

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Reciproční konstrukce – analýza**

Teoretická část a úvod do praktické části

Anežka Suchá

2018

Ing. Karel Mikeš, Ph.D.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

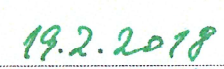
Příjmení: Suchá	Jméno: Anežka	Osobní číslo: 438485
Zadávací katedra: K134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: SI - Stavební inženýrství		
Studijní obor: C - Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Reciproční konstrukce - analýza	
Název bakalářské práce anglicky: Reciprocal Frame Structure - Analysis	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte teoretickou a praktickou část bakalářské práce. Teoretická část práce se bude zabývat recipročními konstrukcemi zastřešení, tvarovou a staticko-konstruční analýzou s cílem přiblížit a popsat chování těchto konstrukcí pro běžné zatěžovací stavy a jejich kombinace s uvážením všech důležitých vlivů. V praktické části bude předmětem práce návrh a posouzení konkrétní vybrané konstrukce podle současných návrhových postupů a norem. Návrh bude doplněn konstrukčními výkresy reprezentujícími navrženou konstrukci a technickou zprávou.	
Seznam doporučené literatury: [1] Eurocode – Basis of Structural Design: EN 1990; Snow Loads EN 1991-1-3; Wind Loads EN 1991-1-4 [2] Eurocode EN 1995 –1–1 Design of timber structures, Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings [3] Porteous J., Kermani A.: Structural Timber Design to Eurocode 5	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2018 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

 Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
--	---------------------

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, literatury a software uvedených v seznamech použité literatury a použitých softwarů. Práce byla zpracována v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze .....

.....

Anežka Suchá

## **Poděkování**

Autor chce tímto poděkovat především Ing. Karlu Mikešovi, Ph.D. za vedení této práce, za čas věnovaný odborným konzultacím a za cenné rady.

## **Anotace**

Bakalářská práce zkoumá problematiku recipročních konstrukcí z hlediska jejich praktického využití v dnešním stavitelství. Práce je formálně rozdělena na dvě části. Teoretická část se zabývá historickým vývojem těchto konstrukcí, konstrukčním řešením a analýzou jejich statického chování. Využití recipročního principu při návrhu soudobých konstrukcí je představeno na třech vybraných realizacích. Praktická část je zaměřena na návrh a posouzení nosné střešní reciproční konstrukce jízďárny v pražské Troji s rozponem 20 metrů.

## **Klíčová slova**

reciproční konstrukce, reciproční jednotka

## **Anotation**

The bachelor thesis examines the problems of reciprocal structures from the perspective of their practical use in today's construction. The thesis is formally divided into two parts. The theoretical part deals with the historical development of these structures, the design solutions and the analysis of their static behavior. The use of the reciprocal principle in designing contemporary constructions is presented in three selected structures. The practical part is focused on the design of the roof reciprocal construction of the riding school in Troja, Prague, with a span of 20 meters.

## **Key words**

reciprocal frame structure, reciprocal frame

# Obsah

Seznam použitých software .....	7
Seznam obrázků.....	8
Úvod.....	10
Teoretická část.....	11
Pojem „Reciproční konstrukce“ .....	11
Historický vývoj .....	12
Typy tvarů a uspořádání .....	16
Statické chování.....	18
Materiál.....	32
Spoje .....	33
Využití a realizace .....	36
Sklad soli, Lausanne, Švýcarsko (Gamma Architectore, Natterer Bois).....	36
Výstavní síň loutkového divadla Bunraku, Seiwa, Japonsko (Kazuhiro Ishii, Tadashi Hamauzu, 1992).....	39
Přístřešek pro archeology, Bibracte, Francie (Paul Andreu, Bernard Vaudeville, Simon Aubry, 2008) .....	42
Praktická část .....	47
Návrh střešní konstrukce jízďárny .....	47
Volba konstrukčního systému.....	47
Závěr .....	52
Použitá literatura .....	53

# Seznam použitých softwarů

MS Word 2013

MS Excel 2013

AutoCAD 2016 – studentská verze

Scia Engineer 16.0 – studentská verze



# Seznam obrázků

Obr. č. 1 : Model reciproční konstrukce v programu Scia Engineer pro ilustraci, zdroj vlastní

Obr. č. 2: Honnecourtovo řešení stropu, zdroj [1] str. 8

Obr. č. 3: Řešení stropu z náčrtů Leonarda Da Vinciho, zdroj [1] str. 10

Obr. č. 4: Wallisovo řešení, zdroj [1] str. 13

Obr. č. 5: Skici z atlasu „Traite de L'arte de la Charpenterie“, zdroj [1] str. 14

Obr. č. 6: Schematické rozdělení recipročních konstrukcí, zdroj obrázku typu 1,2,3 - vlastní; zdroj typu 4 - [5], str. 245

Obr. č. 7: Statická neurčitost recipročních jednotek, zdroj [4] str. 41

Obr. č. 8: Schéma zatížení [kN; kN/m], zdroj vlastní

Obr. č. 9: Svislé reakce [kN], zdroj vlastní

Obr. č. 10: Osové reakce [kN], zdroj vlastní

Obr. č. 11: Průběh ohybových momentů [kNm], zdroj vlastní

Obr. č. 12: Průběh posouvajících sil [kN], zdroj vlastní

Obr. č. 13: Průběh normálových sil [kN], zdroj vlastní

Obr. č. 14: Model násobné reciproční konstrukce a jednotky, zdroj vlastní

Obr. č. 15: Průběh ohybových momentů na násobné reciproční konstrukci a jednotce [kNm], zdroj vlastní

Obr. č. 16: Průběh posouvajících sil na násobné reciproční konstrukci a jednotce [kN], zdroj vlastní

Obr. č. 17: Průhyb na násobné reciproční konstrukci a jednotce [mm], zdroj vlastní

Obr. č. 18: Zastřešení rodinného domu od Grahama Browna – tesařské spoje, zdroj [1] str. 163

Obr. č. 19: Šroubový spoj reciproční jednotky, zdroj [5] str. 248

Obr. č. 20: Svařovaný spoj – observatoř Rocco-Shidare, zdroj [7] str. 124

Obr. č. 21. Reciproční jednotka spojená pomocí objímkových otočných spojek, zdroj [5] str. 24

Obr. č. 22: Půdorys a řez bb konstrukce, zdroj [2] str. 174

Obr. č. 23: Spoj nosníků, zdroj [2] str. 174

Obr. č. 24: Sklad soli během výstavby, zdroj [2] str. 174

- Obr. č. 25: Interiér výstavní síně, zdroj [1] str. 93
- Obr. č. 26: Prstenec, zdroj [x] zvýraznění reciproční konstrukce vlastní
- Obr. č. 27: Montáž reciproční konstrukce, tesařské spoje, zdroj [1], str. 96
- Obr. č. 28: Výstavní síň během výstavby, zdroj [1], str. 98
- Obr. č. 30: Reciproční jednotka, zdroj [3] str. 305
- Obr. č. 31: Detail přípoje, zdroj [3], str. 305
- Obr. č. 32: Schéma umístění dodatečných vnitřních sloupů, zdroj [3] str. 307
- Obr. č. 33: Zavěšená zátěž z pytlů s pískem, zdroj [3] str. 306
- Obr. č. 34: Zavětrování, zdroj [3] str. 306
- Obr. č. 35: Postup montáže, zdroj [3] str. 310
- Obr. č. 37: Posouzení pultových nosníků v devíti modelech, zdroj vlastní
- Obr. č. 38: Graf závislosti dimenze průřezu na geometrii konstrukce, zdroj vlastní

# Úvod

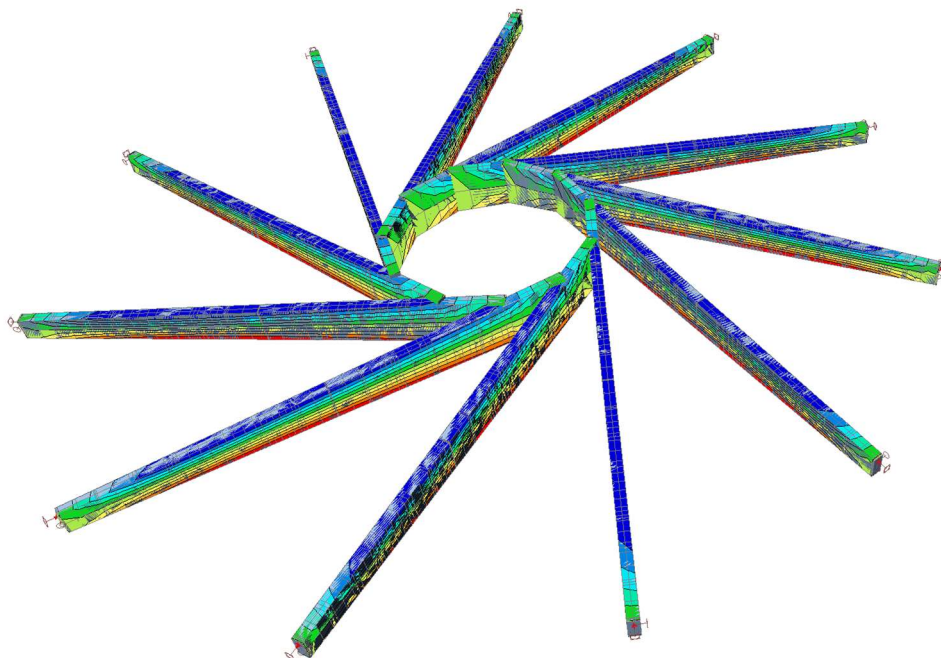
I přes estetický vzhled, reciproční konstrukce nepatří mezi příliš známé konstrukční systémy, a to nejen mezi laickou, ale i odbornou veřejností. Tato bakalářská práce si proto klade za cíl analyzovat tyto konstrukce z hlediska jejich statického chování v závislosti na tvaru a uspořádání prvků v konstrukci a následně navrhnout konkrétní reciproční konstrukci z důrazem na optimalizaci tvarového uspořádání.

Teoretická část se stručně zabývá jejich historií, dále popisuje možné konstrukční řešení a uspořádání prvků s využitím recipročního principu. Statické chování je analyzováno na různých typech recipročních konstrukcí, s uvedením kladů a záporů jednotlivých řešení. V závěru teoretické části jsou představeny tři současné realizace s odlišným využitím recipročního principu ve střešní konstrukci. Vzhledem ke skutečnosti, že nebylo možné dohledat žádné využití recipročního principu v konstrukci na území ČR, jsou všechny zkoumané realizace ze zahraničí. Praktická část je zaměřena na konkrétní návrh reciproční konstrukce na základě znalostí z teoretické části. Jedná se o statický návrh zaměřený na nosné prvky střešní konstrukce jízdního s rozponem 20 metrů.

# Teoretická část

## Pojem „Reciproční konstrukce“

Anglický výraz popisující zkoumanou konstrukci zní „*Reciprocal Frame Structure*“ a do českého jazyka se dá doslovně přeložit jako „reciproční rámová konstrukce“. Úmyslně je v názvu práce a dále v textu vypuštěno slovo „rámová“, jelikož může být zavádějící<sup>1</sup>. Pojem rámová konstrukce je interpretován jako převážně ohýbaná konstrukce s tuhým rámovým rohem, který přenáší ohybový moment a zmenšuje tak velikost momentu v poli, to však zkoumané reciproční konstrukci neodpovídá. Reciproční konstrukce se skládá z nejméně tří prvků (nosníků atd.), které se navzájem podpírají v uzavřeném cyklu. V nejjednodušším případě uspořádání, jeden konec prvku spočívá na pevné podpoře (jako je obvodová zeď, sloup, průvlak,...), druhý konec je kloubově připojen k sousednímu prvku. Složitější uspořádání je podrobněji popsáno v kapitole *Typy tvarů a uspořádání*, kde jsou i obrázky jednotlivých typů pro lepší představu.



Obr. č. 1 : Model reciproční konstrukce ze softwaru Scia Engineer pro ilustraci, zdroj vlastní

---

<sup>1</sup> Dohledatelná odborná česká literatura se reciproční konstrukcí nezabývá, není proto možné překlad převzít nebo porovnat.

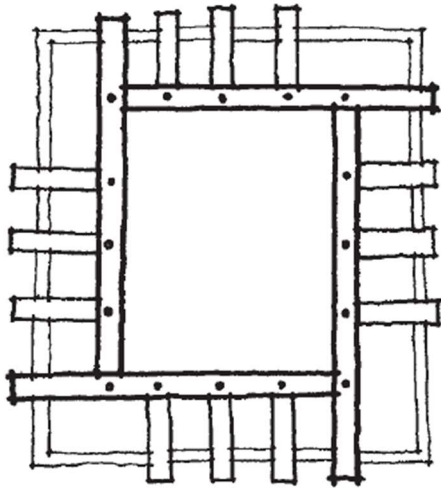
## Historický vývoj

Pojem „*Reciprocal Frame*“ poprvé použil britský designer Graham Brown na konci minulého století, který tento typ konstrukce znovuobjevil ve Velké Británii. Historie recipročních konstrukcí sahá ale daleko do minulosti. I indiánský stan tee-pee stojí na obdobném principu, kde se stanové tyče ve středu o sebe opírají. Bohužel se dá těžko určit, kdo jako první použil reciproční konstrukci k zastřešení většího stropního rozponu. Její principy bezpochyby využívalo více civilizací, nejstarší písemné záznamy o ní pochází z 12. století z Japonska. Žádná podobně stará konstrukce se do dnešních dnů nedochovala z jednoho prostého důvodu – jediný materiál, který v minulosti připadal v úvahu k vytvoření reciproční konstrukce, bylo dřevo. Materiál, který za dlouhá století podlehl zkáze požárem nebo hnilobou. [1]

Pokud se zaměříme čistě na evropskou historii stavitelství, první reciproční konstrukce se objevily ve středověku. K překlenutí stropních rozponů byly v tehdejších dobách využívány dva základní materiály – kámen a dřevo. Kámen byl používán především u církevních staveb, dřevo pak u staveb světských. Spolu s historickým vývojem a pokrokem se místnosti objektů zvětšovaly a délka dřevěných trámů, uložených jako prosté nosníky, přestala na rozpětí stačit. To vedlo tehdejší stavitele k důmyslnému řešení problému pomocí reciproční konstrukce. [1]

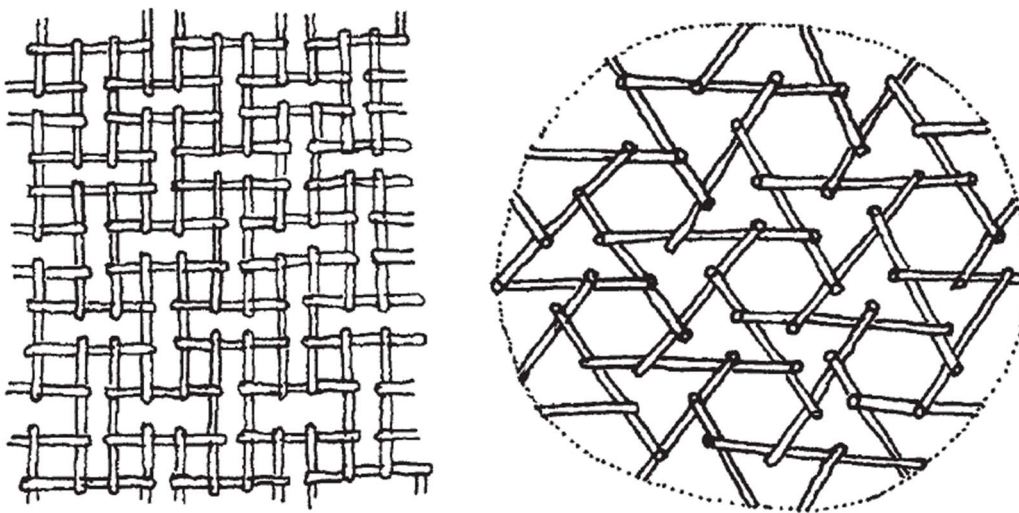
Jako jeden příklad za všechny poslouží řešení z dochovaného skicáře středověkého architekta Villiarda de Honnecourta, žijícího ve 13. století. Honnecourt řeší překlenutí místnosti s půdorysem ve tvaru čtverce v případě, kdy jsou k dispozici příliš krátké dřevěné trámy. Honnecourt klade trámy rovnoběžně se stěnou, jedním koncem na stěně spočívají, druhý konec je připojen kolmo k dalšímu trámu. Vše se odehrává v jedné rovině, dřevěné trámy jsou tudíž namáhány převážně ohybem. Honnecourt tak z trámů jednoduše vytvoří půdorysně menší čtverec, který může být

překlenut i kratšími prvky (viz obr. č. 2). Bohužel ke skice nejsou připojeny údaje o dimenzích prvků nebo uvažovaném rozpětí. [1]



Obr. č. 2: Honnecourtovo řešení stropu, zdroj [1] str. 8

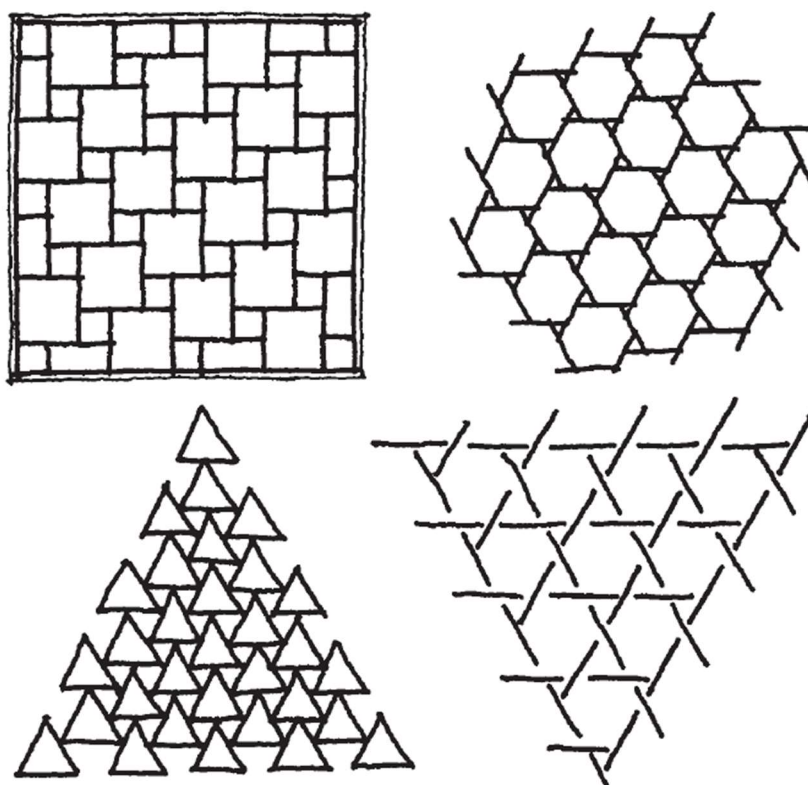
V období renesance zaujal princip reciproční konstrukce i slavného Leonarda da Vinciho nebo italského architekta Sebastiana Serlia. V jejich náčrtech se objevují řešení stropů velmi podobná tomu od Honnecourta, ale také složitější variace s více prvky a dokonce řešení dočasných mostních konstrukcí. [1]



Obr. č. 3: Řešení stropu z náčrtů Leonarda Da Vinciho, zdroj [1] str. 10

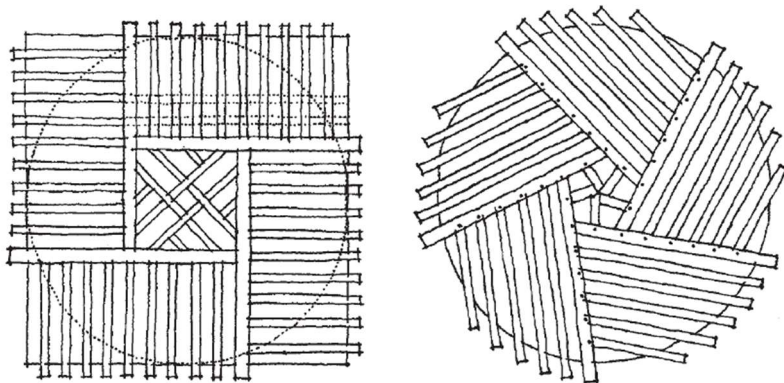
Další významnou osobností, kterou je třeba v souvislosti s recipročními konstrukcemi zmínit, je matematik John Wallis, žijící v Anglii v 17. století. Ve svém pojednání *Opera Mathematica* se zabývá problematikou rovinného uspořádání

prutů, i recipročními konstrukcemi stropů ve spádu. Pravděpodobně jako první detailně popisuje statické chování konstrukce a její geometrické principy. Wallis ve své práci mimo jiné popsal různé možnosti rovinného uspořádání konstrukce s použitím více prvků a zkoumal na nich, jakým způsobem přenášejí zatížení. Není překvapivé, že tyto konstrukce se velmi podobají těm z náčrtků Leonarda da Vinciho, využívají stejný princip, vždy jde jen o jeho využití a modifikaci základního uspořádání (viz obr. č. 4). [1]



Obr. č. 4: Wallisovo řešení, zdroj [1] str. 13

V 19. století se ve francouzském atlase „*Traite de L'arte de la Charpenterie*“ od autora A.R. Emyho<sup>2</sup> opět objevují zajímavé skici recipročních konstrukcí, jen bohužel bez dimenzí a důkazu, že byly zrealizovány. [1]



Obr. č. 5: Skici z atlasu „*Traite de L'arte de la Charpenterie*“, zdroj [1] str. 14

V současné době se reciproční konstrukce používají ve stavbách všech velikostí a různých způsobů využití. Ve Velké Británii výše zmíněný Graham Brown například prosazuje alternativní architekturu rodinných domů s reciproční střechou. Také v japonské architektuře se často objevují reciproční konstrukce se zajímavými tesařskými detaily v rámci spirituálních i užitných staveb. Rostlé dřevo není jediný materiál, u kterého se dá uplatnit reciproční princip. Vznikají stavby z lepeného lamelového dřeva, či kovové stavby, z oceli nebo z hliníku. Příklady realizovaných recipročních konstrukcí z nedávné doby jsou uvedeny v kapitole *Využití a realizace*. [1]

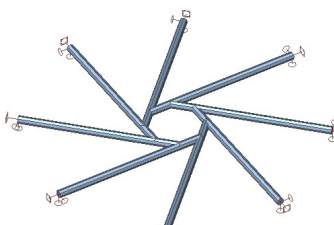
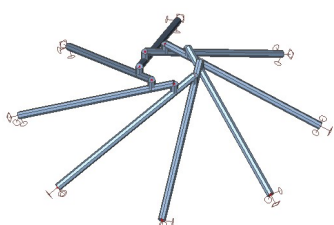
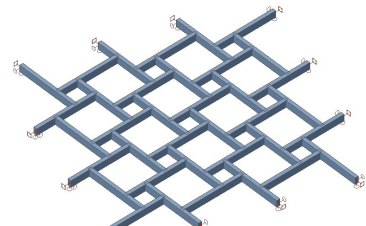

---

<sup>2</sup> A R. Emy je autorem Emyho obloukové konstrukce.



## Typy tvarů a uspořádání

Z předchozí kapitoly popisující historický vývoj vyplývá, že reciproční konstrukce může nabývat mnoha různých podob. Na obr. č. 6. níže jsou konstrukce rozděleny do čtyř kategorií podle uvedených charakteristik. Prvním kritériem je uspořádání prvků v prostoru. Buď mohou prvky ležet v jedné rovině a tvořit tak rovný podhled stropu, nebo mohou být na sebe naskládány ve sklonu. Druhým kritériem je složitost konstrukce. Jako „jednonásobnou konstrukci“ označuji uspořádání pouze s jednou jednotkou recipročního uspořádání<sup>3</sup>. „Násobnou konstrukcí“ je pak myšlena kombinace a opakování těchto jednotek. O.P. Larsen ve své publikaci *Reciprocal Frame Architecture*, 2008, dělí tyto konstrukce ještě na „multiple reciprocal frames“ a „complex reciprocal frames“<sup>4</sup>, a to ve smyslu použitých jednotek, komplexní se skládá z více různých typů (viz obr. č. 6)

	Prvky v jedné rovině	Prvky v 3D prostoru
<b>Jednonásobná konstrukce</b>	<b>1</b> 	<b>2</b> 
<b>Násobná konstrukce</b>	<b>3</b> 	<b>4</b> 

Obr. č. 6: Schematické rozdělení recipročních konstrukcí, zdroj obrázku typu 1,2,3 - vlastní; zdroj typu 4 - [5], str. 245

<sup>3</sup> Z anglického výrazu „reciprocal frame unit“ [1] str. 3, překlad vlastní

<sup>4</sup> Z anglický výrazů „multiple reciprocal frames“ [1] str. 3, a „complex reciprocal frames“ [1] str. 20, překlad vlastní

Typy konstrukcí č. 1 a 2 mohou tvořit samostatné střešní konstrukce nebo být základními jednotkami pro vytvoření konstrukcí typu 3 a 4. Typ č. 2 se vytvoří jednoduše z prvního typu – místa spojení prvků se zvednou, zatímco místo podpory zůstane na místě.

Odlišnost statického působení jednotlivých typů bude popsána v následující kapitole *Statické chování*. Praktická část této práce se zaměří na srovnání konstrukcí typu č. 1 a 2 při návrhu reálné konstrukce s rozponem 20 metrů.

## Statické chování

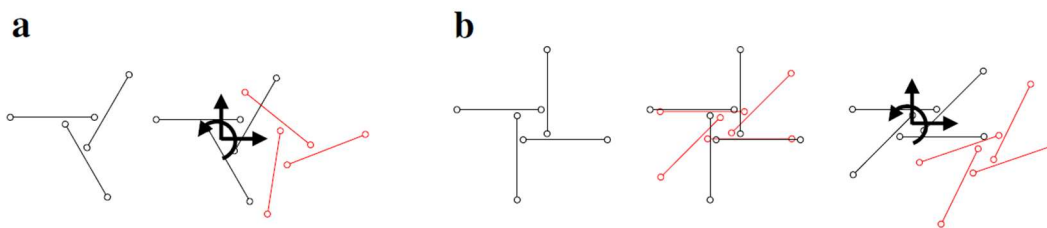
Reciproční konstrukce je definována jako konstrukce z prvků uspořádaných tak, že se podporují navzájem a tvoří uzavřenou jednotku. Tyto prvky mohou být uloženy horizontálně nebo ve sklonu. Dohromady tvoří stabilní geometrické uspořádání vytvářející prostorový konstrukční systém, nejčastěji využívaný k zastřešení prostoru. Prvky mezi sebou sdílejí a roznáší zatížení do okrajových podpor. [7]

Reciproční konstrukce se nejčastěji skládá ze stejných prutů, které jsou, stejně jako u příhradové konstrukce, spojeny klouby. V příhradové konstrukci každý prvek začíná a končí ve styčnicku, ze kterého může vycházet dva a více prvků. Oproti tomu v reciproční konstrukci je každý prut kloubově připojen k jiným prutům a zároveň je k němu obdobně kloubově připojen minimálně jeden další prut. V příhradové konstrukci, která se může skládat z totožných prvků jako konstrukce reciproční, se v prutech vyskytují pouze osově síly. V reciproční konstrukci, díky kloubově připojeným prvkům na průběžný prvek, vzniká ohybové namáhání a smyk. [4]

K pochopení staticky složitých recipročních konstrukcí je nejprve nutné zaměřit se na nejmenší elementy – jednotlivé prvky, jejich spojení a chování v rámci reciproční jednotky.

Nejmenší reciproční jednotkou může být modul ze tří prvků (viz. obr. č.6, případ a). Takovéto uspořádání je bez uvažování okrajových podpor 3x staticky přeuročité – celkem 9 stupňů volnosti mají pruty a 3 vnitřní klouby odebírají 6 stupňů volnosti. To znamená, že se jednotka může posunout ve směru os  $x$ ,  $z$  a otáčet se jako tuhý celek. Přidáme – li jeden prut, dostaneme jednotku se čtyřmi prvky a konstrukci 4x staticky přeuročitou. K uvedeným posunutí a pootočení se přidává ještě zkosení, které umožňuje mechanismus kloubů (viz. obr. č.6, případ b). Při určování statické

určitosti jednotek podepřených ve svých koncových bodech je nutné dbát na možné vznikající mechanismy a v návrhu odebrat dostatečný počet stupňů volnosti. [4]



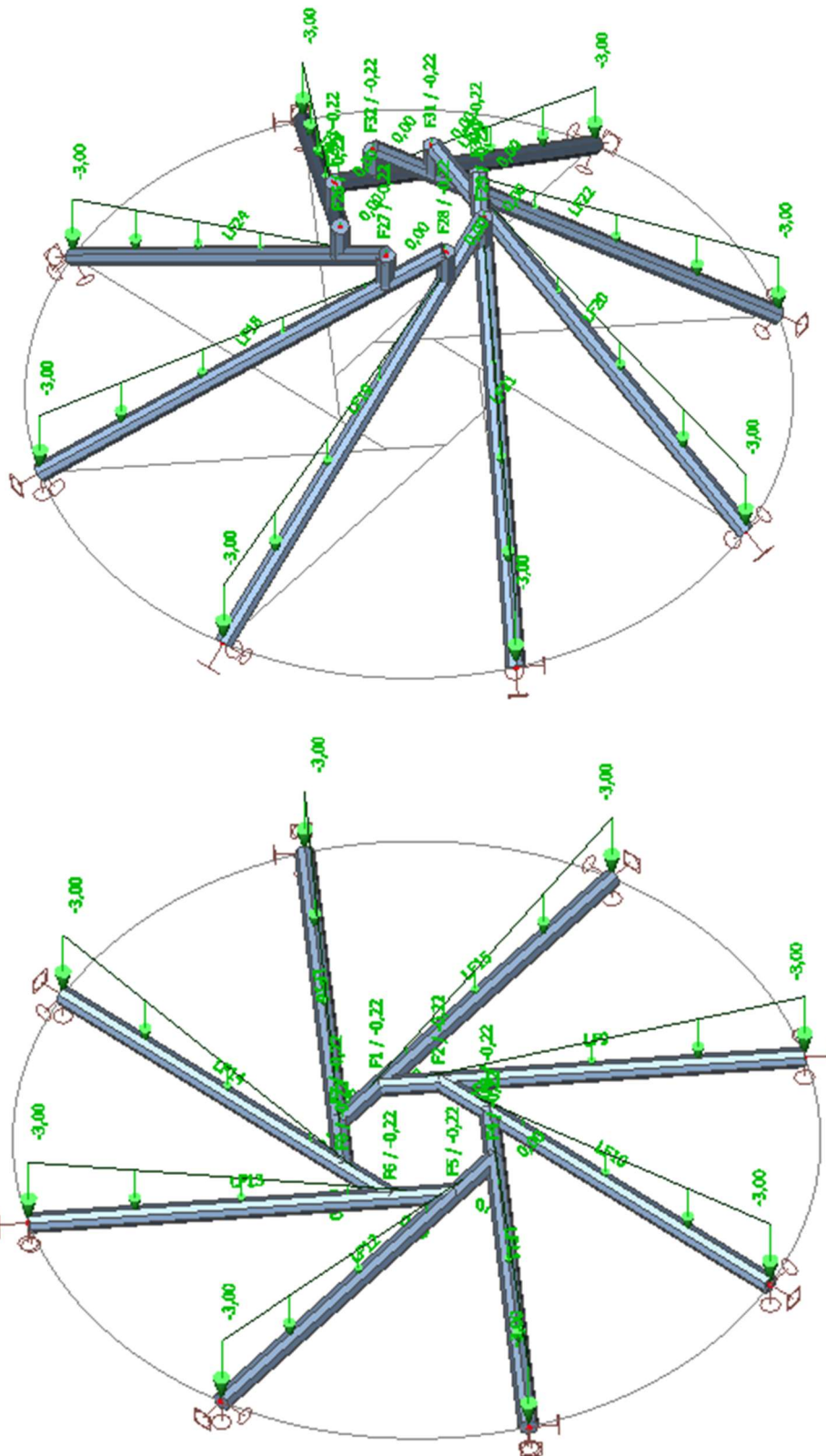
Obr. č. 7: Statická neurčitost recipročních jednotek, zdroj [4] str. 41

V jednoduché reciproční konfiguraci je zatížení přenášeno pomocí kombinace normálových sil a ohybového momentu u prvků ve sklonu, u prvků v jedné rovině převážně ohybovým momentem. V místě uložení konstrukce s prvky ve sklonu vznikají horizontální síly, které musí být zachyceny dostatečně stabilní podporou. Tu může tvořit masivní stěna, sloupy nebo pomocný prstenec odolávající vodorovným silám (jako je tomu například u stavby Výstavní sítě loutkového divadla Bunraku v Japonsku, viz kapitola *Využití a realizace*). Průběh vnitřních sil a reakcí je ověřen na následujících modelech vytvořených v software Scia Engineer. Pro ilustraci analyzovaného problému byly vymodelovány reciproční konstrukce z dřevěných prutů, kruhového průřezu o poloměru 100mm. Vnější poloměr modelu konstrukce činí 8 metrů a vnitřní 1,5 metru. U první konstrukce se sklonem se prvky stýkají ve výšce 3 metry nad okrajovými podporami. Místo spojení je vymodelováno jako kloub na tuhém rameni (ve skutečnosti se prvky o sebe opírají a distanci mezi osami prvků tvoří přirozeně jejich hmota). Obě konstrukce jsou zatíženy vlastní tíhou a pro názornost plošným zatížením  $1,0 \text{ kN/m}^2$ , které je rozpočítáno na jednotlivé pruty (viz obr. č. 8).

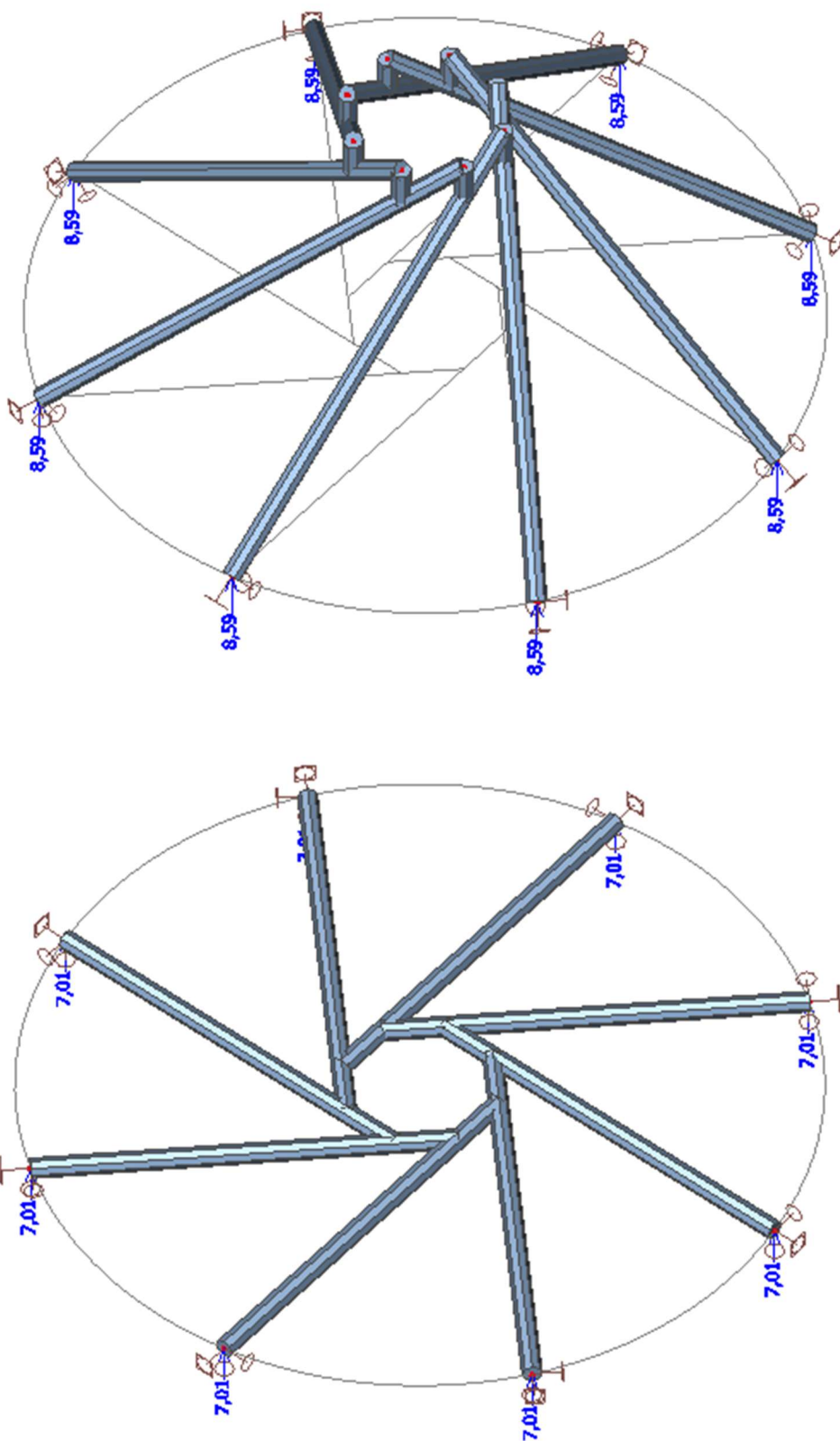
Obr. č. 9 znázorňuje reakce v podporách ve směru vertikální osy z. U konstrukce se sklonem je tato reakce o 1,5 kN na podporu větší. Na obr. č. 10 jsou reakce v podporách ve směru v osy prutu. U rovinného modelu jsou tyto reakce nulové, u modelu se sklonem nabývají hodnoty 8,45 kN. Horizontální složka této síly musí být zachycena podporou. Na dalším obrázku č. 11 jsou vykresleny průběhy ohybových

momentů, jež u rovinné konstrukce nabývají značné hodnoty 10,66 kNm oproti modelu ve sklonu - 4,7 kNm. Můžeme si všimnout, že u konstrukce v rovině nalezneme maximum v místě připojení prvků, oproti tomu u konstrukce se sklonem se maximum nachází zhruba v polovině prutu. Posouvající síly na obr. č. 12 jsou analogií k průběhu ohybových momentu. U konstrukce v rovině jsou výrazně větší a svého maxima nabývají mezi místy připojení prvků. Naopak u konstrukce se sklonem se největší smykové síly nacházejí v místě okrajových podpor. Normálové síly se u konstrukce bez sklonu vůbec nevyskytují. Šikmé prvky analyzované konstrukce se sklonem jsou namáhány tlakovou silou s maximem 8,45 kN.

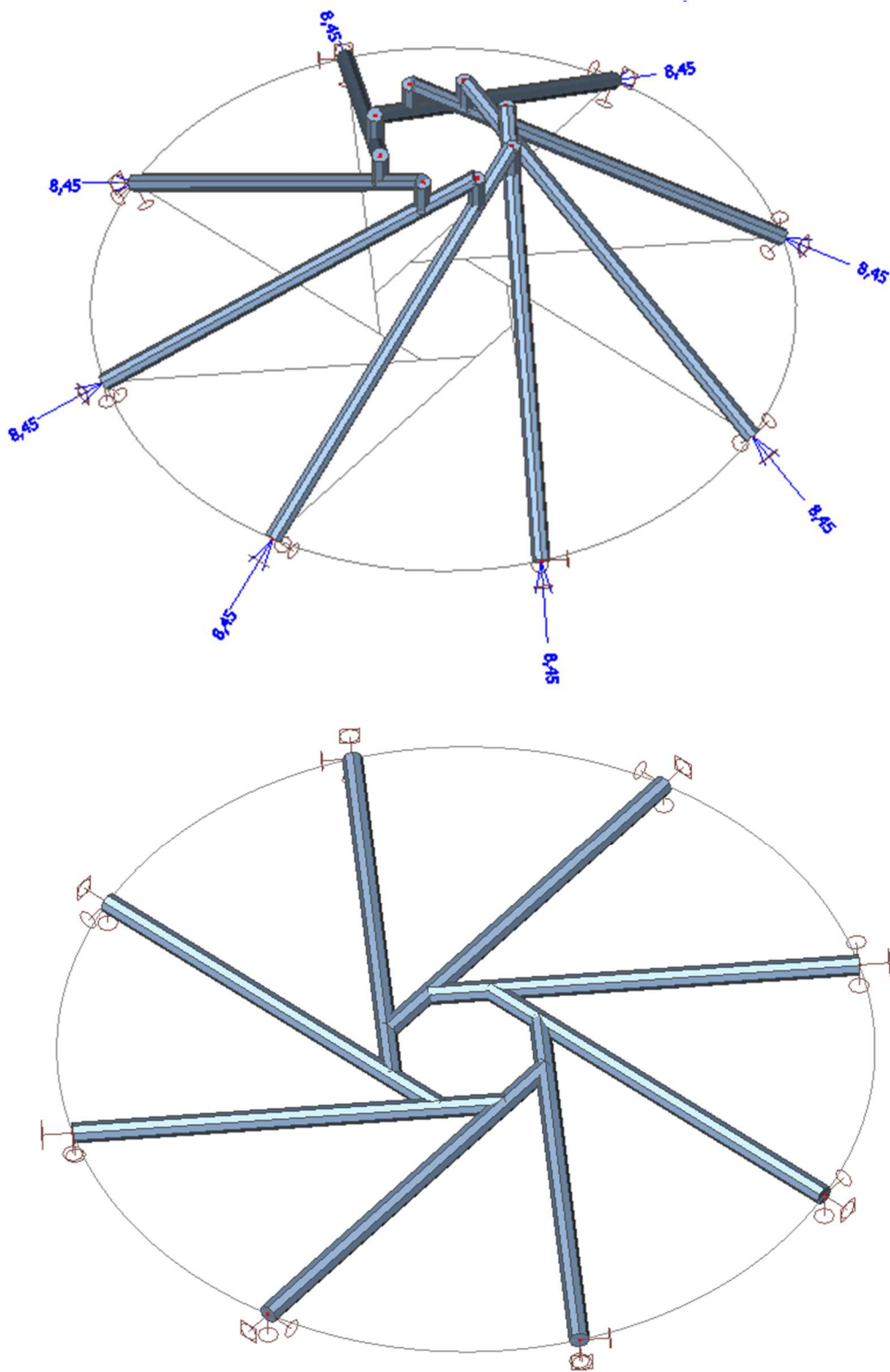
Z provedené analýzy vyplývá, že optimální konstrukci můžeme nalézt na základě materiálových charakteristik kombinací vhodného sklonu, počtu prvků, poměru vnějšího a vnitřního průměru a dalších proměnných. Z tohoto hlediska se bude návrhem reciproční konstrukce podrobněji zabývat teoretická část této práce.



Obr. č. 8: Schéma zatížení [kN; kN/m], zdroj vlastní

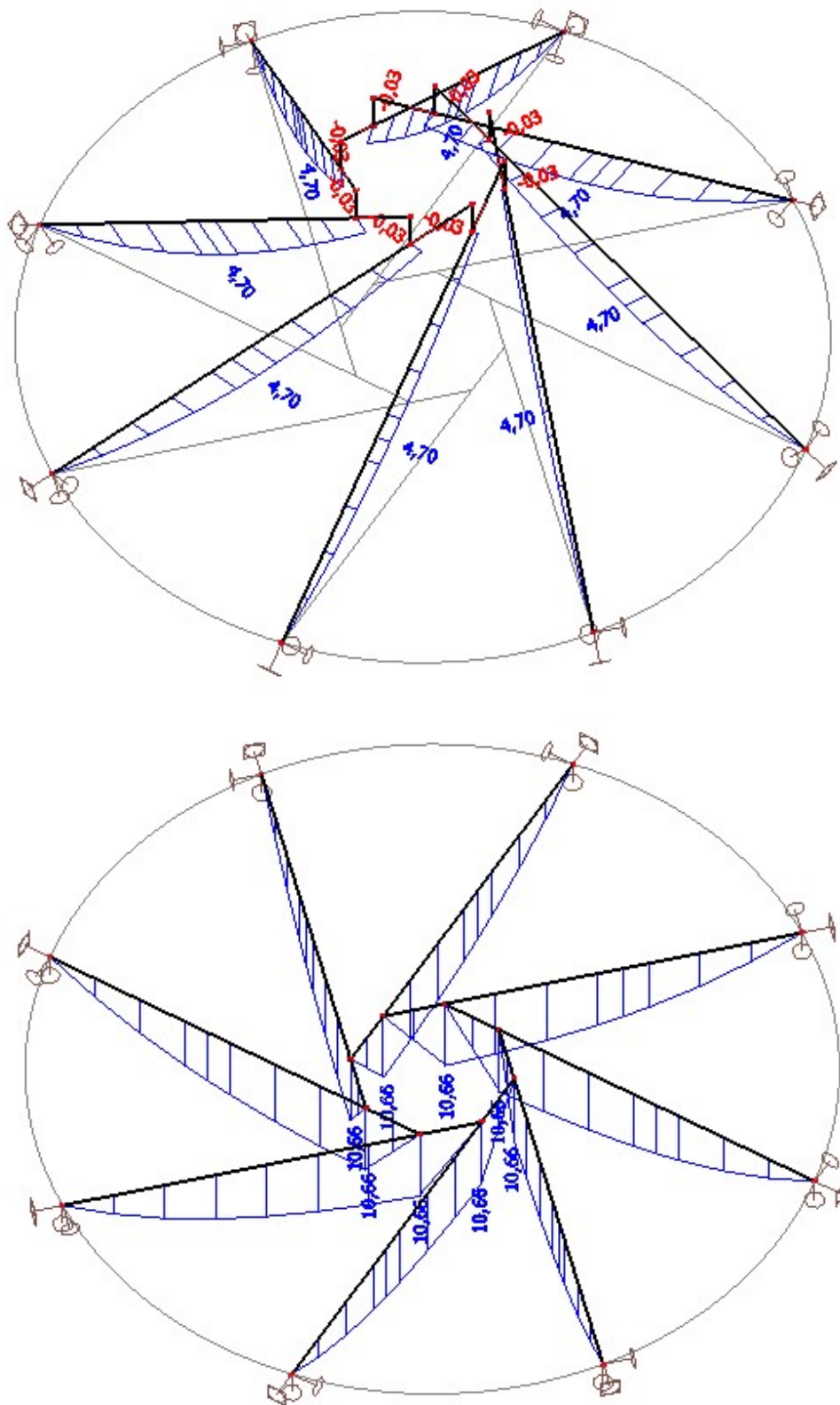


Obr. č. 9: Svislé reakce [kN], zdroj vlastní

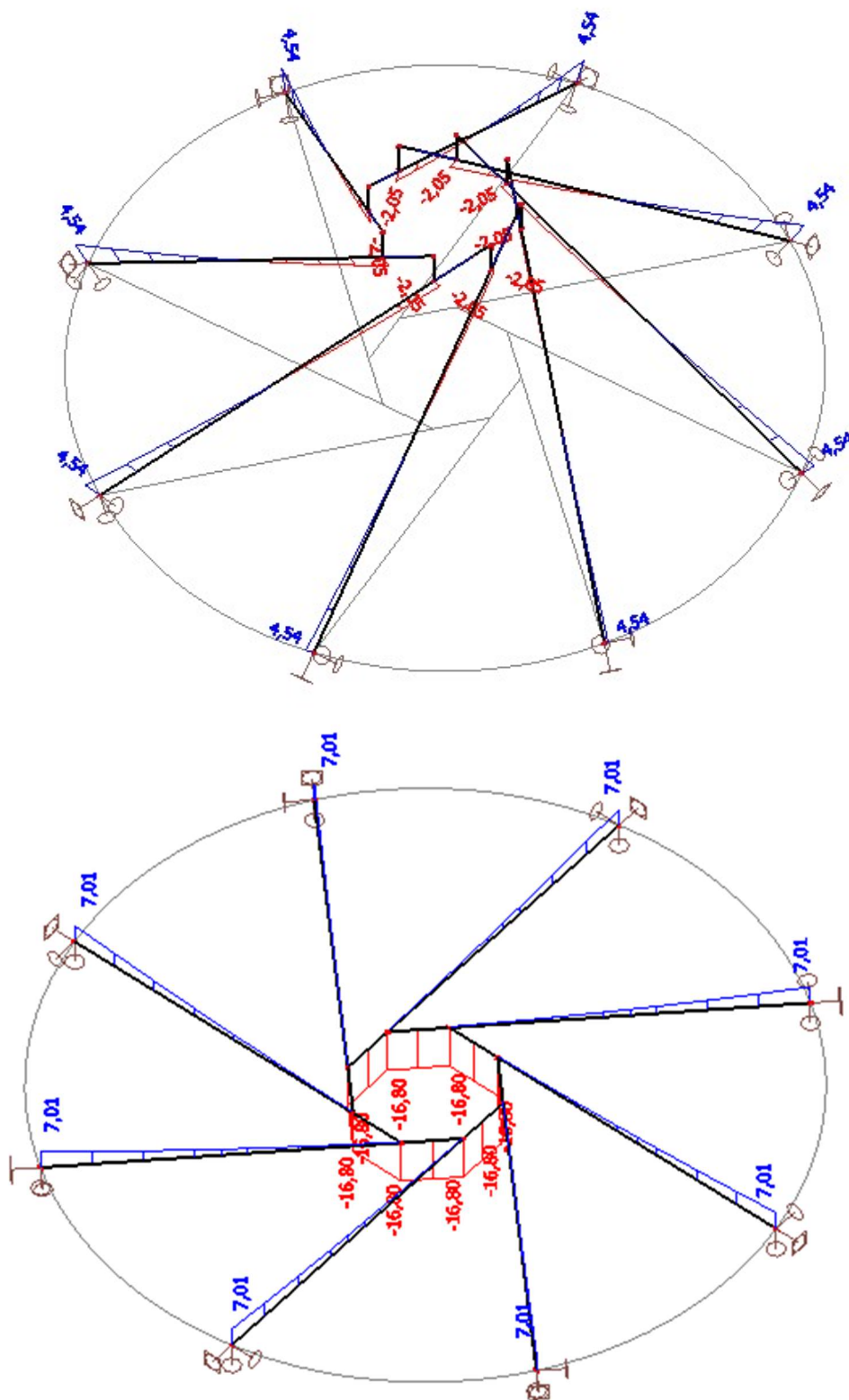


Obr. č. 10: Osové reakce [kN], zdroj vlastní

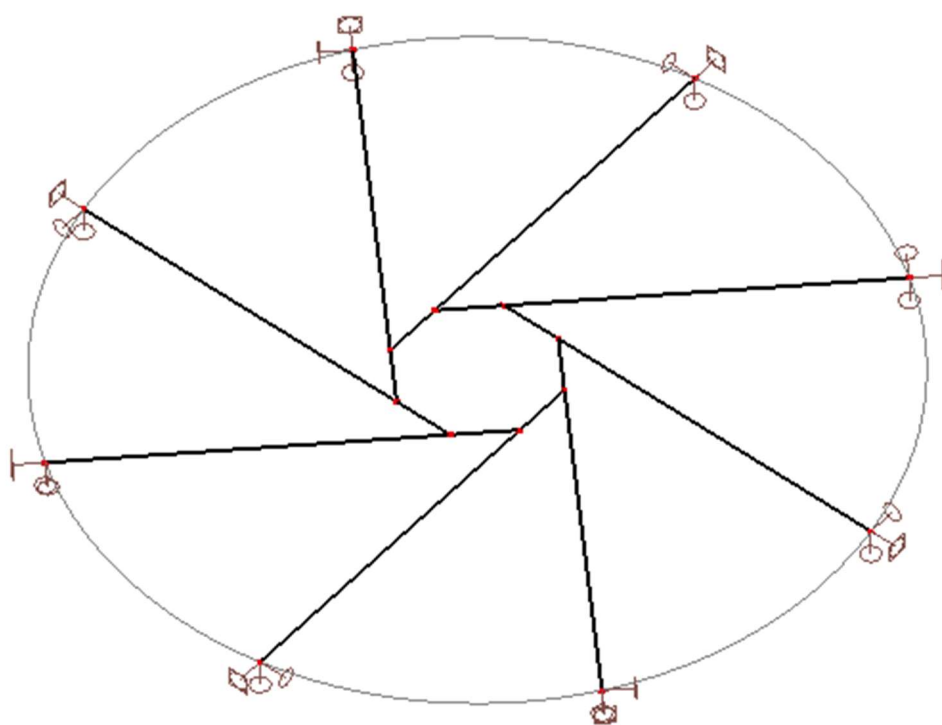
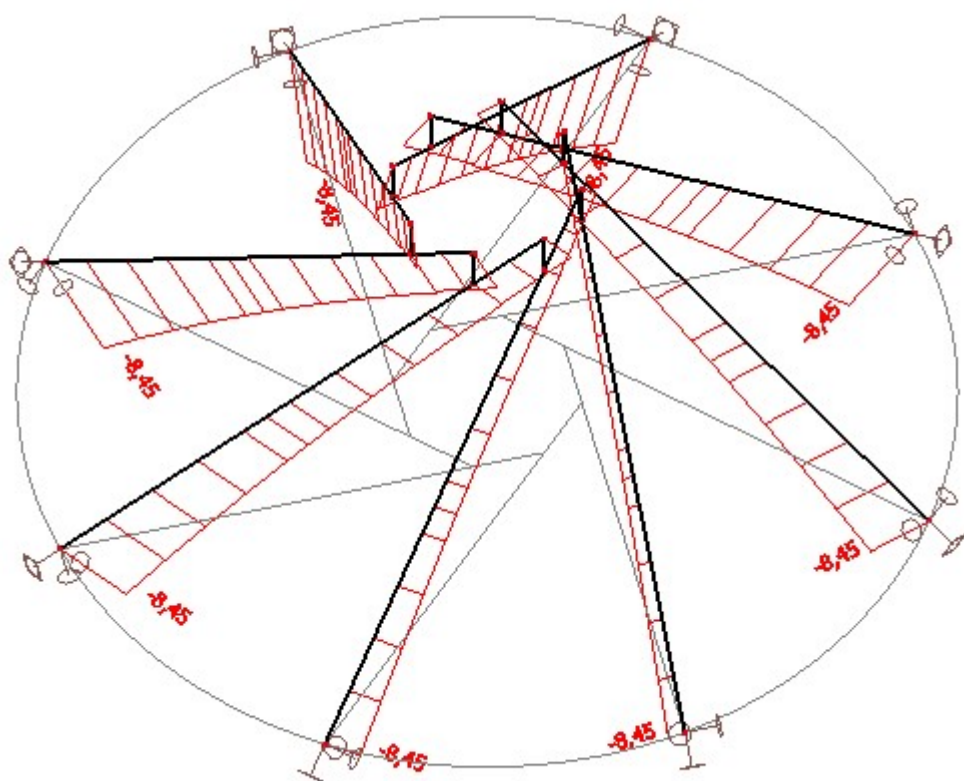




Obr. č. 11: Průběh ohybových momentů [kNm], zdroj vlastní



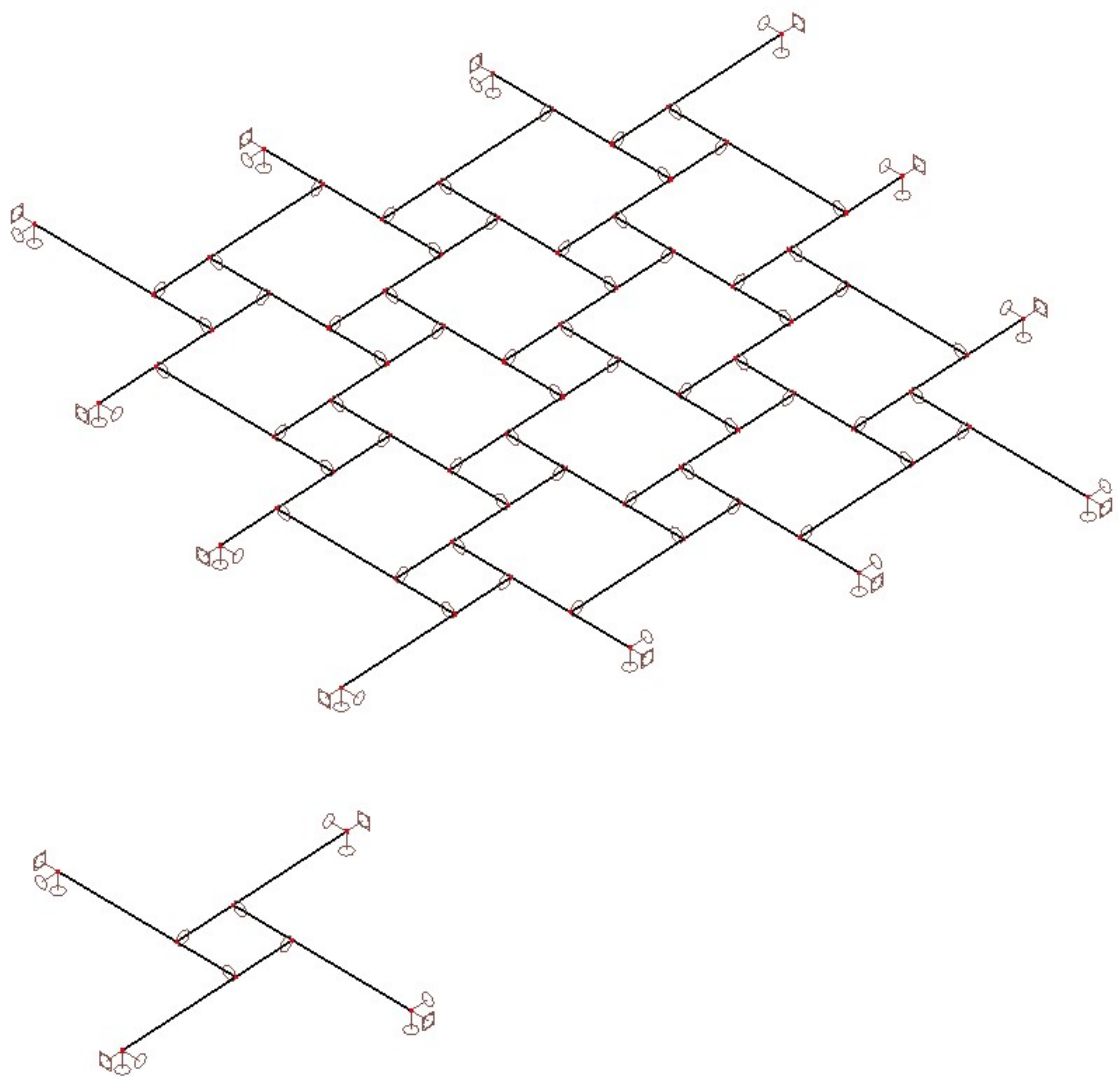
Obr. č. 12: Průběh posouvajících sil [kN], zdroj vlastní



Obr. č. 13: Průběh normálových sil [kN], zdroj vlastní

Pro velkorozponové stavby jsou reciproční konstrukce méně efektivní než například „*Grid shell*“ konstrukce, které přenáší zatížení především normálovými silami. Na druhou stranu mají reciproční konstrukce i řadu výhod. Z konstrukčního hlediska je výhodné, že konstrukce recipročního typu je možné vytvořit z krátkých totožných prvků a spojů. Ze statického hlediska komplexní a násobné reciproční konstrukce v sobě mají vysokou míru redundance, při přetížení konstrukce v určitém místě nebo únavě materiálu nedojde tak snadno k celkovému kolapsu. Kromě zmíněných výhod reciproční princip umožňuje architektům a inženýrům navrhovat jedinečné konstrukce kombinováním počtu prvků, materiálu, způsobu připojení a dalších vlastností. [7]

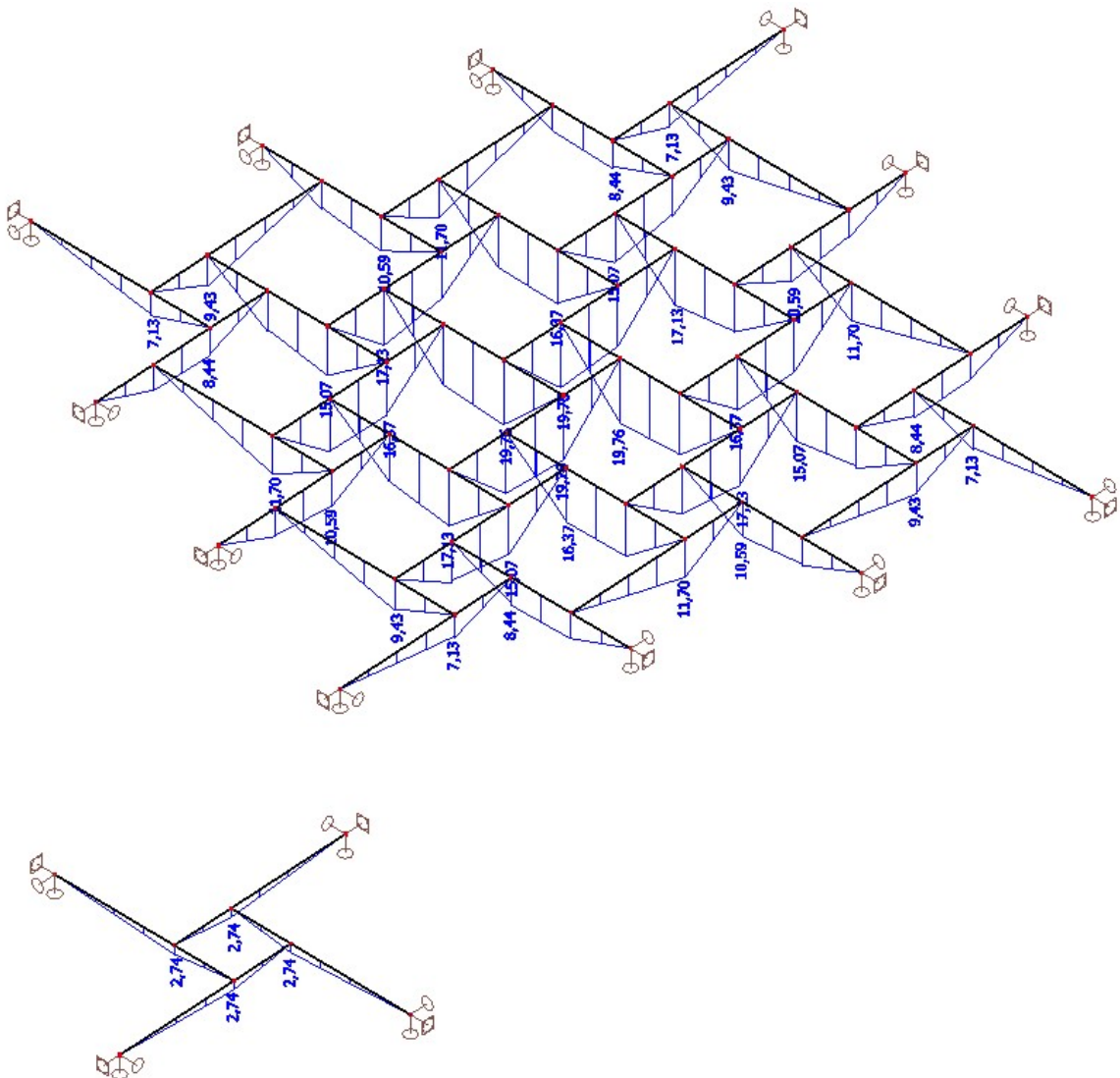
Schopnost redundance statické přeurlčitosti je výhodou násobných konstrukcí. Přirozeným problémem jednoduché reciproční konstrukce je riziko progresivního kolapsu. Konstrukce zde funguje jako spojený systém, kde se prvky opírají jeden o druhý a selhání jednoho prvku může potenciálně znamenat kolaps celé konstrukce. Především u větších staveb nebo staveb, kde by měl případný kolaps vážné následky, je třeba do návrhu zahrnout určitá preventivní opatření. Mezi ně patří například dodatečné svázání prvků, kdy při kolapsu jednoho z prvků dojde k membránovému působení celku a konstrukce se nezřítí. Jednoduchá reciproční konstrukce je také citlivá na dynamické účinky zatížení. V seismických oblastech musí být navrženo patřičné opatření proti otřesům. Opět na příkladu Loutkového divadla Bunraku (viz kapitola *Využití a realizace*) můžeme nalézt z tohoto hlediska vhodné konstrukční řešení. Všechny spoje jsou zde řešeny tesařsky bez pevných mechanických spojů, konstrukce se tedy při zemětřesení deformovat jako celek společně s pohyby podloží bez poškození. [7]



Obr. č. 14: Model násobné reciproční konstrukce a jednotky, zdroj vlastní

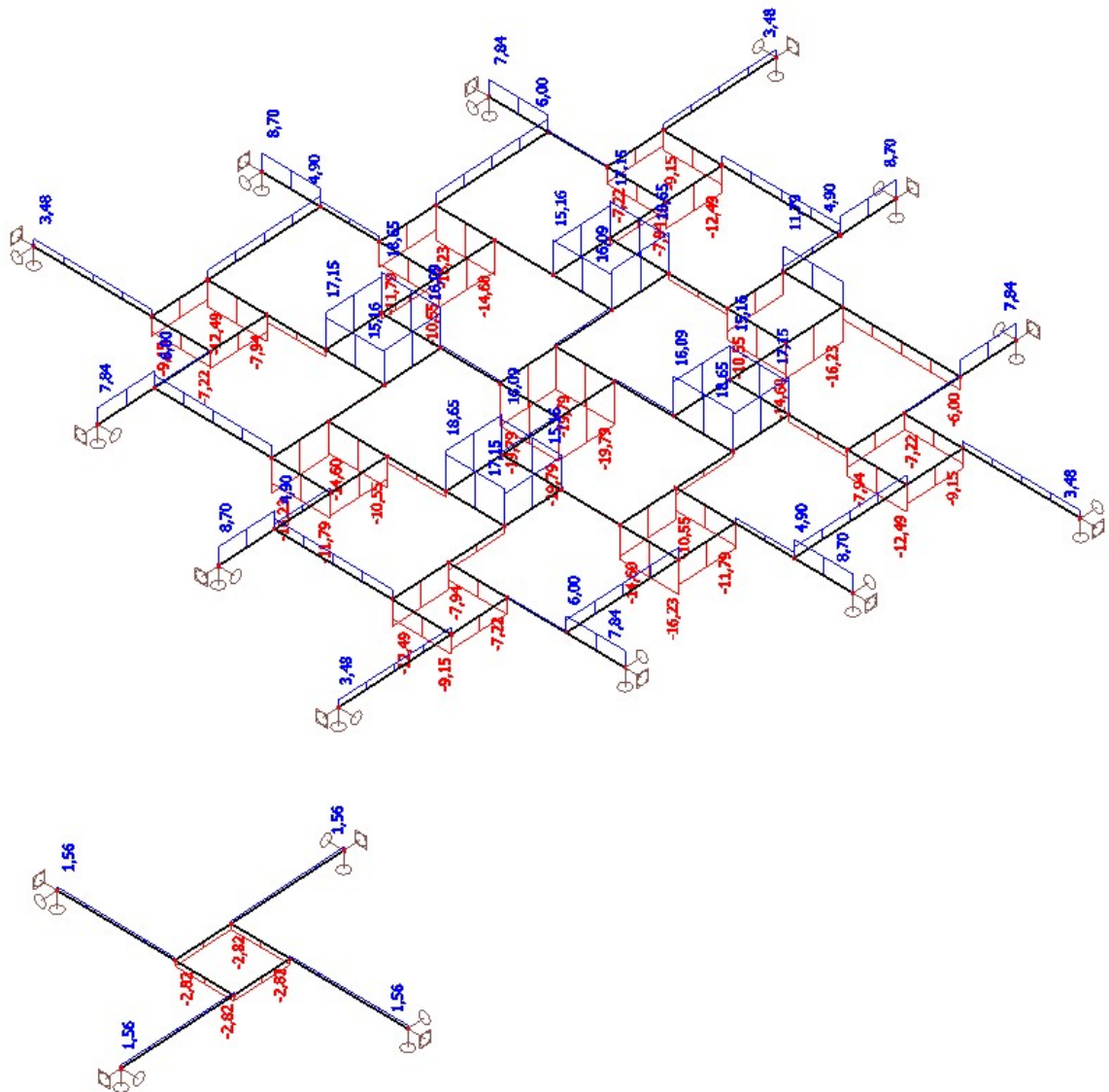
Pro porovnání statického působení jednoduché a násobné reciproční konstrukce byly v programu Scia Engineer vytvořeny dva modely (viz obr. č. 14). Oba jsou vytvořeny ze shodných prvků – dřevěných třímetrových nosníků s průřezem 160/320 ležících v rovině. Nosníky jsou k sobě připojeny kloubově ve svých třetinách. První model představuje násobnou reciproční konstrukci vytvořenou z pravidelných jednotek, překonávající rozpon 9,8 metru. Druhý model je samotná reciproční jednotka, která je použita v násobné konstrukci, s rozponem 5 metrů.

Oba modely jsou zatíženy vlastní tíhou a bodovými silami o velikosti 1kN s působišťem ve vnitřních uzlech konstrukce.



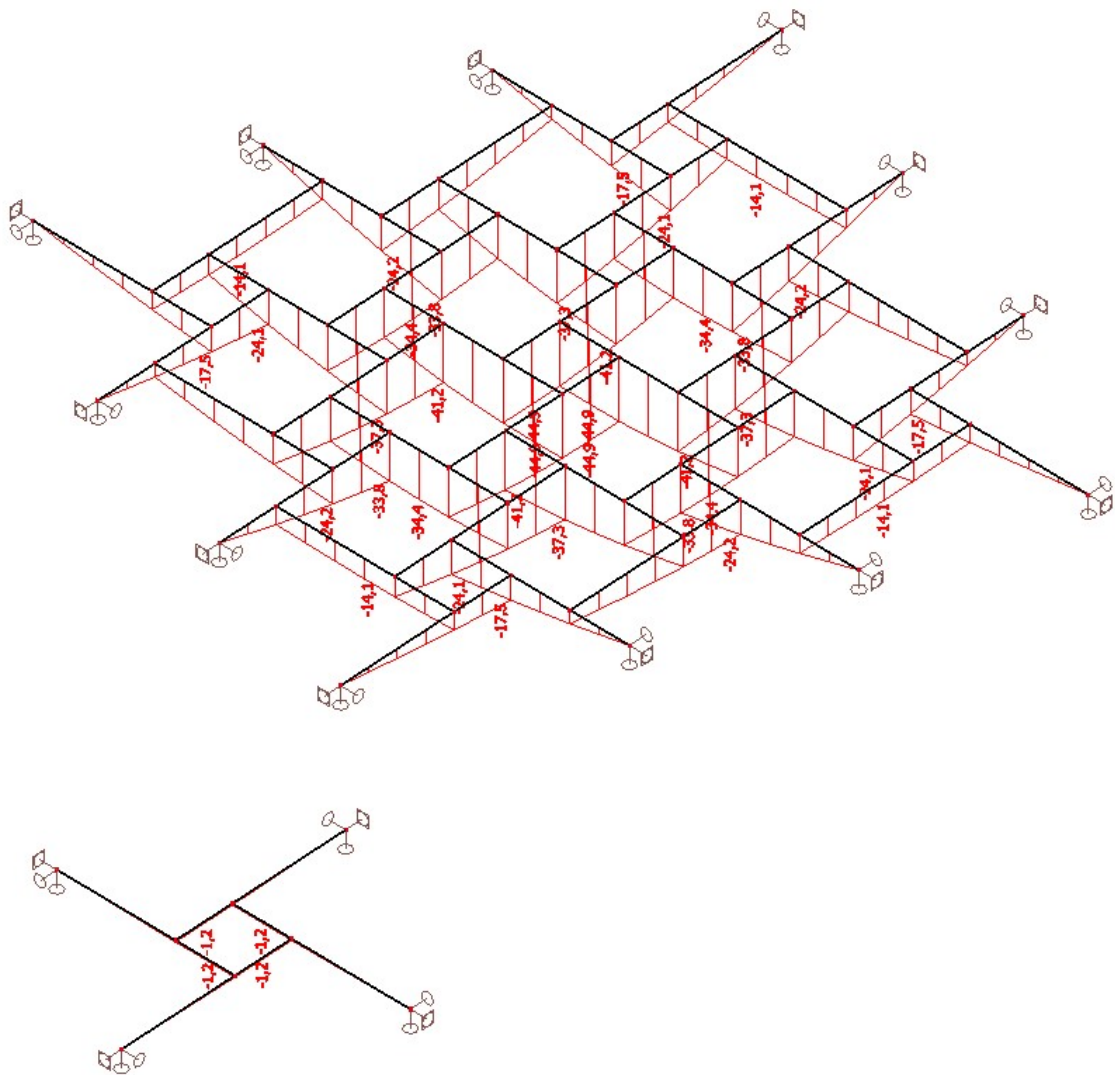
Obr. č. 15: Průběh ohybových momentů na násobné reciproční konstrukci a jednotce [kNm], zdroj vlastní

Na obr č. 15 jsou zobrazeny průběhy ohybových momentů. Maxima ohybových momentů se nacházejí v prostřední části modelu v místech připojení prutů. Při návrhu hliníkového přístřešku pro archeology v Bibracte ve Francii (viz. kap. *Využití a realizace*) byly jednotlivé prvky navrženy jako jednoduchá vzpinadla. Prvky zde byly vzájemně napojeny ve svých polovinách. Průběhy momentů z obr. č. 15 napovídají, že v tomto případě by se dalo použít dvojité vzpinadlo, které by svým tvarem kopírovalo průběhy momentů a vnitřní síly by pak byly přeneseny zmenšenými ohybovými momenty a normálovými silami.



Obr. č. 16: Průběh posouvajících sil na násobné reciproční konstrukci a jednotce [kN], zdroj vlastní

Průběh posouvajících sil je zobrazen na obr. č. 16. Obdobně jako ohybové momenty, i posouvající síly nabývají maximálních hodnot ve středu konstrukce. Vertikální reakce v okrajových podporách se rovnají hodnotě posouvající síly a všechny směřují nahoru.



Obr. č. 17: Průhyb na násobné reciproční konstrukci a jednotce [mm], zdroj vlastní

Z velikosti deformace z obr. č. 17 je patrné, že i bez podrobného posouzení modelu na mezní stav únosnosti by konstrukce byla problematická z hlediska mezního stavu použitelnosti s ohledem na vypočtený maximální průhyb. Řešením by bylo zvětšení dimenze prvků nebo úpravou sklonu konstrukce a vytvoření nadvýšení.



## Materiál

Ze statického chování a povahy reciproční konstrukce vyplývá, že vhodným materiálem může být dřevo (rostlé nebo lepené lamelové), ocel (nebo jiný kov), případně i prefabrikovaný železobeton. Z uvedených materiálů je železobeton nejméně vhodný, a to kvůli značné vlastní tíze a náročnosti spojů. Jednou ze známých realizací ze železobetonu je síň Berlínské filharmonie od Scharouna. Ocel nebo například hliník jsou vhodnější materiály. Pomocí spojovacích prostředků se snadno vytvoří kloubové přípoje a v případě hliníku je i výhodná nízká vlastní tíha. Jako příklad je možné zmínit přístřešek pro archeology v Bibracte ve Francii popsany v následující kapitole. [1]

Nejrozšířenějším materiálem pro reciproční konstrukci je bezpochyby dřevo. Rostlé dřevo se dá snadno předem tesařsky opracovat a je lehké. Rostlé dřevo se tradičně využívá pro stavby s menšími rozpony (do 12 m). Lepené lamelové dřevo má ve většině ohledů lepší materiálové vlastnosti než rostlé dřevo, můžeme ho využít i na velké rozpony (sklad soli v Lausanne, rozpon 26 m). Spojovacími prostředky jsou u dřeva většinou ocelové desky, svorníky, vruty a šrouby. Pro japonské stavitelství jsou ale typické i čistě tesařské spoje.

## Spoje

Spoje prvků v reciproční konstrukci významně ovlivňují statické chování konstrukce. Jejich návrh často podléhá požadavkům na jednoduchou výrobu a montáž konstrukce. Typ spoje závisí na použitém materiálu a druhu konstrukce. V této kapitole budou uvedeny základní typy provedení spojů, jejich výhody a nevýhody.

První možné řešení přípoje dvou dřevěných konstrukčních prvků jsou tesařské spoje – zářezy. Zářezy se dají jednoduše využít u prvků, které jsou uloženy ve sklonu. Nevýhodou zářezů je, že průřez oslabují v kritickém místě významných posouvajících sil a ohybových momentů. Výsledný návrh je pak výrazně ovlivněn právě oslabenými průřezy a prvky musí být s ohledem na ně dimenzovány jako masivnější. Zářezy musí být precizně navrženy a vyřezány, jinak konstrukce nelze správně složit dohromady. V současné době ale není přesné opracování prvků problémem, vše probíhá předem a pod kontrolou v dílně. V úvahu je třeba brát i možné objemové změny dřeva v závislosti na jeho vlhkosti, aby se dimenze prvků výrazněji nezměnily. Výhodou tesařských spojů je bezesporu výsledná estetika konstrukce. Tesařské spoje jsou nejčastěji využívány u menších staveb, jako jsou rodinné domy s originální architekturou (viz obr. č. 18) nebo japonské spirituální stavby (viz obr. č. 25 v kapitole *Využití a realizace*) [1,5]



Obr. č. 18: Zastřešení rodinného domu od Grahama Browna – tesařské spoje, zdroj [1] str. 163

V kombinaci se zářezy nebo samostatně se u dřevěných prvků dají využít mechanické spoje, popřípadě lepidla. Mechanické spoje můžeme dělit do dvou

skupin, podle způsobu přenášení sil mezi dvěma prvky. Do první skupiny patří spojovací prostředky kolíkového typu (hřebíky, sponky, svorníky, kolíky a vruty), které jsou při přenosu sil většinou ohýbány a zatlačovány do dřeva (viz spojení dvou lepených lamelových nosníků na obr. č. 22 v kapitole *Využití a realizace*) Druhou skupinou jsou prvky povrchového typu (hmoždíky nebo desky s prolisovanými trny), vloženy či zalisovány do dřeva. U takto spojených konstrukčních prvků dochází k přenosu sil na jejich povrchu. [6] Správně navržené spoje jsou základním předpokladem jakékoliv dobře fungující konstrukce. Spoj musí spolehlivě přenášet zatížení. Relativní posuny, pootočení a prokluz nesmí překračovat požadované hodnoty. Prokluz je zanedbatelný u lepených spojů, oproti tomu u mechanicky spojených může nabývat významných hodnot. [5]

Kovové trubkové konstrukční prvky recipročních konstrukcí se dají spojovat běžně pomocí svarů nebo šroubových spojů, jak je znázorněno na obr. č. 19. Příkladem uplatnění svarů je konstrukce observatoře na hoře Rocco- Shidare v Japonsku, kde jsou k sobě svařené trubky průměru 50 mm a délce 1-2 metry. [7]



Obr. č. 19: Šroubový spoj reciproční jednotky, zdroj [5] str. 248



Obr. č. 20: Svařovaný spoj – observatoř Rocco-Shidare, zdroj [7] str. 124

Dalším možným řešením je spojení trubek pomocí otočných objímkových spojek, primárně určených pro spoje lešení. Tyto spojky fungují na principu tření, trubka je vložena do upínací spojky a ta je utažena šroubem. Výhoda otočných spojek se skýtá v možnosti spojení dvou prvků pod libovolným úhlem, což je u reciproční konstrukce nutná podmínka. Standardní vnější průměr trubky, pro které se spojky běžně vyrábí, je 48 mm<sup>5</sup>. Takto spojenou konstrukci je možné s výhodou využít pro dočasné stavby, konstrukce se dá snadno rozmontovat a znovu složit na jiném místě. [5]



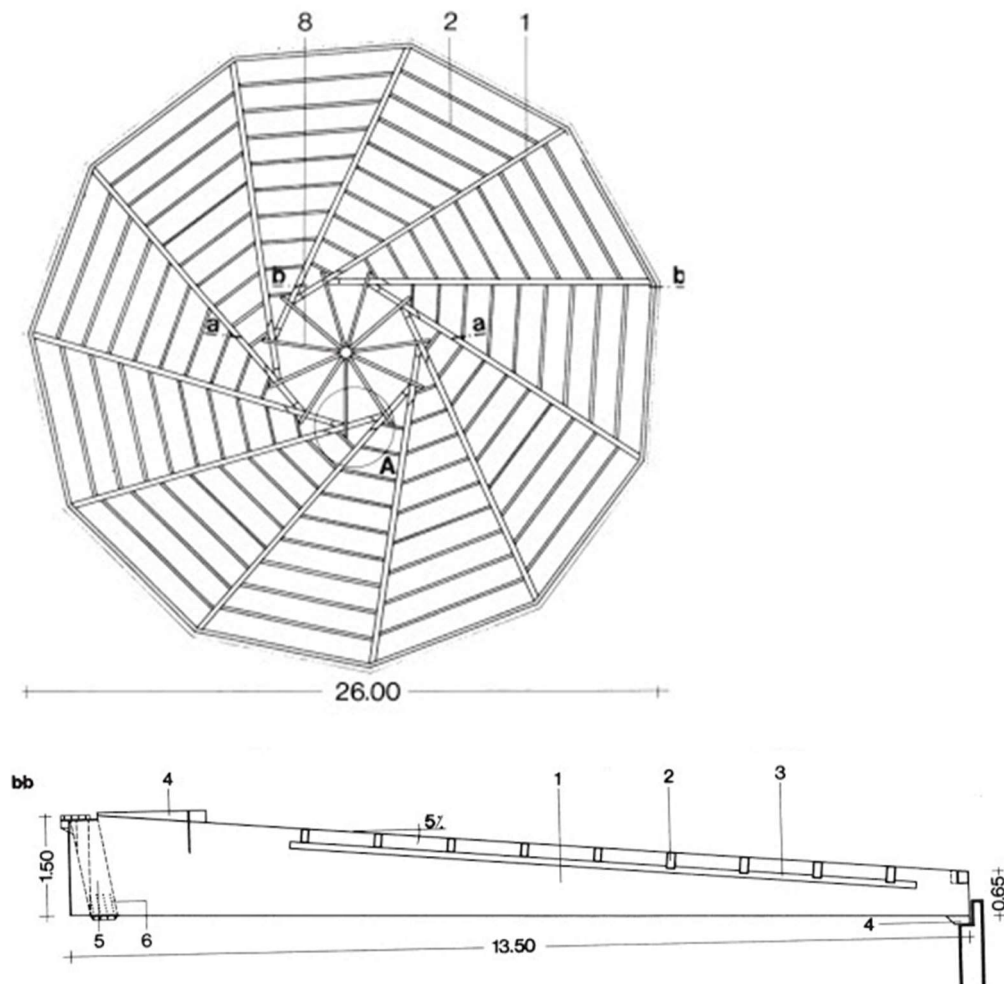
Obr. č. 21. Reciproční jednotka spojená pomocí objímkových otočných spojek, zdroj [5] str. 24

---

<sup>5</sup> Pro zajímavost, cena této kované spojky je relativně nízká - 122 Kč bez DPH (výrobce EMKOL Litomyšl, 2.4 2018), zdroj [8]

## Využití a realizace

Sklad soli, Lausanne, Švýcarsko (Gamma Architectore, Natterer Bois)



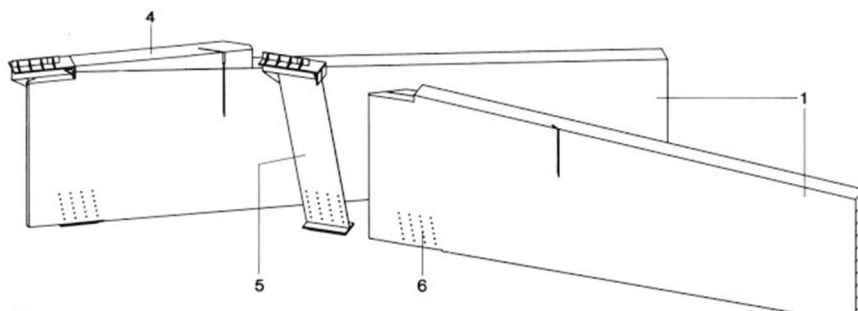
Obr. č. 22: Půdorys a řez bb konstrukce, zdroj [2] str. 174

- 1 lepený lamelový nosník 220 x 650-1500 mm
- 2 dřevěný nosník 100 x 200 mm nebo 120 x 240 mm
- 3 dřevěný nosník 40 x 120 mm
- 4 klín z dubového dřeva
- 5 ocelová I profil, 12 mm
- 6 svorníky
- 8 dřevěný nosník 120 x 160 mm

Hlavní nosný systém tvoří jedenáct pultových nosníků z lepeného lamelového dřeva, které se opírají o obvodové železobetonové stěny a samy o sebe. Aplikací terminologie z kapitoly *Typy tvarů a uspořádání* se jedná o jednonásobnou konstrukci v rovině. Obvodové železobetonové stěny tvoří pravidelný jedenácti-stěn

o šířce 26 metrů (hlavní nosník je uložen vždy na vrcholu). Hlavní pultové nosníky jsou 13,5 metru dlouhé, 220 mm široké a vysoké od 650 mm do 1 500 mm. Sklon střechy je pak 5%. Vnitřní průměr konstrukce činí 6 metrů. Sekundárním nosným systémem jsou dřevěné nosníky kladené rovnoběžně s obvodovou stěnou o dimenzi 100/200 nebo 120/240, podle délky a zatížení. Vnitřní šestimetrové „oko“ konstrukce je zastřešeno samostatnou konstrukcí, ze sloupků, vzpěr a nosníků spojených v prstenci uprostřed. Tento světlík se vyvyšuje nad hlavní nosnou konstrukci zhruba o 1,5 metru. Spoje hlavních nosníků jsou namáhány především posouvající silou, proto jsou navrženy jako klouby se „zakousnutím“ do horní části nosníku. [2]

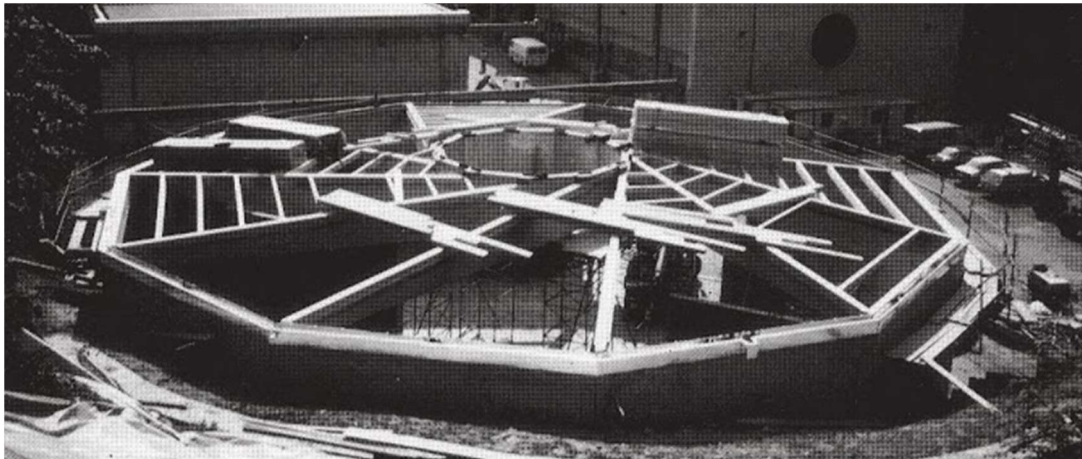
A proč je konstrukce navržena právě takto? Podrobnější komentář od autorů z ateliéru Gamma Architectore ani od prof. Natterera k dispozici bohužel není,



Obr. č. 23: Spoj nosníků, zdroj [2] str. 174

důvody je ale možné odhadnout. Volbu materiálu je snadné zdůvodnit, střechy skladů soli bývají často z materiálů na bázi dřeva, které tak snadno nepodlehnu působení agresivního prostředí jako například ocel. Rizikovými místy jsou z tohoto hlediska ocelové spoje, které musí být řádně ochráněny. Konstrukce je navržena jako rovinná, to se při tak velkém rozponu (26 metrů) nejspíše vyplácí. Nosníky jsou tak namáhány především ohybovým momentem. Kdyby byly uloženy ve sklonu, začaly by narůstat i tlakové síly. Pak by bylo nejspíše obtížné zachytit vznikající horizontální síly v uložení, obvodovým stěnám by hrozilo vychýlení. V tomto případě nemusí být železobetonové stěny navrženy jako poměrně masivní. Jak už bylo zmíněno výše, nosníky jsou namáhány ohybovým momentem, proto jsou relativně vysoké. Zároveň zde vznikají i značné posouvající síly v kratší části nosníku od místa připoje sousedního nosníku do konce prvku. Směrem do středu se zvětšující průřez

reaguje na průběh vnitřních sil - ohybového momentu i posouvající síly. Pultový nosník zajistí úsporu materiálu oproti prizmatickému průřezu a navíc vytvoří sklon pro odtok dešťové vody ze střechy. Volbu počtu nosníků (11) by měla objasnit praktická část této práce, která je zaměřena na obdobnou konstrukci a právě počet prvků bude jedním z předmětů analýzy. V praktické části je zkoumaná dimenze vnitřního průměru konstrukce („oka“) k celkovému kruhovému průměru.



Obr. č. 24: Sklad soli během výstavby, zdroj [2] str. 174

Výstavní síň loutkového divadla Bunraku, Seiwa, Japonsko (Kazuhiro Ishii, Tadashi Hamauzu, 1992)

Výstavní síň patří do celého komplexu dřevostaveb loutkového divadla Bunraku v jižním Japonsku. Reciproční konstrukce je zde použita k zastřešení 13 metrů vysokého prostoru s rozpětím 8 metrů. Konstrukce je při pohledu zevnitř odhalená, z vnější strany je zakryta keramickou střešní krytinou. [1]



Obr. č. 25: Interiér výstavní síně, zdroj [1] str. 93

Středovou část tvoří 12 o sebe opřených nosníků z rostlého dřeva uložených ve sklonu s obdélníkovým průřezem, dle předchozího rozdělení to můžeme definovat jako jednonásobnou reciproční prostorovou konstrukci. Nosníky jsou pravděpodobně namáhány převážně tlakem a jsou navrženy poměrně subtilně, neboť jsou ve sklonu. Jejich podporu tvoří rovinný prstenec z masivnějších nosníků, ve kterém můžeme určit dvě reciproční konstrukce v sobě – jednu uloženou ve směru hodinových ručiček a druhou proti. Prvky prstence jsou namáhány převážně



v ohybu a vznikají zde i značné posouvající síly. Obdobný prstenec je zopakován uprostřed výšky síně znovu. Kromě estetické funkce zvyšuje celkovou tuhost stavby, slouží jako zavětrování a snižuje vzpěrnou délku sloupů. [1]



Obr. č. 26: Prstenec, zdroj [9], zvýraznění reciproční konstrukce vlastní

Štíhlé dřevěné sloupy podporující střešní konstrukci dosahují maximální výšky, která je povolena japonskými stavebními předpisy. Všechny spoje nosníků i sloupů jsou řešeny tesařsky (podle tradičních japonských metod), v konstrukci nebyly použity žádné ocelové spojovací prostředky. [1]



Obr. č. 27: Montáž reciproční konstrukce, tesařské spoje, zdroj [1], str. 96

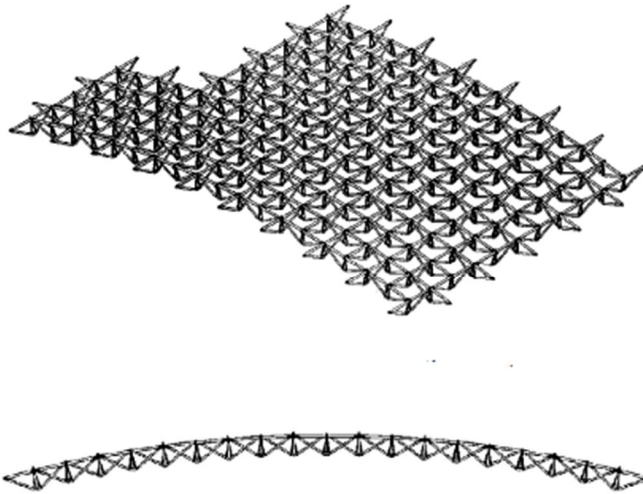
Důvodem použití reciproční konstrukce je v tomto případě estetický vzhled. Dle slov architekta Kazuhiro Ishii má střecha symbolizovat vesmír, pro který je typický spirálový rotační pohyb kolem středu, jemuž se všechna tělesa vyhýbají. Proto se ani nosníky ve středu konstrukce nepotkají. [1]



Obr. č. 28: Výstavní síň během výstavby, zdroj [1], str. 98

Přístřešek pro archeology, Bibracte, Francie (Paul Andreu, Bernard Vaudeville, Simon Aubry, 2008)

Další realizací, kterou je vhodné zmínit, je nosná konstrukce přístřešku nad archeologickým nalezištěm v Burgundsku. Jedná se o vícenásobnou reciproční prostorovou konstrukci klasifikovanou dle předchozího rozdělení.



Obr. č. 29: Perspektivní pohled a řez střešní konstrukcí, zdroj [3], str. 306

Její návrh vycházel z požadavků na zastřešení plochy 850 m<sup>2</sup> bez vnitřní podpory o nejdelším rozměru 41,5 metru a šířce 22,5 metru. Návrhová životnost konstrukce byla od zadavatele požadována 10 let, ale zároveň s možností snadné instalace, užívání a demontáže během jednoho roku (jako je tomu v případě dočasných přístřešků). Přístřešek měl obstát i v zimních měsících a přenést zatížení sněhem cca 3 kN/m<sup>2</sup>. Dále mělo být umožněno jednoduché rozšíření půdorysu konstrukce v budoucnu. Stavba nesměla, kvůli možným archeologickým nálezům, jakkoliv poškodit nebo znehodnotit terén, což pro architekty a inženýry znamenalo vyhnout se betonovým základům. [3]

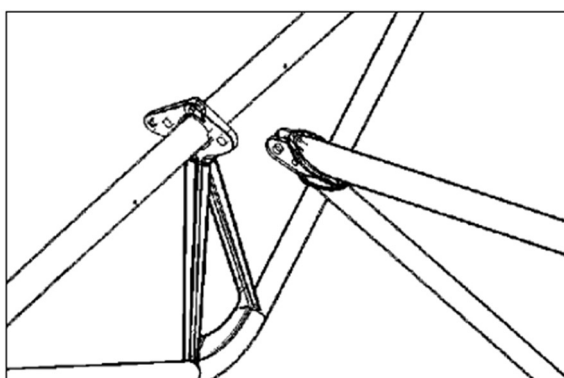
Vítězný návrh architekta Paula Andreua a inženýrů Bernarda Vaudevilla a Simona Aubryho splnil všechny výše uvedené požadavky. Dodavatelem kovových prvků byla

česká firma Sipral, díky své specializaci na hliníkové konstrukce. Konstrukční systém je tvořen ze spojených recipročních jednotek a tkaniny působící v tahu. [3]

Každá reciproční jednotka se skládá ze 4 hliníkových identických dílů, celkem jich je v konstrukci použito 186 (viz obr. č. 30). Jeden díl váží pouze 43 kg a měří 3,75 m, na stavbě s ním tedy mohou snadno manipulovat dva lidé. [3]



Obr. č. 30: Reciproční jednotka, zdroj [3] str. 305



Obr. č. 31: Detail přípoje, zdroj [3], str. 305

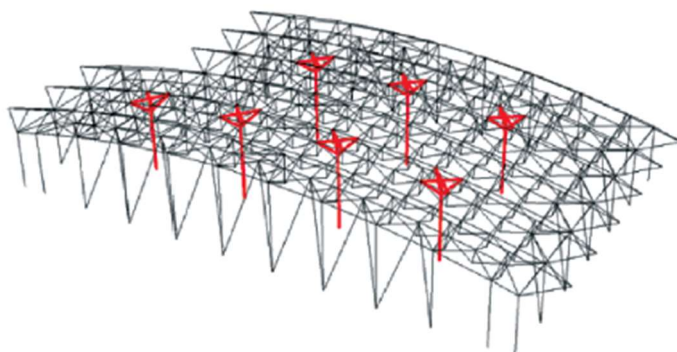
Na obrázku č. 30 můžeme vidět, že jednotlivé dílce mají tvar trojúhelníku, přičemž horní delší část tvoří trubka průměru 120 mm, spodní část pak ohnutá trubka průměru 90 mm. Trubky jsou spojeny ve svých koncích a uprostřed pomocí přivařených hliníkových odlitků<sup>6</sup> s oky, staticky fungují jako vzpinadlo. To znamená, že spodní trubky kopírují tvar průběhu ohybového momentu na prostém nosníku (tvořeného horní trubkou) při bodovém zatížení uprostřed prvku. Pro horní trubku je tak uprostřed vytvořena podpora, díky níž se na ní výrazně zmenší maximální ohybový moment. Spodní ohnutá trubka je namáhána na tah a střední spojující

---

<sup>6</sup> Tyto prvky byly zkoušeny na křehký lom v tahu v Kloknerově ústavu ČVUT.

prvek je tlačný. Každý díl je osově souměrný. Díly jsou připojeny k sobě a ke krajním podporám pomocí kolíků o průměru 30 mm, všechny spoje fungují jako klouby. Jedna reciproční jednotka tvoří ze 4 dílů čtvercový modul 1,8 x 1,8 metrů. Díly jsou k sobě připojeny kolmo v rovině horních trubek. Jednotka působí v konstrukci jako 4x staticky neurčitá<sup>7</sup>, což znamená, že i když odebereme dvě kloubové okrajové podpory, zůstane konstrukce stabilní (což významně ulehčuje montáž a demontáž). Každý díl je ve vertikální rovině mírně vypouklý, to znamená, že každá jednotka (modul) má křivost ve dvou směrech a když se spojí dohromady, tvoří plochu se sklonem, po které snadno stéká voda. [3]

Střešní konstrukce je podpírána obvodovými sloupy s klouby v patě i ve zhlaví. Konstrukce není sama o sobě dimenzována na zatížení sněhem o velikosti 3 kN/m<sup>2</sup>, v zimním období se proto musí doplnit o 7 vnitřních sloupů. Jejich poloha je variabilní, aby se daly umístit mimo zkoumané reliкty a nepoškodily je. Argumentem autorů konstrukce pro nutnost umístění dočasných sloupů na zimu byla případná nevhodnost masivnější konstrukce, která by vnitřní sloupy nepotřebovala. [3]



Obr. č. 32: Schéma umístění dodatečných vnitřních sloupů, zdroj [3] str. 307

Systém zavětrování je tvořen táhly mezi sloupy a střešní konstrukcí a dále ztužujícími prvky v rovině střešní konstrukce. Hliníková konstrukce je zakryta PVC fólií, která je napínána pomocí předepnutých táhel, jež jsou vzpírány vzpěrami ze sloupů. Předepnutí je vytvořeno zátěží pomocí pytlů s pískem zavěšených na každé straně. Oproti variabilní hliníkové konstrukci, se tato tkanina dá použít pouze pro daný

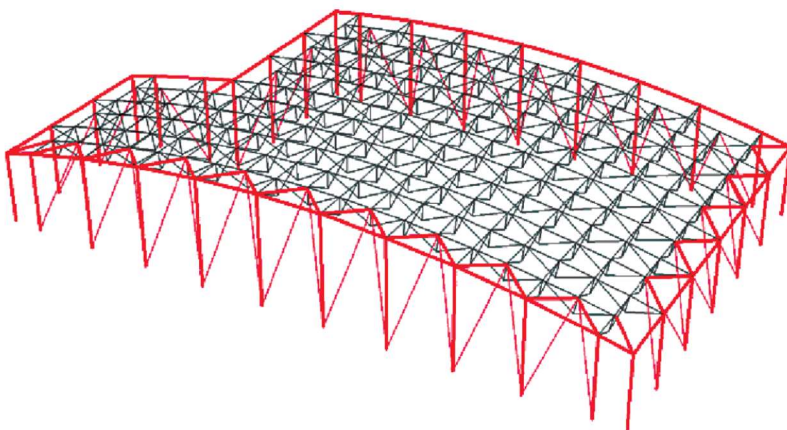
---

<sup>7</sup> 4 pruty mají dohromady 12 stupňů volnosti, 8 kloubů dohromady odebírá 16 stupňů volnosti.

půdorys, pro který je vyrobena. Předepnuté kabely odolávají zatížení od sání větru na střeše. [3]



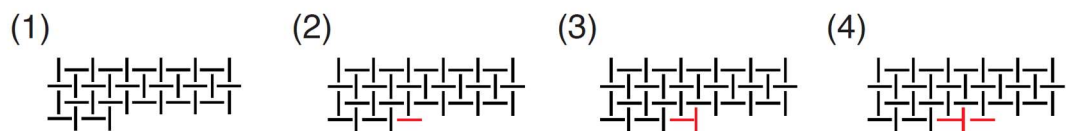
Obr. č. 33:Zavěšená zátěž z pytlů s pískem, zdroj [3] str. 306



Obr. č. 34: Zavětrování, zdroj [3] str. 306

Jak již bylo zmíněno výše, charakter místa stavby neumožňuje použít betonové základy. Proto kromě zátěže pomocí pytlů s pískem na kratší straně půdorysu, byla konstrukce na delší straně přitížena mezi sloupy ještě sutí. Normálové síly ze sloupů jsou roznášeny do zeminy pomocí roznášecích desek o poměrně velké ploše. [3]

Navržená konstrukce je velmi lehká (vlastní tíha je pouze  $14 \text{ kg/m}^2$ ), největší ohybový moment se vyskytuje uprostřed plochy střechy, každý díl roznáší ohyb výhodně principem vzpínadla do osových sil v prvcích. Velikosti reakcí ve sloupech jsou dobře distribuované, průměrná reakce od zatížení vlastní tíhou se pohybuje okolo  $3,4 \text{ kN}$ . [3]



Obr. č. 35: Postup montáže, zdroj [3] str. 310

Hlavní výhodou navrženého řešení je variabilita, možnost provedení rozšíření nebo změna půdorysné konfigurace. Dále je výhodou i jednoduchá montáž a demontáž, snadná manipulace s lehkými hliníkovými prvky a absence trvalých betonových základů. Ze statického hlediska takto navržená reciproční konstrukce není citlivá na sedání základu nebo posun podpory, což koresponduje s charakterem založení.[3]

# Praktická část

## Návrh střešní konstrukce jízdárny

V praktické části této práce je proveden návrh a posouzení střešní reciproční konstrukce pro kruhovou jízdárnu s rozponem 20 metrů. Podporu střešní konstrukce tvoří obvodové zděné nebo betonové stěny, zesílené v místech uložení nosníků, které nejsou předmětem návrhu. Prostor je osvětlen světlíkem ve středové části konstrukce a okny v obvodových stěnách. Pro účely specifikace okrajových podmínek návrhu bude stavba umístěna na Císařském ostrově v pražské Troji.

## Volba konstrukčního systému

Primární konstrukční systém tvoří pultové průvlaky z lepeného lamelové dřeva třídy pevnosti GL24h o šířce 240 mm a délce zhruba 10 500 mm. Nosníky jsou podepřeny zděnou stěnou na jedné straně, na druhé straně jsou podpírány sousedním nosníkem, tvoří tak reciproční konstrukci. Pro účely stanovení optimálního počtu nosníků a průměru vnitřního světlíku bylo v programu Scia Engineer vymodelováno a posouzeno na mezní stav únosnosti celkem devět pomocných střešních konstrukcí dle obrázku č. 35. Plošné návrhové zatížení konstrukcí bylo u všech shodně uvažováno  $2 \text{ kN/m}^2$  a rozpočítáno na jednotlivé nosníky obdobně jako v teoretické části práce v kapitole *Statické chování*.

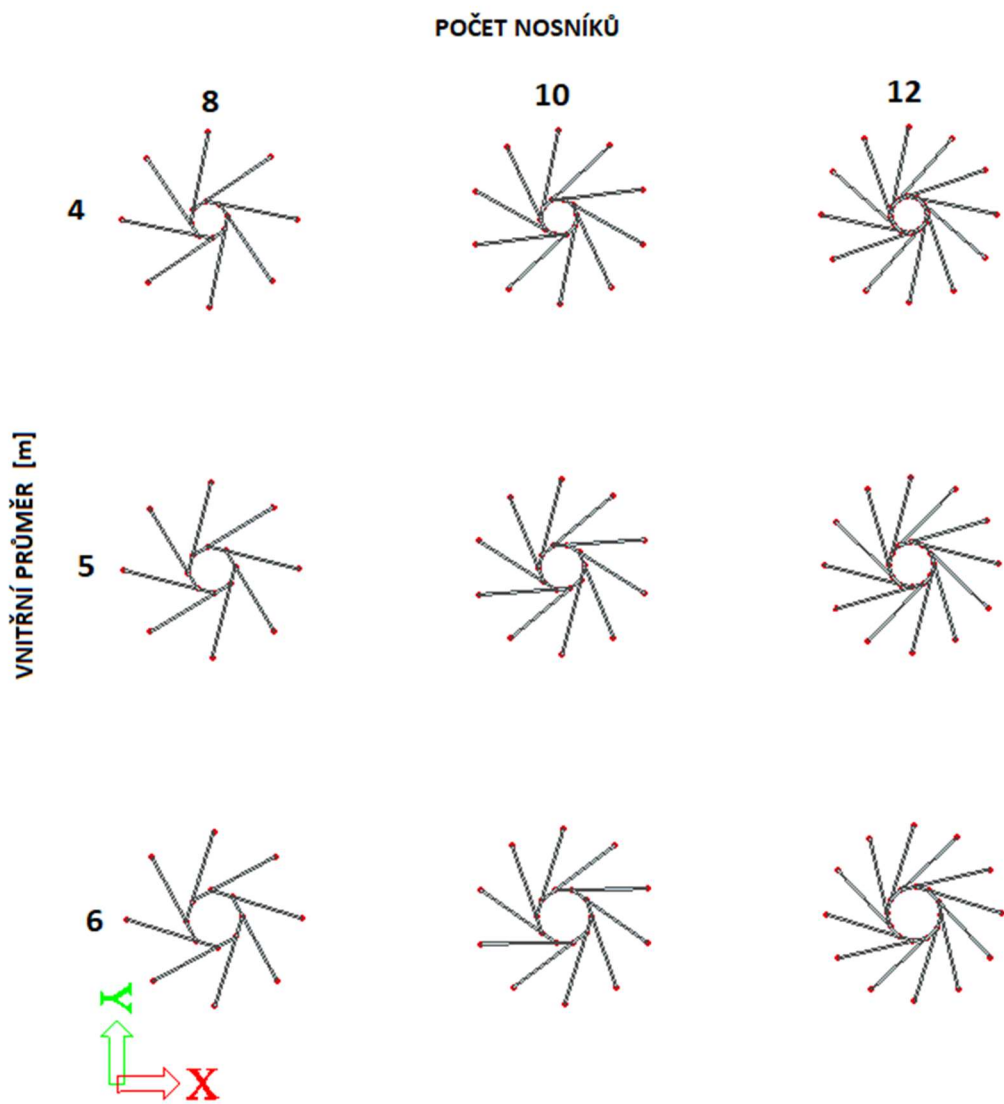
Z tabulek č. vyplývá, že při stejném počtu nosníků se spolu se zvětšujícím se vnitřním poloměrem  $r_i$  se zároveň zvětšuje i velikost maximálního ohybového momentu a prvky musí být dimenzovány jako masivnější. Dále pak při větším počtu nosníků mohou být prvky subtilnější, protože na ně připadá menší díl plošného zatížení. Má – li konstrukce malý vnitřní poloměr na velký počet nosníků (délka mezi spoji na nosníku je příliš krátká), zásadní roli v posouzení hraje únosnost nosníku ve smyku, která začne rozhodovat.

Graf na obr.č. 38 zobrazuje závislost mezi poměrem vnitřního a vnějšího poloměru konstrukce k navržené výšce průřezu  $H$  v místě přípoje sousedního prvku. Graf

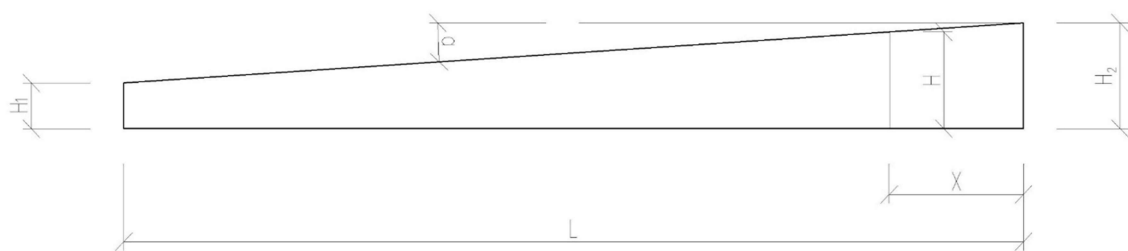


zobrazuje hodnoty z příložených tabulek, pro poměry  $r_i/r_o$  o velikosti 0,225 a 0,275 byla použita lineární interpolace s účelem získání hodnot ohybových momentů a posouvajících sil nutných pro výpočet. Z výsledků vyplývá, že není efektivní navrhovat malý vnitřní průměr v kombinaci s příliš mnoho prvky, jejichž únosnost bude rozhodovat smyk a ne ohyb. Při daném počtu prvků se jeví jako nejlepší navrhnout vnitřní průměr co nejmenší, ale tak, aby o únosnosti ještě rozhodoval ohyb (viz obr. č. 38, graf  $n=10;12$ ). V přepočtu na  $m^3$  použitého dřeva (hodnoty  $V_1 \times n$ ) vychází nejvýhodněji vždy co nejmenší počet prvků.

Z výše uvedených závěrů navrhuji střešní konstrukci jako rovinnou reciproční konstrukci z 10 nosníků o vnějším průměru 20 m a vnitřním průměru 4,5 m.



Obr. č. 35: 9 modelů pro porovnání, zdroj vlastní



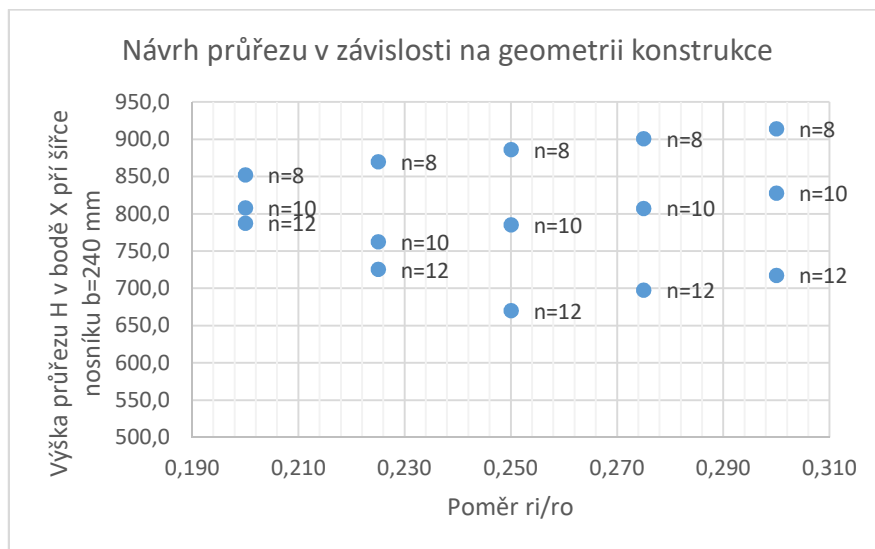
Obr. č. 36 : Značky rozměrů pultového nosníku k obr. č. 37, zdroj vlastní

	$r_o$	$r_i$	$r_i/r_o$	$n$	$b$	$L$	$X$	$H_1$	$H_2$	$\alpha$	$tg\alpha$	$H$	$V_1 \times n$
	[mm]	[mm]	-	-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]		[mm]	[m <sup>3</sup> ]
1	10 000	2 000	0,200	8	240	10 626	1657	160	980	4,413	0,07732	852,1	11,6
2	10 000	2 000	0,200	10	240	10 448	1300	160	900	4,051	0,070947	807,9	13,3
3	10 000	2 000	0,200	12	240	10 334	1072	160	860	3,875	0,067842	787,4	15,2
4	10 000	2 500	0,250	8	240	10 718	2071	160	1060	4,800	0,084169	886,1	12,6
5	10 000	2 500	0,250	10	240	10 495	1625	160	900	4,033	0,070628	785,4	13,3
6	10 000	2 500	0,250	12	240	10 352	1340	200	740	2,986	0,05221	670,1	14,0
7	10 000	3 000	0,300	8	240	10 782	2485	200	1140	4,983	0,087404	923,3	13,9
8	10 000	3 000	0,300	10	240	10 514	1950	160	980	4,459	0,078149	828,0	14,4
9	10 000	3 000	0,300	12	240	10 343	1608	160	820	3,651	0,063897	717,4	14,6

	$M_d$	$k_{m,o}$	$\sigma_{m,o,d}$	$f_{m,g,d} * k_{m,o}$	$k_{m,a}$	$\sigma_{m,a,d}$	$f_{m,g,d} * k_{m,a}$	$\eta$
	[Nmm]	-	[MPa]	[MPa]	-	[MPa]	[MPa]	-
1	362 070 000	1	12,47	17,28	0,826	12,47	14,28	0,87
2	315 430 000	1	12,08	17,28	0,850	12,08	14,68	0,82
3	215 300 000	1	8,68	17,28	0,861	8,68	14,88	0,58
4	381 860 000	1	12,16	17,28	0,801	12,16	13,84	0,88
5	329 210 000	1	13,34	17,28	0,851	13,34	14,70	0,91
6	260 000 000	1	14,47	17,28	0,913	14,47	15,77	0,92
7	400 280 000	1	11,74	17,28	0,788	11,74	13,62	0,86
8	343 370 000	1	12,52	17,28	0,823	12,52	14,23	0,88
9	270 670 000	1	13,15	17,28	0,875	13,15	15,11	0,87

	$V_{d1}$	$\tau_{d1}$	$f_{v,g,d}$	$V_{d2}$	$\tau_{d2}$	
	[N]	[MPa]	[MPa]	[N]	[MPa]	
1	219 800	1,612	1,944	92 580	0,590	rozhoduje ohyb
2	242 750	1,878	1,944	81 500	0,566	rozhoduje smyk
3	234 170	1,859	1,944	63 900	0,464	rozhoduje smyk
4	185 930	1,311	1,944	95 250	0,562	rozhoduje ohyb
5	203 410	1,619	1,944	83 250	0,578	rozhoduje ohyb
6	194 390	1,813	1,944	64 970	0,549	rozhoduje ohyb
7	163 300	1,105	1,944	97 990	0,537	rozhoduje ohyb
8	177 490	1,340	1,944	85 190	0,543	rozhoduje ohyb
9	169 180	1,474	1,944	66 360	0,506	rozhoduje ohyb

Obr. č. 37: Posouzení pultových nosníků v devíti modelech, zdroj vlastní



Obr. č. 38: Graf závislosti dimenze průřezu na geometrii konstrukce, zdroj vlastní

Použité značky v na obr. č. 37:

$n$ ... počet nosníků

$r_o$ ... vnější průměr konstrukce

$r_i$ ... vnější průměr konstrukce

$n$ ... vnější průměr konstrukce

$M_d$ ... návrhový ohybový moment

$k_m$ ... součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu

$\sigma_{m,0,d}$  ... návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{m,\alpha,d}$  ... návrhové napětí v ohybu pod úhlem  $\alpha$  k vláknům

$f_{m,g,d}$ ... návrhová pevnost v ohybu

$V_{d1}$  ... návrhová posouvající síla v místě X

$V_{d2}$ ... návrhová posouvající síla v místě okrajové podpory

$\tau_{d,1}$ ... návrhové napětí ve smyku v místě X

$\tau_{d,2}$ ... návrhové napětí ve smyku v místě okrajové podpory

$f_{v,g,d}$  ... návrhová pevnost ve smyku

## Závěr

Ze zkoumání historie reciproční konstrukcí vyplývá, že se nejedná o výdobytek moderní doby, ale o konstrukční princip známý a využívaný po staletí. Reciproční konstrukce mohou nabývat mnoha různých tvarů a forem, reciproční princip se dá využít u jednoduchých i násobných prostorových konstrukcí. Z architektonického hlediska se jedná o esteticky zajímavé konstrukce, zároveň je možné tyto konstrukce navrhnout staticky efektivně a jednoduše pro montáž. To dokazují uvedené realizace v teoretické části i konkrétní návrh střešní konstrukce jízdárny z části praktické. Pro určení optimálního počtu prvků a dalších parametrů konstrukce bylo v praktické části využito statické porovnání devíti rozdílných modelů se shodným plošným zatížením  $2 \text{ kN/m}^2$ . V této práci byla takto zkoumána jednoduchá reciproční konstrukce, vhodným tématem pro navazující práci se proto nabízí analýza složitějších násobných recipročních konstrukcí.

## Použitá literatura

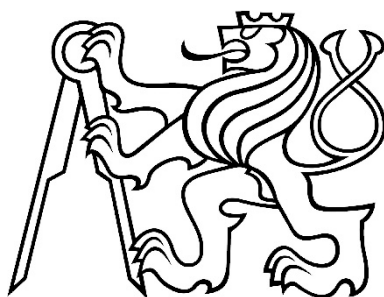
1. OLGA POPOVIC LARSEN. *Reciprocal frame architecture*. Oxford: Architectural Press, 2008. ISBN 9780750682633.
2. THOMAS HERZOG ... *Timber construction manual*. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2004. ISBN 9783034614634.
3. GELEZ, Simon, Simon AUBRY a Bernard VAUDEVILLE. Nexorade or Reciprocal Frame System Applied to the Design and Construction of a 850 m<sup>2</sup> Archaeological Shelter. *International Journal of Space Structures* [online]. 2011, 26(4), 303-312 [cit. 2018-02-20]. ISSN 02663511. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&an=77840513&scope=site>
4. PARIGI, Dario, Mario SASSONE, Poul Henning KIRKEGAARD a Paolo NAPOLI. Static and Kinematic Formulation of Planar Reciprocal Assemblies. *Nexus Network Journal* [online]. 2014, 16(1), 37-59 [cit. 2018-02-20]. DOI: 10.1007/s00004-014-0175-y. ISSN 1590-5896. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00004-014-0175-y>
5. RIZZUTO, J. P. a O. POPOVIC LARSEN. Connection Systems in Reciprocal Frames and Mutually Supported Elements Space Structure Networks. *International Journal of Space Structures* [online]. 2010, 25(4), 243-256 [cit. 2018-02-20]. ISSN 02663511. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&an=65872073&scope=site>
6. KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.
7. POPOVIC LARSEN, Olga. Reciprocal Frame (RF) Structures: Real and Exploratory. *Nexus Network Journal* [online]. 2014, 16(1), 119-134 [cit. 2018-02-20]. DOI: 10.1007/s00004-014-0181-0. ISSN 1590-5896. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00004-014-0181-0>
8. Produkt výrobce Emkol Litomyšl – Spojka objímková, otočná, kovaná [cit. 2018-02-20], Dostupné z: <http://wwkw.emkol.cz/eshop/product/spojka-objimkova-otocna-kovana/>

9. Japanese wood workind forum, Chris Hall [cit. 2018-02-20],  
<https://www.ibiblio.org/japanwood/phpBB2/viewtopic.php?t=789&sid=9ccb4ccdfc756b9d1d4b02055fe5a92c>

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Reciproční konstrukce – návrh**

Statický výpočet

Anežka Suchá

2018

Ing. Karel Mikeš, Ph.D.



# Obsah

Seznam použitých softwarů .....	3
Model střešní konstrukce .....	4
Zatížení.....	6
Stálé zatížení .....	6
Užitné zatížení.....	7
Zatížení sněhem .....	8
Zatížení větrem .....	9
Statické posouzení navržené reciproční konstrukce .....	12
Návrh a posouzení nosníků sekundární konstrukce .....	12
Návrh a posouzení pultového nosníku .....	16
Návrh a posouzení uložení nosníku na stěnu .....	20
Návrh a posouzení přípoje pultových nosníků .....	23
Návrh a posouzení připojení sekundárních nosníků .....	27
Použitá literatura .....	34

## Seznam použitých softwarů

MS Word 2013

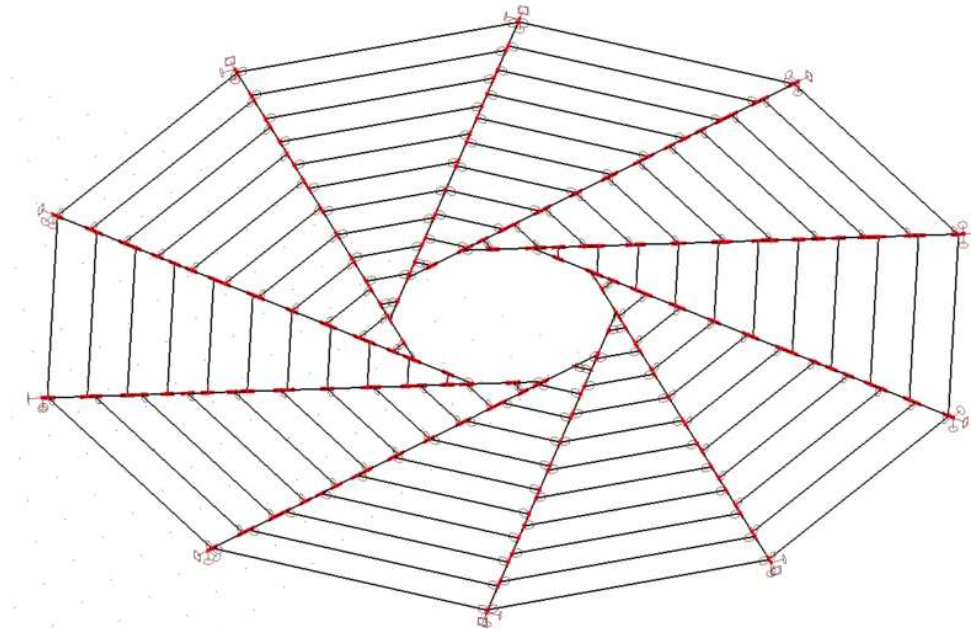
MS Excel 2013

AutoCAD 2016 – studentská verze

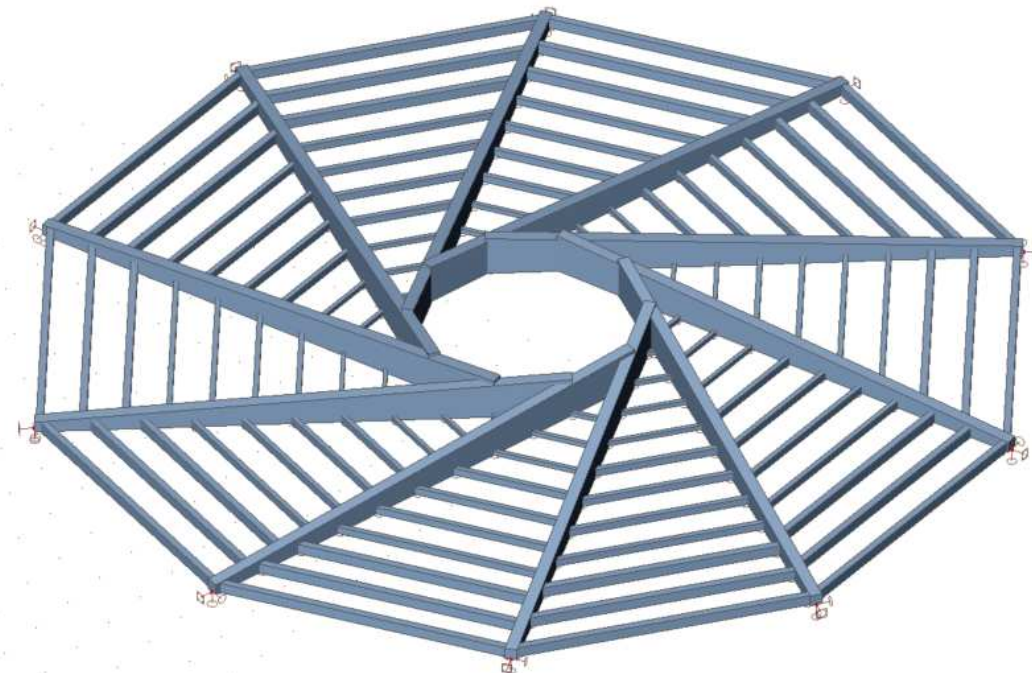
Scia Engineer 16.0 – studentská verze

## Model střešní konstrukce

Model střešní reciproční konstrukce byl vymodelován v softwaru studentské verze Scia Engineer 16.0.



Obr. č. 1 Model konstrukce, prutové schéma, zdroj vlastní



Obr. č. 2: Model konstrukce, zdroj vlastní

## 1. Zatěžovací stavy

Jméno	Popis Spec	Typ působení Typ zatížení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídící zat. stav
ZS1	Vlastní tíha	Stálé Vlastní tíha	SZ1	-Z		
ZS2	Skladba střechy	Stálé Standard	SZ1			
ZS3a	Užitné zatížení Standard	Proměnné Statické	SZ2		Střednědobé	Žádný
ZS3b	Užitné zatížení Standard	Proměnné Statické	SZ2		Střednědobé	Žádný
ZS3c	Užitné zatížení Standard	Proměnné Statické	SZ2		Střednědobé	Žádný
ZS3d	Užitné zatížení Standard	Proměnné Statické	SZ2		Střednědobé	Žádný
ZS4	Zatížení sněhem Standard	Proměnné Statické	SZ2		Krátkodobé	Žádný
ZS5a	Zatížení větrem Standard	Proměnné Statické	SZ2		Krátkodobé	Žádný
ZS5b	Zatížení větrem Standard	Proměnné Statické	SZ2		Krátkodobé	Žádný

## 2. Kombinace

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
C01	ZS1+ZS2	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy	1,00 1,00
C02	ZS1+ZS2+ZS3a	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS3a - Užitné zatížení	1,00 1,00 1,00
C03	ZS1+ZS2+ZS3b	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS3b - Užitné zatížení	1,00 1,00 1,00
C04	ZS1+ZS2+ZS3c	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS3c - Užitné zatížení	1,00 1,00 1,00
C05	ZS1+ZS2+ZS3d	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS3d - Užitné zatížení	1,00 1,00 1,00
C06	ZS1+ZS2+ZS5a	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS5a - Zatížení větrem	1,00 1,00 1,00
C07	ZS1+ZS2+ZS5b	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS5b - Zatížení větrem	1,00 1,00 1,00
C08	ZS1+ZS2+ZS4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem	1,00 1,00 1,00
C09	ZS1+ZS2+ZS4+ZS5a	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem ZS5a - Zatížení větrem	1,00 1,00 1,00 1,00
C010	ZS1+ZS2+ZS4+ZS5b	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem ZS5b - Zatížení větrem	1,00 1,00 1,00 1,00
C011	ZS1+ZS2+ZS3a+ 0,5 ZS4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS3a - Užitné zatížení ZS4 - Zatížení sněhem	1,00 1,00 1,00 0,50
C012	ZS1+ZS2+ZS3b+0,5 ZS4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem ZS3b - Užitné zatížení	1,00 1,00 0,50 1,00
C013	ZS1+ZS2+ZS3c+0,5 ZS4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem ZS3c - Užitné zatížení	1,00 1,00 0,50 1,00
C014	ZS1+ZS2+ZS3d+0,5 ZS4	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Skladba střechy ZS4 - Zatížení sněhem ZS3d - Užitné zatížení	1,00 1,00 0,50 1,00

Tab. č. 1: Zatěžovací stavy a kombinace zadané v modelu, výstup ze softwaru Scia Engineer, zdroj vlastní

## Zatížení

### Stálé zatížení

Zatížení byla stanovena na základě normy ČSN EN 1991-1-1, *Zatížení konstrukcí – obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Ve výpočetním softwaru Scia Engineer byla uvažována tato stálá zatížení:

Vlastní tíha nosníků z lepeného lamelového dřeva GL 24h –  $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$

Vlastní tíha nosníků sekundární konstrukce z rostlého dřeva C24 –  $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Skladba střešního pláště (od exteriéru po interiér):

Falcovaná plechová krytina Lindab[7]	0,6 mm	4,71 kg/m <sup>2</sup>
Separáčnická nepískovaná asfaltová lepenka	3 mm	-
OSB desky, typ 3	18 mm	10,8 kg/m <sup>2</sup>
Tepelná izolace mezi nosníky EPS 100	140 mm	2,8 kg/m <sup>2</sup>
Parotěsná fólie JUTAFOL N140	0,2 mm	-
Sádkokartonový podhled	12,5 mm	9,2 kg/m <sup>2</sup>
		<u>27,5 kg/m<sup>2</sup></u>

Tab. č. 2: Skladba střechy

Stále zatížení od skladby střechy:

$$g_{k,skladba} = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,skladba} = g_{k,skladba} \times \gamma_G$$

$$g_{d,skladba} = 0,3 \times 1,35 = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

Otvor ve středu střešní konstrukce je řešen lehkou hliníkovou konstrukcí a zasklením o tl. skla 8 mm.

$$\rho_{skla} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tíha hliníkové konstrukce} = 4 \text{ kg/m}^2$$

$$g_{k,světlík} = (2500 \times 0,008 + 4) / 100 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,světélík} = 0,24 \times 1,35 = 0,324 \text{ kN/m}^2$$

Užitné zatížení

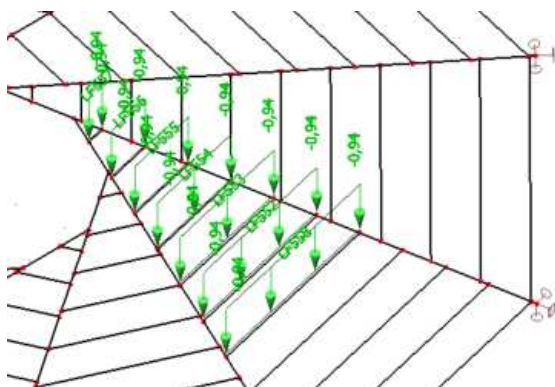
Zatížení byla stanovena na základě normy ČSN EN 1991-1-1, *Zatížení konstrukcí – obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Navrhovaná střecha spadá dle normy do kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Konstrukce byla zatížena užitným zatížením na ploše zhruba 10 m<sup>2</sup>, celkem ve čtyřech různých zatěžovacích stavech ZS3a až ZS3d (viz následující obr. č. 4-7).

Užitné zatížení střechy:

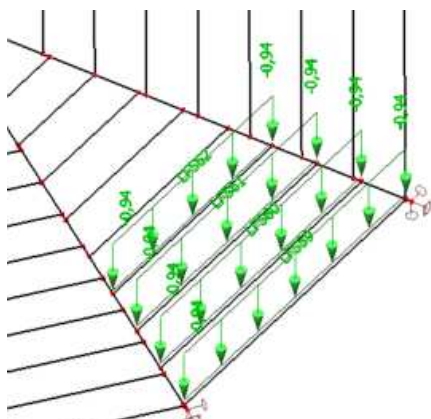
$$q_{k,užitné} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,užitné} = q_{k,užitné} \times \gamma_Q$$

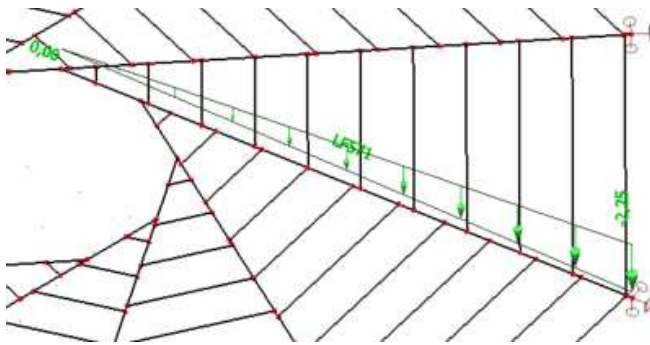
$$q_{d,užitné} = 0,75 \times 1,5 = 0,125 \text{ kN/m}^2$$



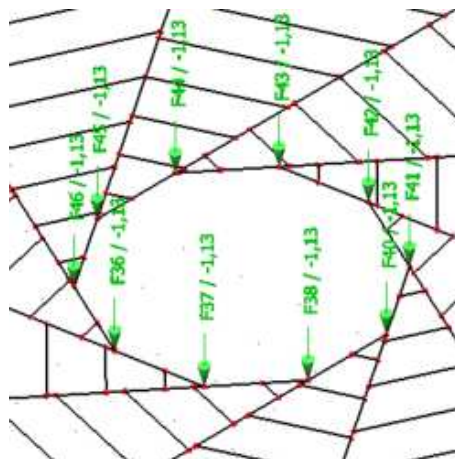
Obr. č. 4 : Užitné zatížení ZS3a [kN], zdroj vlastní



Obr. č. 5 : Užitné zatížení ZS3b [kN], zdroj vlastní



Obr. č. 6 : Užiténé zatížení ZS3c [kN], zdroj vlastní



Obr. č. 7: Užiténé zatížení ZS3d [kN], zdroj vlastní

## Zatížení sněhem

Zatížení byla stanovena na základě normy ČSN EN 1991-1-3, *Zatížení sněhem*. Dle Mapy sněhových oblastí na území ČR spadá objekt do oblasti I. s charakteristickou hodnotou zatížení  $s_k = 0,7$  kPa.

- Zatížení sněhem na střeše

$$s = \mu_1 \times c_t \times c_e \times s_k$$

$$\mu_1 = 0,8 \quad \text{tvarový součinitel}$$

$$c_t = 1,0 \quad \text{teplotní součinitel,}$$

tepelná prostupnost střechy menší než  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$c_e = 1,0 \quad \text{součinitel expozice, normální typ krajiny}$$

$$s = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,7 \text{ kN/m}^2$$

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

- Návrhové zatížení sněhem na střeše

$$s_d = s \times \gamma_Q$$

$$s_d = 0,56 \times 1,5 = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem je v modelu zadáno jako liniové zatížení na prutech sekundárních nosníků.

### Zatížení větrem

Zatížení byla stanovena na základě normy ČSN EN 1991-1-4, *Zatížení větrem*. Dle mapy větrných oblastí na území ČR je konstrukce zařazena do I. oblasti s výchozí základní rychlostí větru  $v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$ . Uvažovaná kategorie terénu III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami.

- Základní rychlost větru

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

$$v_{b,0} = 1 \times 1 \times 22,5 = 22,5 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0 \text{ součinitel směru větru}$$

$$c_{season} = 1,0 \text{ součinitel ročního období}$$

- Charakteristická střední rychlost větru

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} c_{0(z)} v_{b,0}$$

$$v_{m(z)} = 0,54 \times 1,0 \times 22,5 = 12,14 \text{ m/s}$$

$$c_{r(z)} = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{součinitel drsnosti terénu}$$

$$c_{r(z)} = 0,23 \times \ln \frac{10}{1,0} = 0,54$$

$$c_{0(z)} = 1,0 \quad \text{součinitel orografie}$$

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

$$k_r = 0,19 \times \left( \frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,23$$



- Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

$$q_b = \frac{1}{2} 1,25 \times 22,5^2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

- Maximální dynamický tlak větru

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b$$

$$q_p(6) = 1,2 \times 0,32 = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$z = 6\text{m}$ ; kategorie terénu IV

$$c_e(6) = 1,2$$

- Tlak větru na povrchy

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe} \quad \text{na vnější povrchy}$$

$$w_i = q_p(z_i) \times c_{pi} \quad \text{na vnitřní povrchy}$$

$$z_e = z_i = 6 \text{ m}$$

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

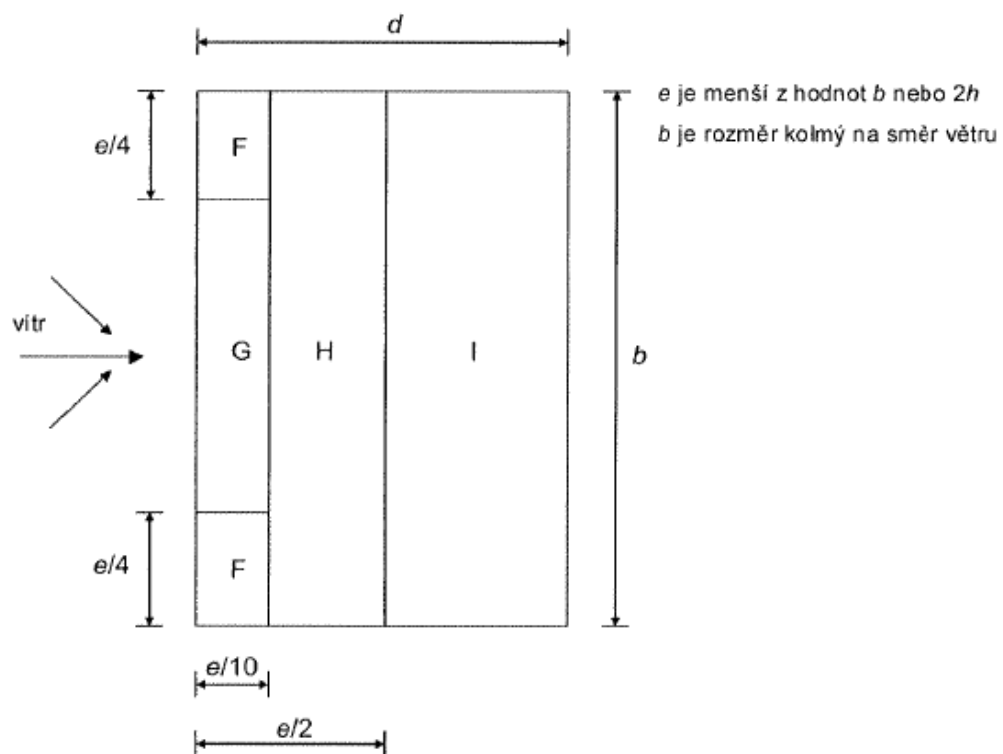
$$w_{e,G} = 0,38 \times (-1,2) = -0,46 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 0,38 \times (-0,4) = -0,15 \text{ kN/m}^2$$

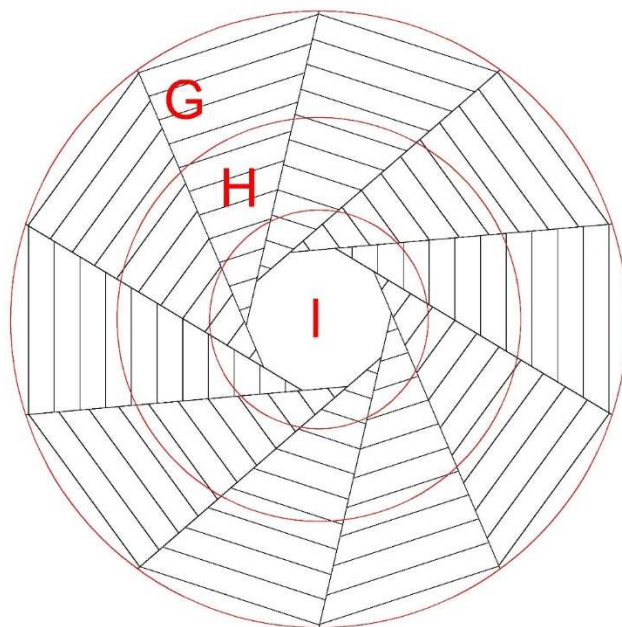
$$w_{e,I} = 0,38 \times (\pm 0,2) = \pm 0,08 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,38 \times (+0,2) = +0,076 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,38 \times (-0,3) = -0,114 \text{ kN/m}^2$$



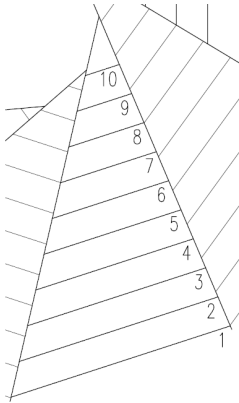
Obr. č. 8: Oblasti pro určení součinitele  $c_{pe}$  dle normy, zdroj [11] str. 33



Obr. č. 9: Schéma oblastí zatížení větrem, zdroj vlastní

# Statické posouzení navržené reciproční konstrukce

## Návrh a posouzení nosníků sekundární konstrukce



Obr. č. 10: Číslování nosníků sekundární konstrukce, zdroj vlastní

### Materiál

Rostlé dřevo C24

$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$  charakteristická pevnost v ohybu

$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$  charakteristická pevnost ve smyku

### Mezní stav únosnosti<sup>1</sup>

- Únosnost v ohybu

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

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

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

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

---

<sup>1</sup> Dále jen MSÚ

$k_{mod} = 0,8$  modifikační součinitel pro rostlé dřevo, třídu trvanlivosti 2  
a střednědobé zatížení (užitné zatížení, zatížení sněhem)

$\gamma_M = 1,3$  součinitel materiálu pro rostlé dřevo

- Únosnost ve smyku

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{V_{ed} S_y}{b I_y} = 1,5 \frac{V_{ed}}{bh}$$

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

Mezní stav použitelnosti<sup>2</sup>

(Příčná a torzní stabilita je zajištěna OSB deskami.)

- Okamžitý průhyb

$$w_{inst,1} = \frac{5}{384} \frac{g_k L^4}{E_{0,mean} I_y}$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3$$

$$E_{0,mean} = 11,0 \text{ GPa}$$

$$g_k = g_{k,vlastní tíha} + g_{k,skladba střechy}$$

$$w_{inst,2} = \frac{5}{384} \frac{q_k L^4}{E_{0,mean} I_y}$$

$$q_k = q_{k,užitné}$$

$$w_{inst,1+2} \leq w_{lim} = L/300$$

- Konečný průhyb

$$w_{fin} = w_{inst,1}(1 + k_{def}) + w_{inst,2}(1 + \Psi_2 k_{def})$$

$$k_{def} = 0,8 \text{ součinitel dotvarování}$$

---

<sup>2</sup> Dále jen MSP

$\Psi_2 = 0$  součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

$$w_{fin} \leq w_{lim} = L/250$$

Návrh a posouzení nosníku č. 2 (dle obr. č. 10) na MSÚ

$$b = 0,14 \text{ m} \quad h = 0,2 \text{ m}$$

$$L_2 = 5,64 \text{ m}$$

- Ohybová únosnost

$M_{ed,2} = 5,3 \text{ kNm}$  návrhový ohyb. moment z kombinace C012, maximální moment na nosníku č. 2

$$W_y = \frac{1}{6} 0,14 \times 0,2^2 = 0,001129 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{5,3}{0,001129} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{24}{1,3} = 14,78 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{4,7}{14,78} = 0,32 \leq 1 \quad \text{vyhovuje}$$

- Únosnost ve smyku

$V_{ed,2} = 3,8 \text{ kN}$  návrhová posouvající síla z kombinace C012, maximální posouvající síla na nosníku č. 2

$$\tau_d = 1,5 \frac{3,8}{0,14 \times 0,2} = 0,185 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{4}{1,3} = 2,46 \text{ MPa}$$

$$0,185/2,46 = 0,075 \leq 1 \quad \text{vyhovuje}$$

Návrh a posouzení nosníku č. 2 na MSP

- Okamžitý průhyb

$$w_{inst,1} = \frac{5}{384} \frac{0,6 \times 5,64^4}{11000 \times 1,242 \times 10^4} = 0,008 \text{ m}$$

$$w_{inst,2} = \frac{5}{384} \frac{0,62 \times 5,64^4}{11000 \times 1,242 \times 10^4} = 0,008 \text{ m}$$

$$w_{inst,1+2} = 0,016 \text{ m} \leq 0,02 \text{ m} = w_{lim} \quad \text{vyhovuje}$$

- Konečný průhyb

$$w_{fin} = 0,008(1 + 0,8) + 0,008(1 + 0)$$

$$w_{fin} = 0,022 \text{ m} \leq 0,024 \text{ m} = w_{lim} \quad \text{vyhovuje}$$

NÁVRH: nosník sekundární konstrukce č. 2 140/200 vyhovuje.

Návrh a posouzení zbylých nosníků sekundární konstrukce – viz tabulka č. 3 a 4 z MS Excel. Pro konstrukci jsou navrženy tři dimenze sekundárních nosníků – 140/200, 160/100, 80/100. Návrhové hodnoty  $M_{ed}$  a  $V_{ed}$  jsou z kombinací zat. C012 a C013.

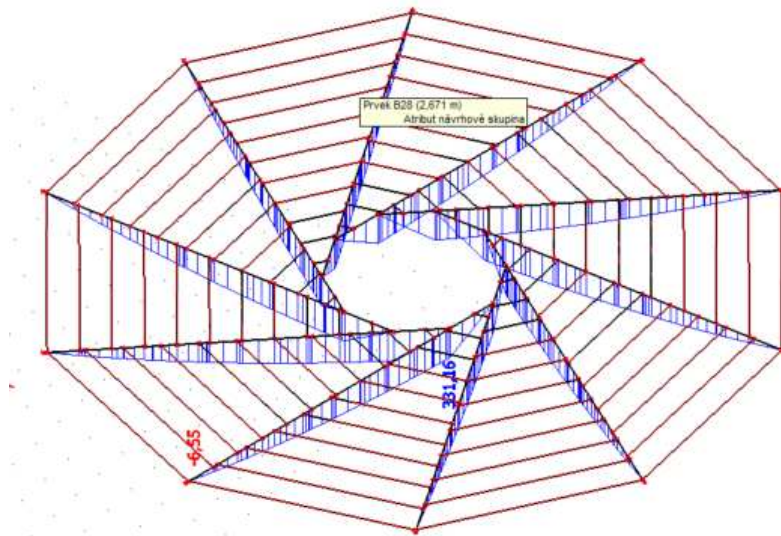
NÁVRH				POSUDEK MSÚ									
č.	b	h	L	OHYB					SMYK				
				$M_{ed}$	$W_y$	$\sigma_{m,y,d}$	$f_{m,y,d}$	$\eta$	$V_{ed}$	$\tau_{ed}$	$f_{vd}$		
	m	m	m	kNm	m <sup>3</sup>	MPa	MPa		kN	MPa	MPa		
1	0,14	0,22	7,33	6,40	0,001129	5,667	14,769	0,38	OK	4,2	0,205	2,462	OK
2	0,14	0,22	6,12	6,50	0,001129	5,756	14,769	0,39	OK	4,7	0,229	2,462	OK
3	0,14	0,22	4,97	5,30	0,001129	4,693	14,769	0,32	OK	4,2	0,205	2,462	OK
4	0,1	0,16	4,4	4,00	0,000427	9,375	14,769	0,63	OK	3,6	0,338	2,462	OK
5	0,1	0,16	3,82	3,00	0,000427	7,031	14,769	0,48	OK	3,2	0,300	2,462	OK
6	0,1	0,16	3,24	2,20	0,000427	5,156	14,769	0,35	OK	2,7	0,253	2,462	OK
7	0,1	0,16	2,67	1,50	0,000427	3,516	14,769	0,24	OK	2,2	0,206	2,462	OK
8	0,08	0,1	2,1	0,90	0,000133	6,750	14,769	0,46	OK	1,7	0,319	2,462	OK
9	0,08	0,1	1,52	0,50	0,000133	3,750	14,769	0,25	OK	1,3	0,244	2,462	OK
10	0,08	0,1	0,95	0,20	0,000133	1,500	14,769	0,10	OK	0,8	0,150	2,462	OK

Tab. č. 3: Posudek MSÚ, zdroj vlastní

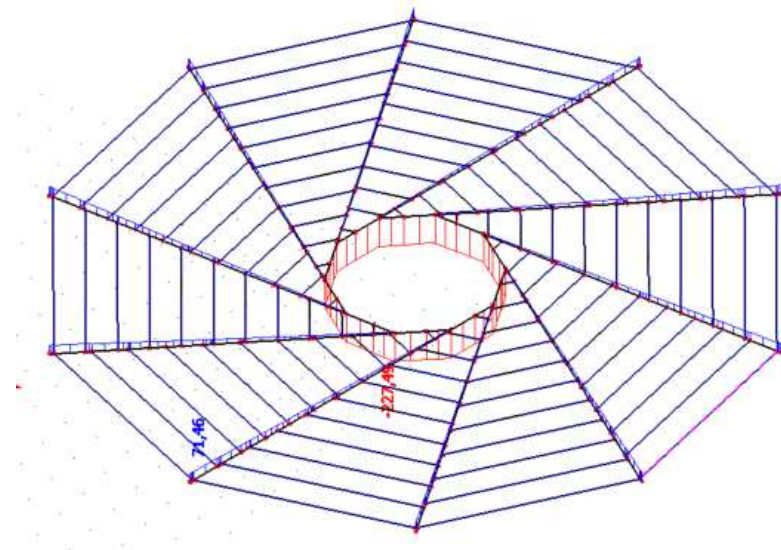
NÁVRH				POSUDEK MSP													
č.	b	h	L	PRŮHYB										$w_{fin}$	$w_{lim}$		
				$\xi_{k,vtiha}$	$\xi_{k,skladba}$	$q_{k,užitné}$	$l_y$	$w_{instgk}$	$w_{instgk}$	$w_{inst,1}$	$w_{inst,2}$	$w_{inst,1+2}$	$w_{lim}$				
	m	m	m	kN/m	kN/m	kN/m	m <sup>4</sup>	m	m	m	m	m	m	m			
1	0,14	0,22	7,33	0,108	0,12	0,310	0,0001242	0,0030	0,0033	0,0063	0,0085	0,0148	0,0244	OK	0,0198	0,0293	OK
2	0,14	0,22	6,12	0,328	0,25	0,62	0,0001242	0,0044	0,0033	0,0077	0,0083	0,0160	0,0204	OK	0,0222	0,0245	OK
3	0,14	0,22	4,97	0,328	0,25	0,62	0,0001242	0,0019	0,0015	0,0034	0,0036	0,0070	0,0166	OK	0,0097	0,0199	OK
4	0,1	0,16	4,4	0,276	0,25	0,62	3,413E-05	0,0036	0,0032	0,0068	0,0081	0,0149	0,0147	OK	0,0204	0,0176	OK
5	0,1	0,16	3,82	0,276	0,25	0,62	3,413E-05	0,0020	0,0018	0,0039	0,0046	0,0039	0,0127	OK	0,0116	0,0153	OK
6	0,1	0,16	3,24	0,276	0,25	0,62	3,413E-05	0,0011	0,0010	0,0020	0,0024	0,0020	0,0108	OK	0,0060	0,0130	OK
7	0,1	0,16	2,67	0,276	0,25	0,62	3,413E-05	0,0005	0,0004	0,0009	0,0011	0,0009	0,0089	OK	0,0028	0,0107	OK
8	0,08	0,1	2,1	0,248	0,25	0,62	6,667E-06	0,0009	0,0009	0,0017	0,0021	0,0017	0,0070	OK	0,0052	0,0084	OK
9	0,08	0,1	1,52	0,248	0,25	0,62	6,667E-06	0,0002	0,0002	0,0005	0,0006	0,0005	0,0051	OK	0,0014	0,0061	OK
10	0,08	0,1	0,95	0,248	0,25	0,62	6,667E-06	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0032	OK	0,0002	0,0038	OK

Tab. č. 4: Posudek MSP, zdroj vlastní

## Návrh a posouzení pultového nosníku



Obr. č. 11: Průběh ohybových momentů z rozhodující kombinace C09 [kNm], zdroj vlastní



Obr. č. 12: Průběh posouvajících sil z rozhodující kombinace C09 [kN], zdroj vlastní

$$b = 0,24 \text{ m} \quad h_1 = 0,24 \text{ m} \quad h_2 = 0,9 \text{ m}$$

$h_x = 0,808 \text{ m}$       výška nosníku v místě max. ohyb. momentu a zároveň připojení  
sousedního nosníku

$$L_2 = 10,475 \text{ m}$$

## Materiál

Lepené lamelové dřevo GL24h

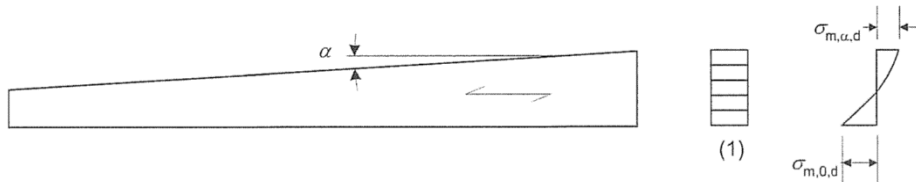
$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$  charakteristická pevnost v ohybu

$f_{v,k} = 2,24 \text{ MPa}$  charakteristická pevnost ve smyku

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$  charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům

## Mezní stav únosnosti

- Únosnost v ohybu



Obr. č. 13: Napětí na pultovém nosníku zdroj [9] str. 49

$M_d = 331,16 \text{ kNm}$  max. ohybový moment z kombinace CO9

- Návrhové napětí v ohybu - dolní krajní vlákna nosníku na tažené straně (vlákna nejsou seříznuta;  $\alpha = 0$ )

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh_x^2}$$

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

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

$k_{mod} = 0,8$  modifikační součinitel pro LLD, třídu trvání vlhkosti 2 a střednědobé zatížení (užitné zatížení, zatížení sněhem)

$\gamma_M = 1,25$  součinitel materiálu pro rostlé dřevo

$$f_{m,d} = 0,8 \frac{24}{1,25} = 15,36 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6 \times 331,16}{0,24 \times 0,808^2} = 12,7 \text{ MPa}$$

$$12,7 \text{ MPa} \leq 1,0 \times 15,36 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

pro:  $\alpha = 0^\circ$ ;  $k_{m,\alpha} = 1,0$

- Návrhové napětí v ohybu - horní krajní vlákna nosníku na tlačené straně (vlákna jsou seříznuta,  $\alpha=3,6^\circ$ )

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh_{x_m}^2}$$

$$\sigma_{m,0,d} = 12,7 \text{ MPa}$$

pro:  $\alpha = 3,6^\circ$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \times f_{v,d}} \operatorname{tg} \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \operatorname{tg}^2 \alpha\right)^2}}$$

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

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{3,5}{1,25} = 2,24 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{c,90,d} = 0,8 \frac{2,5}{1,25} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{15,36}{1,5 \times 2,24} \operatorname{tg} 3,61\right)^2 + \left(\frac{15,36}{1,6} \operatorname{tg}^2 3,61\right)^2}} = 0,923$$

$$12,7 \text{ MPa} \leq 0,923 \times 15,36 = 14,18 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje, využití } \eta=0,89$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Únosnost ve smyku

$V_{ed1} = 227,5 \text{ kN}$  návrhová posouvající síla v místě  $h_x$  z kombinace C09

$V_{ed2} = 71,5 \text{ kN}$  návrhová posouvající síla v místě podepření stěnou

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{V_{ed} S_y}{b I_y} = 1,5 \frac{V_{ed}}{bh}$$

$$\tau_{d1} = 1,5 \frac{227,5}{0,24 \times 0,808} = 1,76 \text{ MPa}$$

$$\frac{1,76}{2,24} = 0,78 \leq 1$$

$$\tau_{d2} = 1,5 \frac{71,5}{0,24 \times 0,24} = 1,86 \text{ MPa}$$

$$\frac{1,86}{2,24} = 0,83 \leq 1$$

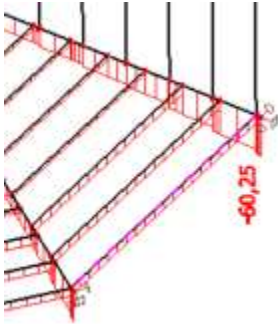
Nosník na smyk vyhovuje

#### Mezní stav použitelnosti

- Příčná a torzní stabilita je zajištěna sekundární nosnou konstrukcí
- Maximální průhyb při kombinaci zatížení C09 – 14,9 mm.
- I při poklesu středu konstrukce o 15 mm bude sklon k odvodu dešťové vody dostatečný - konstrukce na MSP vyhovuje

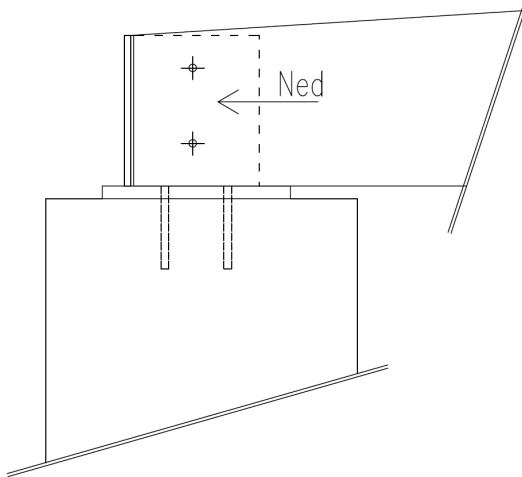
NÁVRH: pultový nosník GL 24h  $b = 0,24 \text{ m}$   $h_1 = 0,24 \text{ m}$   $h_2 = 0,9 \text{ m}$

## Návrh a posouzení uložení nosníku na stěnu



Obr. č. 14: Návrhová normálová síla z kombinace CO14 [kN], zdroj vlastní

### Posouzení příčně zatížených svorníků



Obr. č. 15: Schéma uložení nosníku na stěnu, zdroj vlastní

$$N_{ed} = 60,25 \text{ kN} \quad \text{návrhová normálová síla}$$

2x svorník 5.6  $\varnothing$  16 mm, podložka<sup>3</sup> pro M16 – vnější průměr 56 mm, tl. 5 mm

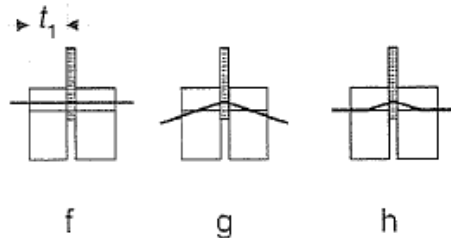
---

<sup>3</sup> Zdroj [5]

- Charakteristická únosnost svorníků pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

- Pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek jednostřížného spoje:

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



Obr. č. 16: Možné způsoby porušení dvoustřížného spoje, zdroj [9] str. 63

$$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{charakteristická pevnost v otláčení}$$

$$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01 \times 0,016)385 = 26,5 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 115 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6} \quad \text{char. plastický moment únosnosti spojovacího prostředku}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 500 \times 16^{2,6} = 202\,700 \text{ Nmm}$$

$$F_{ax,Rk} = \min(F_{t,Rk}; F_{c,Rk}) \quad \text{příspěvek od účinku sepnutí (únosnost v tahu svorníku; únosnost podložky), max. 25% Johansenovy části}$$

$$F_{t,Rk} = f_{ub} \times A_s \quad \text{únosnost svorníku v tahu}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{mez pevnosti svorníku}$$

$$A_s = 201,1 \text{ mm}^2 \quad \text{plocha průřezu svorníku}$$

$$F_{t,Rk} = 500 \times 201,1 = 100,6 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rk} = A_p \times 3 \times f_{c,90,k} \quad \text{únosnost podložky}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa} \quad \text{únosnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna}$$

$$A_p = 2463 \text{ mm}^2 \quad \text{plocha podložky}$$

$$F_{c,Rk} = 2463 \times 3 \times 2,5 = 18,5 \text{ kN} = F_{ax,Rk}$$

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26,5 \times 115 \times 16 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \times 202700}{26,5 \times 10^6 \times 16 \times 115^2}} - 1 \right] + \frac{18500}{4} \\ 2,3 \sqrt{202,7 \times 26,5 \times 16} + \frac{18500}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{ll} 48,8 \text{ kN} & (f) \\ 56,8 \text{ kN} & (g) \\ 25,9 \text{ kN} & (h) \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \frac{\text{Johansenova část}}{\gamma_M} + k_2 \frac{F_{c,Rk}}{4 \times \gamma_{M2}}$$

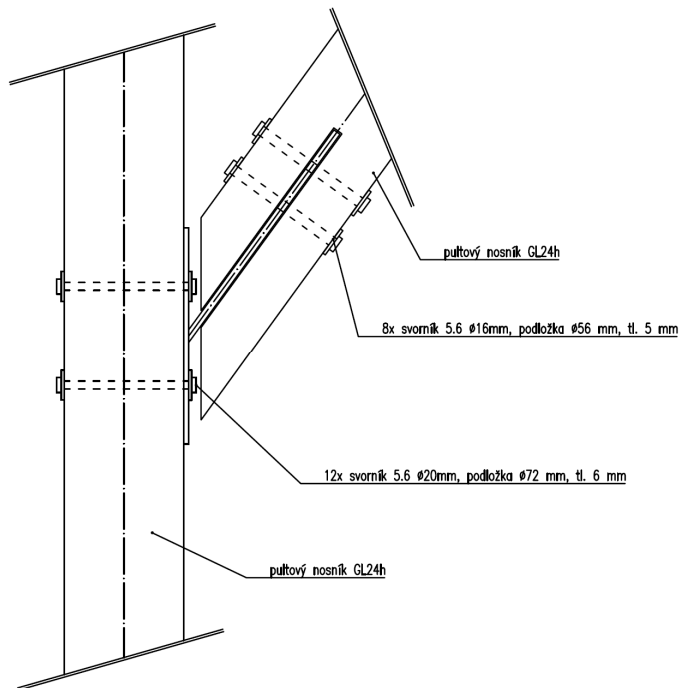
$$F_{v,Rd,1} = 0,8 \times 21,3/1,25 + 0,9 \times 4,6/1,25 = 17 \text{ kN} \quad \text{návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh}$$

$$F_{v,Rd} = 17 \times 2 \times 2 = 68 \text{ kN} \quad \text{návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí dvou svorníků pod sebou}$$

$$F_{v,Rd} = 68 \text{ kN} \geq N_{ed} = 60,25 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

NÁVRH: 2x svorník 5.6 Ø 16 mm, podložka pro M16 – vnější průměr 56 mm

## Návrh a posouzení přípoje pultových nosníků



Obr. č. 17: Schéma přípoje, zdroj vlastní

### Posouzení svorníků na konci připojovaného nosníku

- $V_{ed} = 227,5 \text{ kN}$  návrhová normálová síla
  - 8x svorník 5.6 Ø 16 mm (4 svorníky pod sebou ve dvou řadách)  
podložka pro M16 – vnější průměr 56 mm, tl. 5 mm
- Charakteristická únosnost svorníků pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

- Pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek jednostřížného spoje:

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

- Použití stejných svorníků jako v předchozím případě (rozhoduje (h))

$F_{v,Rd,1} = 17kN$  návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh

$F_{v,Rd} = 17 \times 2 \times 8 = 272kN$  návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí osmi svorníků

$F_{v,Rd} = 272 kN \geq V_{ed} = 227,5 kN$  vyhovuje

NÁVRH: 8x svorník 5.6  $\varnothing$  16 mm (4 svorníky pod sebou ve dvou řadách)  
podložka pro M16 – vnější průměr 56 mm, tl. 5 mm

Posouzení svorníků na průběžném nosníku

$V_{ed} = 227,5 kN$  návrhová normálová síla

$M_{Ed} = V_{ed} \times e$  moment vyvozený excentricitou posouvající síly

$M_{Ed} = 227,5 \times 0,372 = 84,63kNm$

$e = 372 mm$  vzdálenost působíště posouvající síly

12x svorník 5.6  $\varnothing$  20 mm (5 svorníků pod sebou ve dvou řadách)

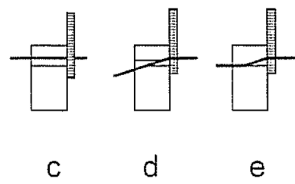
podložka pro M20 – vnější průměr 72 mm, tl. 6 mm

Smyková únosnost

- Charakteristická únosnost svorníků pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

– Pro tlustou ocelovou desku jednostřížně namáhanou

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



Obr. č. 18: Možné způsoby porušení jednostřížného spoje, zdroj [9] str. 63

$$t_1 = 240 \text{ mm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$A_p = 4072 \text{ mm}^2 \quad \text{plocha podložky}$$

$$F_{c,Rk} = 4072 \times 3 \times 2,5 = 30,53 \text{ kN} = F_{ax,Rk}$$

$$F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} 121,2 \text{ kN} (d) \\ 38,73 \text{ kN} (e) \\ 131,8 \text{ kN} (c) \end{cases}$$

$$F_{v,Rd,1} = 0,8 \times 31,1/1,25 + 0,9 \times 7,6/1,25 = 25,4 \text{ kN} \quad \text{návrhová}$$

únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh

$$F_{v,Rd} = 25,4 \times 12 = 304,8 \text{ kN} \quad \text{návrhová únosnost jednostřížného spoje}$$

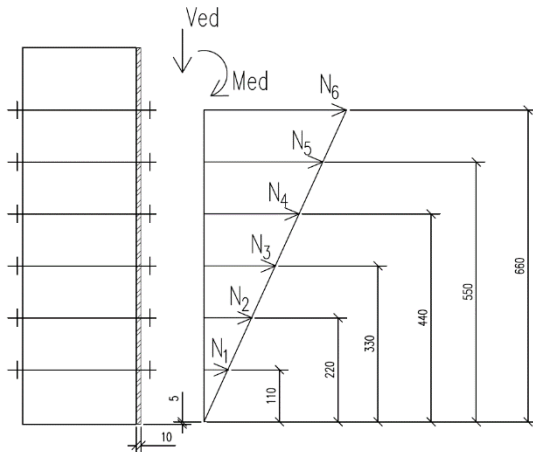
pomocí dvanácti svorníků

$$F_{v,Rd} = 304,8 \text{ kN} \geq V_{ed} = 227,5 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$



## Únosnost na vytažení

$N_{ed,1} = 3,5/12 = 0,3kN$  návrhová normálová síla působící na vytažení jednoho svorníku (1/12 tlakové síly v nosníku, z kombinace C09)



Obr. č. 19: Rozklad sil, zdroj vlastní

$N_6 = M_{ed} r_6 / 2(\sum r_i)^2$  normálová síla působící na vytažení jednoho svorníku od vlivu excentricity posouvající síly

$$N_6 = 84,63 \times \frac{0,660}{2(0,110 + 0,220 + 0,330 + 0,440 + 0,550 + 660)^2} = 5,23kN$$

$F_{t,Ed} = N_{ed,1} + N_4/2 = 2,9kN$  návrhová osová síla působící na jeden svorník

$F_{ax,Rk} = \min(F_{t,Rk}; F_{c,Rk})$  (únosnost v tahu svorníku; únosnost podložky)

$$F_{t,Rk} = 157,1 kN$$

$$F_{c,Rk} = 30,54 kN$$

$$F_{c,Rk} = A_p \times 3 \times f_{c,90,k} \quad \text{únosnost podložky}$$

$$A_p = 3848 mm^2 \quad \text{plocha podložky, } \varnothing 72mm$$

$$F_{c,Rd} = k_2 F_{c,Rk} / \gamma_{M2}$$

$$F_{c,Rd} = 0,9 \times 30,53 / 1,25 = 22,0 kN$$

$$F_{t,Ed} = 2,9 \text{ kN} \leq 22,0 \text{ kN} = F_{c,Rd} \quad \text{vyhovuje}$$

Interakce smyku a tahu

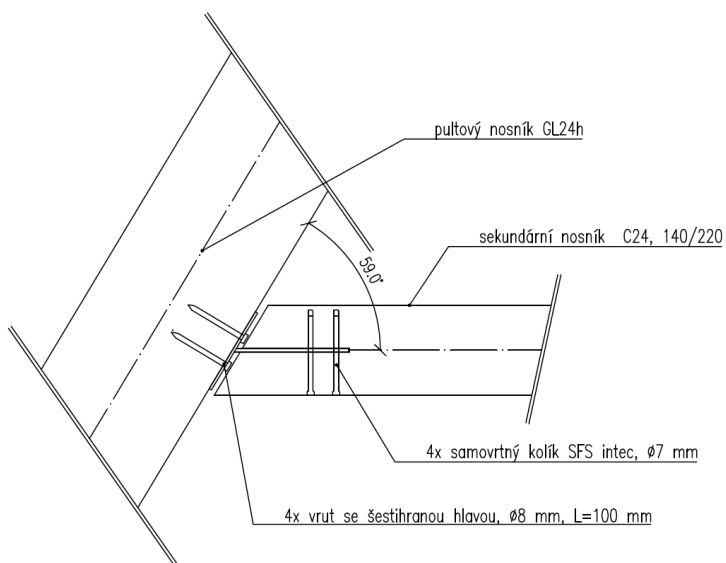
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{22,75}{27,2} + \frac{2,9}{1,4 \times 22} = 0,93 \leq 1,0$$

NÁVRH: 12x svorník 5.6  $\varnothing$  20 mm (6 svorníků pod sebou ve dvou řadách)

podložka pro M20 – vnější průměr 72 mm, tl. 6 mm

Návrh a posouzení připojení sekundárních nosníků



Obr. č. 20: Schéma přípoje, zdroj vlastní

Posouzení samovrtných kolíků dvoustřížného přípoje

Samovrtný kolík SFS intec [6]

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 550 \text{ MPa}$$

- Nosník 140/220, tl. střední desky 5 mm

$$t_1 = 67 \text{ mm}$$

$$V_{ed} = 4,7 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 14 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost kolíků pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

- Pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek jednostrážného spoje:

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

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 12,5 \text{ kN} \quad \text{(f)} \\ 13,3 \text{ kN} \quad \text{(g)} \\ 5,07 \text{ kN} \quad \text{(h)} \end{array} \right.$$

$$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{charakteristická pevnost v otláčení}$$

$$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01 \times 7)350 = 26,7 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6} \quad \text{char. plastický moment únosnosti spojovacího prostředku}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 550 \times 7^{2,6} = 259\,900 \text{ Nmm}$$

$$F_{ax,Rk} = 0 \quad \text{příspěvek od účinku sepnutí}$$

$$F_{v,Rd} = 0,8 \times 5,07 / 1,25 = 3,24 \text{ kN} \quad \text{návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh}$$

$$F_{v,Rd,1} = 3,24 \times 2 \times 1,52 \times 2 = 20,67 \text{ kN} \quad \text{návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí čtyř kolíků ve směru osy prvku}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad \text{účinný počet svorníků rovnoběžně s vlákny}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} = 2^{0,9^4} \sqrt{\frac{40}{13 \times 7}} = 1,52 \right.$$

$F_{v,Rd,2} = 3,4 \times 2 \times 4 = 27,2 \text{ kN}$  návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí čtyř kolíků kolmo na vlákna

$$F_{v,Rd,1} = 20,67 \text{ kN} \geq N_{ed} = 14 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$F_{v,Rd,2} = 27,2 \text{ kN} \geq V_{ed} = 4,7 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{v,Rd,1}} + \frac{V_{ed}}{F_{v,Rd,2}} \leq 1,0$$

$$\frac{14}{20,67} + \frac{4,7}{27,2} = 0,85 \leq 1,0$$

NÁVRH: 4x Samovrtný kolík SFS intec,  $\varnothing 7 \text{ mm}$ ,  $L=133 \text{ mm}$

- Nosník 100/160, tl. střední desky 5 mm

$$t_1 = 47 \text{ mm}$$

$$V_{ed} = 3,6 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 6,23 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 9,66 \text{ kN} \quad (\text{f}) \\ 10,7 \text{ kN} \quad (\text{g}) \\ 5,32 \text{ kN} \quad (\text{h}) \end{array} \right.$$

$F_{v,Rd} = 0,8 \times 5,32/1,25 = 3,4 \text{ kN}$  návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh

$F_{v,Rd,1} = 3,4 \times 2 \times 2 = 13,6 \text{ kN}$  návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí dvou kolíků pod sebou

$$F_{v,Rd,1} = 13,6 \text{ kN} \geq N_{ed} = 6,23 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$F_{v,Rd,1} = 13,6 \text{ kN} \geq V_{ed} = 3,6 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{v,Rd,1}} + \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,2}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,23}{13,6} + \frac{3,6}{13,6} = 0,72 \leq 1,0$$

NÁVRH: 2x Samovrtný kolík SFS intec,  $\varnothing$  7 mm, L=93 mm

- Nosník 80/100, tl. střední desky 5 mm

$$t_1 = 37 \text{ mm}$$

$$V_{ed} = 2,2 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 2,5 \text{ kN}$$

Samovrtný kolík SFS intec

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 550 \text{ MPa}$$

$$F_{v,Rk,1} = F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} 7,6 \text{ kN} & \text{(f)} \\ 8,9 \text{ kN} & \text{(g)} \\ 5,32 \text{ kN} & \text{(h)} \end{cases}$$

$F_{v,Rd,1} = 0,8 \times 5,32 / 1,25 = 3,4 \text{ kN}$  návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh

$F_{v,Rd} = 3,4 \times 2 \times 2 = 13,6 \text{ kN}$  návrhová únosnost dvoustřížného spoje pomocí dvou svorníků pod sebou

$$F_{v,Rd,1} = 13,6 \text{ kN} \geq N_{ed} = 2,5 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$F_{v,Rd,1} = 13,6 \text{ kN} \geq V_{ed} = 2,2 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{v,Rd,1}} + \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,2}} \leq 1,0$$

$$\frac{2,5}{13,6} + \frac{2,2}{13,6} = 0,34 \leq 1,0$$

NÁVRH: 2x Samovrtný kolík SFS intec, Ø 7 mm, L=73 mm

Posouzení jednostřížně namáhaných vrtů

Vrut se šestihranou hlavou

$$d = 8\text{ mm}$$

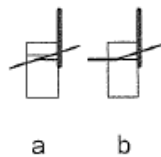
$$f_{u,k} = 300\text{ MPa}$$

$$t_1 = 240\text{ mm}$$

Charakteristická únosnost vrtů pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

– Pro tenkou ocelovou desku jednostřížně namáhanou

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4f_{h,k}t_1d \quad (a) \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (b) \end{array} \right.$$



Obr. č. 20: Možné způsoby porušení jednostřížného spoje, zdroj [9] str. 63

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 22,3\text{ kN} \quad (a) \\ 12,25 + \frac{12,25}{4} = 15,3\text{ kN} \quad (b) \end{array} \right.$$

$$f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{charakteristická pevnost v otláčení}$$

$$f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01 \times 8)385 = 29,04\text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6} \quad \text{char. plastický moment únosnosti spojovacího prostředku}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 300 \times 8^{2,6} = 259\,900\text{ Nmm}$$

$$f_{ax,k} = 12,9\text{ MPa} \quad \text{charakteristická odolnost vůči vytažení dle výrobce}$$

$$F_{ax,Rk} = n_{ef}(\pi dl_{ef})^{0,8} f_{ax,k}$$

$$F_{ax,Rk} = 3,48(\pi \times 8 \times 52)^{0,8} \times 12,9 = 14kN \quad \text{omezeno 25\%}$$

Johansenovy části [8]

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad \text{účinný počet vrutů}$$

$$n_{ef} = 4^{0,9} = 3,48$$

$$l_{ef} = 4^{0,9} = 3,48$$

$$F_{v,Rd} = 0,8 \times 12,25/1,25 + 0,9 \times 3,1/1,25 = 10,07kN \quad \text{návrhová}$$

únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jeden stříh

- Přípoj nosníku 140/220, tl. desky 4 mm

4 x vrut se šestihranou hlavou,  $\emptyset 8$ , L = 100mm

$$V_{ed} = 4,7 kN \quad \text{návrhová posouvající síla}$$

$$N_{ed} = 13,9 kN \quad \text{návrhová normálová síla}$$

$$M_{Ed} = V_{ed} \times e \quad \text{moment vyvozený excentricitou posouvající síly}$$

$$M_{Ed} = 4,7 \times 0,136 = 0,64 kNm$$

$$e = 136 mm \quad \text{vzdálenost působíště posouvající síly}$$

Smyková únosnost

$$F_{v,Rd} = 10,07 \times 4 = 40,28kN \quad \text{návrhová únosnost jednostřížného spoje}$$

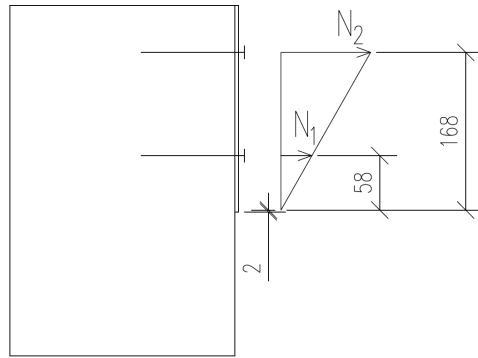
pomocí deseti svorníků

$$F_{v,Rd} = 40,28 \geq V_{ed} = 4,7 kN \quad \text{vyhovuje}$$

Únosnost na vytažení

$$N_{ed,1} = 14/3,48 = 4 kN \quad \text{návrhová normálová síla působící na vytažení}$$

jednoho svorníku



Obr. č. 21: Rozklad sil, zdroj vlastní

$N_2 = M_{ed} r_2 / 2(\Sigma r_i)^2$  normálová síla působící na vytažení jednoho svorníku od vlivu excentricity posouvající síly

$$N_2 = 0,64 \times \frac{0,168}{2(0,168 + 0,058)^2} = 1,05 \text{ kN}$$

$F_{t,Ed} = N_{ed,1} + N_2/2 = 4,53 \text{ kN}$  návrhová osová síla působící na jeden vrut

$$F_{ax,Rk} = 14 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} = k_2 F_{ax,Rk} / \gamma_{M2}$$

$$F_{ax,Rd} = 0,9 \times 14 / 1,25 = 10,08 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 4,53 \text{ kN} \leq 10,08 \text{ kN} = F_{ax,Rd} \quad \text{vyhovuje}$$

NÁVRH: pro všechny velikosti sekundárních nosníků

4 x vrut se šestihranou hlavou,  $\varnothing 8$ , L = 100mm



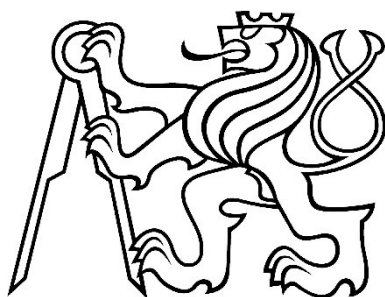
## Použitá literatura

1. ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla. Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha. Český normalizační institut, 2007. 114 s.
2. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení. Praha. Český normalizační institut, 2004. 44 s.
3. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha. Český normalizační institut, 2007. 124 s.
4. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha. Český normalizační institut, 2005. 52 s.
5. Podložky pro dřevěné konstrukce ZB DIN 440, výrobce HAŠPL, [cit. 2018-09-05], dostupné z: <https://www.haspl.cz/spojovaci-material/Podlozky/Podlozky-pro-drevene-konstrukce-ZB-DIN-440R/>
6. Samovrtný kolík, výrobce SFS intec, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [https://www.sfsintec.biz/internet/sfs53.nsf/PageID/WS\\_CZ](https://www.sfsintec.biz/internet/sfs53.nsf/PageID/WS_CZ)
7. Montážní návod – drážková krytina Seamline, výrobce Lindab, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [http://www.lindabstrechy.cz/pdf/Lidnab\\_falcovka\\_montaz.pdf?navez=Lidnab\\_falcovka\\_montaz.pdf](http://www.lindabstrechy.cz/pdf/Lidnab_falcovka_montaz.pdf?navez=Lidnab_falcovka_montaz.pdf)
8. Katalog Vruty do dřeva, výrobce Rothoblaas, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [https://www.vruty-koudelak.cz/wp-content/uploads/2017/04/vruty\\_do\\_dreva\\_rothoblaas.pdf](https://www.vruty-koudelak.cz/wp-content/uploads/2017/04/vruty_do_dreva_rothoblaas.pdf)
9. KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Reciproční konstrukce – návrh**

Technická zpráva

Anežka Suchá

2018

Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

# Obsah

Seznam použitých softwarů .....	3
Základní informace o objektu .....	4
Popis konstrukčního řešení střechy .....	4
Použité materiály nosné konstrukce .....	5
Zatížení .....	6
Stálé zatížení .....	6
Užitné zatížení .....	6
Zatížení sněhem .....	6
Zatížení větrem .....	6
Skladba střechy .....	7
Použité podklady .....	8

## Seznam použitých softwarů

MS Word 2013

MS Excel 2013

AutoCAD 2016 – studentská verze

Scia Engineer 16.0 – studentská verze

## Základní informace o objektu

Navrhovaná nosná reciproční konstrukce zastřešuje stavbu jízdárny na Císařském ostrově v pražské Troji s rozponem 20 metrů. Jízdárnu tvoří obvodové zděné nebo železobetonové stěny, zesílené v místě uložení pultových nosníků. Půdorys nosných stěn má tvar pravidelného deseti úhelníku s délkou jedné strany 6,18 metrů. Celková výška objektu činí 6 metrů. Prostor je osvětlen světlíkem ve středové části konstrukce (o průměru 4,5m) a okny v obvodových stěnách.

## Popis konstrukčního řešení střechy

Primární nosný konstrukční systém tvoří pultové nosníky z lepeného lamelového dřeva GL24h, o šířce 240 mm a výšce od 240 do 900 mm. Spodní hrana nosníků je v jedné rovině, zvyšování průřezu od kraje ke středu tvoří sklon 6,3% (nebo 3,6°), který je dostatečný pro odvod dešťové vody z povrchu střechy. Nosníky délky 10,26 m jsou podepřeny zděnou stěnou na jedné straně, na druhé straně jsou podpírány sousedním nosníkem, tvoří tak reciproční konstrukci. V místě podepření jsou stěny zesíleny. Na obvodový železobetonový věnec nebo sloup je pomocí chemických kotev Hilti připevněna ocelová deska tl. 20 mm, ke které jsou přivařeny další ocelové desky tl. 10 mm do tvaru T. Nosník spočívá na ocelové desce a pomocí dvou svorníků (5.6, Ø16) pod sebou je připevněn k ocelovému T (viz výkresová dokumentace, detail A).

Vyšší konec nosníku je pomocí osmi dvoustřížně namáhaných svorníků (5.6 Ø16) připevněn k ocelové desce tl. 15 mm na sousedním nosníku. Tato střední ocelová deska je přivařena tupým ½ V svarem k ocelové desce tl. 10 mm, která je připevněna k sousednímu nosníku dvanácti svorníky 5.6 Ø20 (viz výkresová dokumentace, detail B).

Sekundární nosný systém tvoří nosníky z rostlého dřeva C24, v osově vzdálenosti 833 mm (pro podporu OSB desek standardních rozměrů). Průřezy nosníku jsou navrženy ve třech dimenzích – 140/200, 160/100, 80/100 (směrem ke středu konstrukce se rozpětí i průřez zmenšuje). Nosníky jsou k pultovým nosníkům

přípevněny obdobným způsobem jako v předchozím případě. K připojení nosníku na střední ocelovou desku (S 235, tl. 5 mm) je použit 4x samovrtný kolík SFS intec [10] u nosníku 140/220 a 2x samovrtný kolík SFS intec u nosníků 100/160 a 80/100. Ocelová deska tl. 4 mm, ke které je pomocí tupého ½ V svaru přivařena střední deska tl. 5 mm, je k pultovému nosníku přípevněna pomocí 4 vrutů se šestihranou hlavou o průměru 8 mm a délce 100 mm.

Ztužení střešní konstrukce ve vodorovném směru je zajištěno OSB 3 deskami. OSB desky jsou k sekundárním nosníkům přípevněny vruty  $\varnothing$  4mm, délky 60 mm a 150 mm.

Světlík uprostřed střešní konstrukce je řešen skleněnými deskami na hliníkových profilech, které nejsou předmětem návrhu.

### Použité materiály nosné konstrukce

Konstrukční prvek	Materiál	b (mm)	h (mm)
Pultový nosník	GL 24 h	240	240 – 900
Sekundární nosník 1	C 24	140	220
Sekundární nosník 2	C 24	100	160
Sekundární nosník 3	C 24	80	100

Použité ocelové desky pro přípoje - viz výkresová dokumentace.

## Zatížení

### Stálé zatížení

Zatížení byla stanovena na základě normy *ČSN EN 1991-1-1, Zatížení konstrukcí – obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Ve statickém výpočtu byla uvažována tato stálá zatížení:

Vlastní tíha nosníků z lepeného lamelového dřeva GL 24h,  $\rho = 380 \text{ kg/m}^3$

Vlastní tíha nosníků sekundární konstrukce z rostlého dřeva C24,  $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Skladba střešního pláště (viz Statický výpočet, str. 6)

Lehká hliníková konstrukce a zasklení ve středu konstrukce (viz Statický výpočet, str. 6)

### Užitné zatížení

Zatížení byla stanovena na základě normy *ČSN EN 1991-1-1, Zatížení konstrukcí – obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Navrhovaná střecha spadá dle normy do kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Užitné zatížení střechy bylo uvažováno:

$$q_{k,užitné} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

### Zatížení sněhem

Zatížení byla stanovena na základě normy *ČSN EN 1991-1-3, Zatížení sněhem*. Dle Mapy sněhových oblastí na území ČR spadá objekt do oblasti I. s charakteristickou hodnotou zatížení  $s_k = 0,7 \text{ kPa}$ .

### Zatížení větrem

Zatížení byla stanovena na základě normy *ČSN EN 1991-1-4, Zatížení větrem*. Dle Mapy větrných oblastí na území ČR je konstrukce zařazena do I. oblasti s výchozí

základní rychlostí větru  $v_{b,0} = 22,5$  m/s. Uvažovaná kategorie terénu III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami.

## Skladba střechy

Skladba střechy po vrstvách od exteriéru po interiér je rozepsána v následující tabulce. Sádrokartonový pohled je zavěšený pod sekundárními nosníky, hlavní pultové nosníky nejsou ze spodní strany zakryté. Tepelná izolace EPS 100 tl. 140 mm je vložena mezi sekundární nosníky [6]. EPS izolační desky jsou k OSB deskám přilepeny lepicí hmotou weber.therm elastik na bázi cementu [7]. OSB desky délky 2500 mm jsou podepřeny sekundárními nosníky ve svých třetinách. K sekundárním nosníkům jsou připevněny vruty  $\varnothing 4$  mm, délky 60 a 150 mm. OSB desky plní funkci ztužení, proto nesmí být nahrazeny běžným bedněním z prken. Falcovaná plechová krytina Lindab bude provedena dle montážního návodu výrobce [8].

Falcovaná plechová krytina Lindab	0,6 mm
Separáční nepískovaná asfaltová lepenka	3 mm
OSB desky, typ 3	18 mm
Tepelná izolace mezi nosníky EPS 100	140 mm
Parotěsná fólie JUTAFOL N140 [9]	0,2 mm
Sádrokartonový podhled	12,5 mm



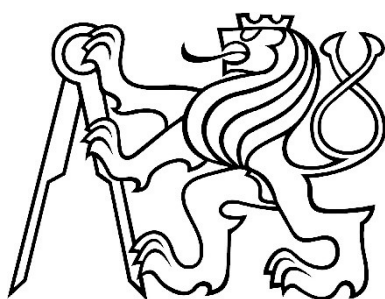
## Použité podklady

1. KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.
2. ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla. Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha. Český normalizační institut, 2007. 114 s.
3. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení. Praha. Český normalizační institut, 2004. 44 s.
4. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha. Český normalizační institut, 2007. 124 s.
5. ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha. Český normalizační institut, 2005. 52 s.
6. Technický list EPS 100, výrobce ISOVER Saint-Gobain, [cit. 2018-09-05], dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-100>
7. Technický list weber.therm elastik, výrobce Weber Saint-Gobain, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [https://www.weber-terranova.cz/uploads/tx\\_weberproductpage/TL\\_weber\\_therm\\_elastik.pdf](https://www.weber-terranova.cz/uploads/tx_weberproductpage/TL_weber_therm_elastik.pdf)
8. Montážní návod – drážková krytina Seamline, výrobce Lindab, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [http://www.lindabstrechy.cz/pdf/Lidnab\\_falcovka\\_montaz.pdf?navez=Lidnab\\_falcovka\\_montaz.pdf](http://www.lindabstrechy.cz/pdf/Lidnab_falcovka_montaz.pdf?navez=Lidnab_falcovka_montaz.pdf)
9. Technický list JUTAFOL N110,N140, výrobce JUTA, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [http://www.juta.cz/data/soubory/obrazky/phi/2010\\_kl\\_jtf-n-110-140\\_cz.pdf](http://www.juta.cz/data/soubory/obrazky/phi/2010_kl_jtf-n-110-140_cz.pdf)
10. Samovrtný kolík, výrobce SFS intec, [cit. 2018-09-05], dostupné z: [https://www.sfsintec.biz/internet/sfs53.nsf/PageID/WS\\_CZ](https://www.sfsintec.biz/internet/sfs53.nsf/PageID/WS_CZ)

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Reciproční konstrukce – návrh**

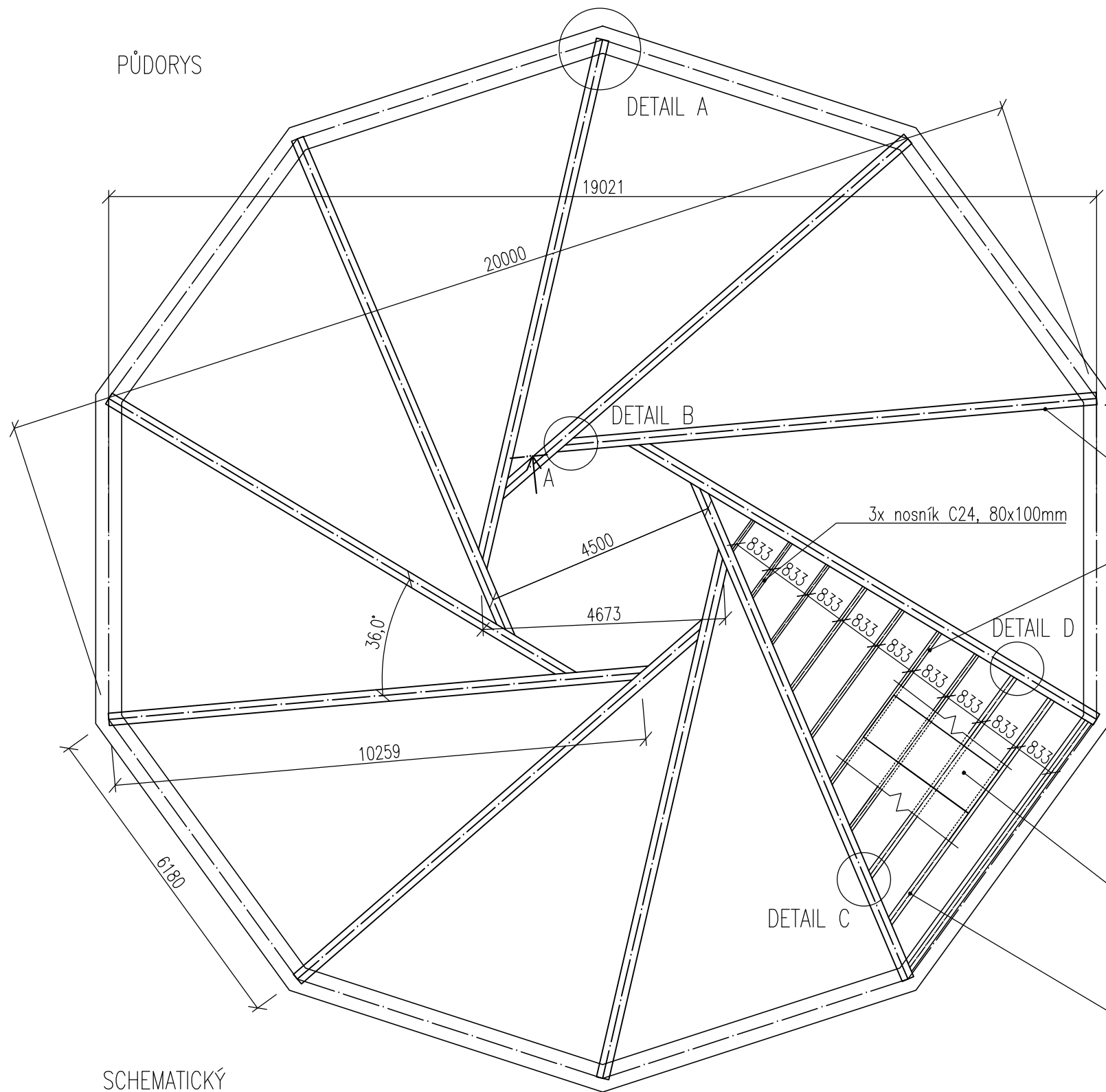
Výkresy

Anežka Suchá

2018

Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

PŮDORYS



Použité dřevěné prvky					
Prvek	Materiál	Počet	Délka L	Šířka b	Výška h
Pultový nosník	GL24h	10	10 488 mm	240 mm	240-900 mm
Sekundární nosník	C 24	10	5 900 mm	140 mm	220 mm
Sekundární nosník	C 24	10	5 325 mm	140 mm	220 mm
Sekundární nosník	C 24	10	4 752 mm	140 mm	220 mm
Sekundární nosník	C 24	10	4 165 mm	100 mm	160 mm
Sekundární nosník	C 24	10	3 590 mm	100 mm	160 mm
Sekundární nosník	C 24	10	3 018 mm	100 mm	160 mm
Sekundární nosník	C 24	10	2 445 mm	100 mm	160 mm
Sekundární nosník	C 24	10	1 864 mm	80 mm	100 mm
Sekundární nosník	C 24	10	1 290 mm	80 mm	100 mm
Sekundární nosník	C 24	10	718 mm	80 mm	100 mm

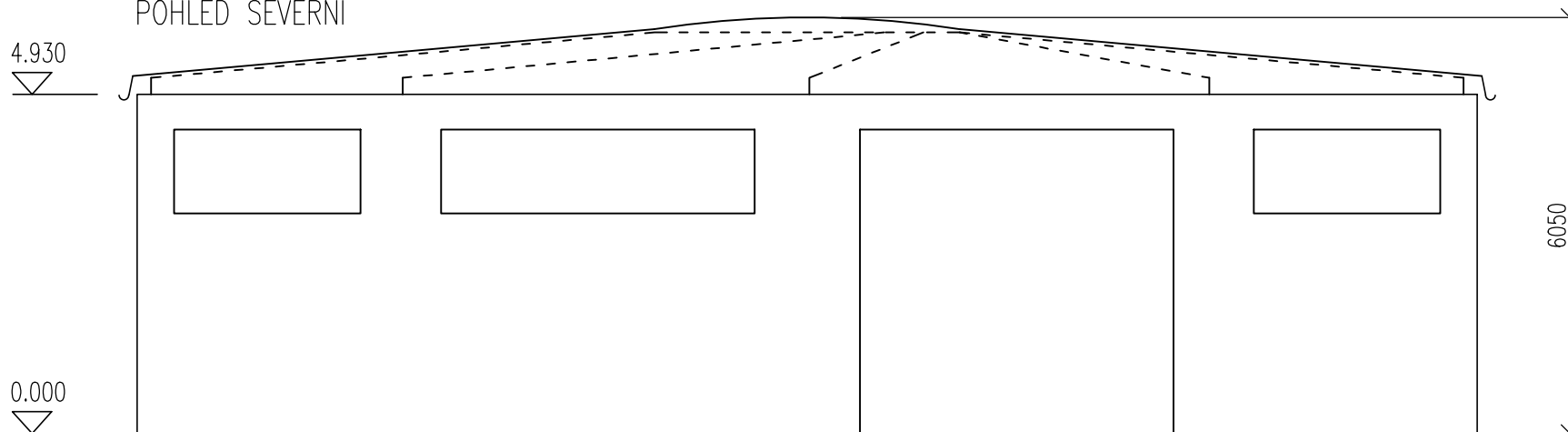
10x pultový nosník GL24h, 240x240-900mm

4x nosník C24, 100x160mm

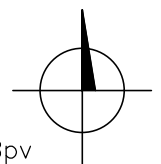
OSB 3, tl. 18mm, plní funkci ztužení

3x nosník C24, 140x220mm

SCHEMATICKÝ  
POHLED SEVERNÍ

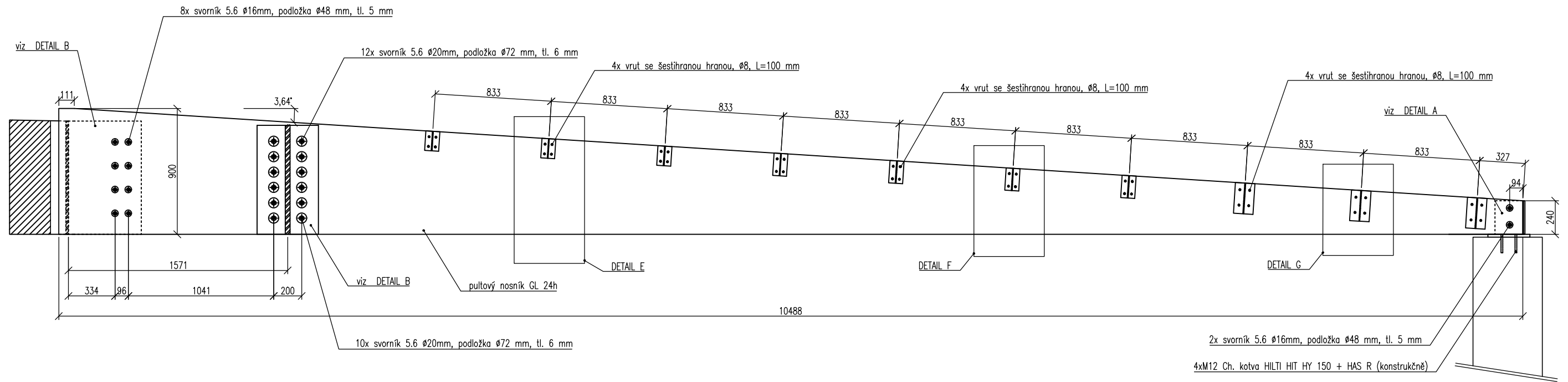


0.000=182.400 m n.m. Bpv

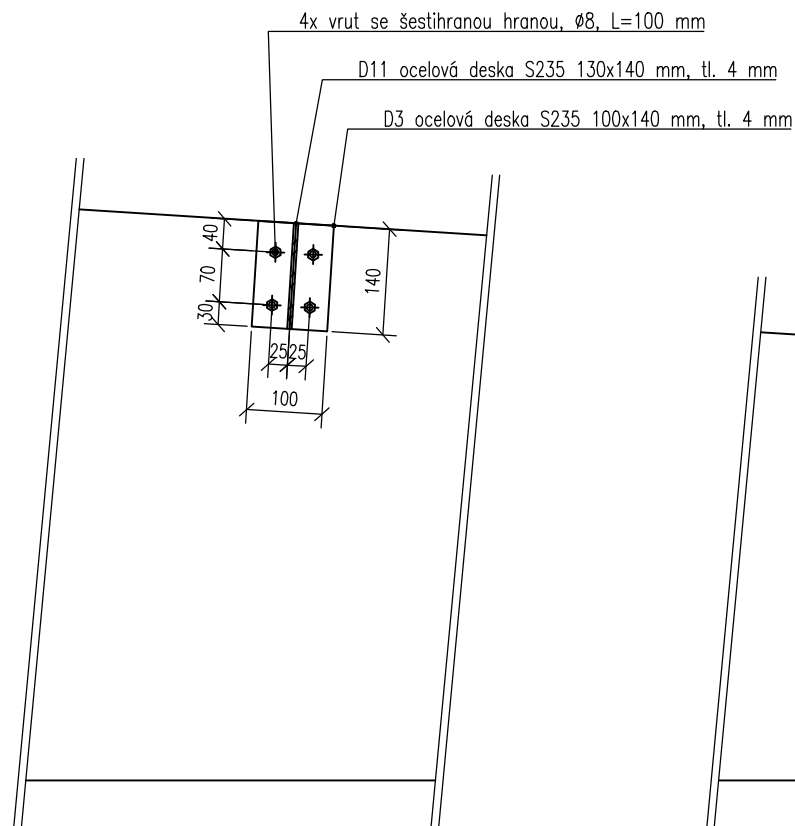


Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>	
Zpracovala	Anežka Suchá		Datum	12.5.2018
Úloha	Reciproční konstrukce		Měřítko	1:100
Výkres č.1	Půdorys		Formát	A3

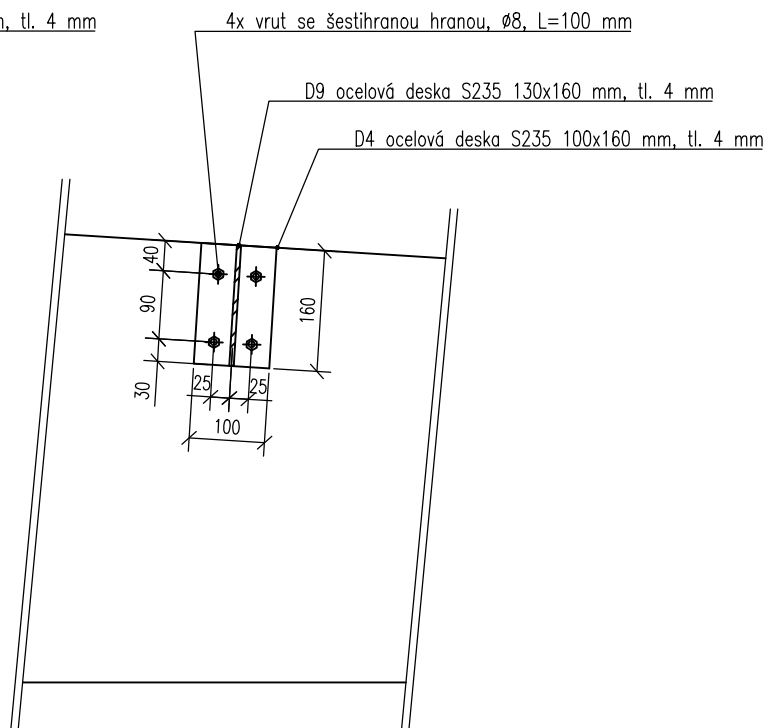
# ŘEZ A-A



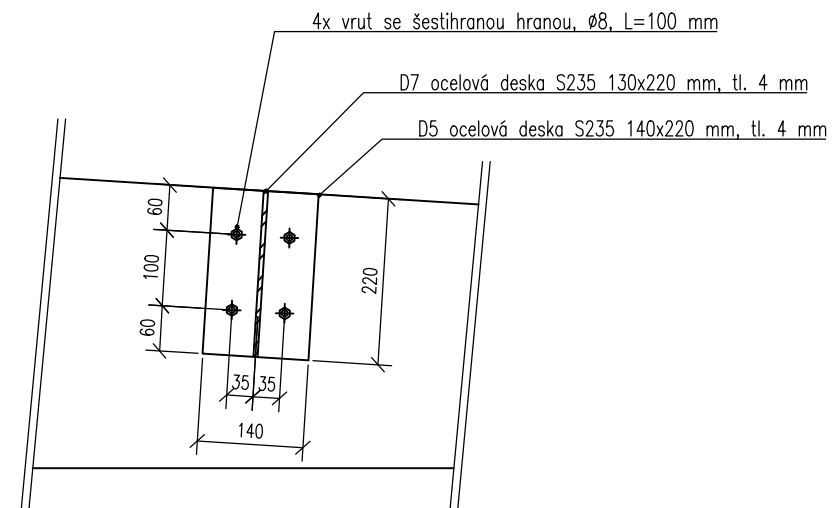
## DETAIL E





## DETAIL F



## DETAIL G

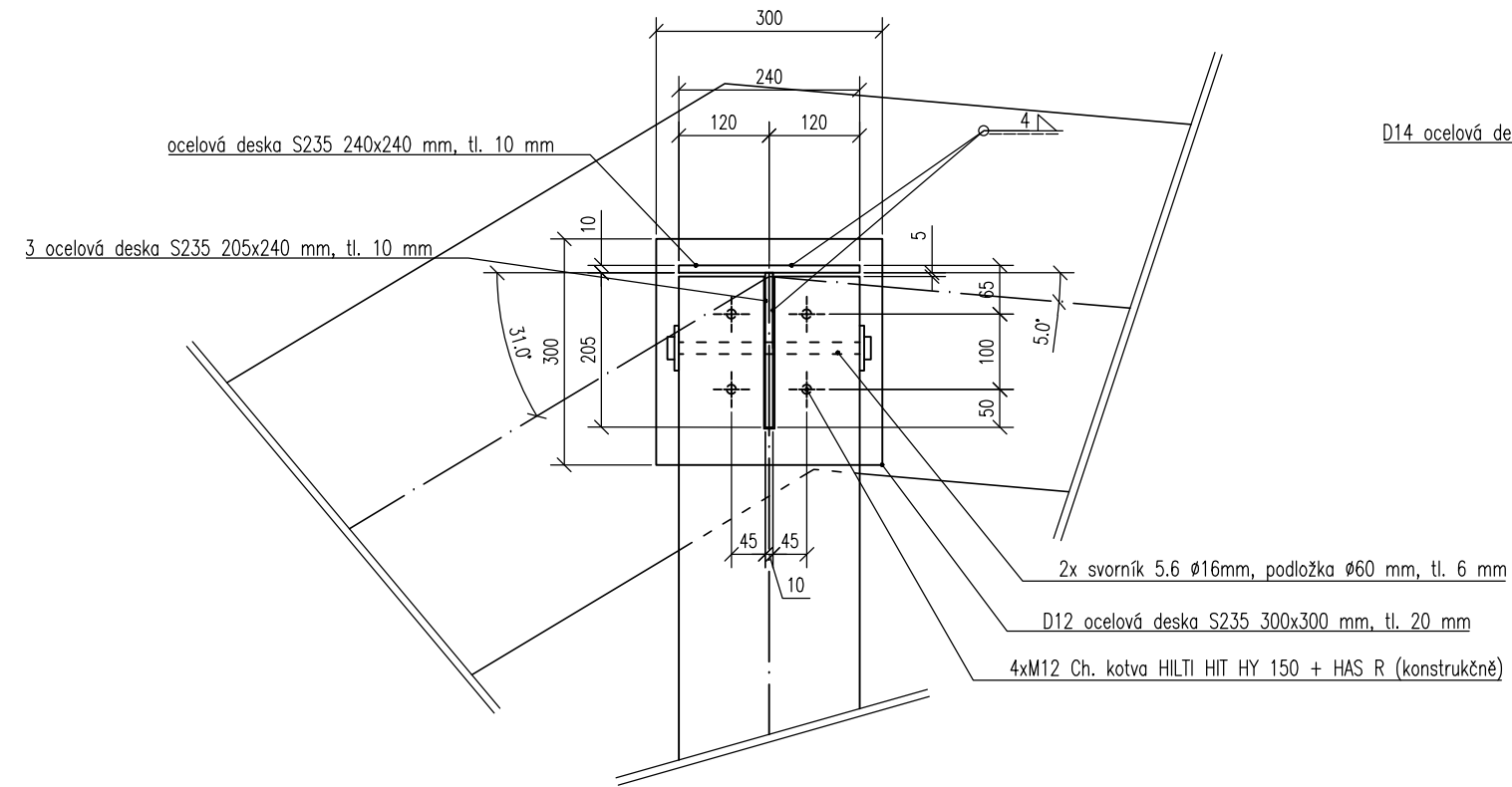


-  Lepené lamelové dřevo GL 24 h
-  Ocel S 235

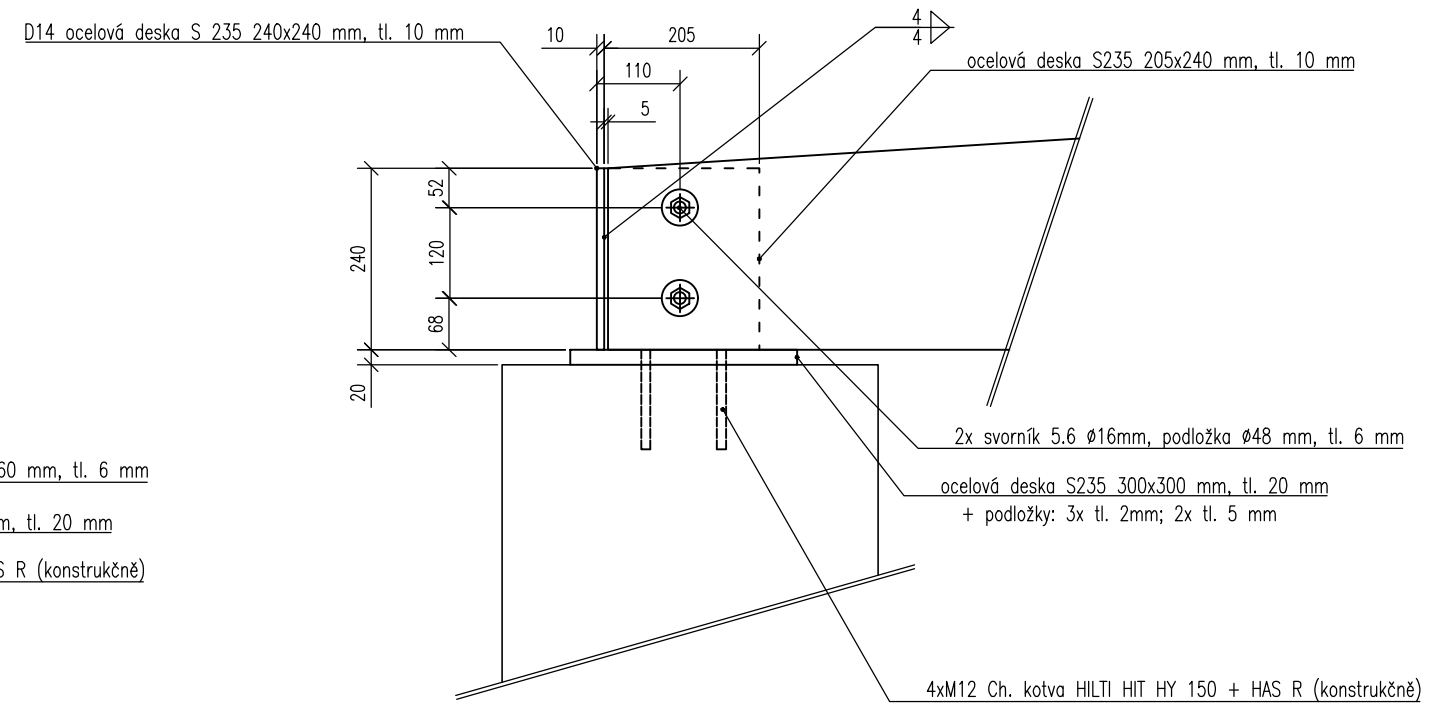
Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Zpracovala	Anežka Suchá		
Úloha	Reciproční konstrukce		Datum 12.5.2018
Výkres č.2	ŘEZ A-A, DETAILY E,F,G		Měřítko 1:30/1:10
			Formát A3

# DETAIL A

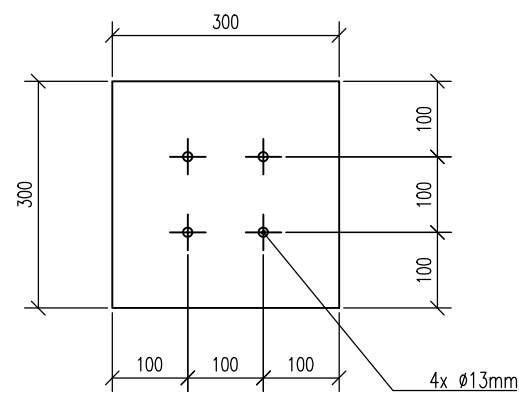
## PŮDORYS



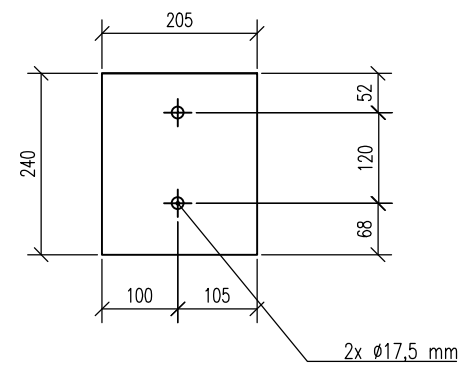
## POHLED ZLEVA



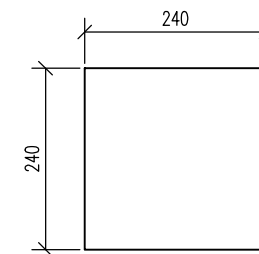
D12 ocelová deska S235 300x300 mm, tl. 20 mm



D13 ocelová deska S235 205x240 mm, tl. 10 mm



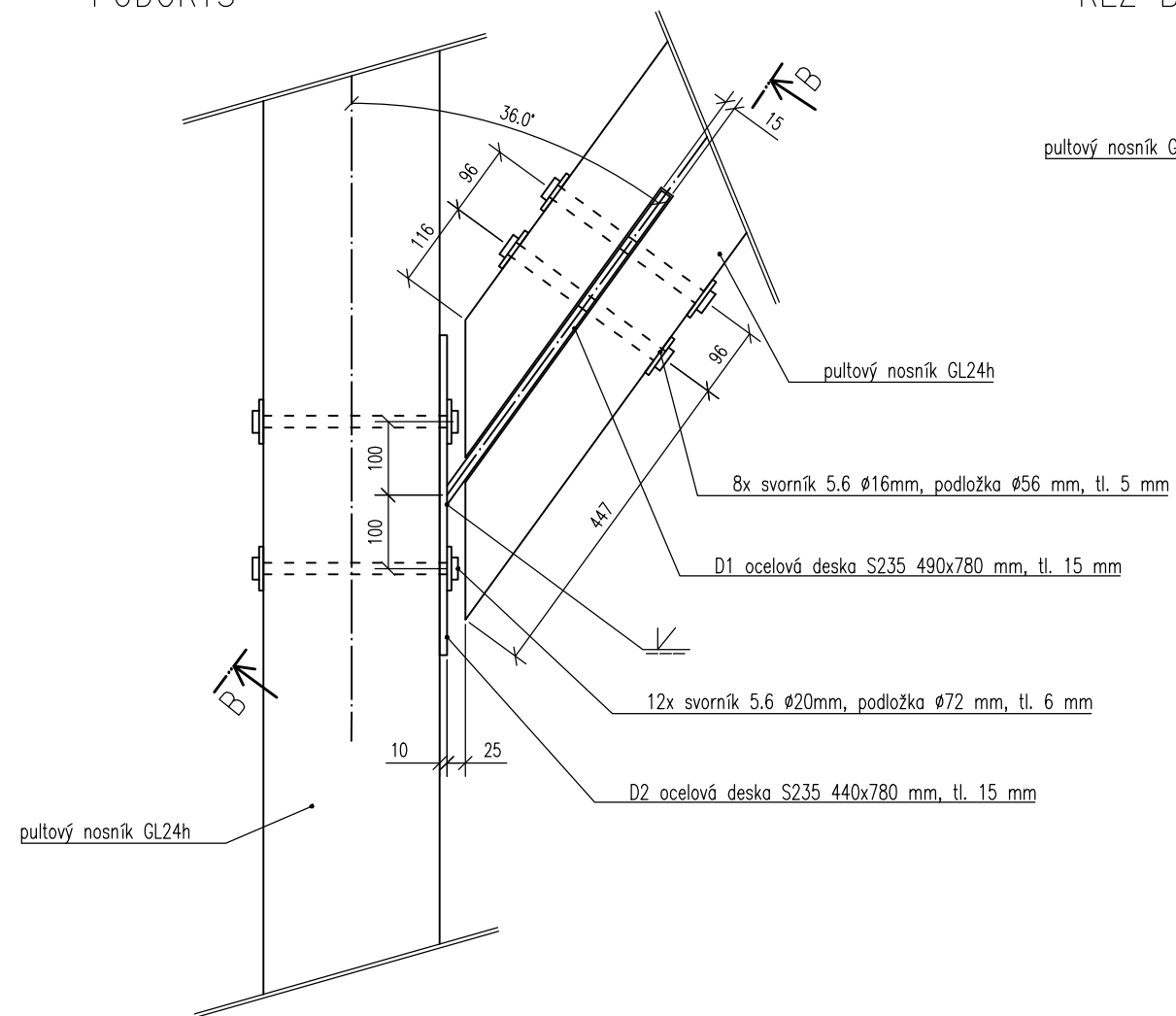
D13 ocelová deska S235 240x240 mm, tl. 10 mm



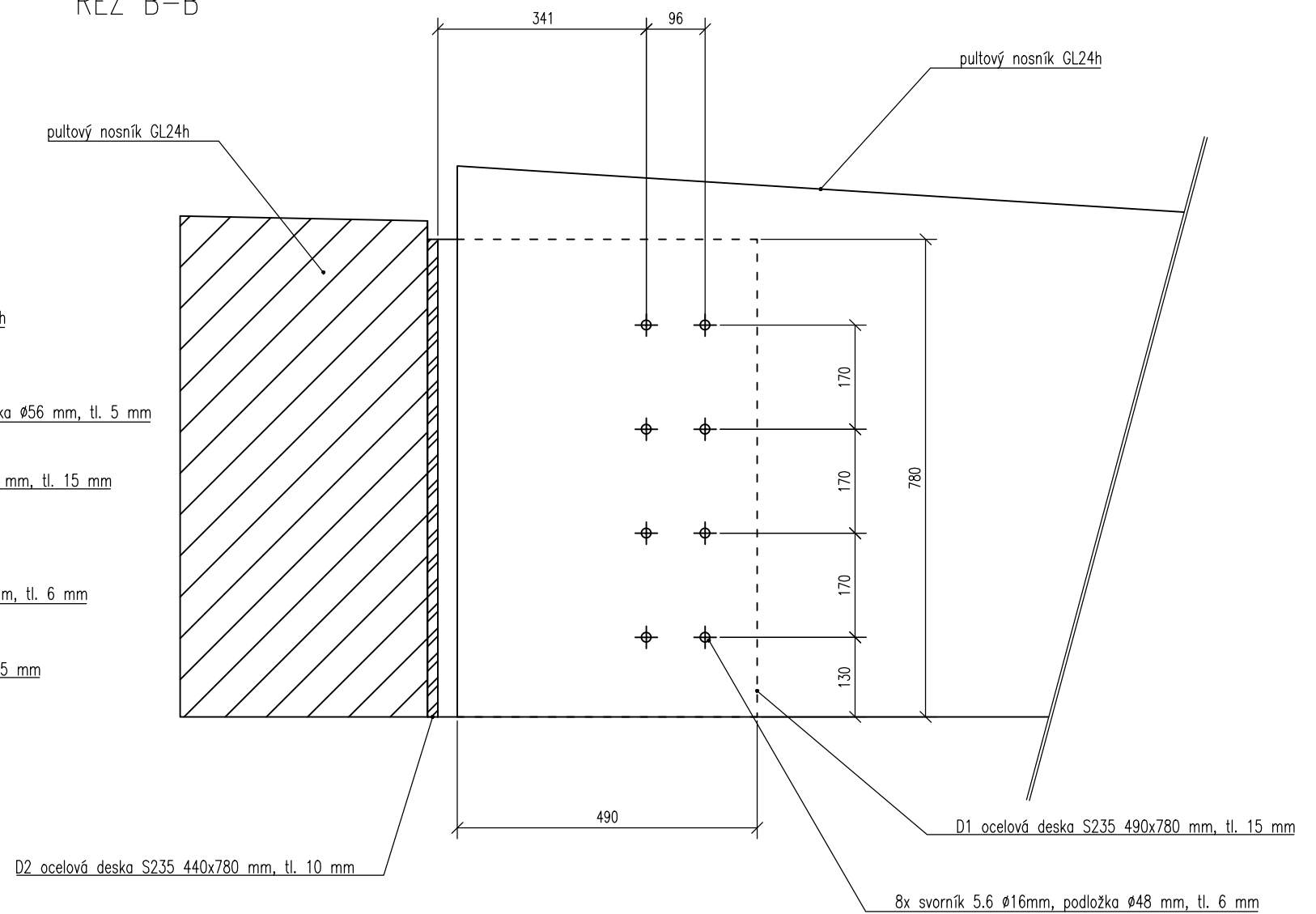
Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Zpracovala	Anežka Suchá		Datum 12.5.2018
Úloha	Reciproční konstrukce		Měřítko 1:10
Výkres č.3	DETAIL A		Formát A3

# DETAIL B

PŮDORYS

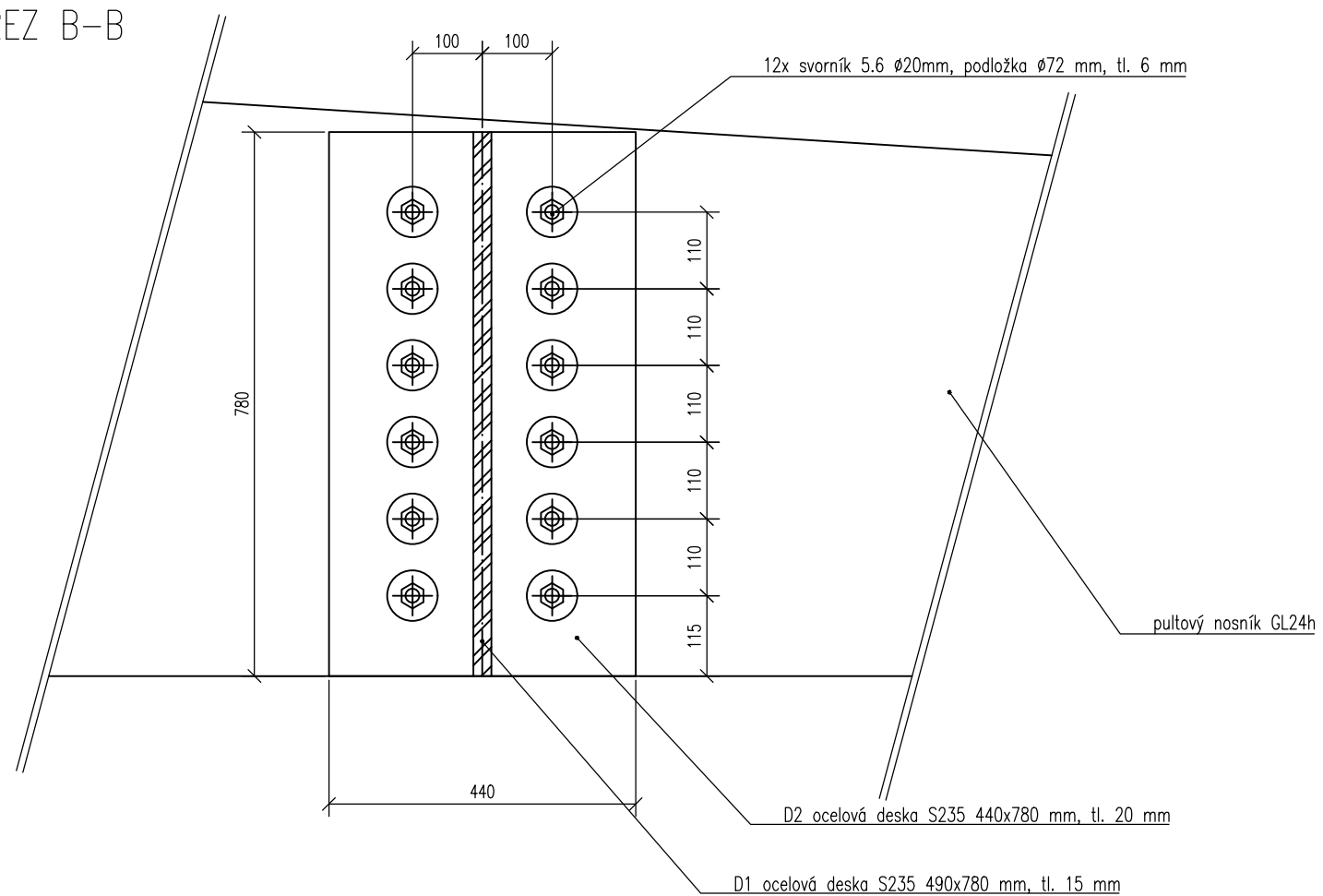


ŘEZ B-B



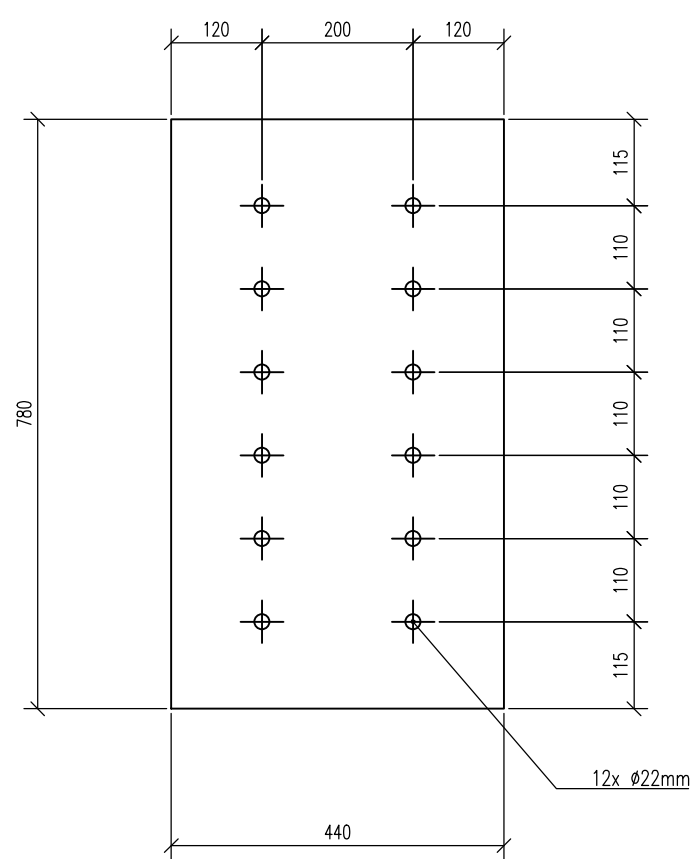
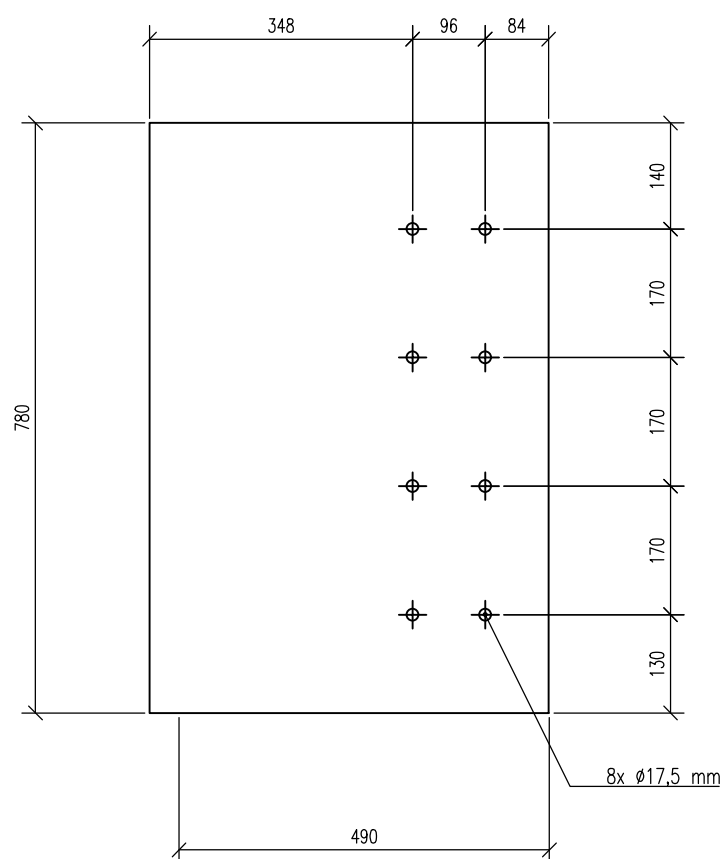
Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební ČVUT
Zpracovala	Anežka Suchá		
Úloha	Reciproční konstrukce		Datum 12.5.2018
Výkres č.4 DETAIL B			Měřítko 1:10
			Formát A3

ŘEZ B-B



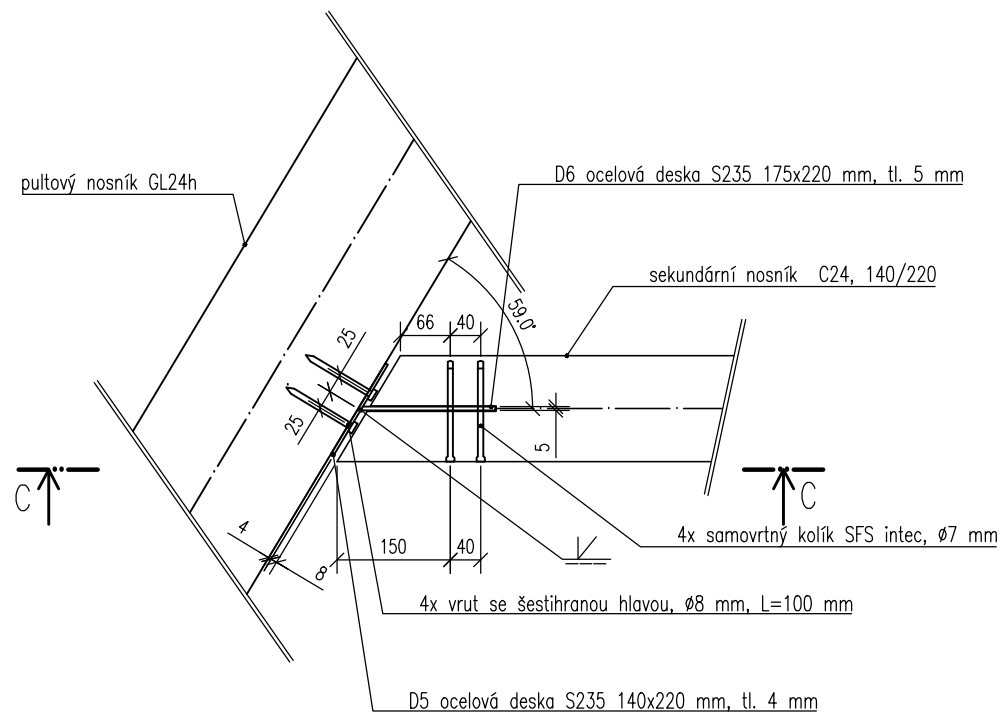
D1 ocelová deska S235 490x780 mm, tl. 15 mm

D2 ocelová deska S235 440x780 mm, tl. 10 mm

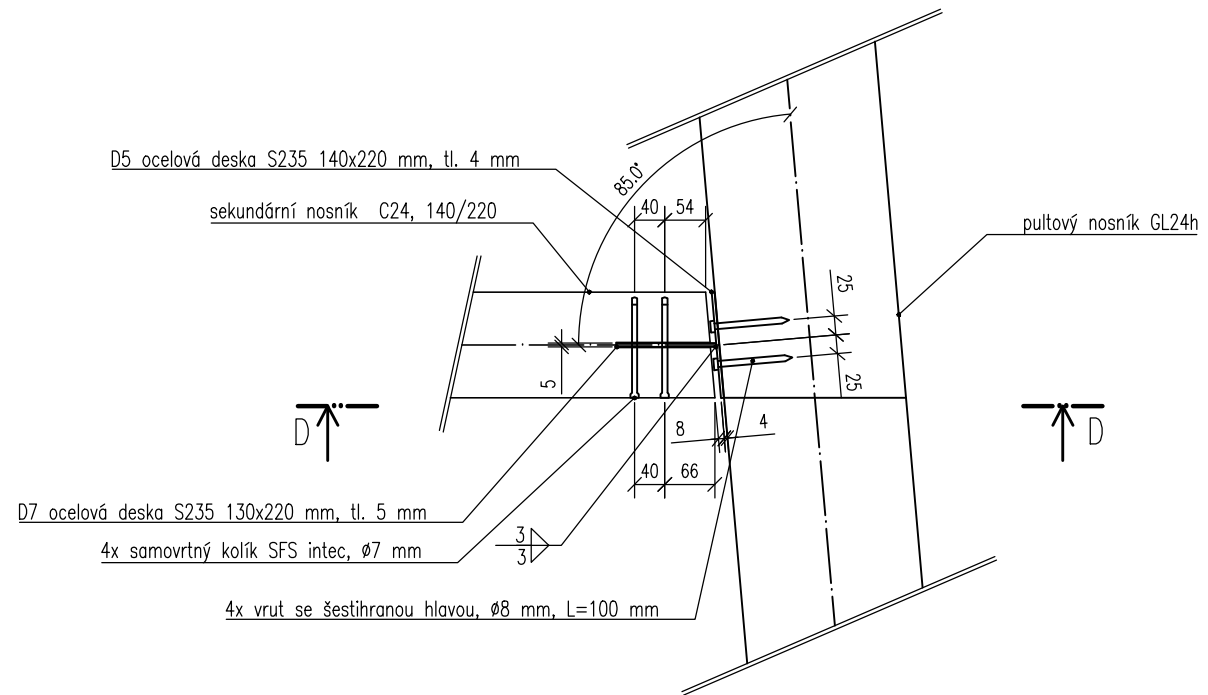


Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Zpracovala	Anežka Suchá		Datum 12.5.2018
Úloha	Reciproční konstrukce		Měřítko 1:10
Výkres č.5	DETAIL B, ŘEZ B-B, OCEL. DESKY		Formát A3

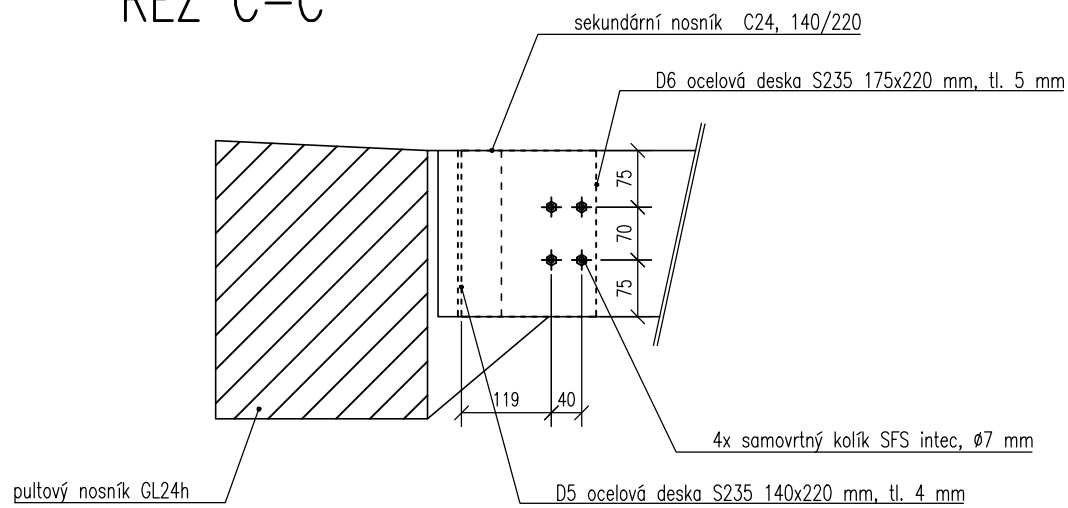
# DETAIL C



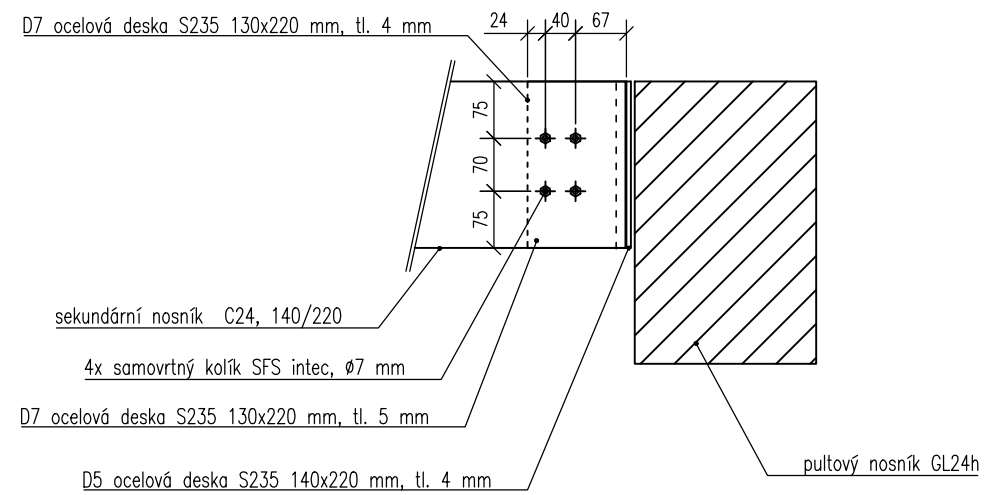
# DETAIL D





# ŘEZ C-C



# ŘEZ D-D



Přípoj sekundárních nosníků u průřezů 80/ 100 a 100/ 160 je řešen obdobným způsobem. K připojení postačí dva samovrtné kolíky SFS intec ve vzdálenosti min. 24 mm od sebe a 24 mm od nezatíženého konce. Použité ocelové desky viz výkres č. 7.

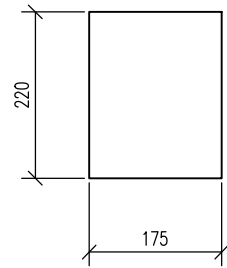
-  Lepené lamelové dřevo GL 24 h
-  Ocel S 235

Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Zpracovala	Anežka Suchá		
Úloha	Reciproční konstrukce		Datum 12.5.2018
Výkres č.6 DETAIL C,D			Měřítko 1:10
			Formát A3

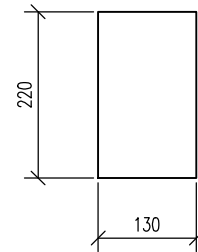


PRO SEKUNDÁRNÍ NOSNÍK 140/ 220:

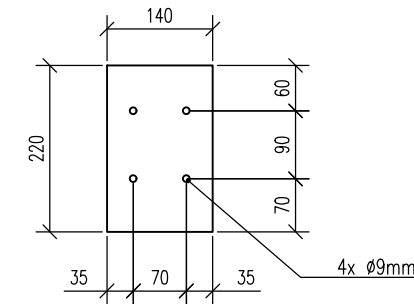
D6 ocelová deska S235 175x220 mm, tl. 5 mm



D7 ocelová deska S235 130x220 mm, tl. 4 mm

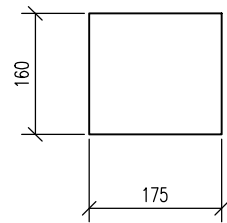


D5 ocelová deska S235 140x220 mm, tl. 4 mm

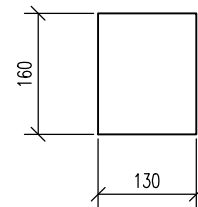


PRO SEKUNDÁRNÍ NOSNÍK 100/ 160:

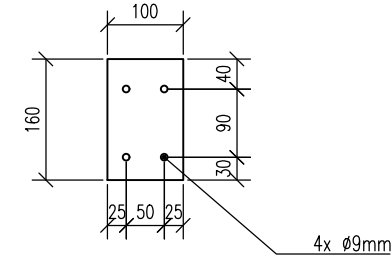
D8 ocelová deska S235 175x160 mm, tl. 5 mm



D9 ocelová deska S235 130x160 mm, tl. 4 mm

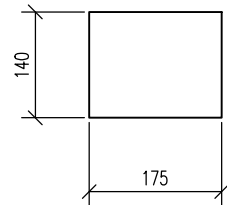


D4 ocelová deska S235 100x160 mm, tl. 4 mm

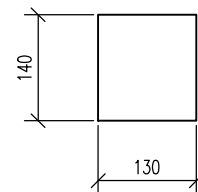


PRO SEKUNDÁRNÍ NOSNÍK 80/ 100:

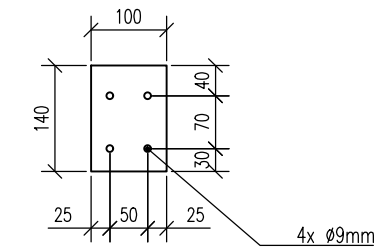
D10 ocelová deska S235 140x175 mm, tl. 5 mm




D11 ocelová deska S235 130x140 mm, tl. 4 mm



D3 ocelová deska S235 100x140 mm, tl. 4 mm



Předmět BP	Konzultant Ing. Karel Mikeš, Ph.D.	Školní rok 2017/18	Fakulta stavební ČVUT 	
Zpracovala Anežka Suchá			Datum	12.5.2018
Úloha Reciproční konstrukce			Měřítko	1:10
Výkres č.7 OCELOVÉ DESKY			Formát	A3