}{33\ 600} = 0,798 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{14,66 * 10^6}{1\ 344\ 000} = 10,908 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{5,66 * 10^6}{784\ 000} = 7,219 \text{ MPa}$$

**Podmínky:**

- pro obdélníkový průřez z lepeného lamelového dřeva,  $k_m = 0,7$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}$$

$$\frac{0,798}{11,88} + \frac{10,908}{17,28} + 0,7 * \frac{7,219}{17,28} = 0,981 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}$$

$$\frac{0,798}{11,88} + 0,7 * \frac{10,908}{17,28} + \frac{7,219}{17,28} = 0,927 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

**5.3.1.3 Kombinace šikmého ohybu a vzpěru**

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný

- Zatížení:  $N_{Ed} = 4,18 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 9,21 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = 0,44 \text{ kNm}$

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{4,18 * 10^3}{33\ 600} = 0,124 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{9,21 * 10^6}{1\ 344\ 000} = 6,853 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{0,44 * 10^6}{784\ 000} = 0,56 \text{ MPa}$$



- Součinitel vzpěrnosti, vybočení v rovině prvku (kolmo k ose y):

$$k_{c,y} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,16^2}} = 0,63$$

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

$$0,5 * (1 + 0,1(1,16 - 0,3) + 1,16^2) = 1,22$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{72,17}{\pi} * \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,16$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5000}{69,28} = 72,17$$

$$L_{cr} = \beta L = 5000 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{161,28 * 10^6}{33600}} = 69,28 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 140 * 240^3 = 161,28 * 10^6 \text{ mm}^3$$

- Součinitel vzpěrnosti, vybočení z roviny prvku (kolmo k ose z):

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,5^2}} = 0,97$$

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

$$0,5 * (1 + 0,1(0,5 - 0,3) + 0,5^2) = 0,63$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{40,41}{\pi} * \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,5$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1250}{40,41} = 72,17$$

$$L_{cr} = \beta L = 0,25 * 5000 = 1250 \text{ mm (vzdálenost kroků)}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{54,88 * 10^6}{33600}} = 40,41 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 240 * 140^3 = 54,88 * 10^6 \text{ mm}^3$$



- Vliv klopení od  $M_{y,Ed}$

$$L_{ef} = 0,9 L + 2 h = 0,9 * 5000 + 2 * 240 = 4980 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h L_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 * 140^2}{240 * 4980} 9400 = 120,24 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{120,24}} = 0,45$$

$$\lambda_{rel,m} < 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 - \text{klopení nenastává}$$

### Podmínky:

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

$$\frac{0,124}{0,63 * 17,28} + \frac{6,853}{17,28} + 0,7 * \frac{0,56}{17,28} = 0,431 < 1 \text{ **Vyhovuje**}$$

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

$$\frac{0,124}{0,97 * 17,28} + 0,7 * \frac{6,853}{17,28} + \frac{0,56}{17,28} = 0,317 < 1 \text{ **Vyhovuje**}$$

### 5.3.1.3 Smyk

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh pravý
- Zatížení:  $V_{z,Ed} = 7,87 \text{ kN}$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} k \frac{V_{z,Ed}}{A} = \frac{3}{2} * 0,67 * \frac{7,87 * 10^3}{33\ 600} = 0,235 \text{ MPa}$$

### Podmínka:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,235}{1,94} = 0,121 < 1 \text{ **Vyhovuje**}$$

### 5.3.1.4 Kroucení

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh pravý
- Zatížení:  $M_{x,Ed} = 2,25 \text{ kNm}$

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{x,Ed}}{k_{tor} b^2 h} = \frac{2,25}{0,237 * 140^2 * 240} = 2,018 \text{ MPa}$$

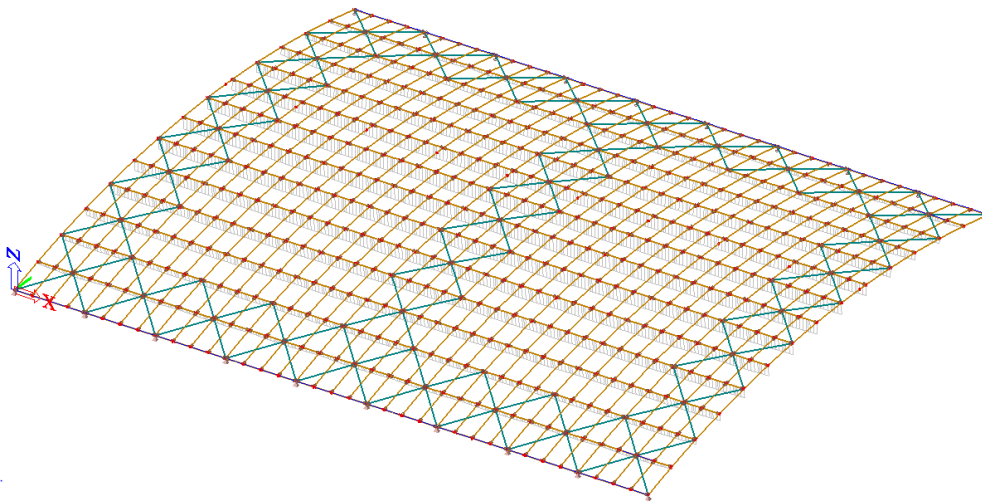
$$- k_{tor} : \frac{h}{b} = 1,7 \quad k_{tor} = 0,237 \text{ (lineární interpolací)}$$

$$k_{shape} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 \frac{h}{b} = 1,26 \\ 2,00 \end{array} \right\} = 1,26$$

**Podmínka:**

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} f_{v,d}} = \frac{2,018}{1,26 * 1,94} = 0,826 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.3.2 MSP



Průběh deformace prutu – Vaznice MSP

- průhyb od stálého zatížení:  $u_{1,inst} = 4 \text{ mm}$
- průhyb od sněhu:  $u_{2,inst} = 6,3 \text{ mm}$

$$u_{inst} = u_{1,inst} + u_{2,inst} = 4 + 6,3 = 10,3$$

$$u_{net,fin} = u_{1,inst} * (1 + k_{def}) + u_{2,inst} * (1 + \psi_2 k_{def})$$

$$u_{net,fin} = 4 * (1 + 0,8) + 6,3 * (1 + 0 * 0,8) = 13,5$$





$$u_{lim} = -\frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$$

**Podmínka:**

$$\frac{u_{net,fin}}{u_{lim}} = \frac{13,5}{25} = 0,54 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.3.3 Požární odolnost

- Návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:

Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 140 - 2 * 28 = 84 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 240 - 2 * 28 = 212 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 84 * 212 = 17\,808 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 84 * 212^2 = 629\,216 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 212 * 84^2 = 249\,312 \text{ mm}^3$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{t,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{t,Ed} = 0,384 * 26,8 = 10,291 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,fi} = \eta_{fi} * M_{y,Ed} = 0,384 * 14,66 = 5,629 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,fi} = \eta_{fi} * M_{z,Ed} = 0,384 * 5,66 = 2,173 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,o,d,fi} = \frac{N_{t,Ed,fi}}{A_r} = \frac{10,921 * 10^3}{17\,808} = 0,577 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{5,629 * 10^6}{629\,216} = 8,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{z,fi}} = \frac{2,173 * 10^6}{249\,312} = 8,727 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{16,5}{1} = 19,98 \text{ MPa}$$

$$f_{m,,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{24}{1} = 27,60 \text{ Mpa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}}$$

$$\frac{8,577}{19,98} + \frac{8,95}{27,6} + 0,7 * \frac{8,727}{27,6} = 0,975 < 1 \text{ **Vyhovuje**}$$

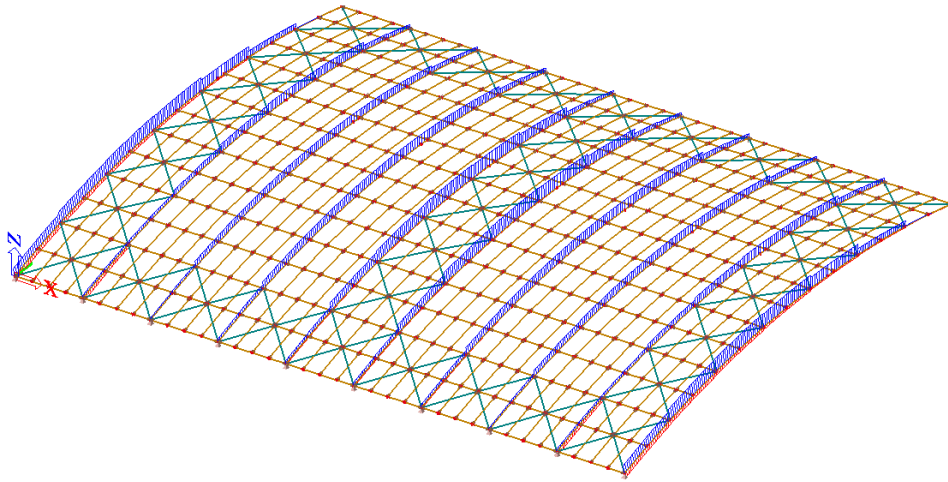
#### 5.4 Plnostěnný vazník - varianta č. 1

- počet: 10 ks
- typ: prutový prvek uložený na ŽB sloupech (pevná podpora a posuvná podpora ve směru rozpětí vazníku)
- délka po půdorysu:  $L = 36,845 \text{ m}$
- délka po střednici:  $L_s = 36,395 \text{ m}$
- průřez: obdélníkový 240 x 1900 mm
- průřezové charakteristiky:
 
$$A = b * h = 240 * 1900 = 456\,000 \text{ mm}^2$$

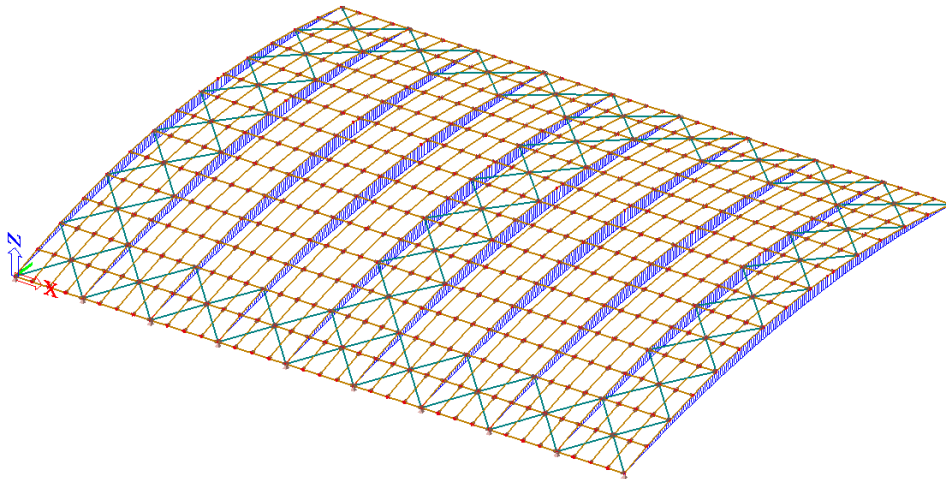
$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 240 * 1900^2 = 144,4 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} * h * b^2 = \frac{1}{6} * 1900 * 240^2 = 18,24 * 10^6 \text{ mm}^3$$
- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- tloušťka lamely:  $t = 40 \text{ mm}$
- poloměr zakřivení na střednici:  $r = 74,4 \text{ m}$

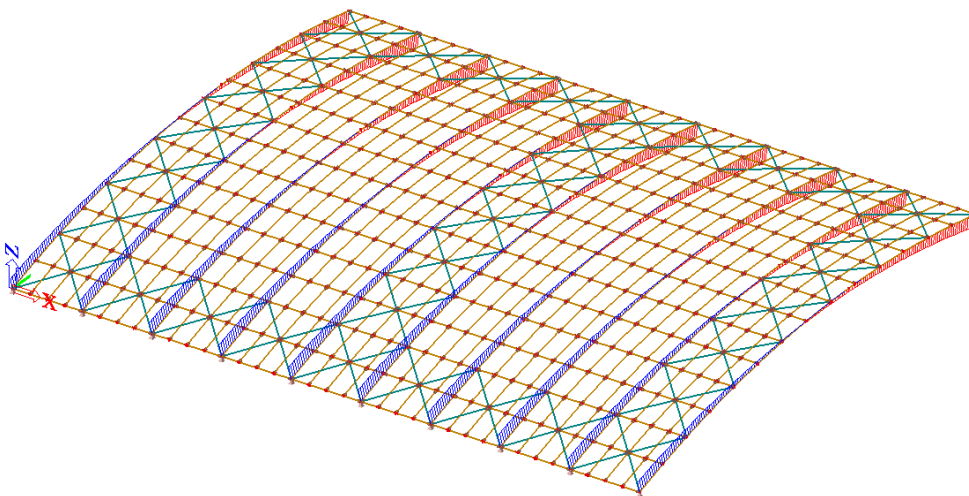
## 5.4.1 MSÚ



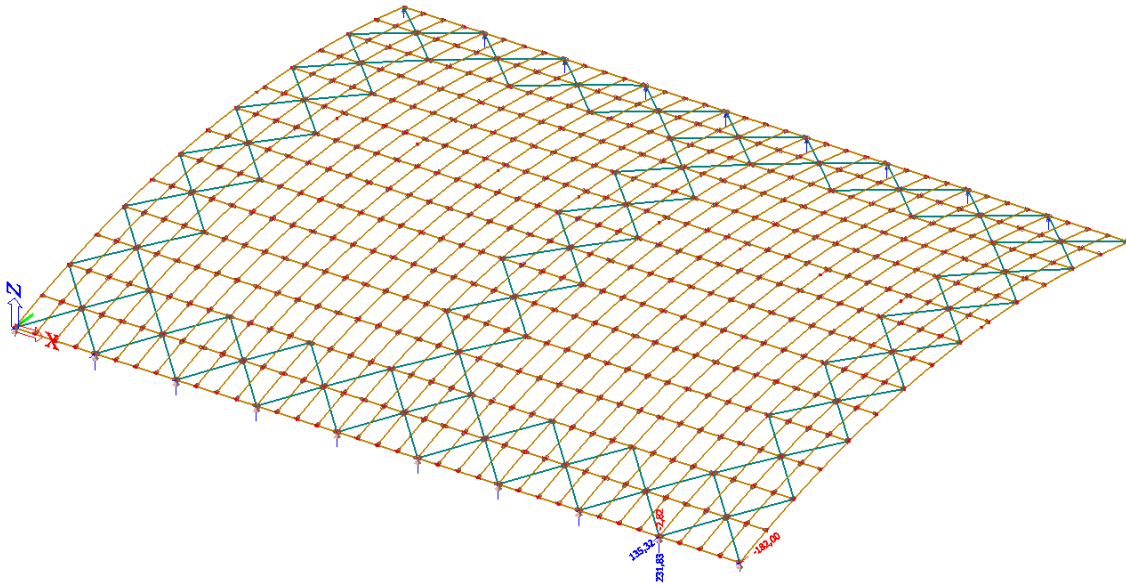
Průběh normálových vnitřních sil – Vazník MSÚ



Průběh momentů  $M_y$  – Vazník MSÚ



Průběh posouvajících sil  $V_z$  – Vazník MSÚ



Průběh posouvajících sil Vz – Vazník MSÚ

Prvek	Stav	Dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vazník	CO1 - MS únosnosti	0	-99,28	0,07	23,44	-0,37	-1,16	-0,01
Vazník	CO1 - MS únosnosti	15,71	271,45	1,62	18,57	2,9	1350,42	7,15
Vazník	CO1 - MS únosnosti	36,65	66,07	1,36	-199,54	1,17	-83,03	-0,02
Vazník	CO1 - MS únosnosti	0	58,35	-0,57	195,95	-6,5	-89,33	-0,12
Vazník	CO1 - MS únosnosti	18,326	187,68	0,25	5,94	-0,35	1682,52	0,26
Vazník	CO1 - MS únosnosti	20,944	261,85	1,38	-25,07	0,42	1635,14	7,78

Hodnoty vnitřních sil a momentů – Vazník – varianta č. 1, CO1 MSÚ



Prvek	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vazník	CO1 - MS únosnosti	-3,99	-182	115,85	0	0	0
Vazník	CO1 - MS únosnosti	3,99	-182	115,85	0	0	0
Vazník	CO1 - MS únosnosti	3,86	135,32	231,83	0	0	0
Vazník	CO1 - MS únosnosti	-0,7	-32,24	-2,82	0	0	0
Vazník	CO1 - MS únosnosti	0,11	-1,64	11,58	0	0	0

Hodnoty reakcí – Vazník – varianta č. 1, CO1 MSÚ

#### 5.4.1.1 Maximální normálové napětí

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,max,Ed} = 1682,25 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,max,Ed}}{W_y} = \frac{1682,25 * 10^6}{144,4 * 10^6} = 11,645 \text{ MPa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{11,645}{17,28} = 0,674 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

#### 5.4.1.2 Normálové napětí ve vrcholu rovnoběžně s vlákny

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,ap,Ed} = 1635,14 \text{ kNm}$

Napětí v ohybu ve vrcholové části:

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

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

$$k_2 = 0,35 - 8 \text{tg } \alpha_{ap} = 0,35$$



$$k_3 = 0,6 - 8,3tg \alpha_{ap} - 7,8 tg^2 \alpha_{ap} = 0,6$$

$$k_4 = 6 tg^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$h_{ap} = h = 1900 \text{ mm}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,009$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l \frac{6M_{y,ap,Ed}}{b * h_{ap}^2} = 1,009 * \frac{6 * 1635,14 * 10^6}{240 * 1900^2} = 11,335 \text{ MPa}$$

Redukční součinitel zohledňující snížení pevnosti, způsobené ohybem lamel během výroby:

$$r_{in} = r - 0,5h_{ap} = 74\,400 - 0,5 * 1900 = 73\,450 \text{ mm}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{73\,450}{40} = 1836,25 > 240 \rightarrow k_r = 1,0$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r f_{m,d}} = \frac{11,335}{1 * 17,28} = 0,655 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.4.1.3 Kombinace normálov. napětí ve vrcholu kolmo k vláknům a smyku

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,ap,Ed} = 1635,14 \text{ kNm}$

$$V_{z,Ed} = 25,7 \text{ kN}$$

Napětí v tahu kolmo k vláknům ve vrcholové oblasti:

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_5 = 0,2tg \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5tg \alpha_{ap} + 2,6 tg^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1tg \alpha_{ap} - 4 tg^2 \alpha_{ap} = 0,0$$

$$h_{ap} = h = 1900 \text{ mm}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,006$$



$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{y,ap,Ed}}{b * h_{ap}^2} = 0,006 * \frac{6 * 1635,14 * 10^6}{240 * 1900^2} = 0,068 \text{ MPa}$$

Smykové napětí ve vrcholové oblasti:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} k \frac{V_{z,Ed}}{A} = \frac{3}{2} * 0,67 * \frac{25,7 * 10^3}{456\,000} = 0,035 \text{ MPa}$$

Součinitel zohledňující účinek rozdělení napětí ve vrcholové oblasti:

pro zakřivené nosníky,  $k_{dis} = 1,4$

Součinitel objemu:

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi\beta}{180} * b(h_{ap}^2 + 2r_{in}h_{ap}) \\ \frac{2}{3} * V_b \end{array} \right\}$$

$$V_b = A_v * b = 66,019 * 0,24 = 15,845 \text{ m}^3$$

$A_v = 66,019$  – zjištěno pomocí softwaru Allplan

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi 11}{180} * 0,24(1,9^2 + 2 * 74,4 * 1,9) \\ \frac{2}{3} * 15,845 \end{array} \right\}$$

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} 15,59 \\ 10,56 \end{array} \right\} = 10,56 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left( \frac{0,01}{10,56} \right)^{0,2} = 0,249$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,068}{1,4 * 0,249 * 0,29} + \frac{0,035}{1,94} = 0,691$$

$< 1,0$  **Vyhovuje**

#### 5.4.1.4 Komb. prostého ohybu a osového tahu

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,ap,Ed} = 1682,52 \text{ kNm}$



$$N_{Ed} = 187,68 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{187,68 * 10^3}{456 000} = 0,412 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{1682,52 * 10^6}{144,4 * 10^6} = 11,65 \text{ MPa}$$

**Podmínky:**

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,412}{11,88} + \frac{11,65}{17,28} = 0,71 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

#### 5.4.1.5 Smykové napětí v podpoře

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + sníh pravý
- Zatížení:  $V_{z,Ed} = 195,95 \text{ kN}$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} k \frac{V_{z,Ed}}{A} = \frac{3}{2} * 0,67 * \frac{195,95 * 10^3}{456 000} = 0,432 \text{ MPa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,432}{1,94} = 0,222 < 1 \text{ *Vyhovuje*}$$

#### 5.4.1.6 Tlak kolmo k vláknům v podpoře

- Zatížení:  $V_{z,Ed} = 195,95 \text{ kN}$
- délka podepření:  $L_c = 1000$
- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{z,Ed}}{b * L_c} = \frac{195,95 * 10^3}{240 * 1000} = 0,816 \text{ MPa}$$





**Podmínka:**

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,816}{1,94} = 0,421 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

#### 5.4.1.7 Ztráta stability v podpoře

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,Ed} = 108,44 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{108,44 * 10^6}{144,4 * 10^6} = 0,751 \text{ MPa}$$

$$L_{ef} = 0,9L_s + 2h = 0,9 * 36\,395 + 2 * 1900 = 36555,5$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{h * L_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 * 240^2}{1900 * 36\,555,5} * 9400 = 6,081 \text{ MPa}$$

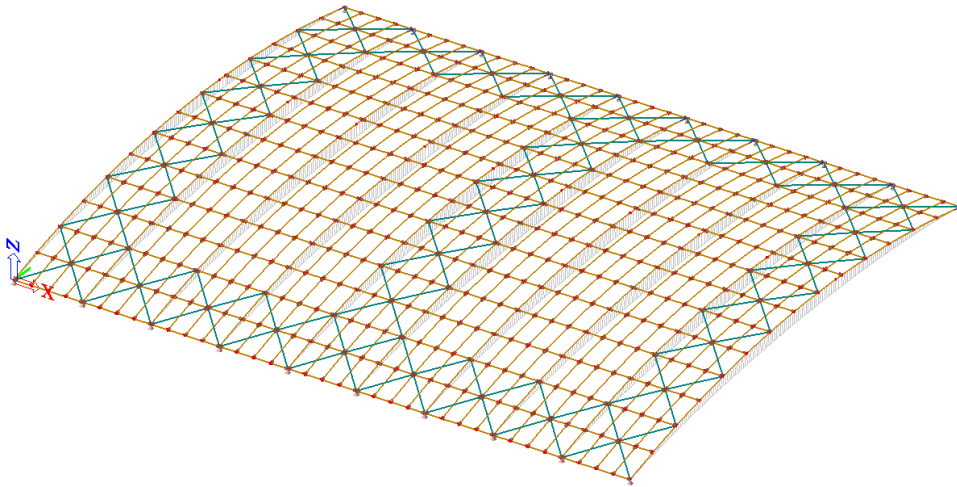
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{6,081}} = 1,987$$

$$\lambda_{rel,m} > 1,4 \rightarrow k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,987^2} = 0,25$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,d}} = \frac{0,751}{0,25 * 17,28} = 0,174 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 5.4.2 MSP



Průběh deformace prutu – Vazník, varianta č. 1 - MSP

- průhyb od stálého zatížení:  $u_{1,inst} = 83,5 \text{ mm}$
- průhyb od sněhu:  $u_{2,inst} = 38 \text{ mm}$

$$u_{inst} = u_{1,inst} + u_{2,inst} = 83,5 + 38 = 121,5$$

$$u_{net,fin} = u_{1,inst} * (1 + k_{def}) + u_{2,inst} * (1 + \psi_2 k_{def})$$

$$u_{net,fin} = 83,5 * (1 + 0,8) + 38 * (1 + 0 * 0,8) = 182,36$$

$$u_{lim} = -\frac{L}{200} = \frac{36\,845}{200} = \mathbf{184,225 \text{ mm}}$$

**Podmínka:**

$$\frac{u_{net,fin}}{u_{lim}} = \frac{182,36}{184,225} = 0,989 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.4.3 Požární odolnost

- Návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:



Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 240 - 2 * 28 = 184 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 1900 - 2 * 28 = 1844 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 184 * 1844 = 339\,296 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 184 * 1844^2 = 104,277 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{t,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{t,Ed} = 0,384 * 187,67 = 72,065 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,fi} = \eta_{fi} * M_{y,Ed} = 0,384 * 1682,52 = 646,088 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{t,Ed,fi}}{A_r} = \frac{72,065 * 10^3}{339\,296} = 0,212 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{646,088 * 10^6}{104,277 * 10^6} = 6,2 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{16,5}{1} = 19,98 \text{ MPa}$$

$$f_{m,,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{24}{1} = 27,60 \text{ Mpa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}}$$

$$\frac{0,212}{19,98} + \frac{6,2}{27,6} = 0,235 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

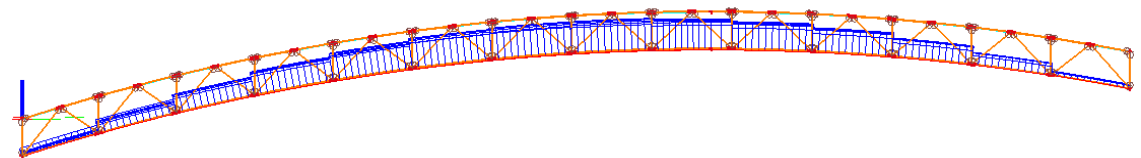
## 5.5 Příhradový vazník - varianta č. 2

- počet: 10 ks
- rovinná prutová soustava, uložena jako prostý nosník, jednotlivé propojení prutů je modelováno jako kloubové
- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h

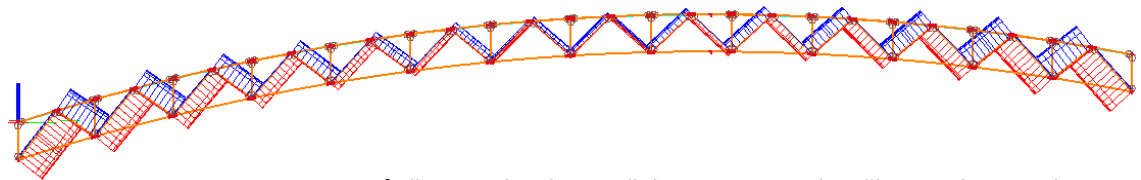
### 5.5.1 MSÚ



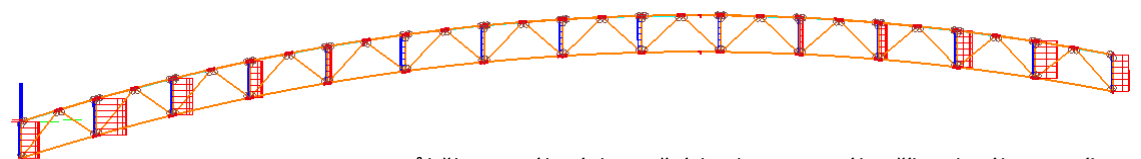
Průběh normálových vnitřních sil – Horní pás příhradového vazníku - MSÚ



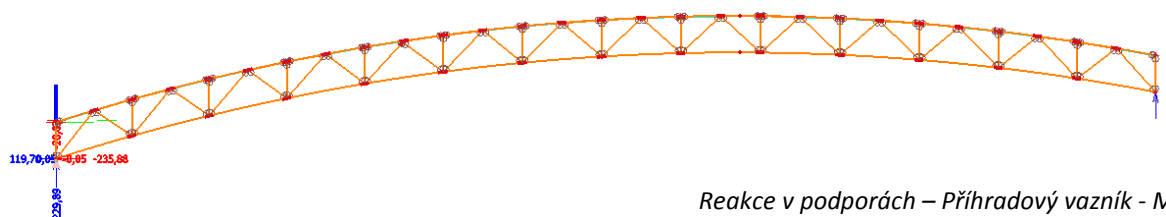
Průběh normálových vnitřních sil – Dolní pás příhradového vazníku - MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Diagonály příhradového vazníku - MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Diagonály příhradového vazníku - MSÚ



Reakce v podporách – Příhradový vazník - MSÚ



Prvek	Stav	dx[m]	N [kN]	My [kNm]
Horní pás PV	CO1 - MS únosnosti	17,02	-1215,01	31,94
	CO1 - MS únosnosti	1,309	199,94	12,16
Dolní pás PV	CO1 - MS únosnosti	15,708	-84,82	-1,42
	CO1 - MS únosnosti	17,102	1522,93	41,73
Diagonála PV	CO1 - MS únosnosti	0	-311,49	0
	CO1 - MS únosnosti	1,627	267,21	0
Svislice PV	CO1 - MS únosnosti	1,2	-39,73	0

Hodnoty vnitřních sil a momentů – Příhradový vazník – varianta č. 2,

Prvek	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	-3,99	- 235,88	84,69	0	0	0
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	3,99	- 235,88	84,69	0	0	0
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	3,86	119,7	227,6	0	0	0
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	-0,7	-27,25	-20,82	0	0	0
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	0,11	76,76	229,89	0	0	0
Příhradový vazník	CO1 - MS únosnosti	0,11	108,1	56,03	0	0	0

Hodnoty reakcí – Příhradový vazník – varianta č. 2, CO1 MSÚ

### 5.5.1.1 Horní pás

- počet: 10 ks
- typ: prutový prvek
- délka po půdorysu:  $L = 36,395 \text{ m}$
- délka po střednici:  $L_s = 36,832 \text{ m}$
- průřez: obdélníkový 240 x 420 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = b * h = 240 * 420 = 100\,800 \text{ mm}^2$$

$$Wy = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 240 * 420^2 = 7,056 * 10^6 \text{ mm}^3$$



$$W_Z = \frac{1}{6} * h * b^2 = \frac{1}{6} * 420 * 240^2 = 4,1 * 10^6 \text{ mm}^3$$

- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- tloušťka lamely:  $t = 40 \text{ mm}$
- poloměr zakřivení na střednici:  $r = 74,4 \text{ m}$

#### Kombinace prostého ohybu a vzpěru

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný

- Zatížení:  $N_{Ed} = 1215,13 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = 31,94 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{1215,13 * 10^3}{100\,800} = 12,05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{31,94 * 10^6}{7\,056\,000} = 4,53 \text{ MPa}$$

- Součinitel vzpěrnosti, vybočení v rovině prvku (kolmo k ose y):

$$k_{c,y} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,563 + \sqrt{0,563^2 - 0,348^2}} = 0,995$$

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

$$0,5 * (1 + 0,1(0,348 - 0,3) + 0,348^2) = 0,563$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{21,69}{\pi} * \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,348$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2630}{121,24} = 21,69$$

$$L_{cr} = \beta L = 2630 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1\,481,7 * 10^6}{100\,800}} = 121,24 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 240 * 420^3 = 1\,481,76 * 10^6 \text{ mm}^3$$



- Vliv klopení od  $M_{y,Ed}$

$$L_{ef} = 0,9 L + 2 h = 0,9 * 2630 + 2 * 420 = 4007 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h L_{ef}} E_{0,05} = \frac{0,78 * 240^2}{400 * 4007} 9400 = 333,377 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{333,377}} = 0,267$$

$$\lambda_{rel,m} < 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 - \text{klopení nenastává}$$

### Podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{12,05}{0,995 * 17,28} + \frac{4,53}{17,28} = 0,963 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.5.1.2 Dolní pás

- počet: 10 ks
- typ: prutový prvek
- délka po půdorysu:  $L = 36,395 \text{ m}$
- délka po střednici:  $L_s = 36,832 \text{ m}$
- průřez: obdélníkový 240 x 600 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = b * h = 240 * 600 = 144\,000 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 240 * 600^2 = 14,400 * 10^6 \text{ mm}^3$$

- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- tloušťka lamely:  $t = 40 \text{ mm}$
- poloměr zakřivení na střednici:  $r = 74,4 \text{ m}$

### Kombinace prostého ohybu a tahu

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $M_{y,ap,Ed} = 41,73 \text{ kNm}$

$$N_{Ed} = 1522,93 \text{ kN}$$



$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{1522,93 * 10^3}{144\ 000} = 9,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{41,73 * 10^6}{14,400 * 10^6} = 2,38 \text{ MPa}$$

**Podmínky:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{9,85}{11,88} + \frac{2,38}{17,28} = 0,967 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

### 5.5.1.3 Diagonála

- počet: 280 ks
- typ: prutový prvek, kloubově připojený mezi pásnice
- délka po půdorysu:  $L_{max} = 2,02 \text{ m}$
- průřez: obdélníkový 160 x 200 mm
- průřezové charakteristiky:  
 $A = b * h = 160 * 200 = 32\ 000 \text{ mm}^2$
- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- tloušťka lamely:  $t = 40 \text{ mm}$

#### Tah rovnoběžně s vlákny

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 267,21 \text{ kN}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{267,21 * 10^3}{32\ 000} = 8,35 \text{ MPa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{8,35}{11,88} = 0,71 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

#### Tlak rovnoběžně s vlákny - vzpěr

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + vítr příčný, levý
- Zatížení:  $N_{Ed} = 311,49 \text{ kN}$





$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{311,49 * 10^3}{40\ 000} = 9,73 \text{ MPa}$$

- Součinitel vzpěrnosti:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,672 + \sqrt{0,672^2 - 0,563^2}} = 0,962$$

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

$$0,5 * (1 + 0,1(0,563 - 0,3) + 0,563^2) = 0,672$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,99}{\pi} * \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,563$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2020}{57,73} = 34,99$$

$$L_{cr} = \beta L = 2020 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{106,66 * 10^6}{32\ 000}} = 57,73 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 160 * 200^3 = 106,66 * 10^6 \text{ mm}^3$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} = \frac{9,73}{0,962 * 19,98} = 0,51 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

#### 5.5.1.4 Svislice

- počet: 150 ks
- typ: prutový prvek, kloubově připojený mezi pásnice
- délka po půdorysu:  $L_{max} = 1,2 \text{ m}$
- průřez: obdélníkový 160 x 160 mm
- průřezové charakteristiky:
 
$$A = b * h = 160 * 160 = 25\ 600 \text{ mm}^2$$
- materiál: lepené lamelové dřevo GL24h
- tloušťka lamely:  $t = 40 \text{ mm}$

Tlak rovnoběžně s vlákny - vzpěr

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + vítr příčný, levý
- Zatížení:  $N_{Ed} = 39,33 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{39,33 * 10^3}{25\,600} = 1,53 \text{ MPa}$$

- Součinitel vzpěrnosti:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,593 + \sqrt{0,593^2 - 0,418^2}} = 0,986$$

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

$$0,5 * (1 + 0,1(0,418 - 0,3) + 0,418^2) = 0,593$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{25,981}{\pi} * \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,418$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1200}{46,188} = 25,981$$

$$L_{cr} = \beta L = 1200 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{54,613 * 10^6}{25\,600}} = 46,188 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 160 * 160^3 = 54,613 * 10^6 \text{ mm}^3$$

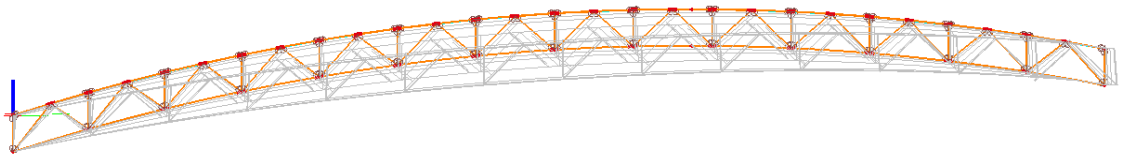
**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} = \frac{1,53}{0,986 * 19,98} = 0,084 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

**5.5.2 MSP**

Mezní stav použitelnosti byl posouzen metodou vycházející z principu virtuálních prací. Ve výpočtu nebylo uvažováno s prokluzem spojů, který může ovlivnit celkový průhyb konstrukce, proto je počítáno s patřičnou rezervou.

Ve výpočtu je uvažováno, že největší průhyb konstrukce dosáhne při kombinaci zatížení stálého se zatížením sněhem. Pro jednotlivé prvky vazníku byly počítány dílčí průhyby, jejichž součtem byl stanoven celkový okamžitý průhyb.



Průběh deformace prutu – Příhradový vazník, varianta č. 2 - MSP

- průhyb od stálého zatížení:  $u_{1,inst} = 47,4 \text{ mm}$
- průhyb od sněhu:  $u_{2,inst} = 38,5 \text{ mm}$

$$u_{net,fin} = u_{1,inst} * (1 + k_{def}) + u_{2,inst} * (1 + \psi_2 k_{def})$$

$$u_{net,fin} = 47,4 * (1 + 0,8) + 38,5 * (1 + 0 * 0,8) = 154,62$$

$$u_{lim} = -\frac{L}{200} = \frac{36\,845}{200} = \mathbf{184,225 \text{ mm}}$$

**Podmínka:**

$$\frac{u_{net,fin}}{u_{lim}} = \frac{154,62}{184,225} = 0,839 < 1,0 \text{ **Vyhovuje**}$$

### 5.5.3 Požární odolnost

#### 5.5.3.1 Horní pás

- Návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:

Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 240 - 2 * 28 = 184 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 420 - 2 * 28 = 364 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 184 * 364 = 66\,976 \text{ mm}^2$$



$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 184 * 364^2 = 4\,063\,210 \text{ mm}^3$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{t,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{t,Ed} = 0,44 * 1215,13 = 534,66 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,fi} = \eta_{fi} * M_{y,Ed} = 0,44 * 31,94 = 14,054 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{t,Ed,fi}}{A_r} = \frac{534,66 * 10^3}{66\,976} = 7,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{14,054 * 10^6}{4\,063\,210} = 3,459 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{16,5}{1} = 19,98 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{24}{1} = 27,60 \text{ Mpa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}}$$

$$\frac{7,968}{19,98} + \frac{3,459}{27,6} < 0,524 \text{ Vyhovuje}$$

### 5.5.3.2 Dolní pás

- Návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:



Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 240 - 2 * 28 = 184 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 600 - 2 * 28 = 488 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 184 * 488 = 89\,792 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} b_{fi} * h_{fi}^2 = \frac{1}{6} * 184 * 488^2 = 7,183 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{t,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{t,Ed} = 0,44 * 1522,93 = 670,09 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,fi} = \eta_{fi} * M_{y,Ed} = 0,44 * 41,73 = 18,36 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{t,Ed,fi}}{A_r} = \frac{670,09 * 10^3}{89\,792} = 7,463 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{18,36 * 10^6}{7,183 * 10^6} = 2,55 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{16,5}{1} = 19,98 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,15 * \frac{24}{1} = 27,60 \text{ MPa}$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}}$$

$$\frac{7,463}{19,98} + \frac{2,55}{27,6} = 0,466 < 1 \text{ Vyhovuje}$$



### 5.5.3.3 Diagonála

- Návrh na požární odolnost: R30 ( $t = 30 \text{ min}$ )
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:

Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 160 - 2 * 28 = 104 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 200 - 2 * 28 = 144 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 104 * 144 = 14\,976 \text{ mm}^2$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{c,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{c,Ed} = 0,44 * 311,49 = 137,056 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{c,Ed,fi}}{A_r} = \frac{137,056 * 10^3}{14\,976} = 9,152 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,25 * \frac{20}{1} = 25$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c * f_{c,0,d,fi}} = \frac{9,152}{0,962 * 25} = 0,38 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$



### 5.5.3.4 Svislice

- Návrh na požární odolnost: R30 ( $t = 30 \text{ min}$ )
- prvek není chráněn proti účinkům požáru
- Metoda redukovaného průřezu:

Průřezové charakteristiky účinného průřezu:

$$t > 20 \text{ min} \rightarrow k_0 = 1,0$$

$$d_{def} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,7 * 30 + 1 * 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b_{fi} = b - 2d_{def} = 160 - 2 * 28 = 104 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{def} = 200 - 2 * 28 = 144 \text{ mm}$$

$$A_r = b_{fi} * h_{fi} = 104 * 144 = 14\,976 \text{ mm}^2$$

Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

Redukované zatížení a napětí:

$$N_{c,Ed,fi} = \eta_{fi} * N_{c,Ed} = 0,44 * 39,33 = 17,305 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{c,Ed,fi}}{A_r} = \frac{17,305 * 10^3}{14\,976} = 1,155 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti za požáru:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 * 1,25 * \frac{20}{1} = 25$$

**Podmínka:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c * f_{c,0,d,fi}} = \frac{1,155}{0,962 * 25} = 0,07 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

## 5.6 Ztužidlo - varianta č. 1

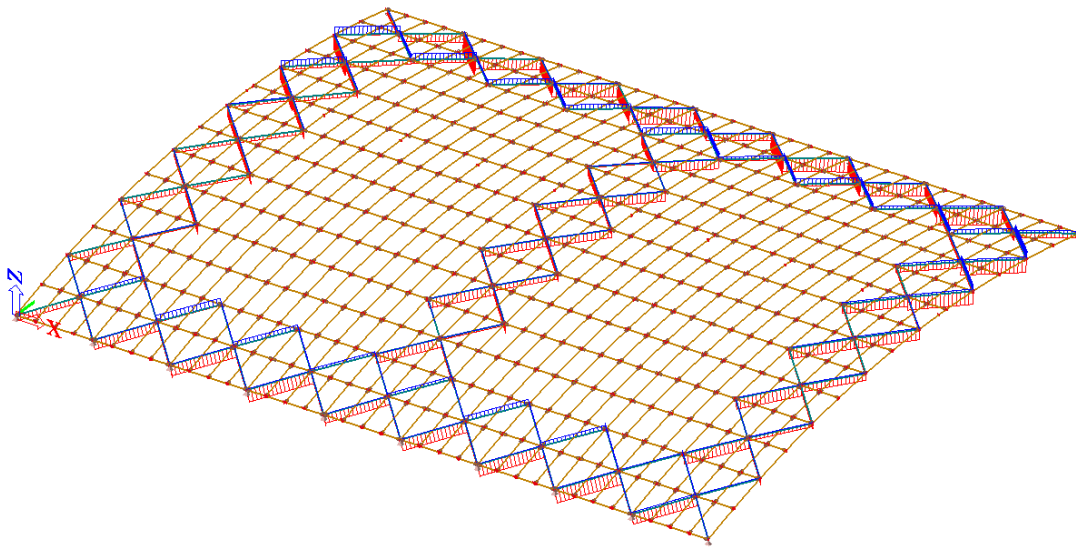
- počet: 132 ks
- typ: prutový prvek kloubově připojený k vaznicím

- délka:  $\emptyset$  3,62 m
- průřez: za tepla válcovaná trubka 82,5 x 4 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = \pi \frac{d^2}{4} - \pi \frac{(d-2t)^2}{4} = \pi \frac{82,5^2}{4} - \pi \frac{(82,5-2*4)^2}{4} = 986 \text{ mm}^2$$

- materiál: ocel S355

### 5.6.1 MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Ztužení – Varianta č. 1 - MSÚ

#### Osový tah

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 46,03 \text{ kN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{986 * 355}{1} * 10^{-3} = 350,03 \text{ MPa}$$

#### **Podmínka:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{46,03}{350,03} = 0,132 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

#### Vzpěr

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 97,43 \text{ kN}$





$$L_{cr} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,62 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} [d^4 - (d - 2t)^4] = \frac{\pi}{64} [82,5^4 - (82,5 - 2 * 4)^4] = 761\,825 \text{ mm}^4$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,814 = 76,435 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{761\,825}{986}} = 27,79 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3620}{27,79} = 130,26$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{130,26}{76,435} = 1,70$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro dutý průřez válcovaný za tepla: „a“

Součinitel imperfekce:  $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda' - 0,2) + \lambda'^2] = 0,5 [1 + 0,21(1,7 - 0,2) + 1,7^2] = 2,1$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda'^2}} = \frac{1}{2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1,7^2}} = 0,3$$

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,3 * \frac{986 * 355}{1} * 10^3 = 105,009 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{97,43}{105,009} = 0,928 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

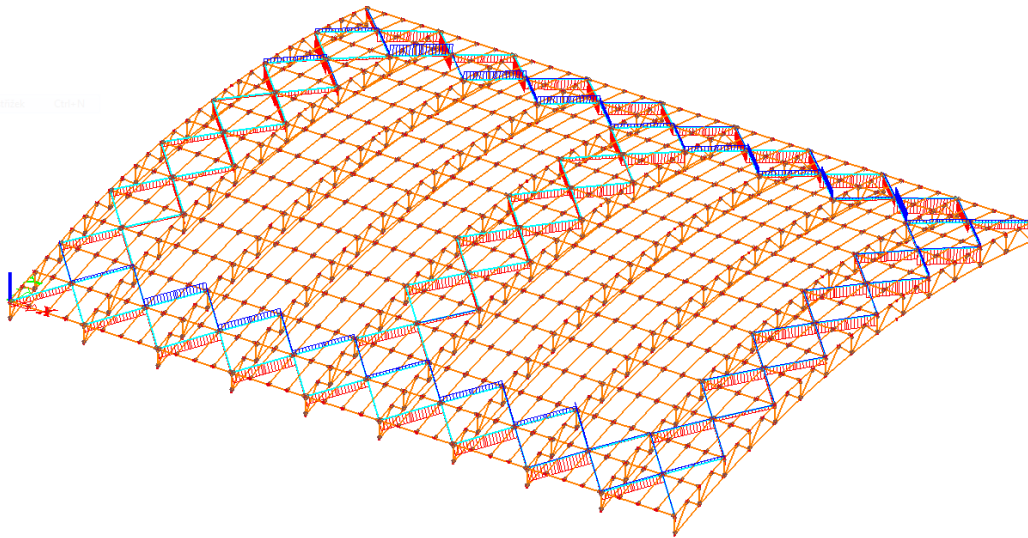
## 5.7 Ztužidlo - varianta č. 2

- počet: 135 ks
- typ: prutový prvek kloubově připojený k vaznicím
- délka:  $\emptyset$  3,62 m
- průřez: za tepla válcovaná trubka 88,9 x 5,6 mm
- průřezové charakteristiky:

$$A = \pi \frac{d^2}{4} - \pi \frac{(d-2t)^2}{4} = \pi \frac{88,9^2}{4} - \pi \frac{(88,9-2*5,6)^2}{4} = 1465,49 \text{ mm}^2$$

- materiál: ocel S355

### 5.7.1 MSÚ



Průběh normálových vnitřních sil – Ztužení – Varianta č. 2 - MSÚ

#### Osový tah

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = 106,18 \text{ kN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1465,49 * 355}{1} * 10^{-3} = 520,25 \text{ MPa}$$

#### **Podmínka:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{106,18}{520,25} = 0,204 < 1,0 \text{ **Vyhovuje**}$$

#### Vzpěr

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný
- Zatížení:  $N_{Ed} = -155,65 \text{ kN}$



$$L_{cr} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,62 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} [d^4 - (d - 2t)^4] = \frac{\pi}{64} [88,9^4 - (88,9 - 2 * 5,6)^4] = 1\,276\,854 \text{ mm}^4$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,814 = 76,435 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1\,276\,854}{1465,49}} = 29,517 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3620}{29,517} = 122,64$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{122,64}{76,435} = 1,605$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro dutý průřez válcovaný za tepla: „a“

Součinitel imperfekce:  $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda' - 0,2) + \lambda'^2] = 0,5 [1 + 0,21(1,60 - 0,2) + 1,60^2] = 1,94$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda'^2}} = \frac{1}{1,94 + \sqrt{1,94^2 - 1,60^2}} = 0,33$$

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,33 * \frac{1465,49 * 355}{1} * 10^{-3} = 171,68 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{155,65}{171,68} = 0,907 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

## 5.8 Montážní spoj vazníku – Varianta č. 1

### 5.8.1 Geometrie

- počet: 2 x 12 ks
- vazník je po délce rozdělen v poměru 35 : 30 : 35 % Ls dvěma montážními spoji
- typ: kolíkový spoj s vnitřní ocelovou deskou
- spojovací prostředky pro přenos M + N: kolíky a přesné svorníky M24 8.8

- spojovací prostředky pro přenos V: kolíky a přesné svorníky M20 8.8
- tloušťka ocelové vnitřní desky:  $t = 8 \text{ mm}$
- materiál vnitřní ocelové desky: ocel S355
- Požární ochrana: vlepené dřevěné zátky

### 5.8.2 Zatížení

- Kombinace: vlastní tíha + ostatní stálé + užité zatížení + sníh plný

$$N_{t,Ed} = 167,2 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 106,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1436,4 \text{ kNm}$$

- Rozklad ohybového momentu na dvojici sil působící při horním a dolním okraji vazníku:  $r = 1,270 \text{ m}$

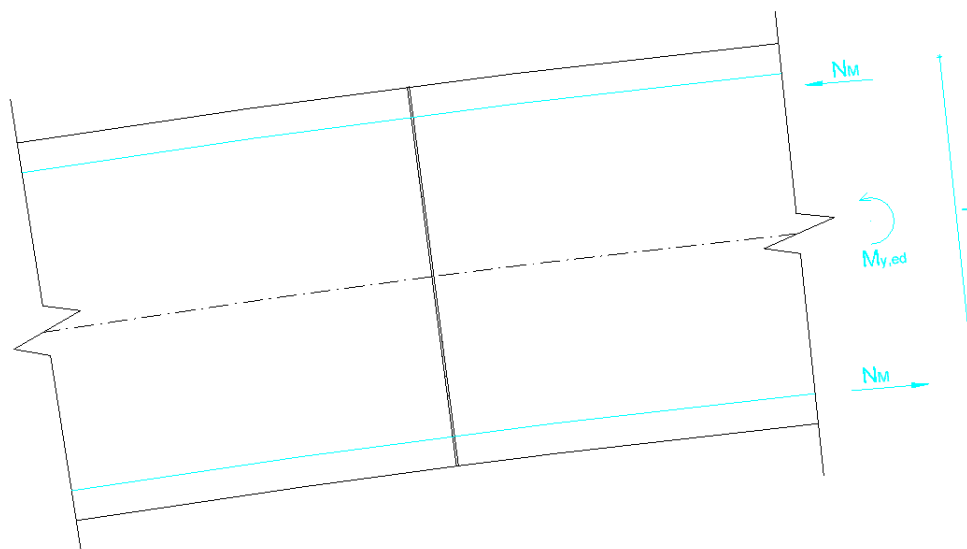


Schéma rozložení momentu na dvojici sil

$$M_{y,Ed} = N_M * \frac{r}{2} + N_M * \frac{r}{2}$$

$$N_M = \frac{M_{y,Ed}}{r} = \frac{1436,4}{1,270} = 1131,024 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 0,5N_{t,Ed} + N_M = 0,5 * 167,2 + 1131,024 = 1214,624 \text{ kNm}$$



### 5.8.3 Část přenášející ohybový moment a normálovou sílu

#### 5.8.3.1 Rozmístění spojovacích prostředků

A) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců ve dřevě

- Zjednodušeně jsou pro všechny hodnoty uvažovány hodnoty pro svorníky (na straně bezpečnosti)

- Úhel mezi silou a směrem vláken  $\alpha = 0^\circ$

$$a_1 = (4 + |\cos\alpha|)d = (4 + 1) * 24 = 120 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 * 24 = 96 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[168; 80] = 168 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)d; 3d] = \max[(2 + 2\sin 0) * 24; 3 * 24] = 72 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$\alpha_1$ (rovnoběžně s vlákny)	120	120
$\alpha_2$ (kolmo k vláknům)	96	100
$\alpha_3$ (zatížený konec)	168	170
$\alpha_4$ (zatížený okraj)	72	80

B) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro ocelovou desku

- průměr otvorů:

$$d_0 = d + 2 = 24 + 2 = 26 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2d_0 = 2,2 * 26 = 57,2 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4d_0 = 2,4 * 26 = 62,4 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$p_1$ (rovnoběžně s vlákny)	57,2	120
$p_2$ (kolmo k vláknům)	62,4	100
$e_1$ (zatížený konec)	31,2	50/170
$e_2$ (zatížený okraj)	31,2	75/75



### 5.8.3.2 Posouzení spoje

#### A) Únosnost ve stříhu na otláčení dřeva

- charakteristická pevnost v otláčení ve dřevěném prvku:

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 (1 - 0,01 * 24) * 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

- charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 800 * 24^{2,6} = 930 \text{ 594 Nmm}$$

- charakteristická únosnost 1 spojovacího prostředku pro 1 rovinu stříhu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,0,k} t_1 d}{f_{h,0,k} t_1 d \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \\ 2,3 * \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,0,k} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right\}$$

$$t_1 = 0,5 (b - t) - a_{fi} = 0,5 (240 - 8) - 20 = 106$$

- účinek sepnutí spoje:

$$F_{ax,Rk} = 0\% F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{23,68 * 106 * 24}{23,68 * 106 * 24 \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 930 \text{ 594}}{23,68 * 106^2 * 24}} - 1 \right) + \frac{0}{4}} \\ 2,3 * \sqrt{2 * 930 \text{ 594} * 23,68 * 24 + \frac{0}{4}} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ 241,92} \\ 36 \text{ 575,84} \\ 74803,071 \end{array} \right\} = 36 \text{ 575,84 N} = 36,575 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost 1 spojovacího prostředku pro dvojstřížný spoj:

$$F_{v,Rd} = \eta_s * k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 2 * 0,9 * \frac{36,575}{1,25} = 52,668 \text{ kN}$$

- počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  $n = 8$  ks
- účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:



$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 8, 8^{0,9} \sqrt{\frac{120}{13 * 24}} = 5,12 \right\} = 5,12 \text{ ks}$$

- účinná návrhová únosnost 1 řady spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 5,12 * 52,668 = 269,66 \text{ kN}$$

- počet řad:  $n_{řad} = 5 \text{ ks}$
- celková návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd,tot} = n_{řad} * F_{v,ef,Rd} = 5 * 269,66 = 1483,3 \text{ kN}$$

#### Podmínka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd,tot}} = \frac{1214,624}{1483,3} = 0,812 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

#### B) Únosnost na porušení dřeva blokovým a zátkovým smykem

- účinná výška závislá na způsobu porušení spojovacího prostředku:

$$t_{ef} = t_1 * \left( \sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} t_1^2 d}} - 1 \right) = 106 * \left( \sqrt{2 + \frac{930\,594}{23,68 * 106^2 * 24}} - 1 \right) \\ = 49,272 \text{ mm}$$

- čisté geometrické parametry:

$$L_{net,t} = \sum l_{t,i} = (n_{řad} - 1) a_2 = (5 - 1) 100 = 400 \text{ mm}$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} * t_1 = 400 * 106 = 42\,400 \text{ mm}^2$$

$$L_{net,v} = \sum l_{v,i} = a_3 * (n - 1) a_1 = 170 + (8 - 1) * 120 = 1010 \text{ mm}$$

$$A_{net,v} = 0,5 * L_{net,v} * (L_{net,t} + 2 * t_{ef}) = 0,5 * 1010 * (1010 + 2 * 49,272) \\ = 559\,814,72 \text{ mm}^2$$



- charakteristická a návrhová únosnost lomu po obvodu plochy spojovacích prostředků:

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ 1,5 A_{net,t} * f_{t,0,k} \right\} = \max \left\{ 1,5 * 42\,400 * 16,5 \right\}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ 0,7 A_{net,v} * f_{v,k} \right\} = \max \left\{ 0,7 * 559\,814,72 * 2,7 \right\}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1\,049\,400 \\ 1\,058\,049,82 \end{array} \right\} = 1\,058\,049,82 \text{ N} = 1\,058,049 \text{ kN}$$

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} \frac{F_{bs,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,9 * \frac{1\,058,049}{1,25} = 762,06 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{0,5 * F_{v,Ed}}{F_{bs,Rd}} = \frac{0,5 * 1214,624}{762,06} = 0,797 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

C) Únosnost na otláčení ocelové desky

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{50}{3 * 26}; \frac{120}{3 * 26} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1 \right\}$$

$$\alpha = \min\{0,64; 1,29; 2,22; 1\} = 0,64$$

- charakteristická a celková návrhová únosnost na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,64 * 360 * 24 * 8}{1,5} * 10^{-3} = 88,62$$

$$F_{b,Rd,tot} = n * n_{rad} * F_{b,Rd} = 8 * 5 * 88,62 = 3544,8 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{bs,Rd}} = \frac{1214,624}{3544,8} = 0,343 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

D) Únosnost oslabeného průřezu ocelové desky

$$A_{net} = t * [(n - 1) * p_2 + 2e_2 - nd_0]$$

$$A_{net} = 8 * [(5 - 1) * 120 + 2 * 100 - 5 * 26] = 4\,400 \text{ mm}^2$$





- charakteristická a celková návrhová únosnost na otláčení:

$$F_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 4400 * 360}{1,25} * 10^{-3} = 1\,251,08 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{bs,Rd}} = \frac{1214,624}{1251,08} = 0,971 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

E) Posouzení na požární odolnost

- návrh na požární odolnost: R30 (t = 30 min)
- kolíky a svorníky jsou chráněny proti účinkům požáru dřevěnými zátkami
- ocelová deska je chráněna proti účinkům požáru svojí geometrií (šířka > 200 mm)
- parametr pro svorníky a kolíky ve spoji ocel – dřevo s d ≥ 12 mm;  
s platností max. 30 min, k = 0,085

- Redukční součinitel pro kombinaci zatížení dle rovnice 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{G_k + \psi_{fi} S_1}{\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}} = \frac{0,637 + 0,2 * 0,56}{1,35 * 0,637 + 1,5 * 0,56} = 0,44$$

- návrhová požární odolnost:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} * \ln \frac{\eta_{fi} * \gamma_{M,fi}}{\gamma_M * k_{fi}} = -\frac{1}{0,085} * \ln \frac{0,44 * 1}{1,25 * 1,15} = 13,929 \text{ min}$$

- stanovení tloušťky vlepené zátky:

$$a_{fi} = \beta_n * k_{flux} * (t_{req} - t_{d,fi}) = 0,7 * 1,5 * (30 - 13,929) = 16,875$$

$$a_{fi} = 20 \text{ mm}$$



## 5.8.4 Část přenášející posouvající sílu

### 5.8.4.1 Rozmístění spojovacích prostředků

#### A) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců ve dřevě

- Zjednodušeně jsou pro všechny hodnoty uvažovány hodnoty pro svorníky (na straně bezpečnosti)

- Úhel mezi silou a směrem vláken  $\alpha = 90^\circ$

$$\alpha_1 = (4 + |\cos\alpha|)d = (4 + \cos 90^\circ)20 = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 4d = 4 * 20 = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[140; 80] = 140 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$\alpha_1$ (rovnoběžně s vlákny)	80	80
$\alpha_2$ (kolmo k vláknům)	80	80
$\alpha_3$ (zatížený konec)	140	140

#### B) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro ocelovou desku

- průměr otvorů:

$$d_0 = d + 2 = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2d_0 = 2,2 * 22 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4d_0 = 2,4 * 22 = 52,8 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$p_1$ (rovnoběžně s vlákny)	48,4	80
$p_2$ (kolmo k vláknům)	52,8	80
$e_1$ (zatížený konec)	26,4	50/140
$e_2$ (zatížený okraj)	26,4	50/50



### 5.8.4.2 Posouzení spoje

#### A) Únosnost ve stříhu na otláčení dřeva

- charakteristická pevnost v otláčení ve dřevěném prvku:

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 (1 - 0,01 * 20) * 380 = 24,93 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 * 20 = 1,65$$

$$f_{h,\alpha,k} = f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{24,93}{1,65 \sin^2 90 + \cos^2 90} = 15,11 \text{ kN}$$

- charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 800 * 20^{2,6} = 579 281 \text{ Nmm}$$

- charakteristická únosnost 1 spojovacího prostředku pro 1 rovinu stříhu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,0,k} t_1 d \\ f_{h,0,k} t_1 d \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 * \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,0,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$t_1 = 0,5 (b - t) - a_{fi} = 0,5 (240 - 8) - 20 = 106 \text{ mm}$$

- účinek sepnutí spoje:  $F_{ax,Rk} = 0\%$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15,11 * 106 * 20 \\ 15,11 * 106 * 24 \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 579 281}{15,11 * 106^2 * 20}} - 1 \right) + \frac{0}{4} \\ 2,3 * \sqrt{2 * 579 281 * 15,11 * 20} + \frac{0}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 32 033,2 \\ 24 522,44 \\ 43 036,29 \end{array} \right\} = 24 522,44 \text{ N} = 24,522 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost 1 spojovacího prostředku pro dvojitřizný spoj:



$$F_{v,Rd} = \eta_s * k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 2 * 0,9 * \frac{24,522}{1,25} = 35,31 \text{ kN}$$

- počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  $n = 2 \text{ ks}$
- účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  
 $n_{ef} = n = 2 \text{ ks}$

- účinná návrhová únosnost 1 řady spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 2 * 35,31 = 70,62 \text{ kN}$$

- počet řad:  $n_{řad} = 2 \text{ ks}$
- celková návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd,tot} = n_{řad} * F_{v,ef,Rd} = 2 * 70,62 = 141,24 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd,tot}} = \frac{106,5}{141,24} = 0,754 < 1,0 \text{ **Vyhovuje**}$$

**B) Únosnost na otláčení ocelové desky**

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{50}{3 * 22}; \frac{80}{3 * 22} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1 \right\}$$

$$\alpha = \min\{0,76; 0,96; 2,22; 1\} = 0,76$$

- charakteristická a celková návrhová únosnost na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,76 * 360 * 20 * 8}{1,5} * 10^{-3} = 87,27 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,tot} = n * n_{řad} * F_{b,Rd} = 2 * 2 * 87,27 = 349,09 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{bs,Rd}} = \frac{106,5}{349,09} = 0,305 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

**C) Únosnost oslabeného průřezu ocelové desky**

$$A_{net} = t * [(n - 1) * p_2 + 2e_2 - nd_0]$$

$$A_{net} = 8 * [(2 - 1) * 80 + 2 * 50 - 2 * 22] = 1088 \text{ mm}^2$$

- charakteristická a celková návrhová únosnost na otláčení:

$$F_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 1088 * 360}{1,25} * 10^{-3} = 282,01 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{u,Rd}} = \frac{106,5}{282,01} = 0,378 < 1,0 \text{ *Vyhovuje*}$$

**5.9 Montážní spoj příhradového vazníku – Varianta č. 2****5.9.1 Geometrie**

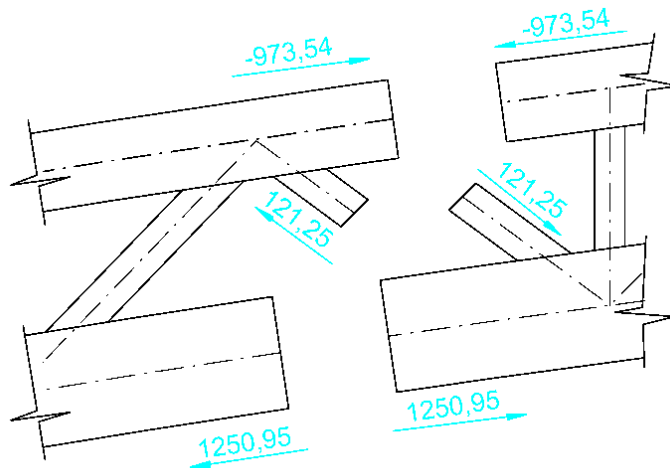
- všechny spoje vazníku jsou řešeny pomocí vložené ocelové desky a přesných svorníků v kombinaci s kolíky
- kromě napojení diagonál a svislic je navíc vazník rozdělen na tři montážní části v poměru délek přibližně na 35 : 30 : 35 %
- typ: kolíkový spoj s vnitřní ocelovou deskou
- spojovací prostředky pro přenos N: kolíky a přesné svorníky M24 8.8
- tloušťka ocelové vnitřní desky:  $t = 8 \text{ mm}$
- materiál vnitřní ocelové desky: ocel S355
- Požární ochrana: vlepené dřevěné zátky

**5.9.2 Zatížení**

$$\text{Horní pás: } N_{t,Ed} = - 973,54 \text{ kN}$$

$$\text{Dolní pás: } N_{t,Ed} = 1250,92 \text{ kN}$$

$$\text{Diagonála tah } N_{t,Ed} = 121,25 \text{ kN}$$



Síly ve spoji příhradového vazníku

### 5.9.3 Rozmístění spojovacích prostředků

A) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců ve dřevě

$d = 24 \text{ mm}$

- Zjednodušeně jsou pro všechny hodnoty uvažovány hodnoty pro svorníky (na straně bezpečnosti)
- Úhel mezi silou a směrem vláken  $\alpha = 0^\circ$

$$\alpha_1 = (4 + |\cos\alpha|)d = (4 + 1) * 24 = 120 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 4d = 4 * 24 = 96 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[168; 80] = 168 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)d; 3d] = \max[(2 + 2\sin 0) * 24; 3 * 24] = 72 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$\alpha_1$ (rovnoběžně s vlákny)	120	120
$\alpha_2$ (kolmo k vláknům)	96	100
$\alpha_3$ (zatížený konec)	168	170
$\alpha_4$ (zatížený okraj)	72	80

$d = 28 \text{ mm}$

- Zjednodušeně jsou pro všechny hodnoty uvažovány hodnoty pro svorníky (na straně bezpečnosti)



- Úhel mezi silou a směrem vláken  $\alpha = 0^\circ$

$$\alpha_1 = (4 + |\cos\alpha|)d = (4 + 1) * 28 = 140 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 = 4d = 4 * 16 = 72 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3,t} = \max[7d; 80] = \max[216; 80] = 216 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)d; 3d] = \max[(2 + 2\sin 0) * 28; 3 * 28] = 84 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$\alpha_1$ (rovnoběžně s vlákny)	140	140
$\alpha_2$ (kolmo k vláknům)	72	75
$\alpha_3$ (zatížený konec)	216	220
$\alpha_4$ (zatížený okraj)	84	85

B) hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro ocelovou desku

- průměr otvorů:

$$\underline{d = 24 \text{ mm}}$$

$$d_0 = d + 2 = 24 + 2 = 26 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2d_0 = 2,2 * 26 = 57,2 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4d_0 = 2,4 * 26 = 62,4 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$p_1$ (rovnoběžně s vlákny)	57,2	120
$p_2$ (kolmo k vláknům)	62,4	100
$e_1$ (zatížený konec)	31,2	50/170
$e_2$ (zatížený okraj)	31,2	75/75

$$\underline{d = 28 \text{ mm}}$$

$$d_0 = d + 2 = 28 + 2 = 30 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2d_0 = 1,2 * 30 = 36 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2d_0 = 1,2 * 30 = 36 \text{ mm}$$



$$p_1 = 2,2d_0 = 2,2 * 30 = 66 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4d_0 = 2,4 * 30 = 66 \text{ mm}$$

vzdálenost	Min. hodnota [mm]	Navržená hodnota [mm]
$p_1$ (rovnoběžně s vlákny)	66	70
$p_2$ (kolmo k vláknům)	66	70
$e_1$ (zatížený konec)	36	40
$e_2$ (zatížený okraj)	36	40

#### 5.9.4 Posouzení spoje

##### A) Únosnost ve stříhu na otlačení dřeva

###### Horní a dolní pás

- charakteristická pevnost v otlačení ve dřevěném prvku:

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 (1 - 0,01 * 24) * 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

- charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 800 * 24^{2,6} = 930 594 \text{ Nmm}$$

- charakteristická únosnost 1 spojovacího prostředku pro 1 rovinu stříhu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,0,k} t_1 d \\ f_{h,0,k} t_1 d \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 * \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,0,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$t_1 = 0,5 (b - t) - a_{fi} = 0,5 (240 - 8) - 20 = 106$$

- účinek sepnutí spoje:  $F_{ax,Rk} = 0\%$





$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 23,68 * 106 * 24 \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 930\,594}{23,68 * 106^2 * 24}} - 1 \right) + \frac{0}{4} \\ 2,3 * \sqrt{2 * 930\,594 * 23,68 * 24} + \frac{0}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60\,241,92 \\ 36\,575,84 \\ 74803,071 \end{array} \right\} = 36\,575,84 \text{ N} = 36,575 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost 1 spojovacího prostředku pro dvojstřížný spoj:

$$F_{v,Rd} = \eta_s * k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 2 * 0,9 * \frac{36,575}{1,25} = 52,668 \text{ kN}$$

#### Dolní pás:

- počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  $n = 8 \text{ ks}$
- účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10 \\ 10^{0,9^4} \sqrt{\frac{120}{13 * 24}} = 6,47 \end{array} \right\} = 6,47 \text{ ks}$$

- účinná návrhová únosnost 1 řady spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 6,47 * 52,668 = 345,76 \text{ kN}$$

- počet řad:  $n_{řad} = 4 \text{ ks}$
- celková návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd,tot} = n_{řad} * F_{v,ef,Rd} = 4 * 345,76 = 1383,3 \text{ kN}$$

#### **Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd,tot}} = \frac{1250,95}{1383,3} = 0,904 < 1,0 \text{ **Vyhovuje**}$$

Horní pás:

- počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  $n = 10$  ks
- účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n}{n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = \min \left\{ \frac{10}{10^{0,9^4} \sqrt{\frac{120}{13 * 24}}} = 6,47 \right\} = 6,47 \text{ ks}$$

- účinná návrhová únosnost 1 řady spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 6,47 * 52,668 = 345,76 \text{ kN}$$

- počet řad:  $n_{řad} = 3$  ks
- celková návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd,tot} = n_{řad} * F_{v,ef,Rd} = 3 * 345,76 = 1037,28 \text{ kN}$$

**Podmínka:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd,tot}} = \frac{973,54}{1037,28} = 0,94 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$

Diagonála a svislice

- charakteristická pevnost v otažení ve dřevěném prvku:

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k = 0,082 (1 - 0,01 * 28) * 380 = 22,44 \text{ MPa}$$

- charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 800 * 28^{2,6} = 1\,389\,383,45 \text{ Nmm}$$

- charakteristická únosnost 1 spojovacího prostředku pro 1 rovinu stříhu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,0,k} t_1 d}{\left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} t_1^2 d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \\ 2,3 * \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,0,k} d + \frac{F_{ax,Rk}^2}{4}} \end{array} \right\}$$

$$t_1 = 0,5 (b - t) - a_{fi} = 0,5 (200 - 8) - 20 = 76$$



- účinek sepnutí spoje:  $F_{ax,Rk} = 0\%$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 22,44 * 76 * 28 \\ 26,17 * 56 * 16 \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 324 * 282,2}{26,17 * 56^2 * 16}} - 1 \right) + \frac{0}{4} \\ 2,3 * \sqrt{2 * 324 * 282,2 * 26,17 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 47752,32 \\ 46589,24 \\ 96104,64 \end{array} \right\} = 46\,589,24\,N = 46,59\,kN$$

- návrhová únosnost 1 spojovacího prostředku pro dvojtřížný spoj:

$$F_{v,Rd} = \eta_s * k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 2 * 0,9 * \frac{46,59}{1,25} = 67,09\,kN$$

- počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:  $n = 2\,ks$
- účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6 \\ n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3^{0,9^4} \sqrt{\frac{140}{13 * 28}} = 2,12 \end{array} \right\} = 2,12\,ks$$

- účinná návrhová únosnost 1 řady spojovacích prostředků v přímce rovnoběžně s vlákny:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 2,12 * 67,09 = 142,23\,kN$$

- počet řad:  $n_{řad} = 1\,ks$
- celková návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd,tot} = n_{řad} * F_{v,ef,Rd} = 1 * 142,23 = 142,23\,kN$$

### Podmínka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd,tot}} = \frac{121,25}{142,23} = 0,852 < 1,0 \text{ Vyhovuje}$$



## 6 Vyhodnocení variant

### 6.1 Popis zastřešení víceúčelové sportovní haly

Prvotním kritériem při návrhu zastřešení víceúčelové sportovní haly bylo respektování tvaru střešní geometrie architektonické studie, na jejímž základě byla vypracována projektová dokumentace ke stavebnímu povolení části architektonicko-stavebního řešení v rámci samostatného předmětu Projekt S2 (viz přílohy). Nepravidelně zakřivený, obloukový tvar střechy o poloměru 74,4 nám umožňuje zvolit jako hlavní konstrukční materiál ocel nebo dřevo. Tato práce řeší dvě varianty, s dřevěnou nosnou konstrukcí.

V obou variantách byl zvolen přenos zatížení jako třístupňový. Krokve a vaznice byly pro obě varianty uvažovány stejné. Záklop střešní konstrukce tvoří dvě vrstvy OSB desek. Druhá vrstva záklopu je kladena tak, aby se spáry desek vždy překrývaly. Krokve mají průřez 120/160 mm a jsou kloubově připojeny k vaznicím v osové vzdálenosti 1250 mm. Jejich připojení bylo uvažováno jako kloubové. Vaznice jsou průřezu 140/240 mm, jejich délka je 5 metrů a jsou kloubově připojeny k horním lícům vazníku. Krokve i vaznice jsou modelovány jako prosté nespojitě nosníky, k jejichž připojení byly použity ocelové třmeny.

V první variantě byl jako hlavní nosný prvek soustavy zvolen plnostěnný vazník z lepeného lamelového dřeva Gl24h. Vazník má konstantní průřez 240/1900 mm. V druhé variantě byl plnostěnný nosník nahrazen příhradovým vazníkem z lepeného lamelového dřeva Gl24h. Horní pás má průřez 240/420 mm, dolní pás 240/600 mm a jsou konstantní po celé své délce. Příhradový vazník je svislicemi o průřezu 160/160 mm rozdělen do 14 polí, v každém poli je dvojice diagonál o průřezu 160/200 mm. Diagonály jsou ve tvaru obráceného písmene „V“. Připojení diagonál a svislic je kloubové.

V obou variantách byly vazníky modelovány jako prosté nosníky, které jsou prostě podepřeny na železobetonových sloupech pomocí ložisek. Jedno ložisko je řešeno jako pevný kloub, druhé jako posuvný kloub (elastomerové ložisko).

**6.2 Výkaz materiálu - Varianta č. 1**

Prvek	Počet [ks]	Průřez [mm]	Materiál	Objem - 1kus [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost - 1 kus [kg]	Celkový objem [m <sup>3</sup> ]	Celková hmotnost [kg]
Krokev	378	120 x 160	C24	0,052	17,1	19,656	6463
Vaznice	135	140 x 240	GL24h	0,168	63,8	22,68	8613
Vazník	10	240 x 1900	GL24h	16,71	6351,1	167,1	63511
Ztužidla	132	82,5 x 4	S355	0,00357	28	0,48	3696
<b>Celkem</b>						<b>209,916</b>	<b>82283</b>

**6.3 Výkaz materiálu - Varianta č. 2**

Prvek	Počet [ks]	Průřez [mm]	Materiál	Objem - 1kus [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost - 1 kus [kg]	Celkový objem [m <sup>3</sup> ]	Celková hmotnost [kg]
Krokev	378	120 x 160	C24	0,052	17,1	19,656	6463
Vaznice	135	140 x 240	GL24h	0,168	63,8	22,68	8613
Horní pás vazníku	10	240 x 420	GL24h	3,696	1403,9	36,96	14039
Dolní pás vazníku	10	240 x 600	GL24h	5,278	2005,6	52,78	20056
Diagonála vazníku	280	160 x 200	GL24h	0,0494	18,8	13,832	5264
Svislice vazníku	150	160 x 160	GL24h	0,0307	11,7	4,605	1755
Ztužidla	132	88,9 x 5,6	S355	0,0053	41,6	0,697	5491
<b>Celkem</b>						<b>151,21</b>	<b>61681</b>



#### 6.4 Posouzení konstrukčních variant

Posouzení jednotlivých prvků konstrukčních variant bylo zpracováno na základě prostorového výpočtového modelu sestaveném v programu SCIA ENGINEER 2014.0.0. U plnostěnného vazníku bylo dominantní zatížení ohybem, zatímco u příhradového vazníku jsou prvky namáhány především tahem a tlakem. Obě varianty byly srovnávány na stejnou kvalitu materiálu - rostlé dřevo krokvi a vaznic C24, lepené lamelové dřevo vazníků GI24h a ocel ztužení S355. Krokve a vaznice byly v obou variantách navrženy se shodným průřezem a geometrií rozmístění. Z hrubého výkazu výměr vyplývá, že na variantu s příhradovým vazníkem bylo spotřebováno méně lepeného lamelové dřeva o 22 397 kg tedy o 35,26 %, zatímco ocele na ztužení připadlo ve variantě s příhradovým vazníkem o 1795 kg tedy o 48,57% více.

#### 6.5 Problematika spojená s konstrukčním řešením zastřešení víceúčelové sportovní haly

Teoretická analýza výpočtových modelů nosných systémů je pouze jednou, i když zásadní stránkou problému. Pokud má být systém realizován, je nutné vyřešit řadu dalších otázek, souvisejících s vlastnostmi materiálu, výrobou, transportem, montáží, ochranou materiálu, estetikou, provozem a obecně se spolehlivostí konstrukce. Tato práce nám dává možnost porovnat dvě konstrukční varianty především z hlediska jejich statického chování a průběhu vnitřních sil. Tyto varianty byly dimenzovány podle platných norem [1] - [6] na standardním zatížení podle platných norem [1] - [3]. Je však zapotřebí uvážit další možná zatížení vznikající technologickým řešením objektu, která nebyly do návrhu zahrnuty – například zatížení ukazatelem skóre.

Dalším důležitým faktorem je jednoduchost provedení dané konstrukce. Varianta příhradového vazníku vytváří velkou četnost styků – detailů, které musí být řešeny se zvýšenou pozorností tak, aby chování konstrukce odpovídalo co nejlépe modelu, především pak v tuhosti styků.

#### 6.6 Alternativní řešení při návrhu zastřešení víceúčelové sportovní haly

Při návrhu konstrukčních variant byly navrženy standardní materiály, prvky a jejich spoje. Vždy je však zapotřebí uvážit případnou alternativu ke zvoleným řešením. Například použití materiálů vyšší pevností (lepené lamelové dřevo GI28



– GI36, ocel spojovacích prostředků 10.9 či 12.96), jinak řešené spoje, či ztužení konstrukce. Zároveň se však musí brát ohled na všechny klady a zápory získané použitím dané alternativy. Materiály vyšší pevností jsou dražší, ale umožňují přenos zatížení s menším průřezem. Průřez se ale někdy musí zvětšovat nejen z důvodu přenosu zatížení, ale i z důvodu proveditelnosti konstrukce. Alternativní řešení umožňuje taktéž ztužení haly. V našem případě byly použity ocelové trubky, které fungují jako táhla. Trubky by mohly být nahrazeny dřevěným ztužením, či ocelovým lany. Další alternativou je jistá idealizace zvolené varianty. Například u příhradového vazníku by bylo možné nahradit diagonály a svislice z lepeného lamelového dřeva rostlým dřevem klasické pevnostní třídy C24, či navýšit celkovou výšku příhradového vazníku, čímž by došlo ke snížení vnitřních sil v horním a dolním pásu, což by vedlo ke snížení průřezových ploch těchto prvků.

## 7 Závěr

Hlavním cílem této práce byl variantní návrh zastřešení víceúčelové sportovní haly. Pro zastřešení byly vypracovány dvě varianty, které byly posouzeny podle platných norem [1] - [6] tak, aby vyhověly na mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti a požární odolnost v délce 30 minut. Práce dále obsahuje detailní popis konstrukčních variant, výpočet zatížení působící na konstrukci, vyhodnocení variant a výkresovou část.

Ve variantě číslo jedna byl jako hlavní nosný prvek navržen dřevěný plnostěnný vazník a ve variantě číslo dva dřevěný příhradový vazník. Po vyhodnocení a vzájemném porovnání těchto variant byla jako vhodnější vybrána varianta číslo jedna. Varianta byla zvolena především na základě menšího počtu styků, proveditelnosti detailů a celkové tvarové jednoduchosti.



## Seznam použitých zdrojů:

### Technické normy a odborná literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užité zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, červen 2005.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006.
- [5] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Navrhování na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006.
- [6] ČSN EN 1990 *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, leden 2004.
  
- [7] KUKLÍK Petr, KUKLÍKOVÁ Anna, MIKEŠ Karel. *Dřevěné konstrukce, Cvičení*, ES ČVUT. Praha 2005
- [8] KUKLÍK Petr, *Dřevěné konstrukce, skripta Fsv*, ČVUT. Praha 2005
- [9] FAJMAN, Petr; KRUIS, Jaroslav: *Zatížení a spolehlivost*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2009.
- [10] Přednášky z předmětu Stavitelství 6 – ZČU, FAV – katedra mechaniky
- [11] Přednášky z předmětu Dřevěné konstrukce – ZČU, FAV – katedra mechaniky
- [12] Bc. Jakub Halík, Střešní konstrukce hokejové haly, Bakalářská práce, FSV ČVUT 2013
- [13] Bc. Jakub Halík, Projekt S2 – Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem, Semestrální práce, FAV ZČU 2014
- [14] Ing. Arch. Kateřina Váňová – Víceúčelová sportovní hala, Bakalářská práce, VUT Brno 2009

### Internetové zdroje

- [14] Sterling OSB, katalogy a podklady pro navrhování a posuzování OSB desek  
[www.sterlingosb.com](http://www.sterlingosb.com)
- [15] Sterling OSB, katalogy a ceníky OSB Desek  
[www.stasa.cz](http://www.stasa.cz)





- [16] Za tepla válcované trubky, katalogy, ceníky a podklady pro návrh a dimenzování  
[www.ravencz.cz](http://www.ravencz.cz)
- [17] Odborný článek – konstrukce dřevěných hal  
[http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci\\_N442](http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci_N442)
- [18] TESKO. České dřevařské závody Praha  
<http://www.konstrukce-tesko.cz/konstrukce/reference/obcanske-stavby>
- [19] BOVA. Ceníky, katalogy a podklady pro navrhování spojů s ocelovými spojovacími prostředky  
[www.bova-nail.cz](http://www.bova-nail.cz)
- [20] BOVA. Ceníky, katalogy a podklady pro navrhování spojů s ocelovými spojovacími prostředky  
[www.bova-nail.cz](http://www.bova-nail.cz)
- [21] ČKAIT, fakulta stavební VUT v Brně, seminář pro EUROKÓD 5, 2. část, doc. Ing. Bohumil Straka, Csc., únor 2010  
[http://www.ckait.cz/sites/default/files/EC5\\_Seminar\\_drevo\\_2.pdf](http://www.ckait.cz/sites/default/files/EC5_Seminar_drevo_2.pdf)

### Seznam použitých symbolů:

$A$  ... plocha

$A_r$  ... plocha účinného nebo zbytkového průřezu

$A_s$  ... plocha jádra dřívku spojovacího prostředku

$a_1$  ... rozteč rovnoběžně s vlákny mezi spojovacími prostředky v jedné řadě

$a_2$  ... rozteč kolmo k vláknům mezi řadami spojovacích prostředků

$a_{3,t}$  ... vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a zatíženým koncem

$a_{4,t}$  ... vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a zatíženým okrajem

$b$  ... šířka

$b_{ft}$  ... šířka zbytkového nebo účinného průřezu

$d$  ... průměr spojovacího prostředku

$d_0$  ... průměr otvoru pro spojovací prostředek

$d_{def}$  ... účinná hloubka zuhelnatění

$c_{dir}$  ... součinitel směru větru

$c_e$  ... součinitel expozice

$c_0(z)$  ... součinitel orografie ve výšce "z"

$c_{pe,10}$  ... součinitel vnějšího tlavací plochy větru pro velké zatěžovací plochy

$c_r(z)$  ... součinitel drsnosti ve výšce "z"



- $c_{season}$  ... součinitel ročního období
- $c_t$  ... tepelný součinitel
- $e$  ... rozměr pro výpočet oblastí pro zatížení podélným větrem
- $E_{0,05}$  ... hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti
- $f$  ... vzepětí pro oblouk střechy
- $f_{c,0,k}$  ... charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
- $f_{c,0,d}$  ... návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
- $f_{c,90,k}$  ... charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům
- $f_{c,90,d}$  ... návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům
- $f_{h,k}$  ... charakteristická pevnost v otlačení
- $f_{h,d}$  ... návrhová pevnost v otlačení
- $f_{m,k}$  ... charakteristická pevnost v ohybu
- $f_{m,d}$  ... návrhová pevnost v ohybu
- $f_{t,0,k}$  ... charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
- $f_{t,0,d}$  ... návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
- $f_u$  ... mez pevnosti
- $f_{u,k}$  ... charakteristická pevnost v tahu svorníků
- $f_{v,k}$  ... charakteristická pevnost ve smyku
- $f_{v,d}$  ... návrhová pevnost ve smyku
- $f_y$  ... mez kluzu oceli
- $g_k$  ... charakteristická hodnota stálého rovnoměrného zatížení
- $h$  ... výška
- $h_{fi}$  ... výška účinného nebo zbytkového průřezu
- $I$  ... moment setravnosti
- $l_v(z)$  ... součinitel turbulence ve výšce "z"
- $k_c$  ... součinitel vzpěrnosti
- $k_{def}$  ... součinitel dotvarování
- $k_{fi}$  ... modifikační součinitel za požáru
- $k_{mod}$  ... modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
- $k_r$  ... součinitel terénu pro vítr
- $k_{shape}$  ... součinitel tvaru
- $L_{ef}$  ... efektivní délka



$L_s$  ... délka po střednici

$M_{Ed}$  ... působící složka ohybového momentu

$N_{Ed}$  ... působící složka normálové síly

$n_s$  ... počet rovin stříhu

$p$  ... obvod zbytkového nebo účinného průřezu

$p_1$  ... rozteč ve směru síly pro ocel

$p_2$  ... rozteč kolmo ve směru síly pro ocel

$q_k$  ... charakteristická hodnota proměnného rovnoměrného zatížení

$Q_k$  ... charakteristická hodnota proměnného zatížení

$q_p(z)$  ... maximální dynamický tlak ve výšce "z"

$r_{in}$  ... vnitřní poloměr

$s_i$  ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše

$s_k$  ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$t$  ... tloušťka, čas

$u_{inst}$  ... okamžitý průhyb

$u_{lim}$  ... limitní průhyb

$u_{net,fin}$  ... čistý konečný průhyb

$V$  ... objem

$v_b$  ... základní rychlost větru

$v_m(z)$  ... střední rychlost větru ve výšce "z"

$V_{z,Ed}$  ... působící složka posouvající síly

$W$  ... Průřezový modul

$w_e(z)$  ... vnější tlak větru ve výšce "z"

$W_{fi}$  ... průřezový modul zbytkového nebo účinného průřezu

$z_0$  ... parametr drsnosti terénu

$\beta_n$  ... nominální návrhová rychlost zuhelnatění

$\gamma_G$  ... součinitel zatížení pro stálé zatížení

$\gamma_M$  ... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

$\gamma_{M,i}$  ... dílčí součinitel spolehlivosti oceli

$\gamma_{M,fi}$  ... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu při požáru

$\gamma_Q$  ... součinitel zatížení pro proměnné zatížení



$\varepsilon$  ... poměrné přetvoření

$\lambda$  ... štíhlostní poměr

$\lambda_{rel,m}$  ... poměrná štíhlost při ohybu

$\mu_i$  ... tvarový součinitel zatížení sněhem

$\rho$  ... měrná hustota vzduchu

$\rho_k$  ... charakteristická hustota materiálu

$\sigma_{c,0,d}$  ... návrhové napětí v tlaku rovněž s vlákny

$\sigma_{m,crit}$  ... kritické ohybové napětí

$\sigma_{m,d}$  ... návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{t,0,d}$  ... návrhové napětí v tahu rovněž s vlákny

$\sigma_{t,90,d}$  ... návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům

$\sigma_v$  ... tlak větru

$\tau_{tor,d}$  ... návrhové napětí v kroucení

$\tau_{v,d}$  ... návrhové napětí ve smyku

$\psi_i$  ... kombinační součinitel zatížení

## Použitý software:

NEMETSCHEK SCIA: SCIA ENGINEER 2014.0.0

NEMETSCHEK ALLPLAN: ALLPLAN 2014.0.0

MICROSOFT OFFICE 2007: aplikace Word a Excel

ADOBE: ADOBE READER XI

## Přílohy:

- Projekt S2, Víceúčelová sportovní hala se sportovním centrem – Projektová dokumentace ke stavebnímu povolení – Architektonicko-stavební část
- Výkres plnostěnného střešního vazníku – Varianta č. 1
- Výkres příhradového střešního vazníku – Varianta č. 2