

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Stavební inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Dřevěné konstrukce na velká rozpětí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

| | | |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Horák</u> | Jméno: <u>Vojtěch</u> | Osobní číslo: <u>486106</u> |
| Zadávací katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u> | | |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u> | | |
| Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u> | | |

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dřevěné konstrukce na velká rozpětí

Název bakalářské práce anglicky: Long Span Timber Structures

Pokyny pro vypracování:
Bakalářská práce bude obsahovat esej.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kuklík: Dřevěné konstrukce, ČVUT Praha
- [2] http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [3] Časopisy stavebnictví
- [4] ČSN Online | Portál FSv ČVUT (cvut.cz)

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Anna Kuklíková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 14.02.2022

Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.05.2022

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

[Redacted signature area]

[Redacted signature area]

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 nutně 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“.

14.02.2022
Datum převzetí zadání

[Redacted signature area]
Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně za odborného vedení vedoucí Ing. Anny Kuklíkové, Ph.D. a využíval jsem jen uvedenou literaturu a webové stránky.

Poděkování

Chtěl bych velmi poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Anně Kuklíkové, Ph.D. za odborné konzultace, poskytnuté exkurze a tipy a rady při psaní bakalářské práce.

Anotace

Má bakalářská práce je zaměřena na použití dřevěných materiálů na konstrukce na velké rozpětí. Tyto konstrukce jsou používány převážně na halové stavby, těmi jsou například sportovní či průmyslové haly, sklady nebo stavby pro kulturu, jako jsou divadla, galerie či kostely. Za konstrukce na velké rozpětí považuji konstrukce, které mají rozpětí větší než 10 metrů.

V bakalářské práci se zabývám průmyslově vyráběnými materiály na bázi dřeva, které mají lepší vlastnosti a jsou vhodné pro konstrukce na velká rozpětí. Dále popisují typy konstrukčních systémů a uvádím příklady realizovaných staveb.

Klíčová slova: dřevo, dřevěné konstrukce, lepené lamelové dřevo, rovinné dřevěné konstrukce, prostorové konstrukce, Kombinované konstrukce

Annotation

My bachelor thesis is focused on usage of timber kind of materials on large span constructions. Those constructions are mainly used on hall buildings, like sport or industrial halls, warehouses or buildings used for culture like theatres, galleries or churches. Large span constructions are meant those constructions, which have span of 10 meters or more.

In the bachelor thesis I write about industrially made wood-based materials, that have better properties to deal with large span and are suited for large span constructions. Next I write about types of construction systems and showing some examples of finished buildings.

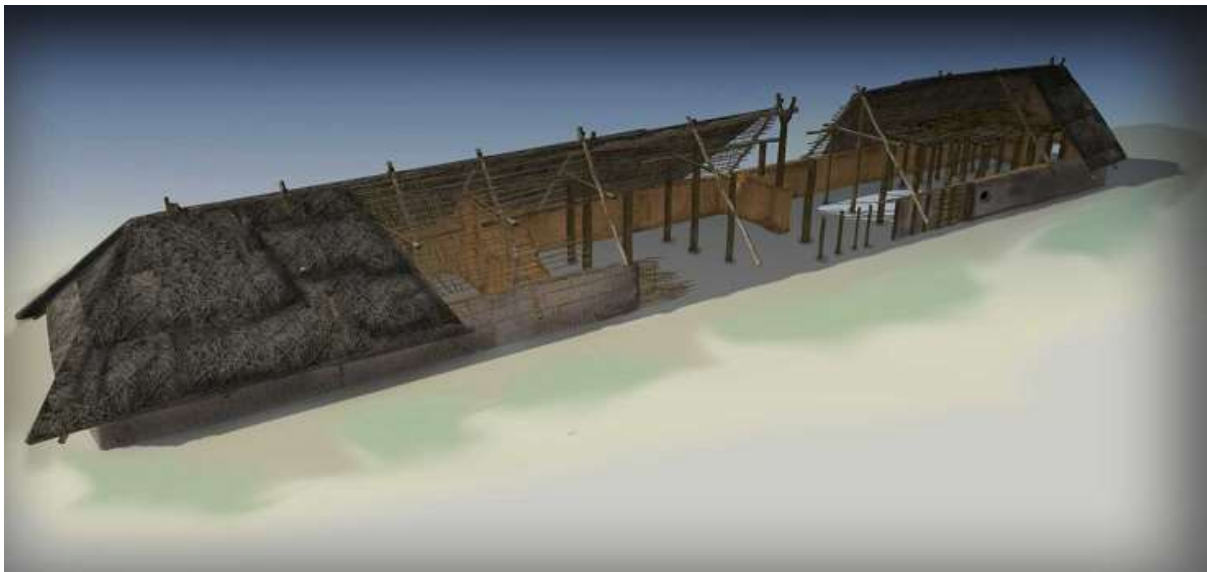
Key words: wood, timber, timber structures, glue laminated wood, planar timber constructions, spatial constructions, combined constructions

Obsah

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1 Historie dřevěných konstrukcí | 6 |
| 1.1 Lepené lamelové dřevo | 9 |
| 1.2 Vrstvené dřevo | 12 |
| 1.3 Parallam | 12 |
| 1.4 Intrallam | 13 |
| 2 Dřevěné nosníky..... | 13 |
| 2.1 Plnostěnný vazník | 14 |
| 2.1.1 Stromlo leisure centre | 15 |
| 2.2 Obloukové konstrukce | 16 |
| 2.2.1 Richmond Olympic Oval | 17 |
| 2.2.2 Mactan Cebu international airport | 22 |
| 2.3 Příhradové vazníky | 24 |
| 3 Spoje dřevěných konstrukcí na velká rozpětí | 26 |
| 3.1 Spoje s deskami s prolisovanými trny | 27 |
| 3.2 Výroba desek s prolisovanými trny | 28 |
| 3.3 Systém MKD | 29 |
| 3.4 Systém GREIM BAU | 30 |
| 3.5 Kolíkové spoje | 31 |
| 4 Prostorové konstrukce | 32 |
| 4.1 Plnostěnné prostorové konstrukce | 32 |
| 4.2 Příhradové konstrukce prostorové | 32 |
| 4.3 Lomenicové konstrukce | 33 |
| 4.4 Konstrukce skořepinové | 33 |
| 4.4.1 Superior Dome | 34 |
| 5 Speciální konstrukční systémy | 36 |
| 5.1 Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie | 36 |
| 6 Kombinace dřevěných konstrukcí s dalšími materiály..... | 38 |
| 6.1 Dřevěné + betonové konstrukce | 38 |
| 6.2 Dřevěné + ocelové konstrukce | 40 |
| 6.3 Dřevěné konstrukce + sklo | 43 |
| 7 Závěr | 45 |

1 Historie dřevěných konstrukcí

První zmínky o dřevěných stavbách pocházejí z období neolitu, kdy je začali stavět první zemědělci. Museli přečkat na jednom místě, než vyrostou plodiny. Základní konstrukce byla tvořena řadami po pěti zahloubených kůlů. Tři vnitřní kůly podíraly středové a vrcholové vaznice, vnější pak konce vaznic. Domy byly vcelku pevné, přibližně s 20letou životností. Největším problémem zemědělců byla neznalost spojů (neuměli spojit 3 prvky) a ztužení konstrukce [1].



Obrázek 1- Dlouhý dům [3]

První lidé, kteří používali dřevo na zastřešení, byli Sumerové, Egypťané a Řekové. Stavitelé používali dřevěné trámy (tzv. trámové rošty), které fungovaly na principu prostého nosníku, a dosahovaly tak rozpětí až 15 metrů. Římský stavitelé začali budovat z dřevěných trámů a trámových roštů trojúhelníková jednoduchá nebo vícenásobná věšadla, kterými zastřešovali střechy bazilik v rozpětí do 30 metrů [1].

V románském období krovy začaly tvořit krokevní soustavy. V rané gotice přibylo ztužení ondřejskými kříži. V pozdějších gotických a barokních krovech jsou hambálky vynášeny vaznicemi, které jsou v plných vazbách podepřeny vzpěradlovou nebo věšadlovou konstrukcí. Až do 19. století zůstala věšadla jediným konstrukčním systémem na velké rozpětí [1].

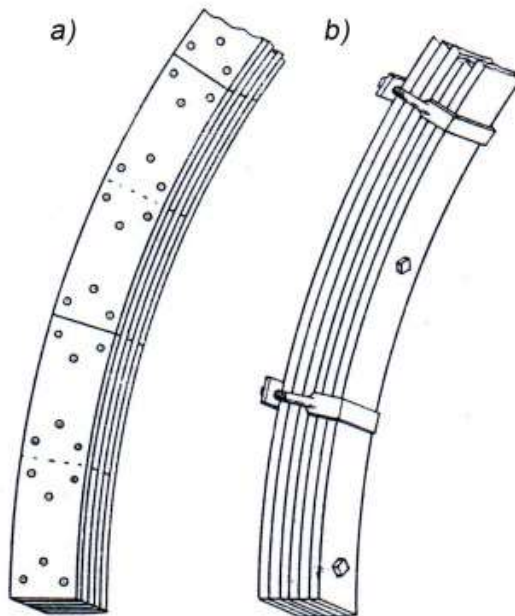
Na konci 18. století bylo pomocí strojní výroby umožněno lepší a rychlejší opracovávání dřeva. Vznik pilařských závodů způsobil pokrok na stavbách, vedle trámových konstrukcí se začaly používat i konstrukce z prken a fošen spojované hřebíky, hmoždíky či

svorníky. Začalo se používat i deskové řezivo, z kterého se vyráběly plnostěnné a příhradové nosníky a rámy [1].

Zároveň se začaly hledat nové typy a tvary dřevěných konstrukčních soustav pro halové stavby, zejména obloukové, jako například Ardantova, de l'Ormeho a Emyho. Oblouky spojené z několika vrstev dlouhých prken, které jsou:

- a) spojeny hřebíky, svorníky nebo dubovými kolíky.
- b) staženy ocelovými objímkami [1].

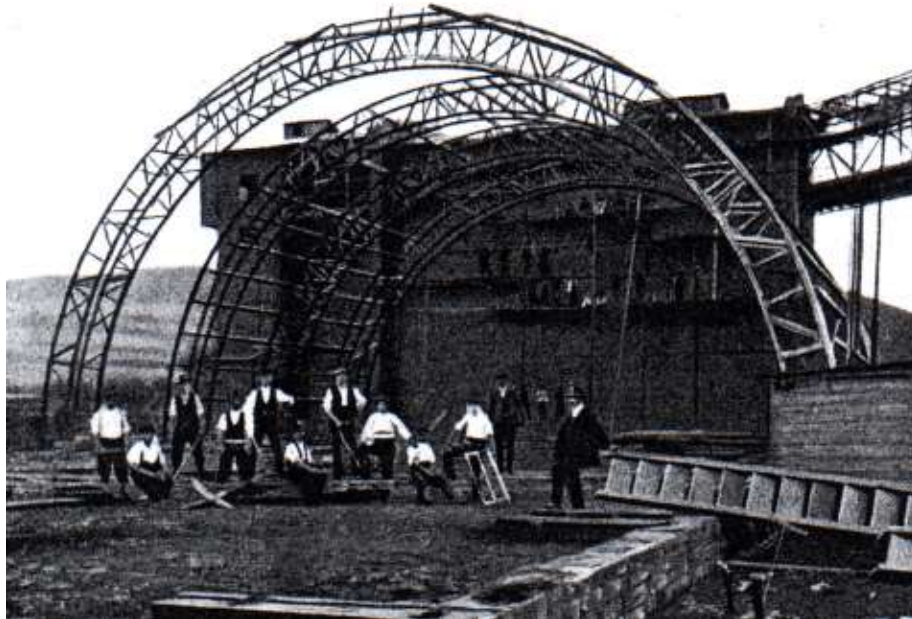
V druhé polovině 19. století byly dřevěné konstrukce vytlačeny ocelovými konstrukcemi. Dřevo se začalo vracet v počátku 20. století, kdy vznikly nové konstrukční soustavy, jako například Stephanova, Meltzerova, Tuchschererova a Noakova. Všechny tyto systémy patří do skupiny rovinných konstrukcí, které se používají spolu s vaznicemi a ztužujícími prostorovými prvky [1].



Obrázek 2- a) De l'Ormeho, b) Emyho [1]

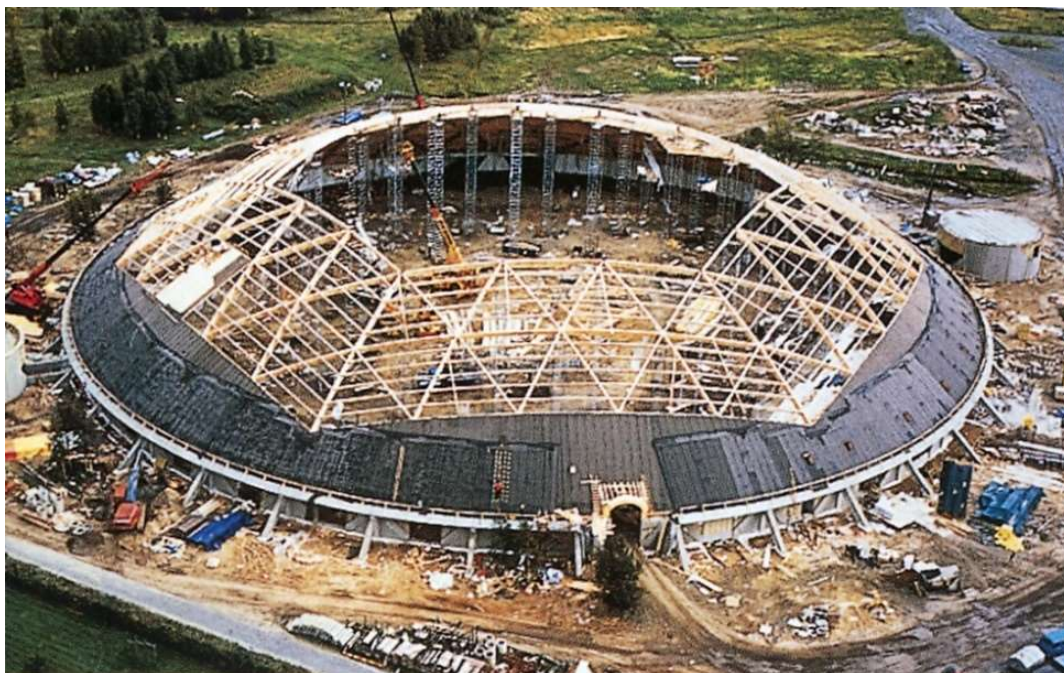


Obrázek 3- Střešní konstrukce Stephanovy soustavy [1]



Obrázek 4- Konstrukce Meltzerovy soustavy [1]

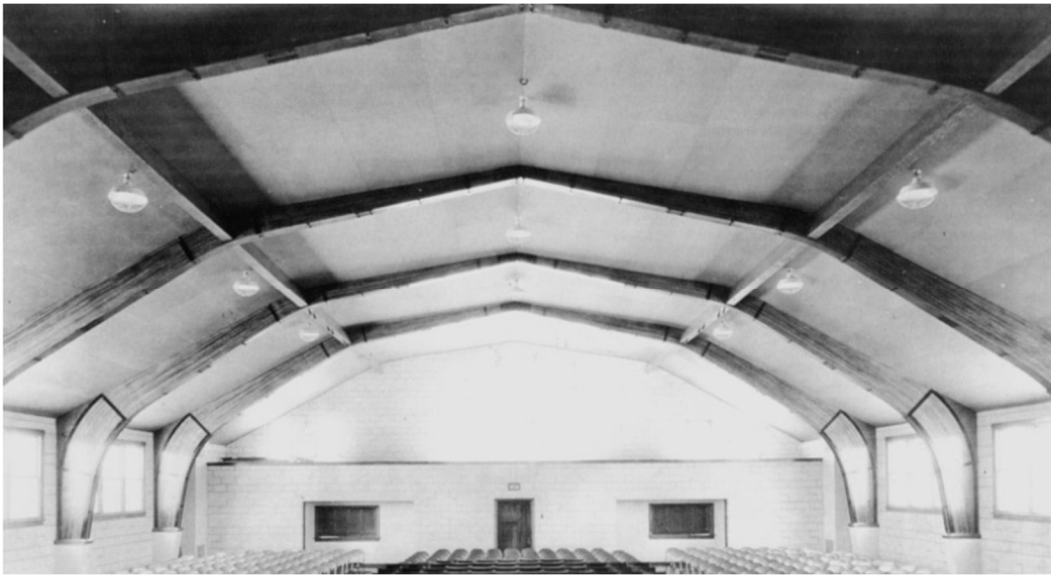
V průběhu 2. světové války byla vyvinuta technologie lepeného lamelového dřeva. Tato technologie našla nejprve uplatnění při výrobě koster transportních lodí, po válce pak ve stavebnictví. V Česku bylo zrealizováno mnoho konstrukcí halových staveb. V 70. letech začínají být realizovány mnohem odvážnější velkorozponové konstrukce, jakými byly např. prostorové sítě. V 80. letech se na velkorozponové konstrukce začalo používat vrstvené dřevo, např. zastřešení sportovní haly ve finském Oulu. V dnešní době se konstrukce ze dřeva často navrhují na principu spolupůsobení dřeva s dalšími materiály [1].



Obrázek 5- Zastřešení haly dvouvrstvým dřevem [5]

1.1 Lepené lamelové dřevo

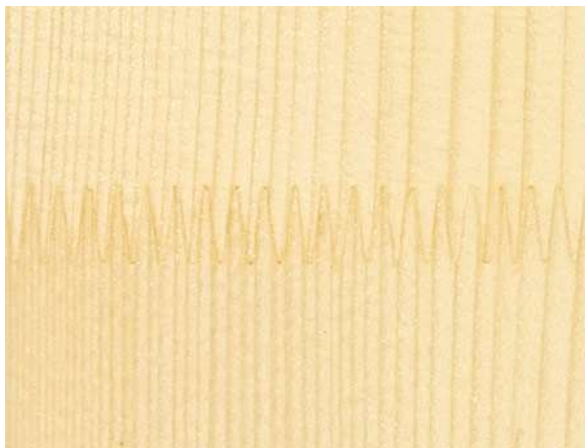
Lepené konstrukce byly používány několik století, avšak myšlenka lepeného lamelového dřeva přišla až z počátku 20. století, kdy německý tesař Otto Hetzer získal patent na zakřivené lepené prvky složené z více lamel. Pomocí této techniky se pak mohly vyrábět větší průřezy a delší prvky, proto se daly vyrábět větší konstrukce [1][8][9]. V roce 1934 dorazila technologie i do Severní Ameriky, když Max Hanisch st. získal zakázku na stavbu školy, kam začlenil tělocvičnu z lepeného vrstveného oblouku ve stylu Hetzera [4].



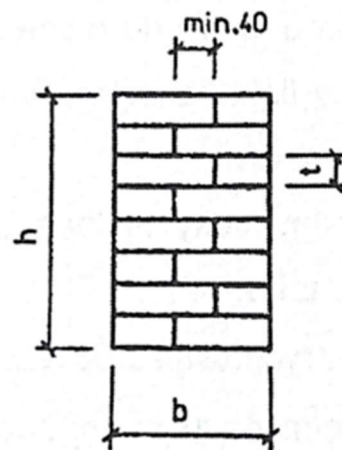
Obrázek 6- Školní tělocvična v Pesthigu [4]

V roce 1942 nastal v průmyslu lepeného lamelového dřeva významný pokrok, bylo zavedeno plně voděodolné fenol – resorcinolové lepidlo [9]. To umožnilo použití lepeného lamelového dřeva ve vnějším prostředí bez obav z degradace lepicí linky. V Česku se LLP vyrábí od roku 1952 [1].

Lepené lamelové dřevo se vyrábí z deskových lamel, lamely musí být vysušeny na předepsanou pevnost 8–15 %, do kterých se vyfrézuje zubovitý spoj, na spoj se nanese lepidlo a spoj je držen pod tlakem v lisu alespoň 2 vteřiny. Připravená lamela zůstane dalších 8 hodin bez opracování. Poté, co spoj nabude potřebnou pevnost, je lamela ohoblována. Lamela musí být ohoblována kvůli nerovnostem v zubovitém spoji a hladké ploše na lepení. Následně se na připravené lamely nanese lepidlo. Lepí se k sobě při maximální vlhkosti dřeva 15 %. Slepěné lamely se opět lisují po dobu přibližně šesti hodin (rozhodují vlastnosti lepidla). Poté je celkový výrobek opět ohoblován a jsou provedeny koncové úpravy [7] [11].

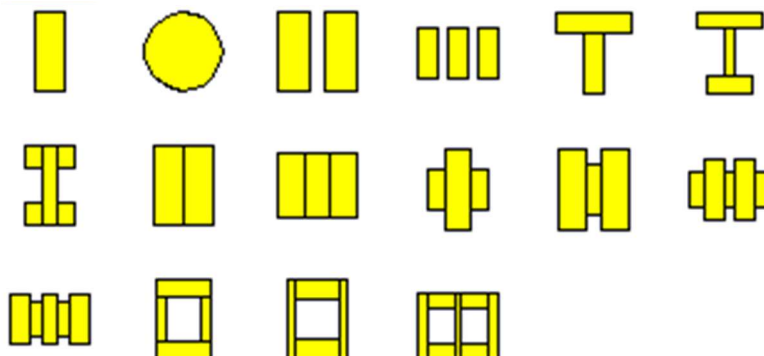


Obrázek 7- Zubový (cinkový) spoj [10]



Obrázek 8- Vrstvení lepených lamel [1]

Vedle přímých prvků můžeme díky technologii výroby vytvářet i zakřivené prvky. Jednotlivé lamely je ovšem nutné tvarovat před lepením. Nejčastější jsou samozřejmě obdélníkové průřezy do výšky 2,5 m. Ostatní tvary jako U, T, I průřezy nebo kruhový průřez jsou méně časté, nikoliv však vyloučené.

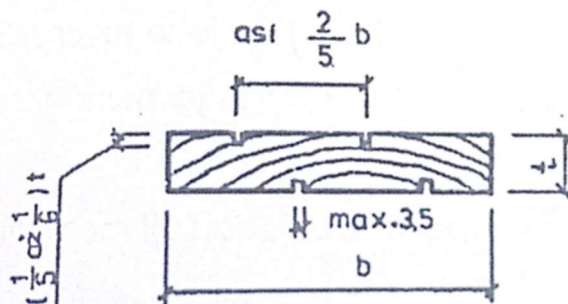


Obrázek 9- Varianty průřezů lepeného lamelového dřeva [SCIA engineer]

Prvky mají skvělou požární odolnost, rychlost ohořívání je celkem malá, aniž by konstrukce ztratila pevnost, a proto je lepené lamelové dřevo oblíbené při výstavbě sportovních hal, výstavních pavilonů, stadionů a dalších. Jelikož má při malé objemové hmotnosti velkou pevnost, je oblíbené u staveb, kde prvky musí být přepraveny na delší vzdálenost. Lepené lamelové dřevo lze také vyztužit pomocí pásů s vlákny vysoké pevnosti. Vyztužení výrazně zvyšuje únosnost i ohybovou tuhost prvku. V současnosti se u nás vyrábějí prvky o maximálních rozměrech 35 m x 2 m x 0,24 m. U některých výrobců může dosahovat délka prvku až 50 m. Při spojení několika prvků a materiálů lze dosáhnout konstrukcí s rozponem přes 100 m. Většina výrobců limituje výrobu na maximální poloměr zakřivení $R_{\min} = 1,5$ m s výškou průřezu max. 2,5 m [1][6][11][53][58].

Konstrukce z lepeného lamelového dřeva jsou namáhány převážně ohybem. Zatížený lepený lamelový nosník má tendenci vracet se do původního stavu, proto dochází k porušení v nejslabším místě, kterým je většinou spoj, či místo lamely, kde se nachází suky. Proto je velmi důležitá kvalita provedení zubového spoje a výběr vysokojakostního dřeva. Pokud se zaměříme pouze na jednu z těchto kvalit, únosnost bude stejně určena slabším prvkem [53][58].

Kvůli vysychání dřeva musíme dodržovat konstrukční úpravy lepených prvků. U prvků širších než 200 mm musí být lamely opatřeny drážkami, nebo musí být použity místo jedno lamely dvě lamely vedle sebe. Při použití dvou lamel je nutné vystřídat styky v lamelových vrstvách vedle sebe, pak není nutné slepovat svislé styky vnitřních lamel.



Obrázek 10- Konstrukční úpravy lepených prvků [1]

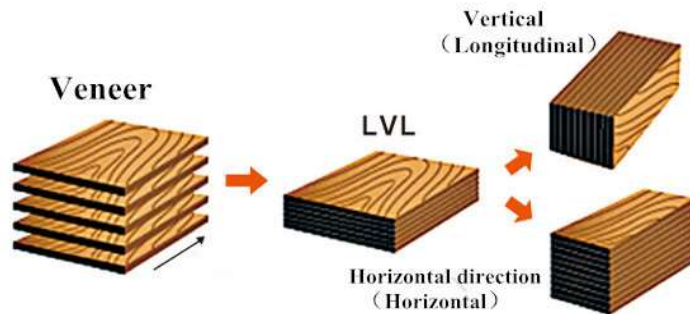
Díky lepení lamel a rozdělení suků po průřezu vzniká skoro homogenní materiál. Pevnost průřezu můžeme ovlivňovat kombinováním lamel o různých pevnostech, u ohýbaných nosníků je možné použít u krajních lamel vyšší pevnosti oproti středovým lamelám. Pro zvýšení únosnosti prvků můžeme přilepit i jiné materiály, jako například skleněná nebo uhlíková vlákna či ocel.

| Třídy pevnosti a charakteristické hodnoty pro lepené lamelové dřevo podle EN 14080 (Listopad 2013) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Kombinované lepené lamelové dřevo | | | | | | Homogenní lepené lamelové dřevo | | | | | | | |
| | | GL 20c | GL 22c | GL 24c | GL 26c | GL 28c | GL 30c | GL 32c | GL 20h | GL 22h | GL 24h | GL 26h | GL 28h | GL 30h | GL 32h |
| Pevnostní vlastnosti v [N/mm ²] = [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ohyb | $f_{m,g,k}$ | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 |
| Tah rovnoběžně s vlákny | $f_{t,0,g,k}$ | 15 | 16 | 17 | 19 | 19,5 | 20 | 20 | 16 | 17,6 | 19,2 | 20,8 | 22,4 | 24 | 25,6 |
| Tah kolmo k vláknům | $f_{t,90,g,k}$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | $f_{c,0,g,k}$ | 18,5 | 20 | 21,5 | 23,5 | 24 | 25 | 25 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 |
| Tlak kolmo k vláknům | $f_{c,90,g,k}$ | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Smyk | $f_{v,g,k}$ | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Valivý smyk | $f_{v,g,k}$ | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Tuhostní vlastnosti v [kN/mm ²] = [GPa] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vl. | $E_{0,g,mean}$ | 10,4 | 10,4 | 11 | 12 | 12,5 | 13 | 13,5 | 8,4 | 10,5 | 11,5 | 12 | 12,6 | 13,6 | 14,2 |
| 5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | $E_{0,g,05}$ | 8,6 | 8,6 | 9,1 | 10,0 | 10,4 | 10,8 | 11,2 | 7,0 | 8,8 | 9,6 | 10,1 | 10,5 | 11,3 | 11,8 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům | $E_{90,g,mean}$ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 5% kvantil modulu pružnosti kolmo k vláknům | $E_{90,g,05}$ | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku | $G_{g,mean}$ | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| 5% kvantil modulu pružnosti ve smyku | $G_{g,05}$ | 0,542 | 0,542 | 0,542 | 0,542 | 0,542 | 0,542 | 0,542 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 |
| Modul pružnosti ve valivém smyku | $G_{r,g,mean}$ | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,065 |
| 5% kvantil modulu pružnosti ve valivém smyku | $G_{r,g,05}$ | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 |
| Hustota v [kg/m ³] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hustota | $\rho_{g,k}$ | 355 | 355 | 365 | 385 | 390 | 390 | 400 | 340 | 370 | 385 | 405 | 425 | 430 | 440 |
| Průměrná hodnota hustoty | $\rho_{g,mean}$ | 390 | 390 | 400 | 420 | 430 | 430 | 440 | 370 | 410 | 420 | 445 | 460 | 480 | 490 |

Obrázek 11- Tabulka třídy pevností a charakteristické hodnoty pro lepené lamelové dřevo podle EN 14080 [59]

1.2 Vrstvené dřevo

K prvnímu použití vrstveného dřeva došlo v 60. letech 20. století v USA, jednalo se o výrobek zvaný Press-Lam. V roce 1972 americká firma Truss joist company začíná s první průmyslovou výrobou vrstveného dřeva (laminated veneer lumber – LVL). V Evropě začalo Finsko v roce 1978 s výrobou vrstveného dřeva pod označením KERTO. K výrobě vrstveného dřeva se používají smrkové dýhy, které se zalisují na tloušťku 3 mm. Pak se skládají podélně za sebou s krátkými překrytími, a to v několika vrstvách, a zalisují se. Vzniknou tak prvky o délce 26 m, šířce 1,8 m a tloušťce mezi 21–75 mm. Tyto prvky se pak mohou rozřezat na menší rozměry podélně i příčně [1][5].



Obrázek 12- Lepené vrstvené dřevo [12]

1.3 Parallam

Je speciální případ vrstveného dřeva, který byl vyvinut v 80. letech v Kanadě. Na výrobu se používá převážně řezivo s větší pevností, jako například jedlovec, borovice, douglaska nebo topol. Kmen se zbaví kůry, naloží se do horké vody, kde se máčí po dobu 24 hodin. Listy dýh jsou po vysušení rozstříhány na pásy o tloušťce 3 mm, výšce 13 mm a délce až 2,4 metru. Na pásy se poté nanese lepidlo a vytvoří se dlouhý pás o požadované tloušťce. Ten se pak zalisuje v kontinuálním lisu a vytvrdí pomocí mikrovlnného ohřevu. Vyrobený „nekonečný“ nosník se poté nařeže na požadovaný rozměr. Prvky dosahují rozměrů o výšce 500 mm, šířce 300 mm a délce až 20 metrů. Pomocí této techniky lze vyrábět prvky, které jsou skoro rovnocenné železobetonu.



Obrázek 13- Parallam „nosník“ [60]

Pevnost v ohybu je víceméně stejná jako u vrstveného dřeva, avšak pevnost v tlaku a smyku je vyšší. Jelikož vznikne masivní prvek, přirozeně odolává ohni, pouze zuhelnatí, má proto i vysokou požární odolnost a je vhodný pro všechny typy pozemních staveb, jako jsou nosníky, sloupy, překlady a mnoho dalších [15][16][17][54].

1.4 Intrallam

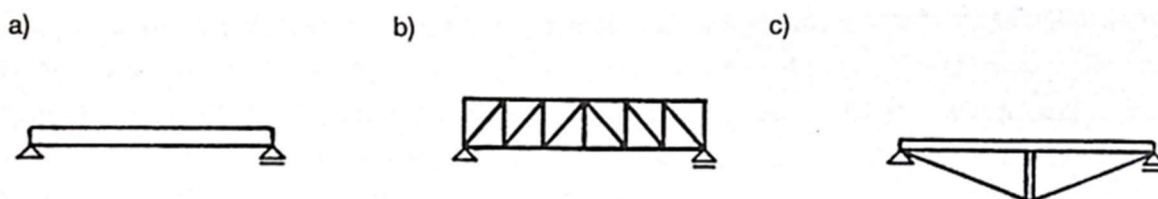
Toto je další speciální typ vrstveného dřeva, vymyšleného v Severní Americe. Liší se tím, že místo dýhových pásků se na výrobu používají třísky o délce až 300 mm, výšce 25-40 mm a tloušťce 1 mm. Třísky jsou natřeny lepidlem a slepeny v paralelním směru, aby dřevěnému prvku zůstaly pevnostní vlastnosti. Pak jsou velkoplošné dílce slisovány, obroušeny a nařezány na jednotlivé části. Intrallam má deskový charakter a jeho pevnost v ohybu je porovnatelná s lepeným lamelovým dřevem. Opět vzniká masivní prvek, proto má vysokou únosnost a požární odolnost. Dá se použít na trámy a sloupy pro střední rozpětí nebo u portálových či obloukových střech [18][54].



Obrázek 14- Nosník z Intrallam LSL [54]

2 Dřevěné nosníky

Nosník je nejjednodušší a nejpoužívanější typ dřevěné rovinné konstrukce. Je to horizontální nosný konstrukční prvek, který je uložen na vertikální nosné konstrukce, jako jsou stěny nebo sloupy. Ze statického hlediska je dělíme na prosté, spojitě a lomené. Z konstrukčního hlediska zase na plnostěnné, příhradové nebo speciální [1].



Obrázek 15- Nosníky z konstrukčního hlediska: a) plnostěnný b) příhradový c) speciální [1]

Prostorová stabilita nosné konstrukce je pak zajištěna ztužidly. Musíme řešit ztužení příčného i podélného směru. V podélném je nosník vždy uložen kloubově, a tudíž je nutné ztužení v podélném směru. Ztužení v příčném směru řešíme vetknutím sloupů nebo ztužením v příčném směru. [1]

2.1 Plnostěnný vazník

Nejčastěji se používá jako nosník, který je uložený na dvou nosných konstrukcích (na stěnách nebo sloupech). Vazník je řešen jako dvoukloubová nebo trojkloubová konstrukce. Když průřez vazníku nabude kvůli velkému rozpětí příliš velké výšky, je hospodárnější zvolit nosník, aby příčné síly nebo ohybové momenty kopírovaly tvar nosníku. Vznikají tak nosníky s proměnným průřezem po svojí délce, nejčastěji sedlový nosník, který je symetricky zvětšovaný s největší výškou průřezu uprostřed rozpětí. Existují i nesymetrické nosníky, jako například pultový nosník. Tyto konstrukce mohou být použity na rozpětí až 40 metrů. Vyrábí se z lepeného lamelového dřeva, díky kterému jsou pak jednoduše upravovány buď z funkčních, nebo z různých estetických důvodů. U plochých střech, hal nebo např. tribun se předpokládá, že jedna strana budovy je bez sloupů a pak je lepené lamelové dřevo použito jako polorámová konstrukce. [1]

Trojkloubové konstrukce jsou běžně vyráběny z lepeného lamelového dřeva. Používá se tehdy, když na rozpětí nestačí prostý nebo příhradový nosník. Je vhodná pro rozpětí 15–40 metrů, při větším rozpětí nad 50 metrů je konstrukce ztužena táhly a vzpěrami. Konstrukce se většinou skládá ze dvou nosníků, které jsou ve vrcholu spojeny kloubem. Průřezy nosníků mohou mít konstantní nebo proměnnou výšku. Konstrukce může být sešroubována s nohami (stěny nebo sloupy) nebo může být rovnou položena na základovou konstrukci.

Rámové konstrukce používáme u objektů, kde jsou požadavky na světlost výšku v rámci celého příčného řezu. Téměř vždycky jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva. Většinou se jedná o symetrickou konstrukci, kde se mění pouze výška průřezu. Rámové konstrukce mohou mít mnoho tvarů, jako například rám s táhly, rám se sešroubovanými nohami, rám se zakřivenými nohami a další. Tvar konstrukce je navrhován podle průběhu vnitřních sil, jednotlivé dílce se snaží průběh kopírovat. Tím se zajistí funkčnost a estetičnost konstrukce (nebudou vznikat praskliny ani příliš velké průhyby konstrukce). Požadavky tedy

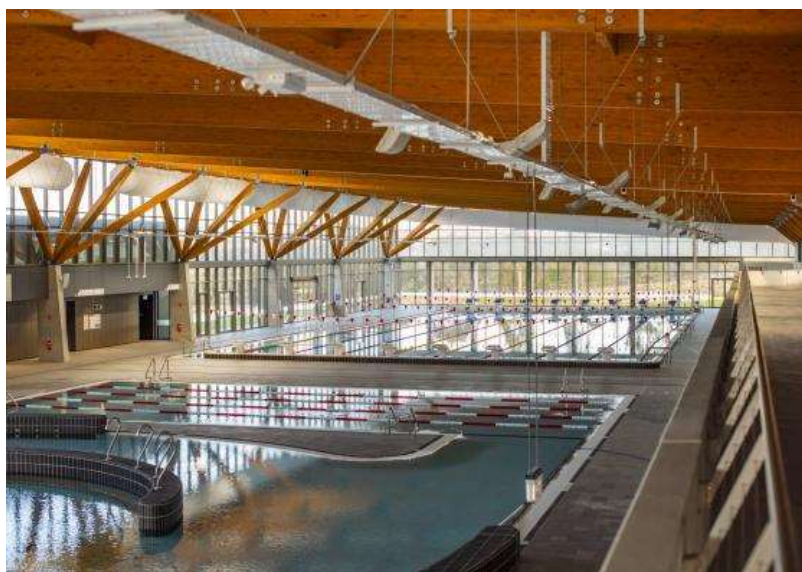
nejlépe splňují zakřivené rámové konstrukce nebo konstrukce vyztužené vzpěrami a táhly. Tyto konstrukce jsou vhodné pro rozpětí do 40 metrů. Pro konstrukce s větším rozpětím než 40 metrů musíme zřizovat v prvcích ocelové spoje. Prvky se na stavbu dovážejí po jednotlivých dílcích, a to většinou není výhodné.

2.1.1 Stromlo leisure centre



Obrázek 16- Středisko volného času ve Stromlu [34]

Zajímavý typ prostého nosníku můžeme najít v Austrálii, kde konstrukce zastřešuje plavecký areál. Konstrukce je tvořena 18 nosníky, které jsou speciálně vyrobené na přenesení maximálního rozpětí 47 metrů. Nosníky byly prefabrikovány v Itálii. Skládá se ze čtyř prvků z lepeného lamelového dřeva, které jsou spojené ocelovými deskami. Desky jsou uloženy v předem připravených drážkách [32][34].



Obrázek 17- Interiérový pohled na nosnou konstrukci [32]

Nosníky jsou podporovány dvěma dřevěnými šikmými sloupky, které zkracují rozpětí nosníku. Jsou ukotveny na betonový sloupek, kde jsou ukotveny i sloupky od vedlejšího nosníku.

Jelikož byla konstrukce prefabrikovaná, montáž proběhla pomocí jeřábu rychle, na stavbě se nosníky spárovaly a rovnou spojily vaznicemi. Pak byly pomocí jeřábu uloženy na předem připravené šikmé sloupky. Jeřáb při montáži přenášel přibližně 19 tun [33].



Obrázek 18- Montáž spojených nosníků [33]

2.2 Obloukové konstrukce

Díky vlastnostem lepeného lamelového dřeva, můžeme poměrně lehce a ekonomicky vytvořit zakřivené prvky, jako jsou oblouky. Jednoduše se dají vyrobit zakřivené oblouky, které mají proměnnou výšku průřezu. Dvoukloubové konstrukce se používají na menší rozpětí, přibližně do 40 metrů. Trojkloubové konstrukce mohou být použity na rozpětí až 100 m. V místě podpor jsou vždy dva klouby, u trojkloubového systému je třetí kloub ve vrcholu rozpětí, přibližně do 60 metrů [1][22].

2.2.1 Richmond Olympic Oval

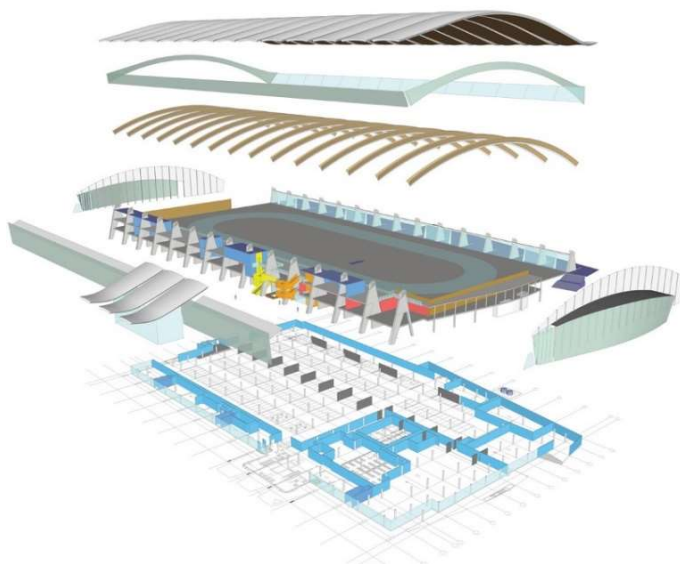


Obrázek 19- Olympijský stadion v Richmondu [30]

Jednou z ukázkových obloukových konstrukcí je sportovní hala v kanadském Richmondu, kde se v roce 2010 konala olympiáda. Martina Sáblíková zde vyhrála dvě zlaté a jednu bronzovou medaili. Výstavba olympijského oválu v Richmondu začala v roce 2006 a byla dokončena 12. prosince 2008. Byla největší zakázkou pro vancouverskou olympiádu, byla navržena pro dlouhou rychlobruslařskou trať a tribunu pro 8 000 diváků. Po skončení olympiády se hala změnila na sportovní centrum s širokým spektrem sportovních činností.

Budova musela být i přijatelná z historického hlediska i kulturního kontextu oblasti. Proto se na jejím navrhování podílel velký tým architektů, projektantů a staticů [30][57].

Budova je tvořena třemi úrovněmi. První úroveň je podzemní parkoviště, druhá je přízemní podlaží, kde se nacházejí šatny, recepce a všechny komunikační prostory. Třetí úroveň je sportovní hala s tribunou, dříve i rychlobruslařský ovál.



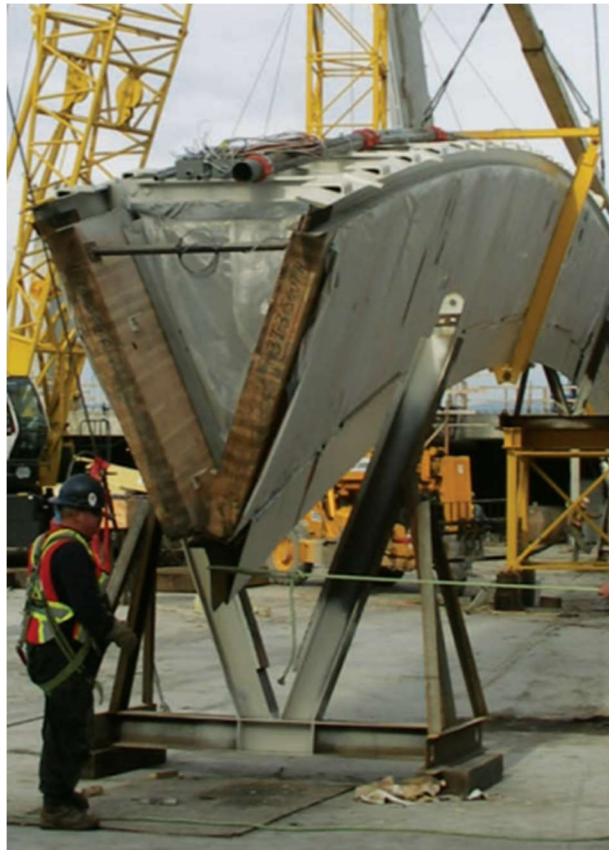
Budova byla náročná na výstavbu už kvůli umístění stavby, neboť byla plánovaná u řeky Fraser pouze 4 metry nad mořem. Rychlobruslařská dráha má obrovské nároky na rovinatost povrchu, proto byla navržena až do 1. nadzemního podlaží. Vznikla tak kreativní dvoustupňová konstrukce, která

Obrázek 20- Vizualizace všech úrovní olympijského stadionu [30]

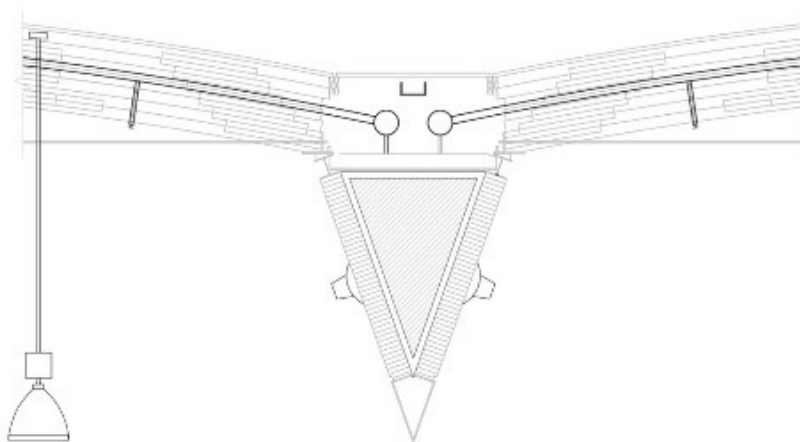
je založena na kombinaci plovoucí desky a základových pilot ve ztuhnutém podloží. Pilot je zde více než 400 a pronikají až do hloubky 15 metrů. Toto řešení přineslo výborný rovinatý povrch pro rychlobruslařský ovál a zároveň umožnilo vytvoření parkovacích prostor stadionu, umístění obchodů a dalších komerčních a tréninkových prostor [29][31][57].

Konstrukce je tvořena 15 nosíky z lepeného lamelového dřeva a oceli, které dosahují rozpětí 100 metrů. Nosíky jsou uloženy na 30 protilehlých betonových pilířích, které jsou navrženy tak, aby odolávaly roztažnému zatížení z mělké klenby. Pilíře jsou založeny na pilotech, těmi je zajištěna nulová osová excentricita [57].

Oblouková konstrukce z lepeného lamelového dřeva a oceli je velice unikátní. Oblouky jsou tvořeny dvěma štíhlými profily z lepeného lamelového dřeva o výšce 1,6 metru, které jsou spojeny ocelovým rámem do tvaru písmene V. Každý oblouk je tvořen ze 4 prvků o délce 24,7 metrů. Výhodou prvku je, že je dutý, a tudíž je vnitřkem prvku vedena vzduchotechnika a sprinklery. Celková oblouková konstrukce je velice kompaktní a ocelové příruby pomáhají při přenosu zatížení sněhem a při dalším nerovnoměrném zatížení [57].



Obrázek 21- Větrací systém zabudovaný v nosíku z lepeného lamelového dřeva [57]



Obrázek 22- Detail uložení střešních nosníků na nosnou konstrukci [31]

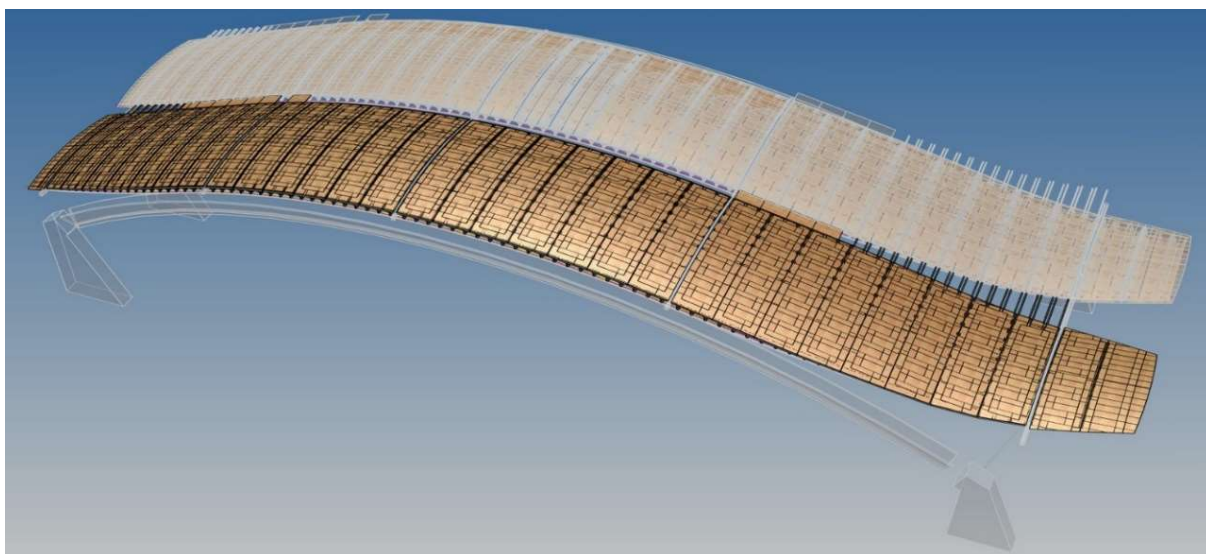
Obloukové nosníky mají osovou vzdálenost 12,8 metrů, mezi ně je navržený prefabrikát Wood-wave panel. Ty byly vyrobeny s velkými omezeními s ohledem na únosnost, akustiku, požární odolnost a estetiku. Je sestaven z malých dřevěných prvků o průřezu 38 mm x 89 mm. Dohromady pak tvoří dílec ve tvaru V o déle 12,8 metru, šířce 1,2 metru a výšce 660 mm. Ve vrcholu spojují dílce překližkové desky o tloušťce 28 mm [31][57].

Z důvodu dvojí křivosti je velice náročné použít ocelové plechy. Proto se dřevěné nosníky vyráběly ve



Obrázek 23- Wood-wave panel [31]

speciálním lisu navrženém pro tuto konstrukci. Během výroby bylo do každého profilu předepnuto ocelové táhlo. Na výrobu těchto panelů bylo použito více než 2400 m³ smrkového dřeva a 19 000 překližkových desek [31][57].



Obrázek 24- Uložení Wood-wave panelů na nosnou konstrukci [31]

Montáž konstrukce

Připravené části obloukové konstrukce byly připevněny na nosné železobetonové sloupy postupně po dílcích, až vytvořily celý oblouk. Volné konce musely být podporovány lešením. Po stabilizaci dvou prvků byly prvky spojeny svorníky, svary a lepidlem. Než se na konstrukci položily panely wood-wave, muselo ztužující funkci zajistit pouze montážní vyztužení [31].

Po zkonstruování dvou oblouků se mohl začít instalovat wood-wave panel systém. Pracovalo se na dvou frontách, jakmile bylo možné pokládat panely, pokládaly se, ale nepřestávalo se s konstruováním hlavních nosných obloukových konstrukcí. Po dokončení panelových polí se začala pokládat vrstva překližky, to znamená střešní deska [31].

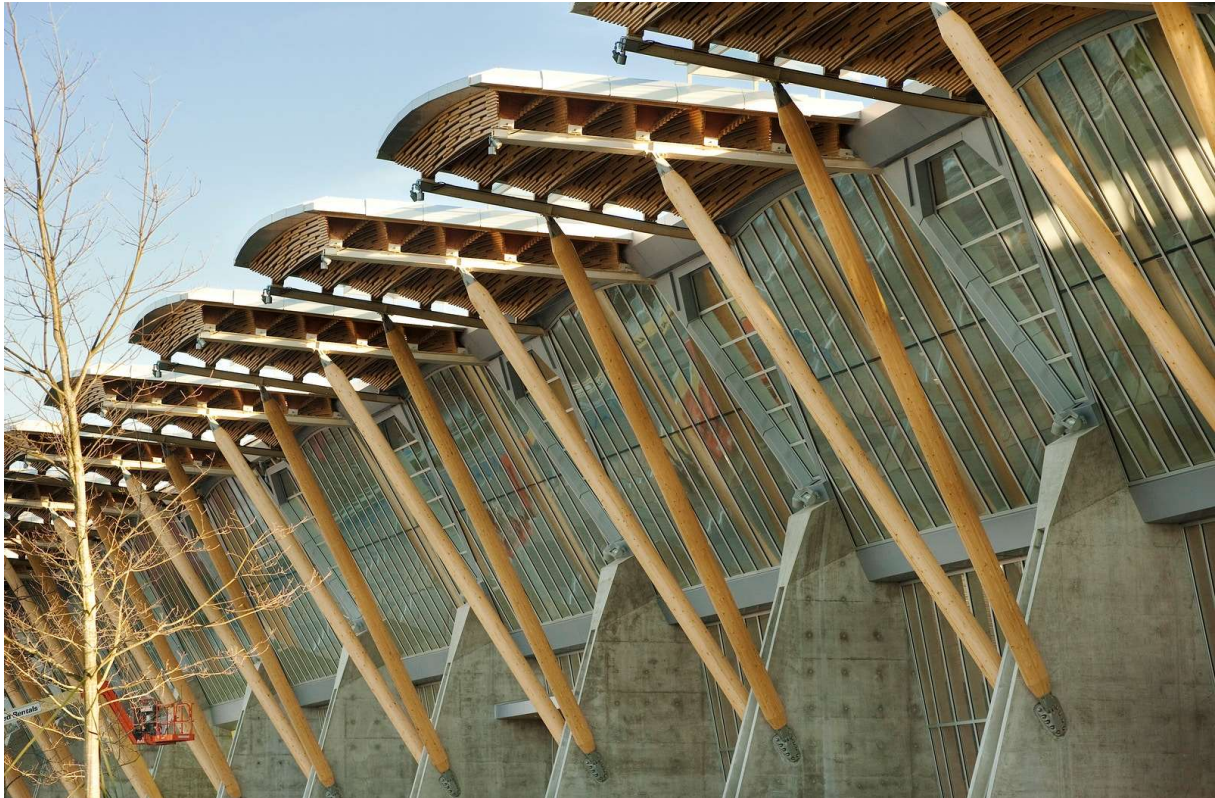


Obrázek 25- Montáž nosné konstrukce [57]



Obrázek 26- Montáž konstrukce [31]

Střecha přesahuje obloukovou konstrukci na severní a jižní straně, převislá část střechy je podepřena dodatečným množstvím sloupů z lepeného lamelového dřeva. Sloupy jsou kruhového průřezu a postupně se zužují. Na severní straně je konstrukce střechy převislá po celé délce, podpírá ji zde 28 dřevěných sloupů, které jsou 11.5 metrů dlouhé. K betonovým pilířům jsou připojeny pomocí tzv. elegantního spoje. Na jižní straně je sloupů pouze 8, neboť zde podpírají pouze vstupní markýzu. Sloupy jsou dlouhé pouhých 8.5 metrů [55].



Obrázek 27- Podpůrné sloupku přesažených wood-wave panelů [55]

2.2.2 Mactan Cebu international airport



Obrázek 28- Letiště v Mactan Cebu [37]

Na filipínském ostrově Mactan je letiště od roku 1956. Využívala ho armáda Spojených států amerických ve válce s Vietnamem, převážně jako krizové letiště pro americké bombardéry. V půlce 60. let se letiště otevřelo i pro veřejnost. Nahradilo tak staré letiště, které se nemohlo nadále používat kvůli statickým problémům konstrukce [19].

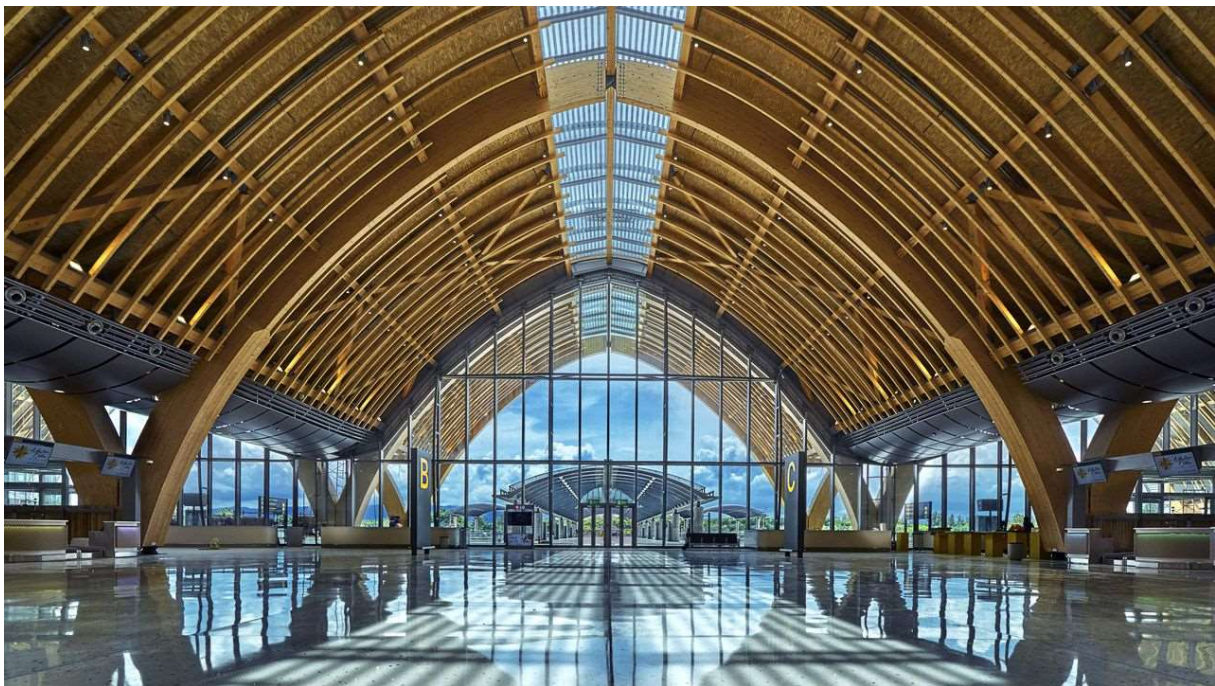
1. července 2018 začala přístavba nového terminálu, který pomůže přijímat více pasažérů. Jedná se o první konstrukci v Asii, která je kompletně provedena z lepeného lamelového dřeva. Má rozlohu 65 000 m² a téměř zdvojnásobuje možnost příjmu nových turistů. Je bráno jako nejmodernější halová budova v jihovýchodní Asii [19].

Původně inženýři, designeři a architekti v Hongkongu zamýšleli ocelovou konstrukci. Naštěstí touha po tom, poskytnout návštěvníkům něco speciálního, byla tak velká, že se rozhodli pro dřevěnou konstrukci. K volbě dřeva namísto ocele přispěla i filipínská tradice, neboť dřevo se zde používá po celá staletí. Když se všechno propojilo dohromady, design, ekologické hledisko, tradice a obnovitelnost, bylo nakonec dřevo jediným možným materiálem. Konstrukce byla zaměřena na spolupráci materiálu a prosvětlení, to má symbolizovat „přátelství, otevřenost a štedrost“ filipínské kultury [19].

Tato konstrukce je v Asii jedinečná tím, že nosný systém i zastřešení jsou kompletně dřevěné. Na konstrukci bylo použito 4500 m³ lepeného lamelového dřeva. Nosníky jsou 23 metrů dlouhé, barelově tvarované. Konstrukce je 15 metrů vysoká a rozpětí má 30 metrů. Nosníky byly vyrobeny v Německu, následně převezeny přes průplav Rýn-Mohan-Dunaj do

Antverp a odtamtud po moři na Filipíny. Jako celek má konstrukce připomínat vlny moře a surfařské pobřeží Mactanu [19].

Jelikož je budova postavena v Oceánii, největší požadavky na návrh konstrukce byly na seismicitu a oceánský vítr, který zde může dosahovat rychlosti až 200 km/h. Nejnáročnější bylo navrhnout spoje, které odolají pohybu konstrukce při zemětřesení. Výhoda byla v tom, že konstrukce byla vyrobena v Německu s německými normami, které jsou několikanásobně přísnější než asijské normy. Pro firmu Rubner Holzbau to byla v historii firmy největší zakázka, která byla postavena z lepeného lamelového dřeva. Dokonce obdržela několik celosvětových architektonických ocenění [19].

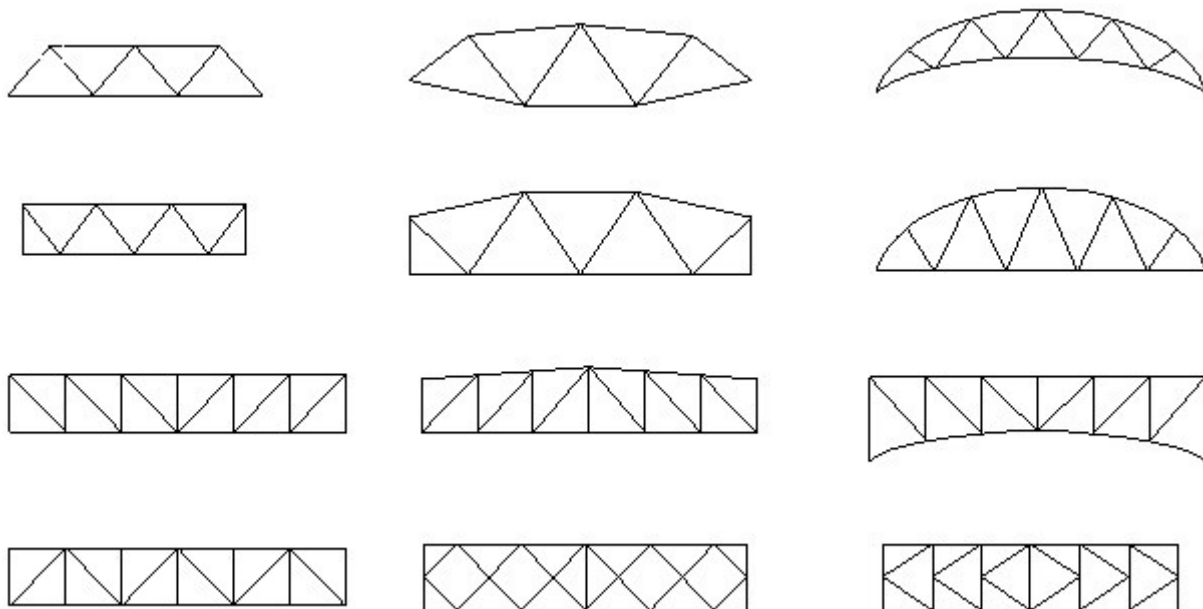


Obrázek 29- Oblouková trojkloubová konstrukce [19]

2.3 Příhradové vazníky

Jsou konstrukce, které místo plných dřevěných desek, využívají štíhlé prutové prvky, které jsou svislé nebo šikmé, nejčastěji pruty a lana, které tvoří stabilní síť. Konstrukce má několik míst, kde se pruty spojují. Tato místa se nazývají styčníky, chápeme je jako klouby. Právě do styčníků by mělo působit zatížení. Aby konstrukce byla stabilní a staticky určitá, musí mít alespoň 3 pruty, 3 uzly a podpory. Vnitřní síly se počítají styčnickovou nebo průsečnou metodou. Vazník se šikmým pasem, ať už spodním či horním, je nejefektivnější v přenosu zatížení a odvodu srážkové vody. Vhodný je pro rodinné domky, průmyslové a zemědělské haly [1][20].

Dřevěné příhradové vazníky jsou oblíbeny pro svou jednoduchost výroby a lehkost. Příhradové vazníky se používají na spoustu možných konstrukcí. Hlavně na mostní konstrukce bez podpor a mezipodpor. Na stejné rozpětí dokážou přenést podobně velké zatížení jako plnostěnné vazníky, ale jsou mnohem lehčí. Velké množství prostorových příhradových konstrukcí najdeme u staveb, jakými jsou stadiony, výrobní haly, výstaviště. Pokud chceme zefektivnit nosnost příhradového vazníku, můžeme si pomoci ocelovými prvky [1][20].



Obrázek 30- Příkladné tvary příhradových nosníků [49]



Obrázek 31- Konstrukční systém rámový roh z příhradových nosníků [21]

Jelikož se konstrukce skládá z jednotlivých prvků, je potřeba provést kvalitní spoje, v dnešní době většinou pomocí desek s prolisovanými trny. Vazníky jsou navrhovány na rozpětí do 20 metrů, s osovou vzdáleností 0,6 – 3,0 m. Na větší rozpětí, cca 6–30 m, můžeme používat nosníky, kde jsou spoje řešeny ocelovými plechy a spojeny svorníky nebo kolíky [26].



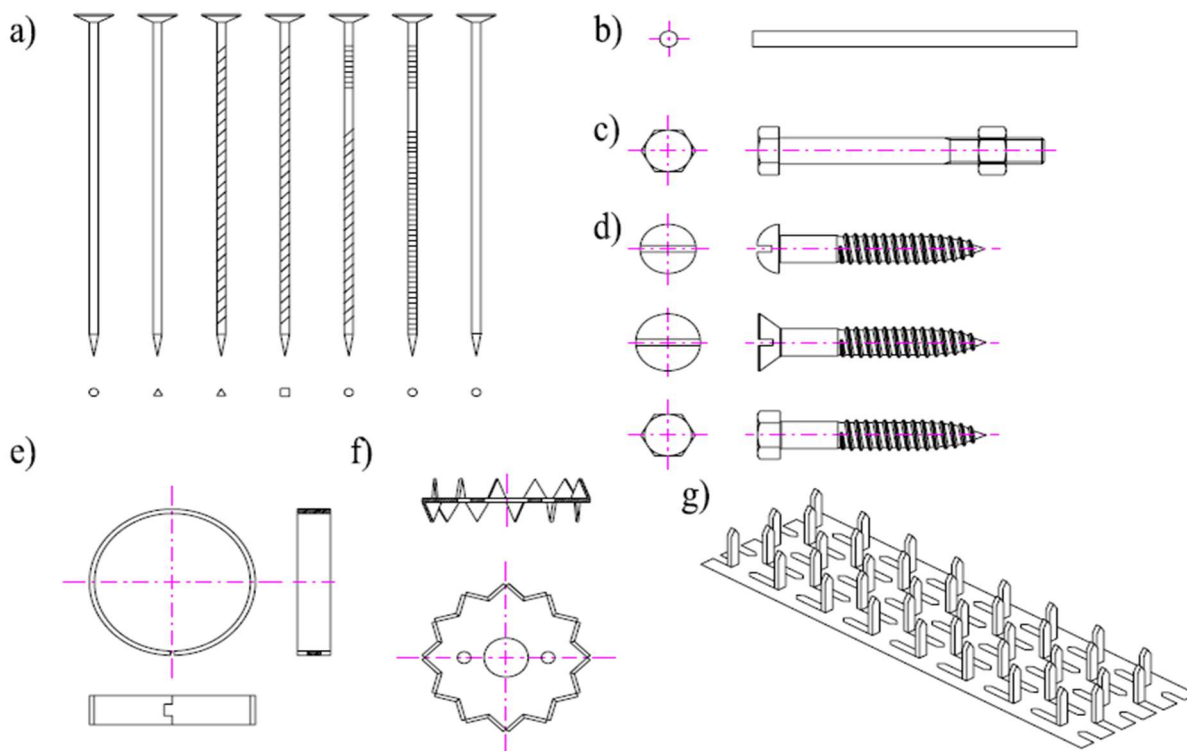
Obrázek 32- Kopulová konstrukce z příhradových nosníků [21]

3 Spoje dřevěných konstrukcí na velká rozpětí

Jak už bylo řečeno, použitelnost a trvanlivost dřevěných konstrukcí vysoce závisí na návrhu spojů mezi konstrukčními prvky. Běžně rozlišujeme tesařské a mechanické spoje. Výběr spojovacích prvků je ovlivněn nejen zatížením a únosností, ale i estetickou stránkou, efektivitou nebo náročností výroby. Hlavními zásadami by měla být jednoduchost spoje, co nejmenší počet spojovacích prvků a nejlepší konstrukční řešení [1].

Dřevěné prvky většinou spojujeme pomocí mechanických spojovacích prostředků. Ty rozdělujeme na spojovací prostředky kolíkového a povrchového typu. Lepené a mechanické spojovací prostředky mají jiné vlastnosti, jako například rozdílnou poddajnost, nesmíme předpokládat, že spolupůsobí [1].

Kolíkové jsou například hřebíky, sponky, svorníky, kolíky nebo vruty. Ty jsou do dřeva zatlačovány. Spojovací prostředky povrchového typu jsou hmoždíky nebo desky s prolisovanými trny (Gang – nail), ty jsou do dřeva vkládány nebo zalisovány při výrobě [1].



Obrázek 33- Ocelové spojovací prostředky a) hřebíky b) kolík c) svorník d) vruty e) prstencový hmoždík f) ozubený hmoždík g) deska s prolisovanými trny [1]

Únosnost spojovacích prostředků kolíkového typu namáhaných příčně je dána jejich ohybovou tuhostí a pevností dřeva, nebo jiného materiálu na bázi dřeva v otlačení pod dřikem spojovacího prostředku. Únosnost je různá podle typu prostředku a je uvedena v eurokódu 5. U víceřizných spojů se určuje únosnost jako součet nejnižších únosností jednotlivých stříhů [1].

3.1 Spoje s deskami s prolisovanými trny

Dřevěné konstrukce, které jsou spojovány deskami s prolisovanými trny, jsou nejefektivnějším způsobem náhrady klasických tesařských vazeb a sbíjených konstrukcí příhradových konstrukcí. Konstrukce spojované deskami s prolisovanými trny jsou nejen levnější, ale mají i lepší užitné vlastnosti. Je zde lépe využita pevnost dřeva, a tak se může šetřit na jeho spotřebě. Je používána převážně při výrobě dřevěných příhradových krovních konstrukcí. Nejznámější je technologie Gang-nail [1].

Ta vznikla na konci 50. let 20. století v USA. Volně by se z angličtiny dalo přeložit jako „skupina hřebíků“. Vynalezl ji stavební inženýr John Calvin Jureit. V 60. letech bylo v Česku dřevařskými závody BIOS Sedlčany postaveno pár konstrukcí. Dříve se používal zahraniční patent, poté se vyvinuly i tuzemské prolisované desky s trny. Díky nim bylo Československo jedinou východoevropskou zemí, kde se stala výroba prolisovaných desek s trny a celkově



Obrázek 34- Krov z příhradových vazníků spojený deskami s prolisovanými trny

nosných konstrukcí tradicí. Ale statické výpočty byly moc dlouhé, a proto se vývoj zastavil. Po revoluci, s příchodem nových softwarů, přišel rozvoj styčnickových desek v Česku [23][24][25].

3.2 Výroba desek s prolisovanými trny

Desky se nejčastěji vyrábějí z pasů (svitků) zinkované oceli. Na výrobním lisu se za pomoci speciálních obráběcích nástrojů prolisují trny a pasy se přestřihnou na stanovenou délku. Jednotlivé normy povolují v celém světě tloušťky pasu od 0,9 – 2,5 mm (maximálně 3 mm). V Evropě a USA se nejčastěji používají pasy o tloušťce 1; 1,2; 1,5 a 2 mm. Tloušťka pasu je většinou dána klimatickými podmínkami, rozdílnými technologickými postupy v různých zemích a různým sortimentem prvků konstrukce [25].

Pomocí technologie gang-nail můžeme vyrábět víceméně jakékoliv střešní konstrukce, od hambálku, přes příhradový nosník až po obloukové konstrukce. Desky nejsou ovlivňovány dimenzí dřevěných průřezů. Díky tomu můžeme ušetřit až 30 % materiálu konstrukce, oproti spojům klasickými spojovacími prostředky. Vhodné jsou tedy na zastřešení jak rodinných domků, tak hlavně staveb na velké rozpětí, jakými jsou výrobní a sportovní haly, sklady či nákupní centra. Díky prefabrikaci příhradových nosníků je výstavba rychlejší a prvky jsou přesně smontované [25].

Příhradové vazníky s prolisovanými styčnickovými deskami jsou bohužel omezeny normou ČSN 73 17 01 o navrhování dřevěných stavebních konstrukcí, která upravuje maximální rozpon konstrukce bez středové podpory na 30 metrů. Jelikož nejsou styčnickové desky nijak chráněny, musíme vazníky se systémem gang – nail z požárního hlediska chránit závěsným protipožárním podhledem. Protipožární nátěry či nástřiky nezajišťují bezpečnost, protože chování nátěrů na konstrukci ocel – dřevo není ověřené [25].

3.3 Systém MKD

Díky neustálému vývoji v dřevěných konstrukcích vznikají nové technologie. V roce 1995 přišli v Německu s technologií MKD (Multi-Krallen-Dübel), v Česku se pak objevují v novém tisíciletí. Vazníky MKD působí velice elegantně, jelikož na jejich povrchu nejsou vidět žádné spojovací prostředky, spoje jsou provedeny pomocí spojovacích desek (svorníků). Spojovací desky o tloušťce 10 mm jsou oboustranně navařeny obdélníkovými hřebíky v daných roztečích. Vazníky se vyrábějí ve speciálním lisovacím zařízení, kde jsou hmoždíky zalisovány mezi dvě, popřípadě tři, vrstvy dřeva. Tím vznikne velmi efektivní a únosný konstrukční systém s velikou požární odolností, jelikož spoj je z obou stran chráněn dřevem. Požární odolnost je 30 minut, a tím pádem nejsou třeba žádné nátěry či nástřiky. Nosníky mohou být přímkové či zakřivené, je v nich jednoduché vedení rozvodů, ty nám nenarušují design interiéru, a tak jsou architektonicky velice příjemné [49].

Spojovací desky jsou ocelové, na ně jsou oboustranně přivařeny kolmo k rovině hřebíky. Tím vzniká hřebíkový spoj mezi ocelovou deskou a dřevěným prvkem. Hřebíky mají obdélníkový průřez 3 mm x 4 mm x 50 mm [49].

Vazníky se namontují pomocí jeřábu se závěsným lanem. Manipulace musí být prováděna zkušenými pracovníky, aby nedošlo k deformaci vazníku vlastní vahou, nebo k poškození styčnickových desek. Dopravují se speciálním transportem zajištěným doprovodnými vozidly. Jsou vhodné na průmyslové, skladové nebo skladové haly, školy, obchody, administrativní budovy [49].



Obrázek 35- Konstrukce spojená systémem MKD [49]

3.4 Systém GREIM BAU

V systému GREIM BAU jsou spojovací prvky ocelové žárové zinkované plechy. Ty se vkládají do proříznutých drážek jednotlivých dřevěných prvků. Jsou vyráběny v různých tloušťkách, do jednoho spoje však může být vloženo maximálně 6 plechů v jedné drážce. Po sestavení konstrukce a vložení plechů se spoje jednostranně nebo oboustranně prostřelí hřebíky. Drážky se do dřevěných prutů řežou pomocí vícekotoučové pily GREI BAU. Hlavní rozdíl mezi GREIM BAU a styčnickovými deskami je rozpětí konstrukce, jelikož pomocí systému GREIM BAU můžeme vytvářet konstrukce pro rozpětí až 70 m. Běžná osová vzdálenost mezi vazníky je 3 až 6 metrů [27][50][51].



Obrázek 36- Typ systému GREIM BAU [51]



Obrázek 37- Typ systému GREIM BAU [50]

3.5 Kolíkové spoje

Hřebíky a sponky jsou nejpoužívanějšími spojovacími prostředky v dřevěných konstrukcích, jsou lehce dostupné v různých velikostech a délkách, mohou být chráněny proti korozi, nebo jsou bez úpravy povrchu. Hlava většinou odpovídá dvojnásobku průměru dřívku hřebíku. Nejčastější je hřebík s hladkým dřívkem kruhového průřezu, vyrábí se z drátu s minimální pevností 600 MPa. Nosné působení hřebíku kolmo i k ose můžeme zlepšit povrchovými úpravami, buď přetvořením povrchu hladkého dřívku na dřív s drážkami, nebo závití. Druhá možnost je šroubovitě zkroucení hřebíku čtvercového průřezu. Dále pomáhá galvanizace, leptání, povlak cementem nebo plasty. Hřebíky se zarážejí ručně nebo pneumatickými hřebíkovačkami. Při zarážení se musíme vyhnout riziku rozštípnutí, to můžeme snížit otupením špičky hřebíku. Lepší metodou je předvrtání dřeva, kdy vyvrtáme díрку odpovídající 0,8násobku průměru hřebíku [1].

Kolíky jsou štíhlé ocelové válcové tyče s hladkým, někdy drážkovaným, povrchem. Svorníky jsou spojovacími prostředky, které jsou opatřeny hlavou a maticí. Osazují se do předvrtaných otvorů a potom se utahují tak, aby dřevěné prvky byly v těsném kontaktu. Ke každému svorníku musí být použity oboustranné podložky. Kolíkové spoje se ukazují jako velmi vhodné pro přenosy velkých sil. Jsou snadno vyrobitelné, ovšem při nabití velkého počtu kolíků v přípoji je třeba nahradit některé kolíky svorníky. Kolíkové spoje jsou tužší než svorníky. Únosnost kolíkového a svorníkového spoje nejvíce ovlivňují pevnost v otláčení dřeva, geometrie spoje a plastický moment únosnosti spojovacího prostředku. Samotná pevnost v otláčení závisí na hustotě dřeva, průměru spojovacích prostředků a úhlu mezi silou a směrem vláken [1].

Vruty se používají převážně pro připojování prvků, které jsou namáhány a hrozí odtržení. Vruty mají vyšší únosnost než hřebíky. Vruty o průměru větším než 5 mm se musí zašroubovat, nikoliv zarazit, nejlépe do předvrtaných otvorů, aby se zamezilo rozštípnutí dřeva. Zarážením se únosnost vrutu výrazně zredukuje. Vzhledem k menšímu průřezu jádra vykazují vruty při namáhání na stříh nižší únosnost než hřebíky nebo kolíky.

Hmoždíky jsou spojovacími prostředky, které se vkládají nebo zatlačují do spár mezi dřevěnými prvky. Musí být vždy použity se svorníky, které spojují prvky spínají [1].

4 Prostorové konstrukce

Hlavní rozdíl oproti rovinným dřevěným konstrukcím je u prostorových konstrukcí v přenosu zatížení. U prostorových vazeb uvažujeme se spolupůsobením sousedních příčných vazeb (nosníků, rámu a oblouků), vaznice, zavětrování a střešního pláště. Jsou konstruovány tak, že v prostoru fungují jako celek, ve kterém se na únosnosti konstrukce podílejí všechny prvky. Prostorové konstrukce můžeme vyztužit ocelovými táhly či jinými ztužujícími prvky a zvýšit tím únosnost konstrukce. Kvůli trvanlivosti konstrukce je potřeba používat impregnované dřevo. Impregnace hlavně brání napadení dřeva dřevokaznými houbami. Výhodné je, že, na rozdíl od rovinných konstrukcí, se prostorové při narušení jednoho prvku nezhroutí, protože konstrukci budou stále držet vedlejší prvky [1].

Prostorové konstrukce jsou vhodné při špatných zakládacích podmínkách, neboť přenáší zatížení do podpor rovnoměrně, a tudíž si rovnoměrně sedají. Jsou velmi rozmanité a tvarově variabilní. Mají dobrou požární odolnost a jsou odolné proti výbuchům či zemětřesení. Jsou staticky výhodné u budov, kde jsou ve stěnách velké otvory pro zastřešování budov s kruhovým nebo mnohoúhelníkovým půdorysem. Naopak nejsou vhodné pro konstrukce nad vlhkými provozy, u objektů s úžlabím nebo tam, kde by se mohl hromadit sníh, a pro vysoké konstrukce s malým rozpětím [1].

Můžeme je rozdělovat podle tvaru půdorysu nebo tvaru prostoru na lomenicové konstrukce, skořepinové konstrukce s jednou křivostí nebo dvojité zakřivené. Nejprehlednější je ale rozdělení na konstrukce příhradové, plnostěnné a kombinované [1].

4.1 Plnostěnné prostorové konstrukce

Plnostěnné prostorové konstrukce vznikají vrstvením převážně deskového řeziva. Desky jsou vrstveny křížem ve dvou nebo ve třech vrstvách, které jsou spojeny hřebíky nebo lepením. Panely se navrhují v závislosti na nosném směru ortogonální nebo diagonální. Spodní a horní vrstva mohou mít různě směry. Většinou vytvoříme skořepinu, která má válcový, rotační, hyperbolicko-parabolický, elipticko-parabolický nebo jiný i tvar. Nejčastěji se můžeme setkat s hyperbolicko-parabolickou skořepinou [1].

4.2 Příhradové konstrukce prostorové

Tyto konstrukce se tvoří z jednotlivých lamel, které jsou spojeny v prostoru do styčniců. Vzniklá konstrukce se podobá pavučině. Nejčastěji jsou k vidění klenby a kopule.

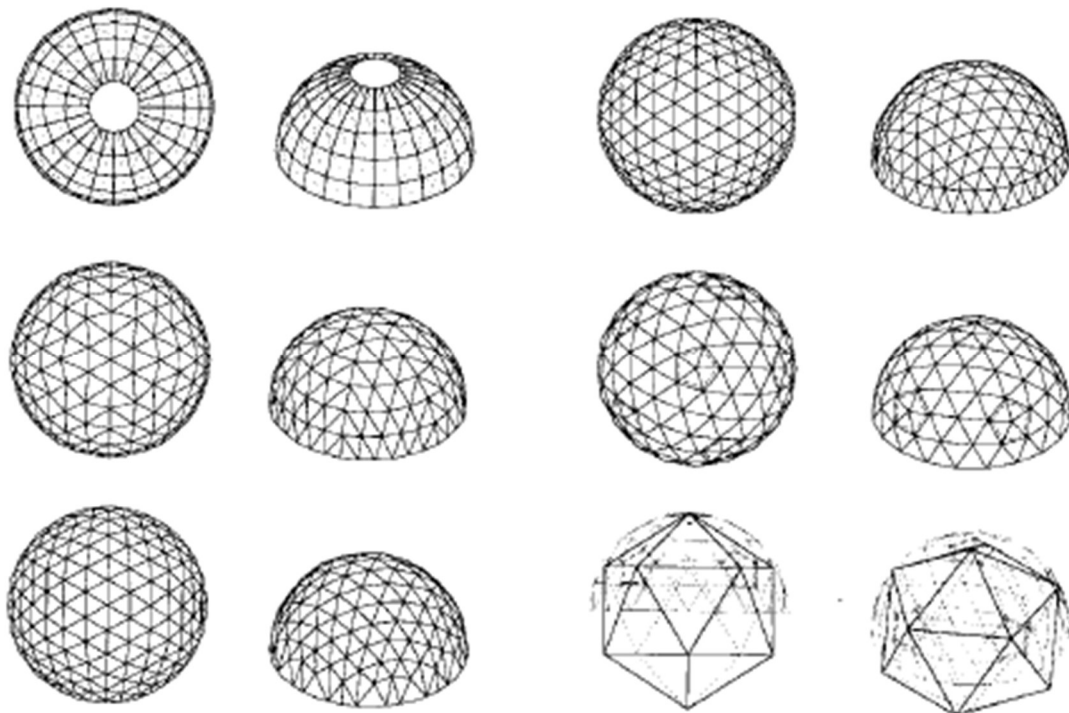
Nejhospodárnější a nejjednodušší konstrukcí jsou klenby lamelové, které jsou většinou provedeny jako válcové nosné plochy. Poměr tloušťky a šířky lamely se volí přibližně 1:5. Prvky konstrukce jsou nejčastěji spojovány svorníky [1].

4.3 Lomenicové konstrukce

Hlavním prvkem lomenicové konstrukce je stěna lomenice. Bývá sestavena z materiálu, jakým jsou například překližkové desky, které jsou spojovány pod úhlem okolo 45°. Poprvé byly lomenicové konstrukce ze dřeva provedeny v polovině 20. století. Překližkové desky vytvoří tuhý průřez a konstrukce jsou schopné přenést zatížení na rozpětí až 25 m [61].

4.4 Konstrukce skořepinové

Jsou obvykle ve tvarech válců, tubusů a vln. Konstrukce tvoří vlastní plochu i nosnou střešní konstrukci. Tloušťka skořepiny je v poměru s velkým rozponem překvapivě malá díky tomu, že skořepina roznese zatížení do celé své plochy. Skořepina je většinou tvořena slepenými navzájem kříženými prky. Vyztužením žebry nebo lamelami získáme spojitě vyztuženou konstrukci. Často se používají jako estetické konstrukce. V dnešní době z nich jsou stavěny kostely, stadiony, divadla atd [61].



Obrázek 38- Typy kopulí se síťovou strukturou: vlevo nahoře – k. s radiálními žebry, uprostřed vlevo – triangulární k., vlevo dole – hexagonální k., vpravo nahoře – sférická k., střed vpravo – geodetická k., vpravo dole – zjednodušená geodetická k. [61]

Skořepiny jedné křivosti

Skořepiny jedné křivosti mohou být válcované plochy nebo konoidy. Jsou podepřeny buď v předních vaznicích (štítové stěny), nebo obvodovými konstrukcemi. Podepření určuje, jestli je konstrukce samostatně stojící, nebo se jedná o klenbu. Typická konstrukce o jedné křivosti je válcová lamelová klenba [61].

Skořepiny dvojí křivosti

Skořepiny dvojí křivosti jsou rotačně symetrické konstrukce kruhového nebo polygonálního půdorysu. Obvykle mají tvar kopule a báně [61].

Kupole a báně

Kupole byly dříve používány především v římské říši či antickém Řecku. Vzorovými stavbami jsou Arteova pokladnice v Mykénách nebo Pantheon v Římě. Byly zděné, ne dřevěné [61].

Kopule jsou skořepiny, které přenášejí účinky zatížení pomocí membránových sil. Možnost přenášení zatížení v kupoli je pomocí tahových tlakových a posouvajících sil v rovině skořepiny. Dokáže rovnoměrně roznášet zatížení, a tím pádem mohou být navrženy tenké průřezy a ušetří se materiál. Musíme je ale navrhovat s ohledem na lokální boulení prvků [61].

Kopule jsou většinou realizovány na velké rozpětí, na malé rozpětí nejsou tak efektivní. Většinou se navrhnu s vyztuženou strukturou, jakými jsou žebra v síťové struktuře. Kupole se spojitou strukturou jsou poněkud náročnější na montáž, a proto jsou častěji voleny konstrukce s dvojitě zakřivenou plochou [61].

4.4.1 Superior Dome

Jedna ze zajímavých kopulových staveb představuje Superior Dome (Nadřazená Kupole) v americkém státě Michigan, Nechala ji vybudovat Severní michiganská univerzita. Kupole byla postavena v roce 1991 nejprve pro hřiště na americký fotbal a atletický ovál, v roce 1994 byly do kopule zabudovány šatny, tribuna pro 8000 diváků a další interiérové úpravy [62][63].

Konstrukce je provedena jako geodetická kopule. Skládá se ze 781 douglaskových nosníků. Dosahuje výšky necelých 50 m a průměru 164 m. Pokrývá tak plochu něco málo

přes 20 000 m². Kopule je pátou největší kopulí na světě, přičemž všechny větší kopule jsou z ocele. Je navržena na přenesení 300 kg/m² a rychlost větru cca 130 km/h. Kvůli těmto náročným podmínkám Severní Ameriky bylo vybráno řešení konstrukce kopulí z lamelového dřeva. To bylo ekonomicky nejvíce efektivní a zároveň vizuálně zapadalo do prostředí [62].

Kopule skvěle zapadá do prostředí michiganských lesů. Vchod byl navržen tak, abyste při vstupu do haly měli pocit, jako když vejdete do horské chaty. To vybalancuje obrovitost konstrukce [63].



Obrázek 39- Vnější pohled na Superior Dome [62]



Obrázek 40- Vnitřní nosná konstrukce Superior Dome [63]

5 Speciální konstrukční systémy

5.1 Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie



Obrázek 41- Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie [65]

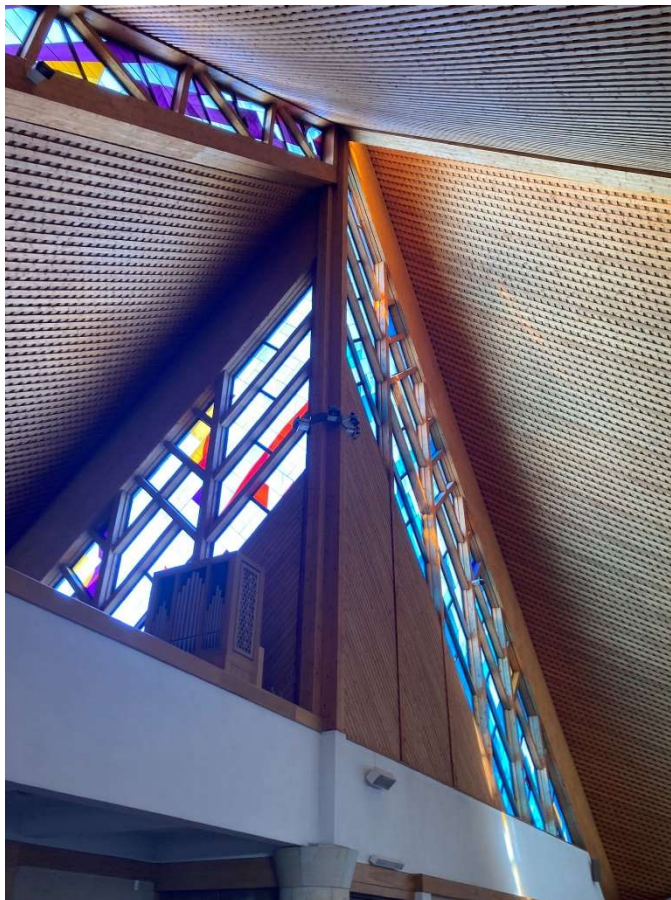
Příkladem může být kombinovaná konstrukce, kterou je kostel Neposkvrněného početí Panny Marie postavený v pražských Strašnicích. Kostel byl postaven v roce 1993 a stal se raritou. Konstrukce kostela má tvar jehlanu, z něhož je vyříznuta jedna čtvrtina ohraničená úhlopříčkami. Základna má půdorysné rozměry 30 m x 30 m a je vysoká cca 3 m. Středový sloup je uložen na železobetonové konstrukci o výšce 4.5 m a je vysoký 22 m. Vrchol konstrukce se nachází ve výšce 23.5 m. Vynechaná část půdorysu slouží jako venkovní shromažďovací místo, z kterého se dostaneme k hlavnímu vchodu a odtud rovnou oltáři [64].

Hlavní nosnou konstrukci tvoří čtyři nosníky, které jsou pod sklonem 45°, a jeden středový sloup. Zajímavostí jsou právě nosníky, jelikož dva, které jsou součástí obvodových stěn, jsou plnostěnné a dva zbývající vnitřní nosníky jsou příhradové. Vazníky jsou ve třech výškových konstrukcích tak, aby střešní plášť byl pnutý u příhradového vazníku, na jednu stranu od horního líce, na druhou od spodního líce. Příhradové nosníky jsou prosklené

barevnými výplněmi, kterými proniká světlo do interiéru, Díky tomu můžeme interiér každou hodinu vnímat trochu jinak, protože se paprsky slunce lámou přes jiné barvy [61][66][67].

Sloup je sešroubován ze tří průřezů o velikostech 2 mm x 250/250 mm a jeden 250/750 mm, tvoří rovnoramenný kříž, a je dokonce ukotven pomocí plechu ve tvaru kříže.

Příhradové nosníky mají shodný průřez horního i dolního pasu 500 mm x 500 mm. Jsou sešroubovány zavíčkovanými svorníky průměru 20 mm ve vzdálenosti 500 mm. Vnitřní diagonály mají průřez 150/150 mm, krajní dolní 500/500 mm a krajní horní 2x 100/250 mm. Na připojení diagonál byly použity zadlabané ocelové styčnickové plechy o tloušťce 15 mm a kolíky o průměru 16 mm. Ke středovému sloupu jsou vazníky připojeny pomocí zadlabaných plechů [67].



Obrázek 42- Konstruktivní systém kostela Neposkvrněného početí Panny Marie

Plnostěnné vazníky mají skříňový průřez a tvoří je několik menších průřezů. Celkově pak vytvoří průřez s vnějším rozměrem 500/2268 mm. Příslušný líc vazníku je upraven pro kotvení střešního pláště a poslední část je přilepena a přišroubována až po položení střešního pláště na konstrukci. Nosníky jsou ke středovému sloupu připojeny stejně jako příhradové nosníky, ocelové prvky mají ale tloušťku jen 12 mm [67].

Všechny částí nosné konstrukce, jakými jsou sloupy a vazníky, byly na stavbu dovezeny jako prefabrikáty.

Střešní plášť je tvořen dřevěnou skořepinou ve tvaru hyperbolického paraboloidu. Hyperbolické paraboloidy každého boku jehlanu jsou dány přímkami pásnic vazníků ležících v řídicích rovinách, které procházejí okrajovými vazníky kolmo na základnu. Skořepina je

provedena sbíjením vzájemně křížujících se prken ve čtyřech vrstvách. První vrstva je půdorysně rovnoběžná s jedním vazníkem, druhá vrstva je rovnoběžná s druhým vazníkem, třetí je po spádnicí a čtvrtá po vrstevnici. Prkna byla nastavena na potřebnou délku až 29 m lepeným zazubeným spojem. Celková tloušťka všech vrstev je 68 mm. Prkna jsou spojena hřebíky a v pruhu při krajích jsou navíc slepené. Dva okraje skořepiny jsou vyztuženy přilehlým pásem vazníků, zbývající okraj je zesílen dalšími dvěma vrstvami křížujících se fošen [61][65][66].

Na skořepinu je položena tepelná izolace o tloušťce 120 mm s distančními fošami, v první vrstvě s průřezem 50/145 mm. Kolmo na distanční fošny jsou položeny latě o průřezu 50/50 mm ve vzdálenosti 600 mm. Vznikla tak vzduchová mezera, která je provětrávaná. Na latích je bednění z prken, na které je položena pětimilimetrová překližka, pro dokonale hladký povrch krytiny ze živičných šindelů [61][66].

Konstrukce sloupků, vrcholového kříže, pásů a krajní diagonály příhradových vazníků jsou vylepeny z modřínu, ostatní části konstrukce jsou ze smrkového dřeva. Unikátní řešení stavby získalo uznání v celém světě a získalo v roce 1994 ocenění Stavba roku a čestné uznání za zdařilé provedení neobvyklé dřevěné střešní konstrukce [64][65].

6 Kombinace dřevěných konstrukcí s dalšími materiály

Můžeme se setkat i s příklady, kde je konstrukce rozdělena na dvě části, a to podle materiálů nebo podle funkce konstrukce, ať už je to funkce nosná nebo estetická. Převážně kombinujeme dřevěné konstrukce s ocelí, betonem a sklem. Betonové konstrukce jsou často používány jako nosná železobetonová konstrukce skeletu či základových pilířů, na které jsou pak osazeny dřevěné nosníky. Ocelové prvky mohou být použity na ztužení jednotlivých dřevěných prvků nebo ztužení celých dřevěných konstrukcí. Sklo je naopak používáno převážně z estetické hlediska, k velkému prosvětlování interiéru, což je v současnosti moderní. Ocelové ztužení i betonové nosné pilíře byly uvedeny v části o Richmondské olympijské hale.

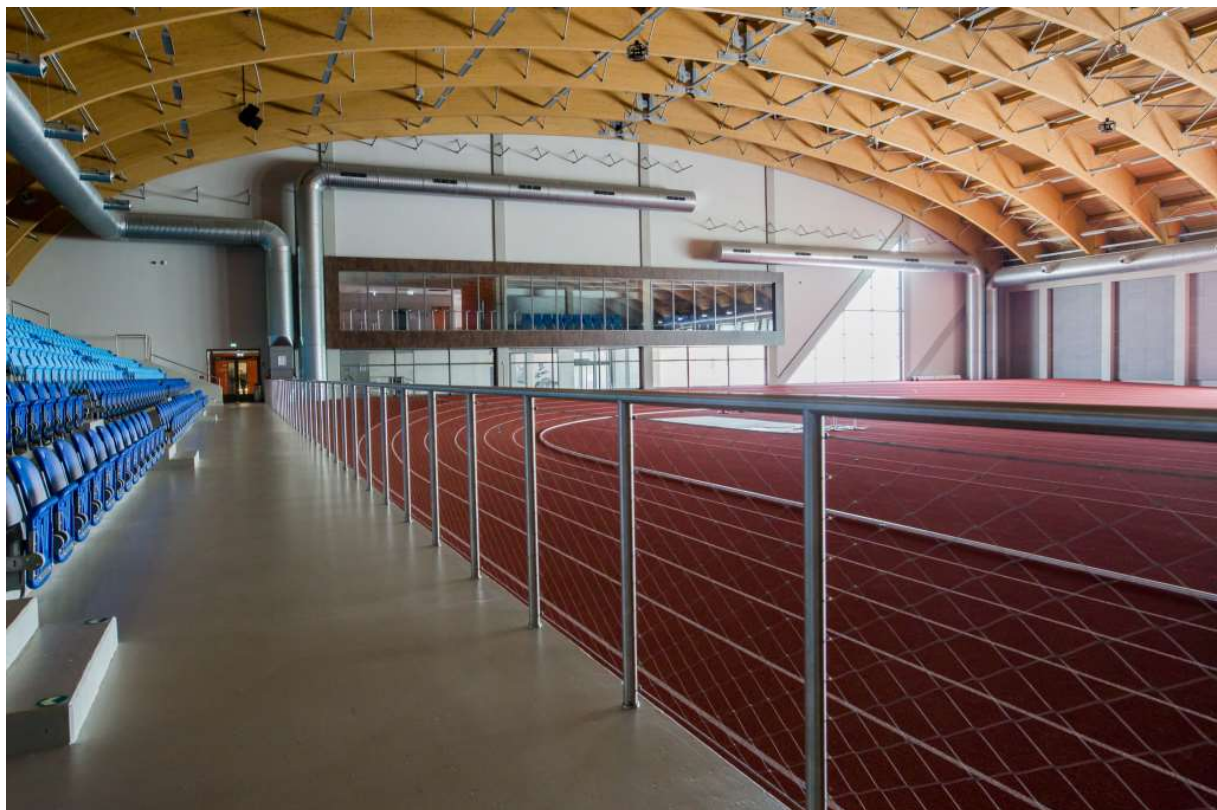
6.1 Dřevěné + betonové konstrukce

Dřevěná konstrukce se většinou kombinuje s betonovou, když se vyskytnou u založení stavby problémy, ať už z důvodu rozdílných pevností podloží, nesoudržné zemině nebo jen

rozdílné ceně konstrukce. Nejčastěji se tedy používá na základové konstrukce a svislé nosné konstrukce, jakými jsou pilíře, sloupy nebo železobetonové stěny. Beton je levnější materiál a může si díky lepším pevnostním schopnostem dovolit menší průřezy, nedokáže ovšem jednoduše překonat velká rozpětí konstrukce. Často se tedy kombinace železobetonových pilířů, sloupů nebo stěn používá na průmyslové haly nebo sportovní stadiony.



Obrázek 43- Turnov – tenisová hala, příhradový vazník uložený na železobetonovou stěny[38]



Obrázek 44- Atletická hala Vítkovice – Obloukový plnostěnný nosník uložený na železobetonové stěny [39]



Obrázek 45- Atletická hala Vítkovice – Detail kotvení železobetonového sloupu s dřevěným nosníkem

6.2 Dřevěné + ocelové konstrukce

Ocelové prvky jsou využívány jak ke ztužení celé konstrukce, tak i jednotlivých prvků. Ocel je sice těžší materiál, ale průřezy prvků, kterými si můžeme dovolit ztužit, jsou mnohem menší, než kdybychom navrhovali dřevěné ztužující prvky, jakými jsou například pásky. Ocel můžeme použít i na svislé vodorovné konstrukce, ale vzhledem k betonování základů je při změně materiálu svislých nosných konstrukcích skoro ve všech případech preferován jako náhrada za dřevěný prvek beton. Elegantně je vyřešeno zákaznické centrum v pardubickém Natura parku, kde předsazenou dřevěnou konstrukci podpírají ocelové sloupky, tak by to dřevěné sloupky o této velikosti průřezu nedokázaly [40].



Obrázek 46- Natura park Pardubice [40]

Ne úplně dřevěnou konstrukcí na velká rozpětí, ale staticky velice náročnou a esteticky velice povedenou stavbou, je vyhlídková věž Pyramidenkogel v rakouském Keutschach am see, která dosahuje výšky skoro 100 m. Výstavba trvala 5 měsíců [41].

Konstrukce je tvořena 16 sloupy z lepeného lamelového dřeva, každý se skládá ze 3 kusů eliptického tvaru. Každý musel být pro svůj specifický tvar vyroben s extrémní precizností. Na vrcholu dřevěných vazníků je umístěna platforma, z které je výhled od všech stran a umožňuje vchod do „skyboxu“, kde si můžou návštěvníci užít ještě hezčí výhled. Dohromady pak vytváří spirálovitý tvar. Všechny dřevěné prvky byly vyrobeny v Německu a následně převezeny 400 kilometrů do Rakouska. Každý prvek musel být upraven tak, aby vydržel venkovní podmínky [41].

Konstrukci ztužuje nejen 10 eliptických prstenců a 80 diagonálních vzpěr, ale také vnitřní schodiště. Na konstrukci bylo použito 500 m³ lepeného lamelového dřeva, 1000 m² křížem lepeného lamelového dřeva a 300 tun ocele. Uvnitř věže vede okolo výtahu skluzavka, začínající ve výšce věže 50 metrů. Je nejdelší skluzavkou v Evropě [41].



Obrázek 47- Vyhlídková věž pyramidenkogel [41]



Obrázek 48- Komplikovaná doprava částí pilíře na kopec [42]



Obrázek 49- Výstavba skládaných pilířů věže z lepeného lamelového dřeva [42]

6.3 Dřevěné konstrukce + sklo

Sklo je v moderní architektuře velice žádaným materiálem. Proto se v poslední době změnila jeho funkce z výplní okenních otvorů i na využití skla jako nosného prvku. Typické použití skla je na velkoplošné fasády, zastřešení atrií, spojovací můstky, zábradlí schodišť a mnohé další. Konstrukce ze skla tak nemusí přenášet pouze svou váhu, musí zvládat zatížení větrem, sněhem, či užitné zatížení [43][52].

Konstrukční sklo má mnoho příznivých vlastností, jakými jsou vysoká pevnost v tlaku, trvanlivost, odolnost proti korozi, nevodivost, odolnost proti prosakování vody a je recyklovatelné [43][52].

Kombinace dřeva a skla je poslední dobou populární pro svou šetrnost k životnímu prostředí, dřevo, obnovitelný materiál, a sklo, recyklovatelný materiál. Trendem dnešní doby je také prosvětlení velkých kancelářských budov a atrií. Oba materiály jsou také poměrně lehké, což usnadňuje manipulaci na stavbě. Sklo je v kombinaci se dřevem používáno převážně na velkoplošné fasády [52].



Obrázek 50- Kancelářská budova 25 KING v Brisbane [45]

Pozoruhodná stavba, kde dřevěná konstrukce netvoří část izolačně uzavřeného celku, ale chrání jen terasy před nepříznivým počasím, je Nadace Louis Vuitton v Paříži. Zaoblené nosníky zde drží konstrukci skelných „plachet“, a plachty zase absolutně chrání dřevěnou konstrukci proti zatečení vody. Plachty přenášejí svoje zatížení na primární konstrukci pomocí dřevěných a ocelových vzpěr, díky kterým jsou stabilizované. Tyto různé strukturální složky jsou propojeny pomocí složitých trojrozměrných uzlů. Zvláštností některých plachet je podepření příhradovými vazníky, které mají v některých případech smíšenou konstrukci ze dřeva a z oceli [44].



Obrázek 51- „Plachty“ Nadace Louise Vuittona [44]



Obrázek 52- Dřevěná oblouková konstrukci podepřená vzpěrami se skleněnou plachtou [48]

7 Závěr

Důsledkem ekologickému trendu ve světě je dřevo jako konstrukční materiál používáno čím dál tím více, ať už na dřevěné panely rodinných domků, tak i halových velkorozponových konstrukcí, nebo vysoko podlažní budovy. Dokáže v pevnostních posouzeních konkurovat betonovým i ocelovým prvkům. Je často voleno jako hlavní stavební materiál pro své estetické vlastnosti, které, oproti studeným betonovým konstrukcím, přinášejí lidskému oku pocit pohody. Je lehké a díky možnosti kvalitní prefabrikace mohou být dřevěné konstrukce velmi rychle zhotoveny bez technické přestávky. Velké průřezy z lepeného lamelového dřeva jsou i velice dobře požárně odolné. Problém dřeva jako hlavního materiálu konstrukce je jeho cena.

Cílem mé bakalářské práce bylo ukázat, že dřevo dokáže přenášet zatížení na velká rozpětí. Množství staveb ve světě je toho důkazem. Je pouze potřeba správně zvolit konstrukční systém a materiál na bázi dřeva a můžeme dosáhnout, oproti oceli a betonu, efektivnějšího a ekonomičtějšího řešení. Životnost dřevěných konstrukcí je stejná, v některých případech i delší než u ocelových a betonových konstrukcí. Problémy dřevěných konstrukcí na velká rozpětí jsou především předsudky široké veřejnosti. Všichni si představíme dřevo, z kterého rozděláme oheň, proto nemůže mít dobrou požární odolnost, zlomíme ho o koleno, tudíž nemůže mít velkou únosnost a mnoho dalších předsudků.

Po pročtení odborné literatury a několika internetových článků jsem se dozvěděl, že dřevěné konstrukce jsou používány především na zastřešení sportovních hal, plaveckých bazénů atd. Důvodem k častějšímu používání dřevěných konstrukcí na velké rozpory je vývoj v oboru materiálů na bázi dřeva, jakými je zmíněné lepené lamelové dřevo, vrstvené dřevo a další.

Uvádím několik variant konstrukčních typů prostorových a rovinných soustav a představuji je na příkladech realizovaných staveb. Stavby jsou architektonicky velmi povedené a většinou v daném konstrukčním typu něčím zajímavé, neotřelé, novátorské.

Citace:

- [1] KUKLÍK, CSC., Doc. Ing Petr. *Dřevěné konstrukce* [online]. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [2] LEDERER, DRSC., Prof. Ing. Dr. Ferdinand. *Dřevěné konstrukce* [online]. Praha: ALEKO, 1994. ISBN 80-85341-41-7.
- [3] Lidé z dlouhých domů. *Archeologické 3D virtuální muzeum* [online]. 2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://archaeo3d.com/lide-z-dlouhych-domu/lide-z-dlouhych-domu/lide-z-dlouhych-domu/index.html>
- [4] October 15, 1934: Glued Laminated Timber Comes to America. *Forest History Society* [online]. Eben Lehman, 2018 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://foresthistor.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america>
- [5] Konstrukční materiál vrstvené dřevo. *Imaterialy* [online]. Ing. Bohumil Koželouh, CSc., 2016 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-material-vrstvene-drevo_43529.html
- [6] About glulam. *Swedishwood* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.swedishwood.com/building-with-wood/about-glulam/>
- [7] Mass Timber. *Processing-wood* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://processing-wood.com/processes/mass_timber/
- [8] Lepené lamelové dřevo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://cs.frwiki.wiki/wiki/Bois_lamellé-collé
- [9] Glued laminated timber. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Glued_laminated_timber
- [10] Dřeviny. *Janosik* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.janosik.cz/technicka-knihovna/dreviny/>

- [11] Lepené lamelové dřevo. *Lesnické práce časopis pro lesnickou vědu a praxi* [online]. Praha: Ing. Jan Reisner, Ph.D. Ing. Martin Böhm, Ph.D. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c-11-10/lepene-lamelove-drevo>
- [12] WADA 2021 the latest analysis on laminated veneer lumber. *WADA* [online]. 2021 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://wadaplywood.com/wada-2021-the-latest-analysis-on-laminated-veneer-lumber/>
- [13] Hranoly KVH, DUO/TRIO a BSH. *Domky-delta* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.domky-delta.cz/hranoly-kvh-duo-trio-a-bsh/>
- [14] O Ultralamu. *Střechy92* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.ultralam-lvl.cz>
- [15] PARALLAM ENGINEERED WOOD. *LampertLumber* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.lampertlumber.com/hardware-store-products/engineered-wood/brands-of-engineered-wood/parallam-engineered-wood/>
- [16] Parallel strand lumber (PSL). *Naturallywood* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.naturallywood.com/products/parallel-strand-lumber/>
- [17] Microllam, LVL, Ultralam - žádný rozdíl? Dýha, která unese strop i střechu. *Naturallywood* [online]. Ing. Kristina Nešporová, 2017 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/ultralam-microllam-lvl>
- [18] TOPIC 13 INTRALLAM. *Structural timber education program* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://e-step.net/13-intrallam>
- [19] MACTAN CEBU INTERNATIONAL AIRPORT. *Rubner holzbau* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.rubner.com/en/holzbau/references/reference/mactan-cebu-international-airport/>
- [20] Příhradová konstrukce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Příhradová_konstrukce

- [21] *Statika dřeva* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://statika-dreva.cz/typy.html>
- [22] CURVED GLUED LAMINATED MEMBERS. *Unalam* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://unalam.com/technical-info/curved-glulam-members>
- [23] Truss connector plate. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Truss_connector_plate
- [24] V čem předčí GANG NAIL sbíjené vazníky. *Českéstavby* [online]. Petr Pojar, 2020 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/v-cem-predci-gang-nail-sbijene-vazniky-19998.html>
- [25] Dřevěné střešní konstrukce s kovovými deskami s prolisovanými trny. *ASB-portal* [online]. 2008 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/drevene-stresni-konstrukce-skovovymi-deskami-sprolisovanymi-trny>
- [26] Vazníky se styčnickovými deskami | Příhradové vazníky. *Střechy92* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://www.strechy92.cz/vazniky-se-stycknikovymi-deskami.html>
- [27] Konstrukce systémem GREIM BAU. *Profinvestik* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://www.profinvestik.cz/konstrukce-systemem-greim-bau/>
- [28] Olympijský ovál ve Vancouveru 1. díl. *Drevostavitel* [online]. Ing. Petr Novák, 2012 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/olympijsky-oval-ve-vancouveru-1-dil>
- [29] Olympijský ovál ve Vancouveru 2.díl. *Drevostavitel* [online]. Ing. Petr Novák, 2012 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/olympijsky-oval-ve-vancouveru-2dil-hlavni-nosna-konstrukce>
- [30] Richmond Olympic Oval / Cannon Design. *Archdaily* [online]. 2010 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/49705/winter-olympics-2010-vancouver-skating-richmond-olympic-oval-cannon-design>

- [31] Richmond Olympic Oval "Wood Wave" Roof. *Structurecraft* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://structurecraft.com/projects/richmond-olympic-oval>
- [32] Stromlo Leisure Centre. *Woodsolutions* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.woodsolutions.com.au/case-studies/stromlo-leisure-centre>
- [33] Rubner Holzbau - Stromlo Leisure Centre Australia - The hole Story of the Project. *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=y9p41bM-Oic>
- [34] STROMLO LEISURE CENTRE, AUSTRALIA. *Rubner holzbau* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.rubner.com/en/holzbau/references/reference/stromlo-leisure-centre-australia/>
- [35] PROJECTS | AUSTRALIAN CAPITAL TERRITORY Stromlo Leisure Centre. *Kane* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.kane.com.au/project/stromlo-leisure-centre>
- [36] Vigas de madera. *Teycuber madera* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://teycubermadera.com/modules.php?name=webstructure&idwebstructure=43>
- [37] Timber arches support wavy roof of Mactan Cebu International Airport in the Philippines. *Dezeen* [online]. Alyn Griffiths, 2018 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2018/12/03/mactan-cebu-international-airport-philippines-integrated-design-associates/>
- [38] Netradiční technické řešení konstrukce zastřešení tenisové haly v Turnově. *Časopis stavebnictví* [online]. Ing. Zbyněk Šrůtek, 2008 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-netradicni-technicke-reseni-konstrukce-zastreseni-tenisove-haly-v-turnove.html>
- [39] Atletická hala Vítkovice. *Časopis stavebnictví* [online]. Ing. arch. Tomáš Janča, 2018 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-atleticka-hala-vitkovice.html#&gid=1&pid=6>

- [40] Natura park Pardubice. *Časopis stavebnictví* [online]. Ing. arch. Tomáš Med, Ph.D., 2017 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-natura-park-pardubice.html>
- [41] PYRAMIDENKOGEL VIEWING TOWER, KEUTSCHACH - AT. *Rubner holzbau* [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.rubner.com/en/holzbau/references/reference/pyramidenkogel-viewing-tower-keutschach-at/>
- [42] Pyramidenkogel Werdegang 2012 - 2013. *Youtube* [online]. Rudi Schneeberger, 2013 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=aasVGQbF7CU&ab_channel=RudiSchneeberger
- [43] Navrhování konstrukcí ze skla podle evropských norem. *Konstrukce* [online]. Ing. Eliášová Martina CSc., 2013 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/navrhovani-konstrukci-ze-skla-podle-evropskych-norem/>
- [44] Nadace Louise Vuittona v Paříži: další překvapení z dílny Franka Gehryho. *Časopis stavebnictví* [online]. Bc. František Kregl, 2015 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-nadace-louise-vuittona-v-parizi-dalsi-prekvapeni-z-dilny-franka-gehryho.html>
- [45] 25 KING OFFICE BUILDING. *Wiehag* [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.wiehag.com/en/references/25-king/>
- [46] Dřevo jako supermateriál aneb devatero pro dřevo. *Dřevostavitel* [online]. Kateřina Pospíšilová, 2022 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/drevo-jako-supermaterial-aneb-devatero-pro-drevo>
- [47] Glued laminated timber. *Wikiwand* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Glued_laminated_timber
- [48] MUSEUM FONDATION LOUIS VUITTON. *Hess-timber* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.hess-timber.com/en/references/detail/museum-fondation-louis-vuitton/>

- [49] Pohledové vazníky MKD. *Střechy92* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <http://www.strechy92.cz/2-pohledove-vazniky-mkd.html>
- [50] Pohledové vazníky MKD. *ADOC.pub* [online]. Brno: Bohumil Straka, doc. Ing. CSc. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://adoc.pub/k-vyvoji-devnych-konstruknich-soustav.html>
- [51] Kolíkové spoje v dřevěných konstrukcích Experimenty – Navrhování – Použití v konstrukcích. *TZB-info* [online]. doc. Ing. Bohumil Straka, CSc; Ing. Milan Šmak, Ph.D, 2017 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/16516-kolikove-spoje-v-drevenych-konstrukcich>
- [52] *Sklo – materiál pro nosné konstrukce* [online]. Praha: Ing. Martina Eliášová, CSc. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2014-11-Eliasova.pdf>
- [53] *11. Dřevo, materiálové vlastnosti* [online]. Praha: Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNNK/NNK-11.pdf>
- [54] *Progresivní konstrukční materiály* [online]. Brno: Doc. Dr. Ing. Jaroslav Hrázský, Doc. Dr. Ing. Pavel Král, 2008 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD_BC/Povinne_predmety/Tecnika_a_tehnologie_vyroby_lepenych_materialu_z_reziva_a_dyh/Materialy_L_VL,PSL,ISL.pdf
- [55] *Curved Beams & Arches* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.timberlabsolutions.com/wp-content/uploads/2018/02/Curved-Beams_Arches.pdf
- [56] *Large-Span Timber Structures* [online]. Praha: Roberto Crocetti, 2016 [cit. 2022-05-09]. ISBN DOI: 10.11159. Dostupné z: https://avestia.com/CSEE2016_Proceedings/files/paper/ICSENM/124.pdf
- [57] *The Richmond Olympic Oval* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-casestudy-RichmondOval_hires.pdf
- [58] *Dřevěné konstrukce* [online]. Praha: Doc.Ing.Petr Kuklík,CSc, 2005 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/materialy/Drevo%20prezentace.pdf>
- [59] Třídy pevnosti a charakteristické hodnoty pro lepené lamelové dřevo podle EN 14080 (Listopad 2013). In: <http://www.teretron.cz/> [online]. Praha: Jan Vídenský, 2013 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: [http://www.teretron.cz/img/cz/news/Tridy_pevnosti_-_EN_14080_\(Listopad_2013\).pdf](http://www.teretron.cz/img/cz/news/Tridy_pevnosti_-_EN_14080_(Listopad_2013).pdf)

- [60] *Eastern Parallam PSL Frequently asked questions* [online]. 2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.weyerhaeuser.com/application/files/8915/9647/4192/TB-609.pdf>
- [61] *Handbook 1 – Dřevěné konstrukce* [online]. Pilotní project Leonardo da Vinci, 2008 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf
- [62] Superior Dome. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Superior_Dome
- [63] NORTHERN MICHIGAN UNIVERSITY Superior Dome. *Tmp architecture* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.tmp-architecture.com/project/superior-dome/>
- [64] Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie (Strašnice). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_Neposkvrněného_početí_Panny_Marie_\(Strašnice\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_Neposkvrněného_početí_Panny_Marie_(Strašnice))
- [65] Koncepce stavby kostela a interiér. *Římsko-katolická farnost Neposkvrněného početí Panny Marie* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://www.farnoststrasnice.cz/farnost.php?doc=kostel.htm>
- [66] Rekonstrukce kostela v Praze Strašnicích. *Časopis KONSTRUKCE* [online]. Prefa Aluminiumprodukte, 2012 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/rekonstrukce-kostela-v-praze-strasnicich/>
- [67] Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie. *Hrady* [online]. 2007 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/kostel-neposkvrneneho-poceti-panny-marie-praha-10-strasnice>