

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Stavební inženýrství

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Nosné konstrukce s použitím lepeného lamelového  
dřeva

Load Bearing Structures with Use of Glued  
Laminated Timber



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vostrý Jméno: Matyáš Osobní číslo: 495737  
Fakulta/ústav: Fakulta stavební  
Zadávající katedra/ústav: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Nosné konstrukce s použitím lepeného lamelového dřeva

Název bakalářské práce anglicky:

Load Bearing Structures with Use of Glued Laminated Timber

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Kuklík, CSc. katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 23.02.2023 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.05.2023

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení doc. Ing. Petra Kuklíka, Csc., a využíval jsem pouze uvedenou literaturu a webové stránky.

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování**

Velice děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, doc. Ing. Petru Kuklíkovi Csc.,  
za odborné konzultace, poskytnuté exkurze, tipy a rady při psaní bakalářské práce.

## Anotace

Tématem bakalářské práce je použití lepeného lamelového dřeva u nosných konstrukcí. Lepené lamelové dřevo se používá většinou na konstrukce s velkým rozpětím, které může dosahovat až 70 m. Používá se také na halové stavby, stavby pro kulturu nebo třeba na zastřešení výstavišť. V úvodu mé bakalářské práce je popsána historie a vznik lepeného lamelového dřeva, který je následován výrobním procesem samotných nosníků, jejich vlastnostmi a dopravou na staveniště. Dále rozdělují nosné konstrukce na několik typů nosníků, přičemž ke každému je přiloženo statické schéma. Následující část práce je věnována typům lepidel a jejich klasifikaci v souladu s příslušnými normami. V poslední části mé práce uvádím příklady realizovaných staveb s použitím lepeného lamelového dřeva jako nosné konstrukce. Téma bakalářské práce jsem si vybral, protože vidím narůstající použití lepeného lamelového dřeva u moderních staveb.

**Klíčová slova: dřevo, dřevěné konstrukce, lepené lamelové dřevo, výroba lepeného lamelového dřeva, nosné konstrukce z lepeného lamelového dřeva**

## Annotation

The topic of the bachelor thesis is the use of glued laminated timber in load-bearing structures. Glulam is mostly used for structures with large spans, which can reach up to 70 m. It is also used for hall buildings, buildings for culture or for example for roofing of exhibition halls. In the introduction of my bachelor thesis, the history and origin of glulam is described, followed by the manufacturing process of the beams themselves, their properties and transportation to the construction site. I then divide the beam structures into several types of beams, with a static diagram attached to each. The next part of the thesis is devoted to the types of adhesives and their classification in accordance with the relevant norms. In the last part of my thesis, I give examples of realized buildings using glued laminated timber as a load-bearing structure. I chose the topic of my bachelor thesis because I see the increasing use of glulam in modern buildings.

**Key words: wood, timber, timber structures, glue laminated wood, manufacturing process of glued laminated timber, load bearing structures made of glued laminated timber**

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	6
<b>1 Úvod</b> .....	9
<b>2 Historie</b> .....	10
<b>2.1 Předchůdci lepeného lamelového dřeva</b> .....	10
<b>2.1.1 Soustava de l'Ormeho</b> .....	10
<b>2.1.2 Soustava Meltzerova</b> .....	11
<b>2.1.3 Soustava Stephanova</b> .....	11
<b>2.1.4 Soustava Emyho</b> .....	12
<b>2.2 První použití lepeného lamelového dřeva</b> .....	12
<b>3 Výroba</b> .....	13
<b>3.1 Výrobní proces</b> .....	13
<b>3.1.1 Dovoz řeziva</b> .....	14
<b>3.1.2 Sušení řeziva</b> .....	14
<b>3.1.3 Třídění řeziva</b> .....	14
<b>3.1.4 Výroba zubovitého spoje</b> .....	15
<b>3.1.5 Frézování jednotlivých lamel</b> .....	16
<b>3.1.6 Nanášení lepidla</b> .....	16
<b>3.1.7 Frézování hotového prvku</b> .....	16
<b>3.2 Kontrola kvality výroby</b> .....	16
<b>4 Vlastnosti</b> .....	17
<b>4.1 Materiálové vlastnosti</b> .....	17
<b>4.1.1 Pevnost a tuhost</b> .....	17
<b>4.1.2 Velikostní efekt</b> .....	19
<b>4.1.3 Vlhkost</b> .....	19
<b>4.1.4 Tlaková impregnace</b> .....	19
<b>4.1.5 Chemická odolnost</b> .....	19
<b>4.1.6 Požární odolnost</b> .....	19

<b>4.1.7 Hospodárnost</b> .....	20
<b>4.2 Různorodost</b> .....	20
<b>4.2.1 Tvar a velikost</b> .....	20
<b>4.2.2 Průřezy</b> .....	20
<b>4.3 Fyzikální vlastnosti</b> .....	21
<b>4.3.1 Objemová hmotnost</b> .....	21
<b>4.3.2 Tepelná vodivost a roztažnost</b> .....	21
<b>4.4 Navrhování</b> .....	21
<b>4.4.1 Připravenost konstrukcí</b> .....	21
<b>4.4.2 Estetika</b> .....	22
<b>4.4.3 Montáž a doprava</b> .....	22
<b>5 Nosné konstrukce</b> .....	22
<b>5.1 Přímé nosníky</b> .....	23
<b>5.1.1 Prostý nosník</b> .....	24
<b>5.2.1 Spojitý nosník</b> .....	24
<b>5.2 Pultové nosníky</b> .....	24
<b>5.3 Sedlové nosníky</b> .....	25
<b>5.4 Zakřivené nosníky</b> .....	25
<b>5.5 Rámy</b> .....	25
<b>5.5.1 Dvojkoubový rám</b> .....	27
<b>5.5.2 Trojkoubový rám</b> .....	28
<b>5.6 Obloukové nosníky</b> .....	28
<b>5.6.1 Dvojkoubový obloukový nosník</b> .....	29
<b>5.6.2 Trojkoubový obloukový nosník</b> .....	29
<b>5.7 Příhradové vazníky</b> .....	29
<b>6 Typické spoje</b> .....	30
<b>6.1 Lepené spoje</b> .....	31
<b>6.2 Mechanické spoje</b> .....	31
<b>6.2.1 Systém MKD</b> .....	31

<b>6.2.2</b>	<b>Systém GREIM BAU .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Vložené třmeny .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Systém BSB .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Spojovací prostředky .....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>Lepidla .....</b>	<b>40</b>
<b>8.1</b>	<b>Klasifikace lepidel podle Eurokódu 5 .....</b>	<b>42</b>
<b>8.2</b>	<b>Druhy lepidel .....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Specifické konstrukce .....</b>	<b>45</b>
<b>9.1</b>	<b>Těžký dřevěný skelet na objektu v Jeseníku .....</b>	<b>45</b>
<b>9.2</b>	<b>Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie .....</b>	<b>46</b>
<b>9.3</b>	<b>Gammel Hellerup Gymnasium Multi-Purpose Hall .....</b>	<b>47</b>
<b>9.4</b>	<b>Warwick University .....</b>	<b>49</b>
<b>9.5</b>	<b>Crystal Bridges Museum of American Art .....</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>54</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>56</b>



# 1 Úvod

Ve stavebnictví a architektuře se používá nespočet různorodých materiálů. Jedním z nich je také dřevo. Dřevo je zároveň jedním z prvních materiálů, které člověk používal. Lidé se jej díky své vynalézavosti, zručnosti a kreativitě naučili používat a zpracovávat na nejvyšší úrovni. Od pradávna ho využívali v každé oblasti. V modernějších dobách bylo dřevo postupně vytlačováno jinými materiály, jako jsou kámen, beton, sklo nebo ocel. Naštěstí se dřevu v posledních dekadách popularita vrací a začíná se znovu uplatňovat jako dobrý stavební materiál s flexibilním využitím.

Dřevo má totiž několik skvělých vlastností, které jsou velmi žádané. Patří mezi obnovitelné zdroje a zároveň má ekologické přednosti, jako např. možnost bezodpadového zpracování, nebo růstové procesy, které díky fotosyntéze vytváří kyslík a zároveň odvádějí ze vzduchu oxid uhličitý.

Lepené lamelové dřevo je jedním z produktů dřevařského průmyslu, který se velice často využívá v mnoha aspektech stavebnictví. Během posledních let se navíc zvýšil počet výrobců, jež využívají lepené lamelové dřevo k výrobě produktů, díky kterým je možné realizovat i náročné konstrukce.

Lesy pokrývají 36,8 % území ČR, což je přibližně 2,9 milionů hektarů lesů. ČR tedy patří mezi středně zalesněné země. Průměrná zásoba lesních pozemků na 1 ha je 269 m<sup>3</sup>. Česká republika se v zásobě dřeva na 1 ha nachází na předních pozicích mezi evropskými státy, což dokazuje, jak ohromný produkční kapitál lesů ČR vlastní. Běžné roční přírůstky dřeva činí 18 mil. m<sup>3</sup>. Vytěží se zhruba 14 až 15 mil. m<sup>3</sup>. Dlouhodobý plán je, aby se během 10 let roční spotřeba dřeva na jednoho obyvatele v ČR zdvojnásobila z nynějších 0,23 m<sup>3</sup> na 0,46 m<sup>3</sup>.

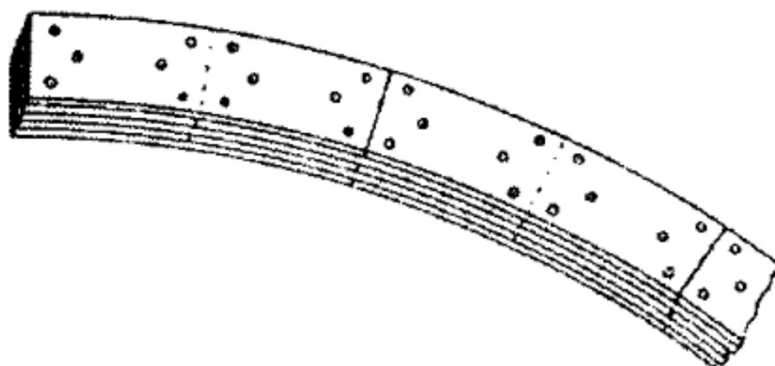
## 2 Historie

Dřevo je úchvatný, obnovitelný a ekologický materiál, který má však určitá omezení. Pro přenesení zatížení na velké rozpony je nutné použití dřevěných nosníků, které nám příroda sama nenabídne. Tudíž nám zůstává jen možnost slepení dřeva pomocí lamel menšího průřezu. Dle dochovaných důkazů byl tento typ zpracování znám již ve starověkém Egyptě. Staří Egypťané tuto metodu využívali při výrobě dřevěných sarkofágů. Avšak první konstrukce z lepeného lamelového dřeva se začaly objevovat až v Anglii v 19. století. První patent na lepené nosníky ze dřeva podal v roce 1906 Otto Hetzer. První budovou, při jejíž stavbě byla použita tzv. Hetzerova metoda, je plzeňské planetárium, které bylo postaveno v roce 1917. Tato metoda byla originální způsob, jak lepením a skládáním dřevěných lamel vytvořit rozměrné klenby, o které se pak dále opírá celá stavba.

### 2.1 Předchůdci lepeného lamelového dřeva

#### 2.1.1 Soustava de l'Ormeho

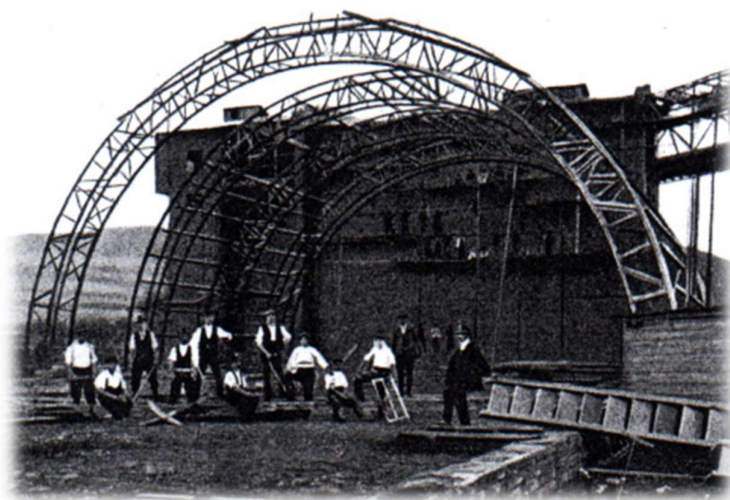
Počátek 19. století je významným hledáním nových a inovativních tvarů dřevěných soustav a jejich častějším využíváním pro halové stavby. Začal se dávat důraz na větší rozpětí těchto staveb, především obloukových. Jedna z prvních soustav obloukového tvaru byla právě soustava de l'Ormeho. Oblouky se skládají ze dvou až sedmi vrstev na stojato postavených a do oblouku seříznutých prken či fošen, které se poté spojovaly svorníky, hřebíky nebo dubovými kolíky.



Obr. 2.1 Detail de l'Ormeho oblouku

### 2.1.2 Soustava Meltzerova

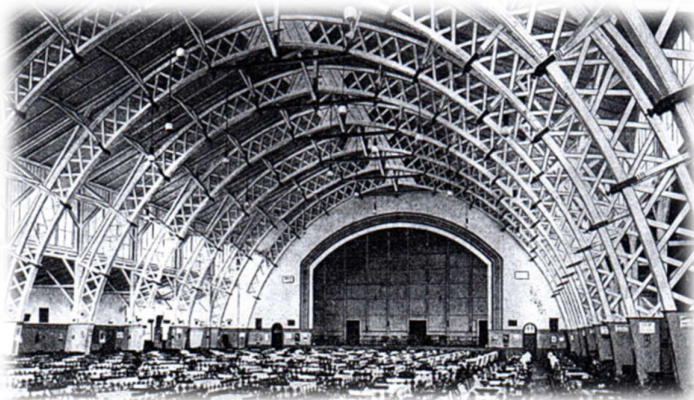
Meltzerova soustava se provádí ze slabých dřevěných latí čtvercového průřezu 40/40 až 60/60 mm, nebo průřezu obdélníkového 30/50 či 40/60 mm. Tato soustava se běžně používala na rozpětí přes 50 m.



Obr. 2.2 Konstrukce zastřešení skladu

### 2.1.3 Soustava Stephanova

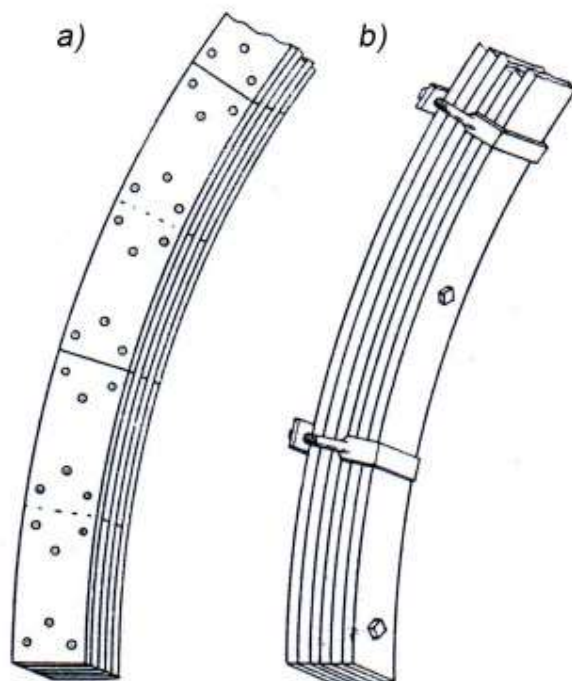
Nejstarší obloukovou příhradovou soustavou prováděnou na velké rozpětí je však soustava Stephanova. Tato soustava kombinuje oblouky Emyho nebo de l'Ormeho, z nichž jsou zhotoveny horní a dolní pásy příhradového oblouku. Mezi tyto pásy je pak umístěna příhradovina z latí nebo prken, viz obr. 15.



Obr. 2.3 Příhradovina z latí

### 2.1.4 Soustava Emyho

Je tvořená oblouky složených z několika vrstev dlouhých prken tloušťky 18 až 40 mm, ohnutých naplocho tak, aby podélné styky mezi prkny byly vystřídány. Ve vzdálenostech v rozmezí 1,0 až 1,5 m jsou poté prkna příčně stažena ocelovými objímkami.



Obr. 2.4 Detail Emyho oblouku

## 2.2 První použití lepeného lamelového dřeva

Dřevo jako materiál bylo až do poloviny 19. století nejvyužívanějším stavebním materiálem, ale určité historické události vedly k poklesu jeho popularity. Od roku 1850 dřevo přestalo být při výstavbě budov první volbou. Po celém světě se začala stále více používat ocel a do popředí se dostával také beton.

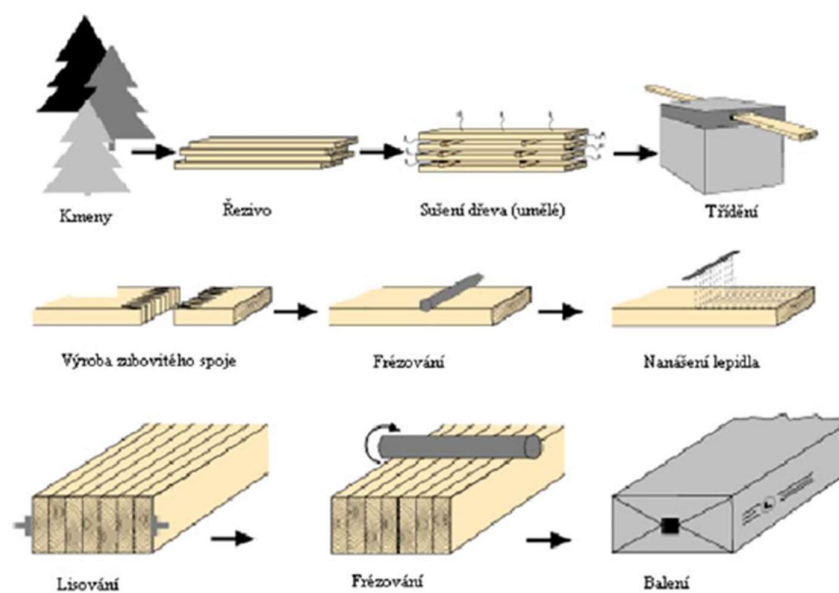
Opětovný nástup používání dřeva můžeme připsat Ottu Hetzerovi, který v roce 1906 obdržel říšský patent za svůj vynález zakřivených lepených dřevěných prvků z vícero lamel, které byly spojeny lepidlem za působení tlaku. Splením více samostatných prvků se zamezilo kroucení a trhlinám, jež vznikají u průřezů větších rozměrů z rostlého dřeva. Použil

přítom lepidlo na bázi kaseinu, tedy lepivou směs vápna a tvarohu. Tento druh lepidel se dnes již nepoužívá, jelikož nejsou odolná vůči dlouhodobému působení vlhkosti. „Hetzerovy nosníky“, jak byly nazývány, značně rozšířily možnosti použití dřeva. S jejich přispěním bylo možné vytvořit konstrukce s volným rozpětím bez podpor umožňující využití získaného prostoru. Konstrukce s rozpětím více než 40 m již nebylo nemožné zkonstruovat. Vynález lepeného lamelového dřeva je tedy považován za zrod moderního dřevařského stavebnictví. Použití lepeného lamelového dřeva mělo několik výhod. Stupeň prefabrikace, krátké stavební lhůty a skoro o 50 procent nižší náklady, než měly jiné materiály, např. beton. Hetzerova metoda výroby lepeného lamelového dřeva byla postupem času zdokonalována a vyvíjena až do současné podoby.

### 3 Výroba

Lepené lamelové dřevo se nejčastěji vyrábí z měkkého dřeva, tj. smrkové, někteří výrobci používají také modřín nebo i dub. Mezi nejvýznamnější výrobce lepeného lamelového dřeva se řadí i společnost Hranex s.r.o., která byla založena v roce 1996. Je stoprocentní českou firmou, která vyrábí převážně z dříví vytěženého v českých lesích. Ročně je schopna vyrobit více jak 18 000 m<sup>3</sup> výrobků.

#### 3.1 Výrobní proces



Obr. 3.1 Výrobní proces lepeného lamelového dřeva

### 3.1.1 Dovoz řeziva

Prkna nebo lamely průměrné tloušťky 40-50 mm a délky 1,5-5,0 m jsou přivezené ze skládky. U zakřivených nosníků se používají lamely o tloušťce 20-30 mm.

### 3.1.2 Sušení řeziva

Dřevěné lamely se vysouší v sušárnách při teplotě 70 °C na jednotnou předepsanou hodnotu vlhkosti, která se pohybuje od 8 do 15 %. Rozdíl vlhkosti dvou sousedních lamel nesmí přesáhnout 5 %. Používaná lepidla umožňují vlhkost dřeva až na 15 %. Při těchto podmínkách nastává optimální pevnost lepené spáry a její hodnota je přibližně shodná s vlhkostí hotové konstrukce. Tímto se dá předcházet vzniku výsušných trhlin ve dřevě.

### 3.1.3 Třídění řeziva

Třídění řeziva je podle ČSN 49 0002 dílčí operace při výrobě řeziva spočívající v rozdělování jednotlivých kusů řeziva podle určitých rozlišovacích znaků do stanovených pevnostních tříd. Rozlišuje se třídění řeziva podle rozměrů (ČSN EN 1313-1) a třídění podle jakosti, které se dále rozděluje na třídění konstrukčního řeziva s nosnou funkcí a nekonstrukčního řeziva. Při třídění konstrukčního řeziva se bere zřetel na jeho mechanické vlastnosti.

Třídění konstrukčního řeziva, které má za úkol základní surovinu rozdělit do tříd, v nichž vlastnosti kolísají v porovnání s netříděným materiálem v menším rozsahu, částečně eliminuje nežádoucí účinek vysoké proměnlivosti mechanických vlastností řeziva. Toto třídění lze provádět vizuálním ohodnocením řeziva, tzv. vizuálním tříděním nebo mechanizovaným způsobem, tzv. strojním tříděním.

Vizuální třídění podle pevnosti je proces, kterým řezivo vizuální kontrolou a posouzením zatřídíme do tříd, ke kterým mohou být přiřazeny charakteristické hodnoty pevnosti, hustoty a modulu pružnosti.

Strojní třídění podle pevnosti je proces, kterým je dřevo tříděné nedestruktivním strojním snímáním jedné či více vlastností dřeva při nutné vizuální kontrole do tříd. Při strojním třídění procházejí prkna nejprve válečkovou dráhou při současném zatěžování určitým břemenem. Rychlost automatického posuvu řeziva strojem je asi 50 až 300, někdy i 450 m/min. Jakost řeziva se kontroluje na každém úseku délky asi 100 až 150 mm a označuje

se barvou. Pro zařazení celého prvku je rozhodující nepříznivá hodnota. Strojní třídění tedy umožňuje přesun k lepším jakostem z hlediska návrhových pevností dřeva, tj. menší spotřebu materiálu. Na rozdíl od řady vyspělých evropských zemí se v ČR strojní třídění vzhledem ke společenským a ekonomickým změnám v druhé polovině 20. století nepoužívalo.

S využitím třídění podle pevnostních tříd je možné použít v jednom průřezu lamely stejné pevnosti, díky čemuž se vyrobí „homogenní LLD“. Pro ještě výhodnější využití pevnostního třídění se dají vyrobiť lepené prvky tak, že lamely vyšších pevností jsou umístěné na vnějších částech příčného řezu, kde očekáváme větší namáhání, a do středu příčného řezu umístíme lamely nižších pevností. Pokud nastane tento případ, hovoříme o „kombinovaném LLD“.

### 3.1.4 Výroba zubovitého spoje

Na koncích již vyříděných prken jsou vyfrézovány zubovité spoje, jež je zobrazen na obr. 3.2. Po vyfrézování je na spoje nanášeno lepidlo a poté jsou jednotlivé díly podélně stlačovány, přičemž vzniká nekonečně dlouhý délkově nastavený vlys, z něhož jsou odřezávány příslušné délky. Takto připravená lamela se poté musí nechat minimálně osm hodin bez dalšího zpracování. Během těchto osmi hodin se v klínovém spoji vytvrzuje lepidlo.



Obr. 3.2 Zubovitý spoj

### 3.1.5 Frézování jednotlivých lamel

Po několikahodinovém vytvrzení lepidla je délkově slepený surový hranol čtyřstranně hoblován ve čtyřfrézce. Současně jsou také zešíkmeny všechny čtyři hrany, čímž dochází k usnadnění manipulace.

### 3.1.6 Nanášení lepidla

Lepidlo je nanášeno na horní plochu lamel, zatímco se lamely skládají na požadovanou velikost průřezu. Při zhotovování kombinovaného lepeného lamelového dřeva je nutné dávat si pozor na orientaci lamel vyšší a nižší pevnosti v průřezu. Abychom eliminovali vnitřní napětí v průřezu, jsou lamely osazovány tak, aby průběh letokruhů byl na každé lamele ve stejném směru. Jediná poslední lamela má jádrovou část na vnější části průřezu.

Lepidlo, které bylo při nanášení použito, se schvaluje stavebním dohledem. Během schvalování se důkladně vyšetřuje použitelnost, krátkodobá pevnost a také trvanlivost provedených lepených spojů.

### 3.1.7 Frézování hotového prvku

Poté, co se dokončí proces tvrzení lepidla, musí dojít k odstranění lisovacího tlaku ještě, než začne lepidlo tvrdnout, což je přibližně do jedné hodiny od jeho nanesení. Přesný čas začátku tvrdnutí závisí na typu lepidla a teplotě prostředí. Lepidlo tvrdne při předepsaných a kontrolovaných vlhkostních a teplotních podmínkách, zpravidla při vlhkosti vzduchu mezi 40 až 75 % a při nejnižší teplotě vzduchu 18 °C. Následně se lepené prvky hoblují po stranách, čímž se odstraňuje vytlačené lepidlo a zároveň se vytváří hladký povrch. Dalším na řadě je finalizace výroby, kdy se konkrétní prvek připravuje na dokončovací práce, např. nanášení ochranných nátěrů nebo vyvrtání otvorů pro spojovací prostředky. Poté je prvek ještě jednou zkontrolován a označen. Zabalенý prvek jde pak do skladu anebo je přepraven přímo na stavbu.

## 3.2 Kontrola kvality výroby

Kontrola kvality výroby je nedílnou součástí produkce lepeného lamelového dřeva. Sestává se z interní a externí části. Interní část provádí výrobce, zatímco externí část provádí nezávislá osoba. Kontrola kvality zahrnuje zkoušku průhybu, tahovou zkoušku zubovitých



spojů, zkoušku delaminace, anebo smykové zkoušky na kontrolu integrity lepených spár.

Výrobce musí proces výroby kontrolovat, vytvořit koncept zkoušení výrobků a také dané zkoušky provádět. Produkce je zároveň kontrolována i třetí nezávislou osobou, která kontroluje výrobu přímo u výrobců. Pokud je kontrola kvality prováděna podle evropských norem, je následně možné hotový prvek označit značkou CE.

## 4 Vlastnosti

### 4.1 Materiálové vlastnosti

#### 4.1.1 Pevnost a tuhost

Lepené lamelové dřevo má všeobecně stejné pevnostní vlastnosti jako běžné řezivo. Pevnost závisí na úhlu mezi působícím zatížením a vlákny dřeva, na délce trvání daného zatížení a rovněž na vlhkosti. Lepené lamelové dřevo dosahuje vyšší pevnosti a tuhosti než průřez stejných rozměrů z běžného řeziva. Důvodem je menší rozptyl pevnosti. U lepeného lamelového dřeva je vliv nehomogenity menší než u prvků z řeziva, jelikož nehomogenity, které se nacházejí v řezivě, jsou během výroby lepeného lamelového dřeva z lamel odstraňovány nebo jsou v hotovém výrobku rozděleny rovnoměrněji.

Kritickým jevem pro pevnost je pevnost nejslabšího místa, nejčastěji v suku nebo podobném místě. Rozdíl mezi jednotlivými prkny je proto velký. V nosníku z lepeného lamelového dřeva jsou promíchány lamely s různými pevnostmi, a proto je riziko, že se na jednom místě v průřezu bude nacházet vícero nehomogenity, velmi nízké. Rozdělení zatížení na jednotlivé lamely umožňuje lokálně přenést napětí z oslabených míst na místa s vyšší pevností.

Pro dosažení vysokojakostního lamelového dřeva musíme uvážit dva faktory. Kvalitu zubovitých spojů a množství suků v řezivu. Zlepšení jen jednoho z těchto faktorů nemá žádný smysl, jelikož únosnost lamelového prvku bude udávána tím více problematickým faktorem, a tím pádem nebude dosaženo požadovaného zlepšení.

Tento efekt je zohledněn součinitelem pro vlastnosti materiálu a únosnosti  $\gamma_M$ , který se používá při dimenzování. V Eurokódu 5 je součinitel materiálu, jenž zohledňuje nejistoty modelu a variace příčného řezu, zmenšen na hodnotu 1,25, zatímco jeho hodnota pro řezivo je 1,3.

Vlastnost <sup>a</sup>	Značka	Třída pevnosti lepeného lamelového dřeva						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Pevnost v ohybu	$f_{m,d,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Pevnost v tahu	$f_{t,d,k}$	15	16	17	19	19,5	20	20
	$f_{t,90,d,k}$	0,5						
Pevnost v tlaku	$f_{c,d,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	25	25
	$f_{c,90,d,k}$	2,5						
Pevnost ve smyku (smyk a kroucení)	$f_{v,d,k}$	3,5						
Pevnost ve valivém smyku	$f_{r,d,k}$	1,2						
Modul pružnosti	$E_{0,d,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,d,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,d,mean}$	300						
	$E_{90,d,05}$	250						
Modul pružnosti ve smyku	$G_{d,mean}$	650						
	$G_{d,05}$	542						
Modul pružnosti ve valivém smyku	$G_{r,d,mean}$	65						
	$G_{r,d,05}$	54						
Hustota <sup>b</sup>	$\rho_{d,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{d,mean}$	390	390	400	420	430	430	440

Tab. 4.1 Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v  $N/mm^2$  a hustoty v  $kg/m^3$  pro kombinované lepené lamelové dřevo

Vlastnost	Značka	Třída pevnosti lepeného lamelového dřeva						
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Pevnost v ohybu	$f_{m,d,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Pevnost v tahu	$f_{t,d,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,4	24	25,6
	$f_{t,90,d,k}$	0,5						
Pevnost v tlaku	$f_{c,d,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,d,k}$	2,5						
Pevnost ve smyku (smyk a kroucení)	$f_{v,d,k}$	3,5						
Pevnost ve valivém smyku	$f_{r,d,k}$	1,2						
Modul pružnosti	$E_{0,d,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 000	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,d,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,d,mean}$	300						
	$E_{90,d,05}$	250						
Modul pružnosti ve smyku	$G_{d,mean}$	650						
	$G_{d,05}$	540						
Modul pružnosti ve valivém smyku	$G_{r,d,mean}$	65						
	$G_{r,d,05}$	54						
Hustota	$\rho_{d,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{d,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Tab. 4.2 Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v  $N/mm^2$  a hustoty v  $kg/m^3$  pro homogenní lepené lamelové dřevo

### 4.1.2 Velikostní efekt

S lepeným lamelovým dřevem a velikostí průřezu souvisí i pojem „velikostní efekt“. Nosníky z lepeného lamelového dřeva, které byly zkoušené v laboratorních podmínkách, vykazovaly náhlé poruchy podobné křehkému lomu. Tyto poruchy se objevovaly v místech nehomogenity průřezu (suku). Dalším místem, kde byly tyto poruchy velmi časté, bylo místo klínového spoje na tažené straně průřezu. Tento efekt byl pozorován a zkoumán mnoho let. Výsledkem pozorování bylo, že pravděpodobnost výskytu těchto míst roste s velikostí průřezu. Únosnost velkého průřezu je tedy zpravidla menší než u průřezu menšího.

### 4.1.3 Vlhkost

Vlhkost je při výrobě lepeného lamelového dřeva pečlivě kontrolována. Jednotlivé lamely musí být vysušeny na přibližně 12 %. Tato hodnota je stanovena na dobu před lepením. Omezená tloušťka lamel umožňuje rovnoměrné sušení, což pomáhá minimalizovat chyby v daném procesu vysoušení. Vlhkost dosažená při výrobě lepeného lamelového dřeva je defacto vlhkost dřeva v konstrukcích, tedy přibližně mezi 9 až 12 %.

### 4.1.4 Tlaková impregnace

Ochrana dřeva před houbami a jinými mikroorganismy je řešena především v navrhování detailů. Jedna z možností je tlaková impregnace. V tlakové impregnaci se dají použít dvě různé metody. Impregnování může proběhnout před lepením anebo po lepení. Pokud budeme impregnovat před lepením, musíme nedříve zkontrolovat, jestli jsou naimpregnované části schopné lepení, což závisí na typu lepidla a typu prvku. Při impregnaci po lepení musí být lepidlo schopné snést tlakovou impregnaci. Získává se tím celá naimpregnovaná plocha. Tato metoda se používá v případech, kde rozměry a tvar prvku umožňují jeho položení do zařízení na tlakovou impregnaci.

### 4.1.5 Chemická odolnost

Dřevo a syntetická lepidla, která se při výrobě lepeného lamelového dřeva používají, vykazují vysokou chemickou odolnost. Toto je hlavní důvod, proč je vhodné použít lepené lamelové dřevo na konstrukce, kde působí agresivní prostředí.

### 4.1.6 Požární odolnost

Prvky z lepeného lamelového dřeva mají též velice dobrou požární odolnost. Rychlost uhořívání je stanovena na hodnoty mezi 0,5 až 0,7 mm/min bez ztráty únosnosti.

Toto je jedním z faktorů, proč se lepené lamelové dřevo s oblibou používá na konstrukce, kde se shromažďuje velké množství lidí, např. sportovní haly, výstavní pavilony. Požární odolnost se také zvyšuje se zvětšováním průřezu.

#### 4.1.7 Hospodárnost

Z hlediska ceny je lepené lamelové dřevo schopné konkurovat jiným materiálům. Malá hmotnost snižuje montážní a dopravní náklady a má také pozitivní vliv na cenu základových konstrukcí. Výroba zakřivených prvků z lepeného lamelového dřeva je také výhodnější než výroba z jiných materiálů.

### 4.2 Různorodost

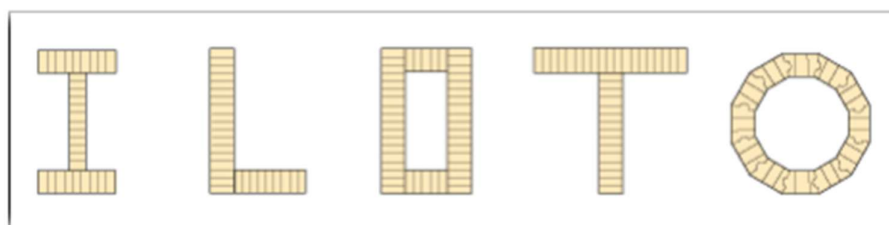
#### 4.2.1 Tvar a velikost

Výrobní proces lepeného lamelového dřeva umožňuje produkci mnoha různých tvarů a velikostí jednotlivých stavebních dílců. To samozřejmě dovoluje architektovi nebo projektantovi navrhnout vlastní tvary, od dlouhých přímých nosníků až po klenbové obloukové konstrukce. Jedinými omezeními jsou transportní možnosti a možnosti výrobce.

Zakřivením lamel při výrobě se dá dosáhnout další dimenze, obloukové tvary konstrukcí. To je u některých materiálů dosti náročné a u některých téměř nemožné. V závislosti na velikosti a zakřivení jsou používány tenčí lamely.

#### 4.2.2 Průřezy

Z lepeného lamelového dřeva jsou vyráběny rozličné tvary průřezů. Závisí to na požadavku na pevnost a tuhost konstrukce. Nejčastěji používané jsou obdélníkové průřezy do výšky 2 m. Na obr. 4.3 jsou zobrazené typické průřezy z lepeného lamelového dřeva.



Obr. 4.3 Příklady typických průřezů z lepeného lamelového dřeva

## 4.3 Fyzikální vlastnosti

### 4.3.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a jeho vlhkosti, s rostoucí vlhkostí vzrůstá. V suchém stavu se u běžných dřevin pohybuje od 400 do 700 kg/m<sup>3</sup>.

Dřeviny	Objemová hmotnost sušiny	Příklady dřevin
velmi lehké	do 400 kg/m <sup>3</sup>	vejmutovka, topol
lehké	400 - 500 kg/m <sup>3</sup>	jedle, smrk, borovice
mírně těžké	500 - 600 kg/m <sup>3</sup>	vrba, modřín, mahagon
středně těžké	600 - 700 kg/m <sup>3</sup>	bříza, jasan, dub, buk
těžké	700 - 1000 kg/m <sup>3</sup>	akát, habr
velmi těžké	nad 1 000 kg/m <sup>3</sup>	eben

Tab. 4.4 Tabulka objemových hmotností dřevin

Čerstvě poražené dřevo má vlhkost 40 až 170 % hmotnosti, dřevo proschlé na vzduchu má obvykle po jednom roce vlhkost 12-20 %. Pro technické a technologické zpracování dřeva je důležité sesychání a bobtnání dřeva vedoucí k objemovým změnám a je třeba s nimi počítat. Dřevo sesychá jinak ve směru vláken a jinak v radiálním a tečném směru. Tyto nestejněměrné tvarové změny mohou způsobit vznik puklin a deformací dřevěných prvků a konstrukcí.

### 4.3.2 Tepelná vodivost a roztažnost

Dřevo má pro stavebnictví celou řadu příznivých vlastností. Jeho tepelná vodivost a roztažnost jsou velmi malé. V suchém stavu nevede elektrický proud. Výhodné tepelně-technické vlastnosti dřeva jsou často využívány v tzv. kompletačních konstrukcích.

## 4.4 Navrhování

### 4.4.1 Připravenost konstrukcí

Konstrukce z lepeného lamelového dřeva umožňují rychlou a jednoduchou montáž předpřipravených dílců. Montáž částí konstrukce může probíhat nezávisle na počasí. Schopnost přenášet zatížení nabývá konstrukce ihned po namontování.

#### 4.4.2 Estetika

Lepené lamelové dřevo je na pohled velmi atraktivní, tudíž se většině lidem líbí. Není třeba dodávat opláštění, a tím pádem přispět k celkovému příznivějšímu dojmu.

#### 4.4.3 Montáž a doprava

Nejčastěji používaný typ dopravy nosníků z lepeného lamelového dřeva je doprava silniční. Typ použitého vozidla je závislý na tvaru a rozměru daného přepravovaného prvku. Vyhláška Ministerstva vnitra ČR udává, že délka soupravy nesmí být delší než 16,5 m, širší než 2,55 m, vyšší než 4 m a těžší než 48 tun.

Jako ochrana před deštěm, sněhem nebo zašpiněním dílců se používají ochranné obaly. Tyto obaly se odstraňují před nebo během montáže. Je také nutné pozorovat, zdali voda pod ochranným obalem nekondenzuje. Delší skladování na stavbě tedy není žádoucí.



Obr. 4.5 Přeprava nosníku z lepeného lamelového dřeva

Během přepravy nebo montáže mohou být poškozeny hrany jednotlivých prvků. Je proto nutné, aby přeprava i montáž probíhaly dle předpisů.

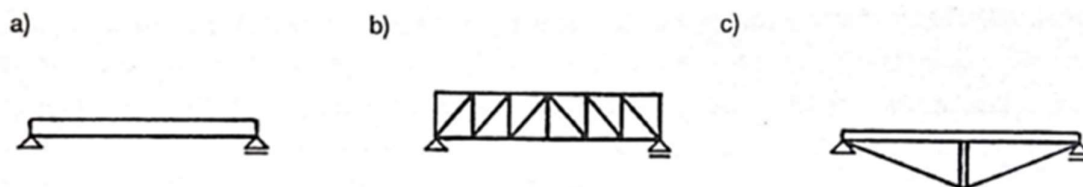
## 5 Nosné konstrukce

Základní nosná soustava dřevěných konstrukcí je zpravidla vytvořena z prutových prvků z lepeného dřeva. Tuto soustavu doplňují plošné deskové a skořepinové prvky z materiálů na bázi dřeva, vyrobené ze stavebních překližek, dřevotřískových desek nebo z jiných typů panelů.

Technologie lepených nosných částí spočívá ve slepení v tuhý nepoddajný celek pomocí staticky potřebných profilů, které jsou sestaveny ze základních prvků. Jedná se o

nejúnosnější a nejprogresivnější metodu spojování, což poskytuje široké konstrukční možnosti. Pro zlepšení vlastností dřevěných prvků se také využívá vyztužení zpevňující fólií. Vyztuž se umísťuje na taženou stranu nosníků, která ovšem bývá zpravidla přivrácená směrem do interiéru. Tuto fólii lze chránit vložením mezi krajní lamely lepeného průřezu.

Nejpoužívanější a nejjednodušší formou konstrukce z lepeného lamelového dřeva jsou nosníky. Ty jsou uloženy na sloupech, stěnách nebo také přímo na základové konstrukci. Nosníky jsou horizontální nosný konstrukční prvek, který se ze statického hlediska dělí na prosté, spojitě a lomené. Z hlediska konstrukčního je pak dělíme na příhradové, plnostěnné nebo speciální.



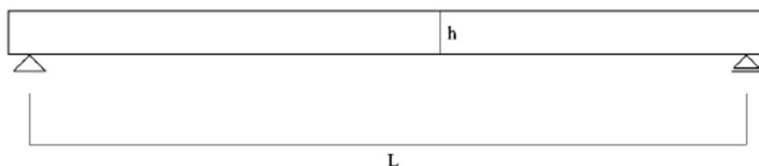
Obr. 5.1 Nosníky z konstrukčního hlediska: a) plnostěnný b) příhradový c) speciální

## 5.1 Přímé nosníky

Přímé nosníky jsou nejčastější vyráběnou konstrukcí a jejich využití je všestranné. Tyto nosníky jsou preferovány na stropní konstrukce a konstrukce zastřešení. Vyrábějí se v různých rozměrech, ale nejmenší výrobní šířka nosníku je asi 60 mm. Pokud je zapotřebí, aby měl nosník šířku větší než 240 mm, tak je lamela tvořena ze dvou průřezů položených vedle sebe. V některých případech je nutné zajistit spolupůsobení zdvojených nosníků, a to lze zajistit mechanicky spojovacími prostředky nebo spojením pomocí lepidla. Nejmenší výška lepeného lamelového průřezu je 100 až 135 mm. Šířka průřezu by neměla být menší než jedna sedmina výšky průřezu, aby se omezily problémy týkající se stability. Prosté nosníky bez mezilehlých podpor jsou zpravidla nadvýšené o velikost průhybu vznikajícího od stálého zatížení a kvazistálé části nahodilých zatížení. Druhým typem přímých nosníků jsou spojitě nosníky, které jsou bez nadvýšení, jelikož mají příznivější rozdělení ohybového momentu.

### 5.1.1 Prostý nosník

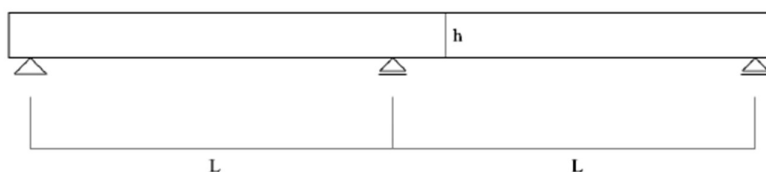
Orientační výška:  $h \sim \frac{1}{17} L$



Obr. 5.2 Prostý nosník s konstantním průřezem

### 5.2.1 Spojitý nosník

Orientační výška:  $h \sim \frac{1}{20} L$

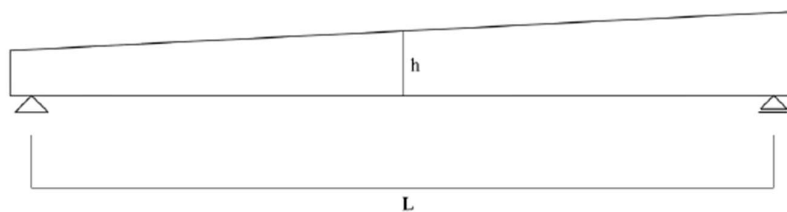


Obr. 5.3 Spojitý nosník s konstantním průřezem

## 5.2 Pultové nosníky

Jejich využití je na základě sklonu horní hrany nosníku, který se využívá pro osazení sekundárních nosných prvků střešní roviny. Velká nevýhoda tohoto typu nosníku je hospodárnost.

Orientační výška:  $h \sim \frac{1}{17} L$



Obr. 5.4 Pultový nosník

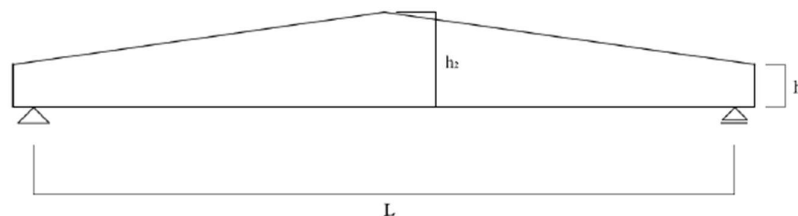


### 5.3 Sedlové nosníky

Největší výhodou použití sedlového nosníku je, že se symetricky zvětšuje s největší výškou průřezu uprostřed rozpětí. Zároveň se zvětšuje ohybový moment.

$$\text{Orientační výška: } h_1 \sim \frac{1}{25} L$$

$$h_2 \sim \frac{1}{15} L$$



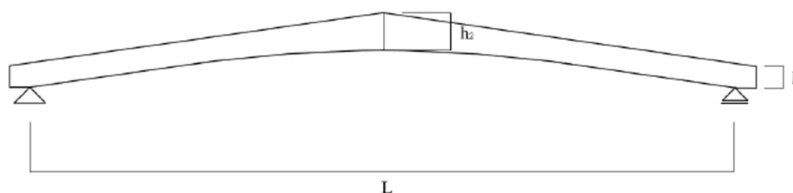
Obr. 5.5 Sedlový nosník

### 5.4 Zakřivené nosníky

Zakřivené nosníky se oproti sedlovým nosníkům vyznačují nadvýšením spodní hrany nosníku. Toto nadvýšení pomáhá k většímu využití prostoru a úspoře materiálu. Nejčastější sklony střešní roviny, které se u zakřivených nosníků používají, se pohybují mezi 5 až 20 °. Avšak oproti sedlovým nebo přímým nosníkům jsou kvůli náročnější výrobě dražší.

$$\text{Orientační výška: } h_1 \sim \frac{1}{25} L$$

$$h_2 \sim \frac{1}{10} L$$

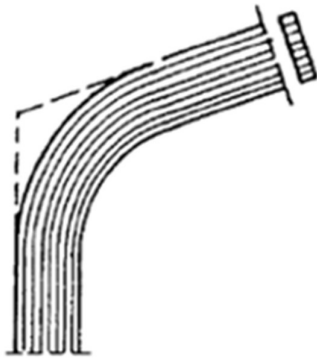


Obr. 5.6 Zakřivený nosník

### 5.5 Rámy

Rámové konstrukce jsou nejběžněji používané u objektů, kde jsou požadavky na světlostou výšku v rámci celého příčného průřezu. Příkladem takových objektů jsou průmyslové a sportovní halové objekty. Tvar konstrukce je navrhován podle průběhu vnitřních sil, jednotlivé dílce se snaží průběh kopírovat. Tímto způsobem se zajišťuje funkčnost a estetičnost konstrukce. Použití rámu je vhodné pro konstrukce pro rozpětí do 40 m. Pro

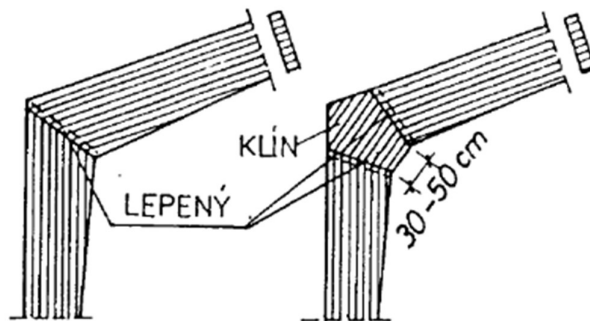
konstrukce s rozpětím více než 40 metrů musíme zřizovat ocelové spoje. Prvky se na stavbu dovážejí po jednotlivých dílcích, což není logisticky a ekonomicky výhodné.



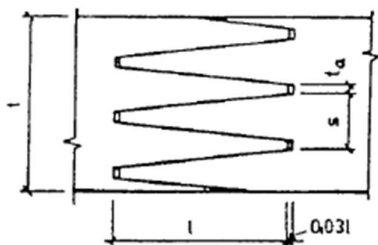
Obr. 5.7 Rámový roh se zakřivenou střednicí

Hlavním problémem rámových konstrukcí je vytvoření styku rámové stojky a rámové příčle v místě rámového rohu. Hlavní funkce rámového rohu je přenášení momentu. Časté řešení je zakřivení střednice rámového rohu. Poloměr zakřivení by měl být alespoň 200násobek tloušťky lamely. Nevýhodou tohoto řešení je dopravení celého kusu rámu na stavbu a nemožnost zpětného rozebrání spoje. Další možností řešení je provedení lepeného zubovitého spoje. Do šikmo seříznuté rámové stojky a příčle se vyfrézuje zubovitý spoj. Jelikož se spoj vyfrézuje ve výrobě a

slepení až na stavbě, snižuje se náročnost dopravení na stavbu. Tento spoj je velice křehký a musí splňovat přísné požadavky na lepidla a provedení. Zpětné rozebrání lepeného spoje není možné. Délky zubovitých spojů (obr. 5.6) se provádí ve třech velikostech (tab. 5.7). Nejčastěji používanou velikostí u rámových rohů jsou maxi zuby.



Obr. 5.8 Rámový roh provedený lepeným zazuběným spojem

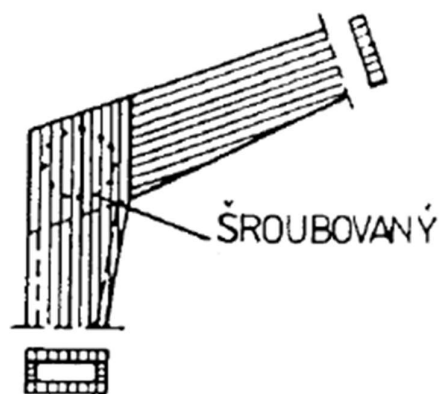


Obr. 5.19 Zubovitý spoj

Délka zubů	~l	~t <sub>a</sub>
mini	7,5 mm	0,2 mm
midí	22 mm	1 mm
maxi	50 - 60 mm	2 mm

Tab. 5.10 Délka zubů u zubovitých spojů

Dalším řešením rámových rohů jsou šroubované rámové rohy. Provádí se pomocí spojovacích prostředků – kroužky, hmoždíky, svorníky nebo kolíky. Výhodou tohoto spojení je montáž či demontáž na staveništi. Pro všechny spojovací prostředky je nejvýhodnější uspořádání do kruhu nebo mezikruží. Uspořádání do pravoúhlých sítí je velice problematické z důvodu štípnutí rámového rohu.

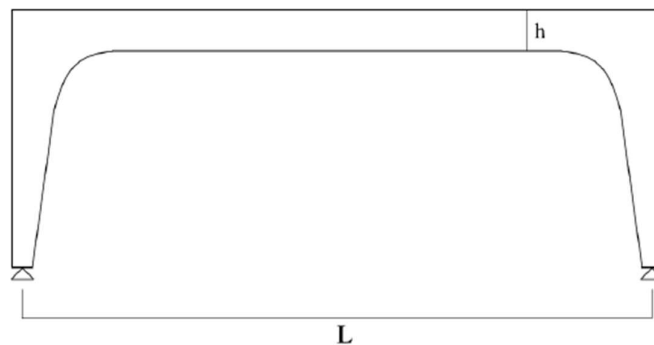


Obr. 5.11 Svorníkový rámový roh

### 5.5.1 Dvojklobový rám

U tohoto typu rámu je nutné počítat s redistribucí momentů, která vyplývá z prokluzu rámové stojky a příčle. Je to tak kvůli šroubovaným rámovým rohům. Na druhu spojovacího prostředku závisí velikost prokluzu spoje. Momenty se zvětšují v příčli oproti v rámovém rohu.

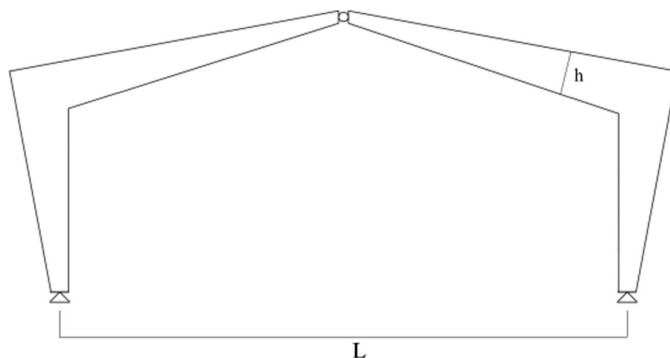
$$\text{Orientační výška: } h \sim \frac{1}{23} L$$



Obr. 5.12 Dvojklobový rám

### 5.5.2 Trojkloubový rám

Největší výhodou trojkloubového rámu je v tom, že není zformován z jednoho kusu. Tím pádem je jednodušší jeho přeprava a manipulace s ním. Tento rám má velké uplatnění u konstrukcí většího rozpětí.



Obr. 5.13 Trojkloubový rám

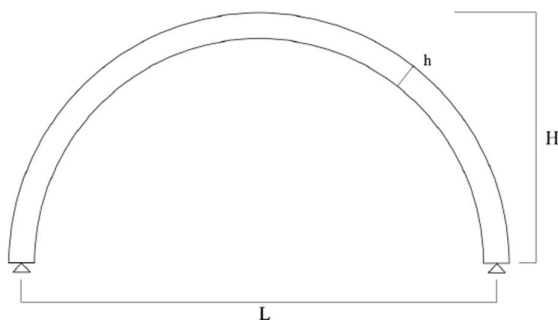
## 5.6 Obloukové nosníky

Díky jeho vlastnostem je lepené lamelové dřevo často využíváno jako materiál pro zhotovení zakřivených prvků, jako jsou oblouky. Můžeme je poměrně lehce a ekonomicky vytvořit jak na malá, tak i na velká rozpětí. Dvojklobové konstrukce (obr. 5.13) se používají pro menší rozpětí. Menší rozpětí jsou přibližně do 40 m, naproti tomu pro větší rozpětí se používají konstrukce trojkloubové (obr. 5.14), kde rozpětí může být až 100 m. V místě podpor jsou vždy dva klouby U trojkloubového systému je třetí kloub ve vrcholu.

### 5.6.1 Dvojklobový obloukový nosník

$$\text{Orientační výška: } h \sim \frac{1}{30-60} L$$

$$H \sim \min \frac{1}{2} L$$

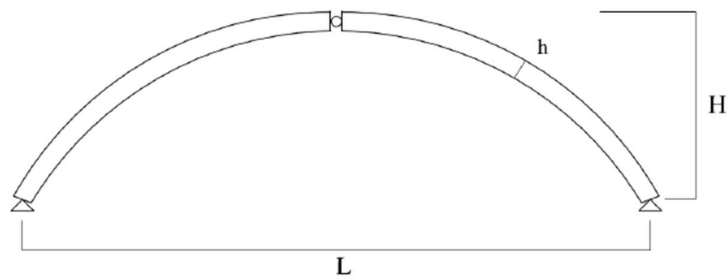


Obr. 5.14 Dvojklobový obloukový nosník

### 5.6.2 Trojkloubový obloukový nosník

$$\text{Orientační výška: } h \sim \frac{1}{30-60} L$$

$$H \sim \frac{1}{6-7} L$$

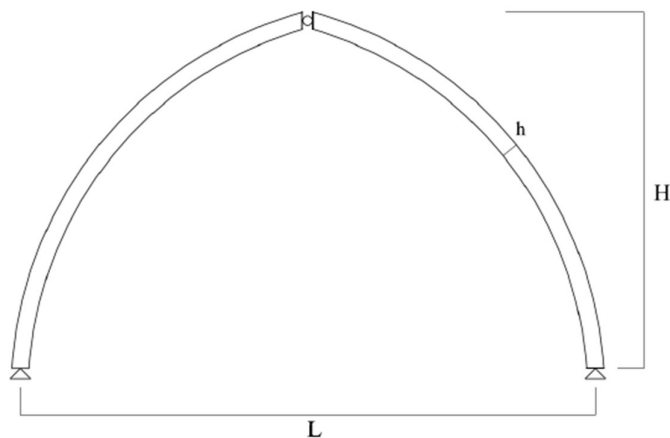


Obr. 5.15 Trojkloubový obloukový nosník

### 5.6.3 Trojkloubový obloukový nosník se zakřivenou střednicí

$$\text{Orientační výška: } h \sim \frac{1}{30-60} L$$

$$H \sim \frac{1}{2-3} L$$



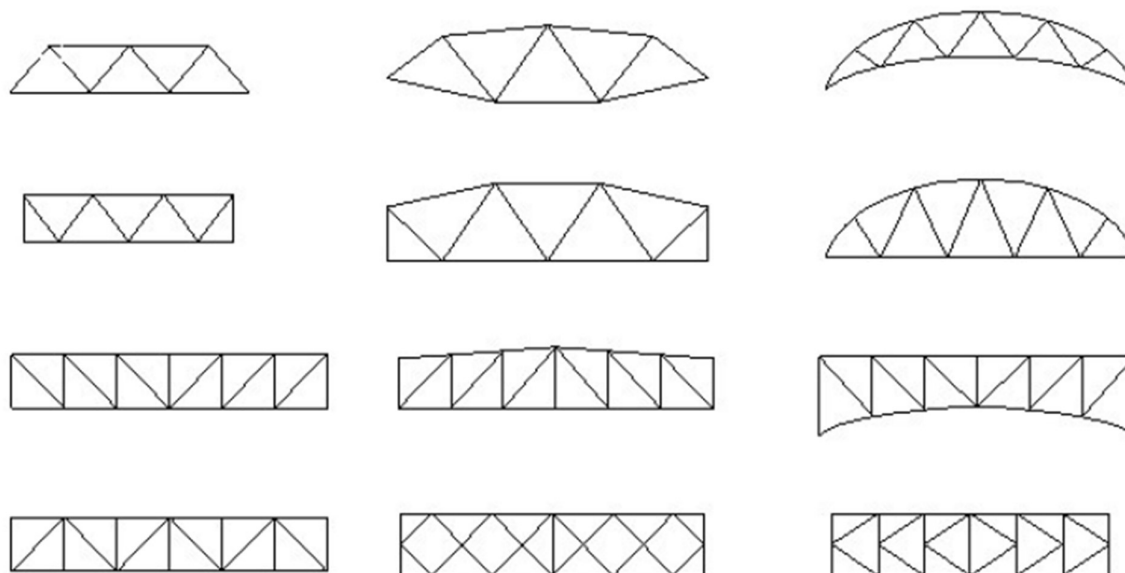
Obr. 5.16 Trojkloubový obloukový nosník se zakřivenou střednicí

## 5.7 Příhradové vazníky

V posledních desetiletích se dřevěné příhradové vazníky používají jako nosné konstrukce u mnoha různorodých objektů. Používají štíhlé prutové prvky, které jsou svislé nebo šikmé, nejčastěji to jsou pruty lana, které spolu tvoří stabilní síť. Místa, kde se tyto pruty spojují, nazýváme styčníky, na které by mělo působit zatížení.

Dřevěné příhradové vazníky jsou charakteristické svým příjemným architektonickým vzhledem, svojí lehkostí a jednoduchostí výroby. Stále roste jejich používání u mostních konstrukcí na velkých rozpětích s malým počtem nebo žádnými mezipodpěrami. Jejich popularita tkví ve schopnosti přenést podobně velké zatížení jako plnostěnné vazníky, ale při mnohem menší hmotnosti. Ve světě bylo postaveno mnoho rovinných a prostorových příhradových konstrukcí, jakými jsou stadiony, výrobní haly, výstavní centra a další.

Konstrukce příhradového vazníku se skládá z jednotlivých prvků, tudíž je nutné provádět kvalitní spoje. Dnes se používají velmi často desky s prolisovanými trny. Vazníky jsou navrhovány na rozpětí do 20 metrů, s osovou vzdáleností 0,6 – 3,0 m. Na větší rozpětí, které je v rozmezí cca 6 až 30 metrů, tak můžeme používat nosníky, kde jsou spoje řešeny ocelovými plechy s pomocí svorníků či kolíků.



Obr. 5.17 Různé tvary příhradových vazníků

## 6 Typické spoje

Nedílnou součástí dřevěných konstrukcí jsou spoje mezi jednotlivými konstrukčními prvky. Nejběžněji používané spoje jsou tesařské, lepené a mechanické, které mohou být provedeny pomocí různých typů spojovacích prostředků.

Pro konstrukci je výběr spojovacích prostředků určen zatížením a únosností. Jako další musíme brát v potaz též estetické hledisko, efektivitu nákladů, způsob montáže a záměry jak projektanta, tak i architekta. Tudíž neexistují obecně stanovená pravidla, pomocí

nichž by bylo možné navrhnout nejpříznivější spoj. Hlavním parametrem by měl být návrh jednoduchého spoje a celkově malý počet spojovacích prostředků.

## 6.1 Lepené spoje

Lepené spoje patří mezi nepoddajné, oproti tesařským spojům nebo spojům využívajícím mechanické spojovací prostředky. Rozdíl mezi nepoddajnými a poddajnými spoji je, že u nepoddajných spojů jsou spojované prvky pevně sevřeny a ve spoji není umožněno posunutí ani natočení. Nejdůležitějším faktorem je lepidlo použité při výrobě spoje.

## 6.2 Mechanické spoje

S vývojem konstrukcí z lepeného lamelového dřeva se zároveň vyvíjí i spojovací systémy. Tomuto vývoji dopomáhá stále se zvětšující zájem o dřevostavby a zkrácení doby výstavby dřevěných konstrukcí. U dnešních moderních staveb se můžeme setkat s několika různými systémy. To však neznamena, že se tyto systémy už dále nezlepšují, jelikož se stále hledají nové způsoby, aby se co nejvíce využilo jejich vlastností.

### 6.2.1 Systém MKD

Stejně jako u styčnickových desek jde o technologii pro spojování dřevěných příhradových konstrukcí. MKD systém (z německého Multi Krallen Dübel) nachází uplatnění u příhradových vazníků, kde jsou pruty sestaveny alespoň ze dvou prvků vedle sebe. MKD vazníky jsou velice žádané z estetický důvodů, jelikož spojovací desky o tloušťce 10 mm jsou schované mezi dřevěnými profily.

Spojovací desky jsou zhotoveny z oceli. Na obou stranách jsou přivařeny kolmo k rovině hřebíky. Mezi ocelovou deskou a dřevěným prvkem vzniká pomocí hřebíků obdélníkového průřezu 3 mm x 4 mm x 50 mm hřebíkový spoj. Destička je též zároveň zinkována.

Vazníky se vyrábějí ve speciálním lisovacím zařízení, kde jsou hřebíky zatlačeny do obou profilů skládajících se ze dvou, popřípadě tří vrstev dřeva. Tímto vznikne velice efektivní a únosný konstrukční systém s velikou požární odolností, protože je spoj chráněn z obou stran dřevem. Požární odolnost je R15, R30, což znamená, že nejsou potřeba žádné nátěry nebo nástřiky.

Nosníky mohou být přímkové nebo zakřivené. Vedení rozvodů je v nich velmi jednoduché, nenarušují nám design interiéru, a tím pádem jsou architektonicky nadměru příjemné.



Obr. 6.1 MKD vazníky u sportovní haly

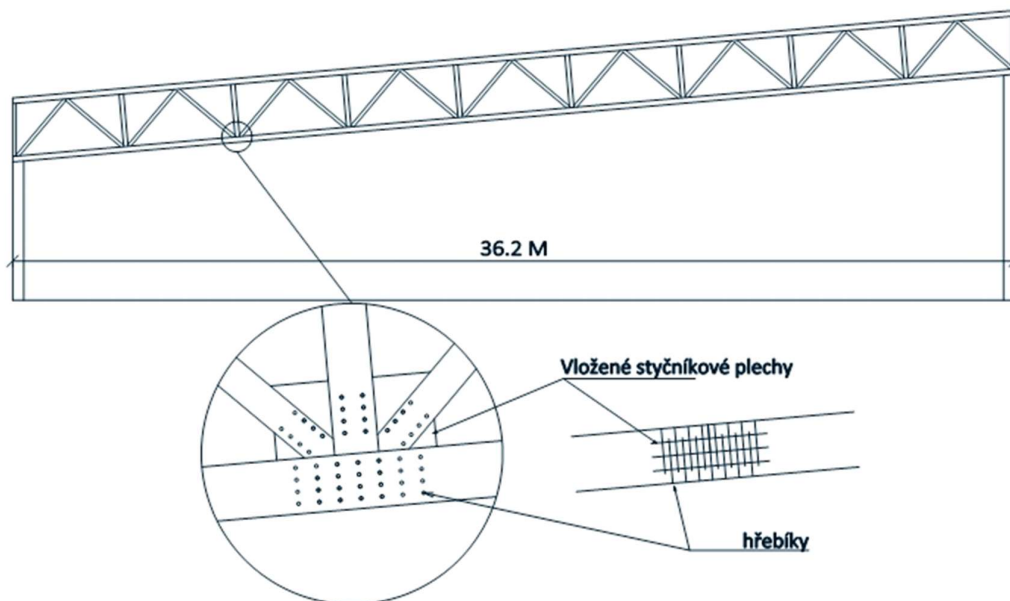
Dřevěné příhradové vazníky MKD jsou hospodárnou alternativou při požadavku na velké rozpětí (18-50 m), na velké zatížení nebo na požární odolnost nosné konstrukce. Díky těmto svým přednostem nacházejí MKD vazníky uplatnění při řešení zastřešení sportovních hal, sálů nebo třeba stadionů.

### 6.2.2 Systém GREIM BAU

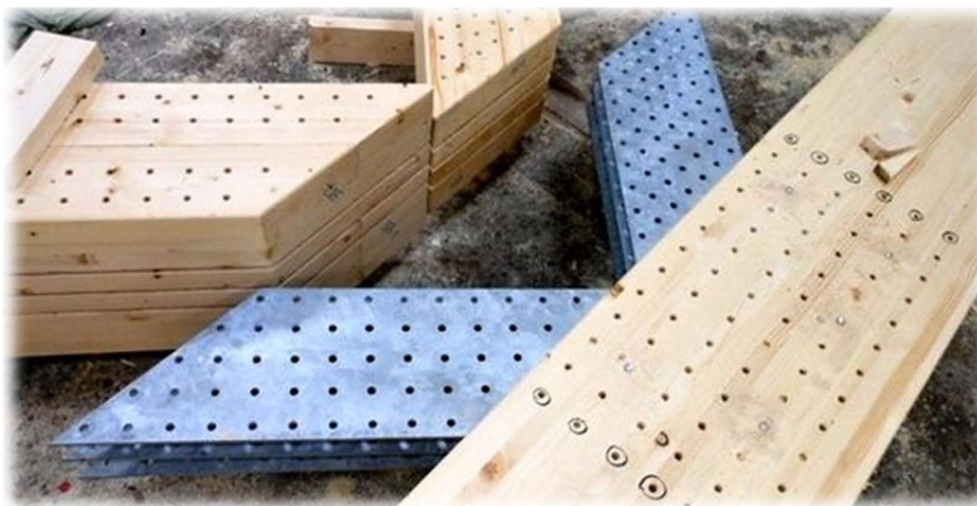
Stejně jakou u styčnickových desek jde o technologii pro spojování dřevěných příhradových konstrukcí. Systém GREIM BAU spočívá ve spojení prvků pomocí vložení ocelového plechu a hřebíků. Ocelové žárové zinkované plechy jsou vkládány do proříznutých drážek a jednotlivých dřevěných prvků. Ocelové plechy jsou tenké, s tloušťkou 1 až 1,75 mm. Hřebíky jsou o průměru 3 mm a probíjí se prvkem z obou stran v souladu se statickým výpočtem. Do jednoho spoje může být vloženo až 6 plechů v jedné drážce.



Důležitý rozdíl mezi technologií GREIM BAU a systémem styčnickových desek spočívá v tom, že pro systém GREIM BAU neplatí omezení pro rozpětí a dřevěné konstrukce vyrobené tímto systémem je možné provádět až do 60 m, v některých případech až do 70 m rozpětí bez vnitřních podpor dle tvaru konstrukce. Běžná osová vzdálenost mezi jednotlivými vazníky se pohybuje v rozmezí 3 až 6 m.



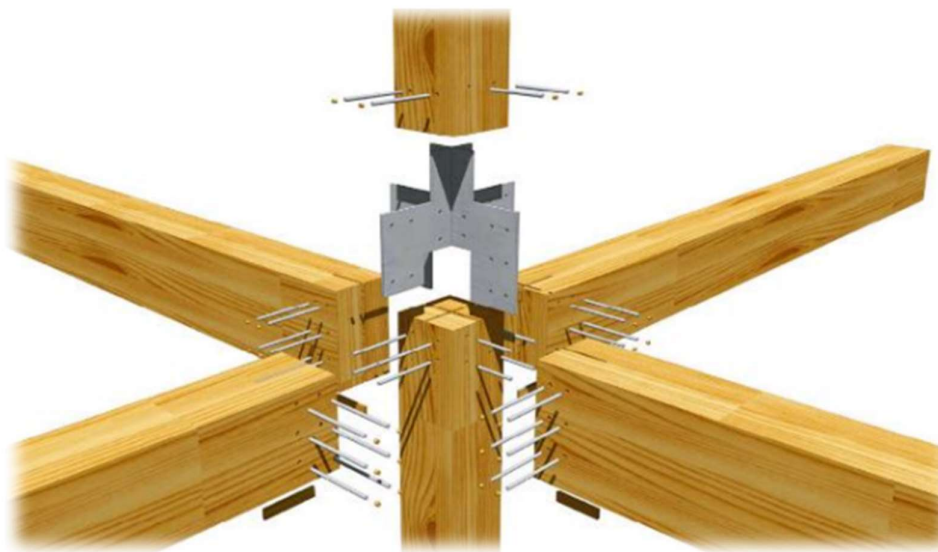
Obr. 6.2 Vazník sestavený pomocí systému GREIM BAU



Obr. 6.3 Systém GREIM BAU při výrobě

### 6.2.3 Vložené třmeny

Další systém spojování je pomocí vložených trnů. Princip spojování spočívá ve vykonzolování ocelového prvku připevněného ke konstrukci, který tvoří podporu pro připojovaný prvek. Připojovaný prvek má v sobě drážku a předvrtané otvory. Do těchto otvorů se poté při spojování zasouvají kolíky.



Obr. 6.4 Spojení pomocí vloženého třmenu

### 6.2.4 Systém BSB

Systém BSB (z německého Blumer System Binder) je konstrukční technologie spojů dřevěných konstrukcí. Modulární konstrukce moderních dřevostaveb vyžaduje systémy, které umožňují jednoduchou, flexibilní a bezpečnou montáž jednotlivých prvků. Zde se nabízí systém BSB, který spočívá ve vložení ocelových plechů a kolíků. Ocelový plech má tloušťku 5 až 10 mm a kolíky jsou průměru 6 až 12 mm. Do dřevěných prvků se vyfrézují zářezy pro ocelový plech a poté se vyvrtají otvory pro kolíky. Následně se do drážky zasune ocelový plech s vyvrtanými otvory. Posledním krokem je zatlačení kolíků do otvorů ve dřevu přes ocelový plech.

Systém BSB poskytuje mnoho výhod. Je velice kompatibilní s ocelí a betonem, nabízí mechanické, snadno kontrolovatelné spojení dřevěných prvků a jednoduchou a rychlou montáž. Nejčastější použití je u rámových rohů, příhradových vazníků a konstrukcí o velikých rozpětích.

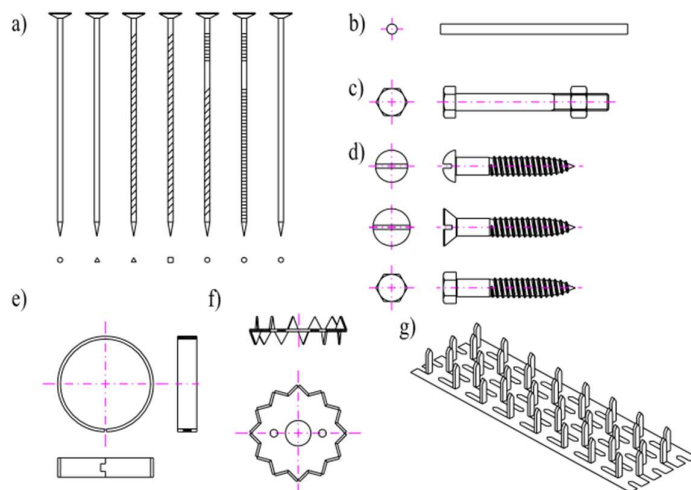


Obr. 6.5 Styčník spojený BSB systémem

## 7 Spojovací prostředky

Konstrukční prvky konstrukcí z lepeného lamelového dřeva většinou spojujeme pomocí mechanických spojovacích prostředků. Můžeme je rozdělit do dvou hlavních typů. Spojovací prostředky kolíkového typu a povrchového typu.

Spojovací prostředky kolíkového typu (kolíky, hřebíky, svorníky, vruty a sponky) jsou při přenosu sil většinou ohýbány a zatlačovány do dřeva. Spojovací prostředky povrchového typu (hmoždíky a desky s prolisovanými trny) jsou vkládány nebo zalisovány do dřevěných konstrukcí. K přenosu sil tudíž dochází na povrchu konstrukčních prvků.



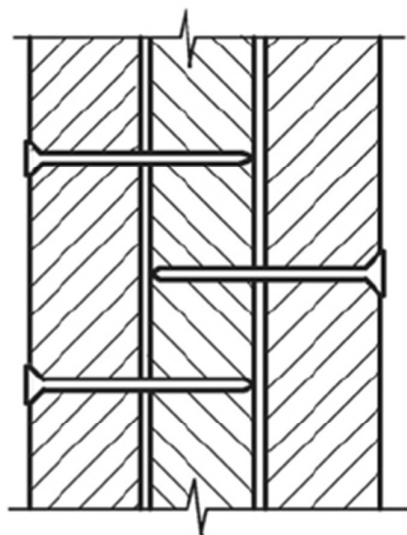
Obr. 7.1 Spojovací prostředky ocelové

- a) hřebíky, b) kolík, c) svorník, d) vruty, e) prstencový hmoždík, f) ozubený hmoždík, g) deska s prolisovanými trny

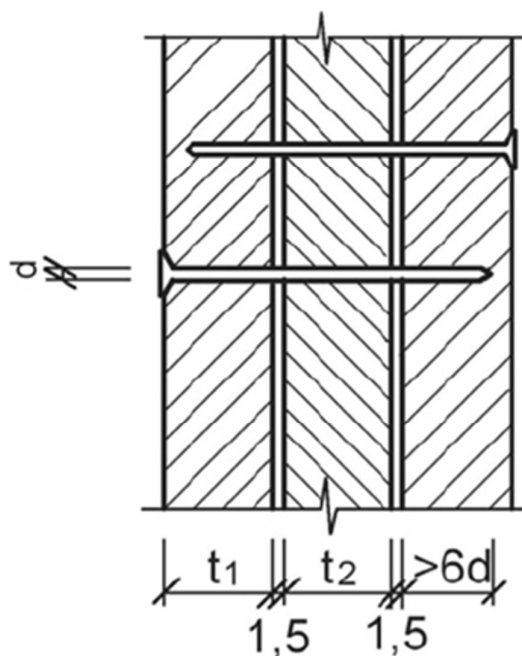
Hřebíky jsou nepoužívanějším spojovacím prostředkem. Ačkoli se vyrábějí v rozličných průřezích (kruhový, čtvercový, šroubovicově zatočený atp.), úpravách povrchu (galvanizované, leptané, cementované atp.) a tvarech hlav, používá se u nás především hřebík s hladkým dřívkem kruhového průřezu s plochou kruhovou hlavou bez povrchové úpravy.

Hřebíky slouží ke spojování řeziva menších tlouštěk. V nosných spojih se používají alespoň 4 hřebíky. U průměrů od 6 mm a více je vhodné předvrtávat otvory zabraňující rozštípnutí dřeva. Předvrtání hřebíků umožňuje zmenšit vzdálenost mezi hřebíky a od okrajů, zvětšuje únosnost hřebíků na stříh a při zatížení dochází k menšímu prokluzu. U jednostřížného hřebíku se provádí délka 2,5násobku spojovaného prvku. U vícestrážného namáhání musí být hloubka zaražení konce hřebíku minimálně šestinásobkem jeho průměru.

jednostřížný spoj



dvojestřížný spoj

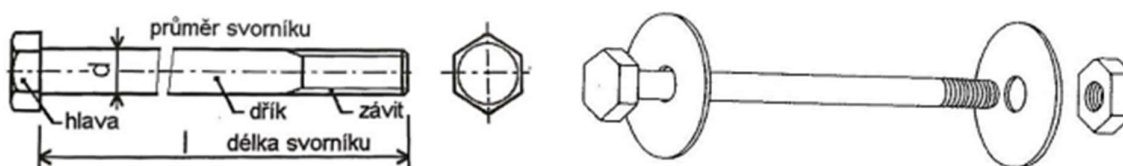


Obr. 7.2 Hřebíkový jedno a dvojestřížný spoj

V porovnání s hřebíky mají větší únosnost, zejména na tah. V nosném spoji je zapotřebí použít minimálně 4 vruty průměru do 10 mm nebo 2 vruty průměru většího než 10 mm.

Kolíky se zarážejí do předvrtaného otvoru stejného nebo o 1 mm menšího průměru. Nejmenší průměr kolíku, který se vyrábí, je 6 mm. Kolíkové spoje jsou vhodné pro přenos velkých sil. V porovnání se svorníkovými spoji jsou kolíkové spoje tužší.

Funkce svorníku je spojování prvků větších tloušťek. V nosném svorníkovém spoji musí být alespoň dva svorníky. Nejmenší průměr, který můžeme použít při tloušťce spojovaných prvků do 80 mm, je 10 mm. Pokud mají spojované prvky tloušťku větší, použijeme svorníky s průměrem od 12 mm výše. Pod svorníky je třeba vždy použít příslušné podložky. Otvory pro svorníky se předvrtávají max. o 1 mm větším průměrem, než má svorník. Osazené svorníky se utahují tak, aby dřevěné prvky byly v těsném kontaktu. V některých případech, kdy dřevo dosáhne své rovnovážné vlhkosti, se musí svorníky dotahovat.



Obr. 7.3 (vlevo) Schéma svorníku; (vpravo) Ocelový svorník s podložkou a maticí

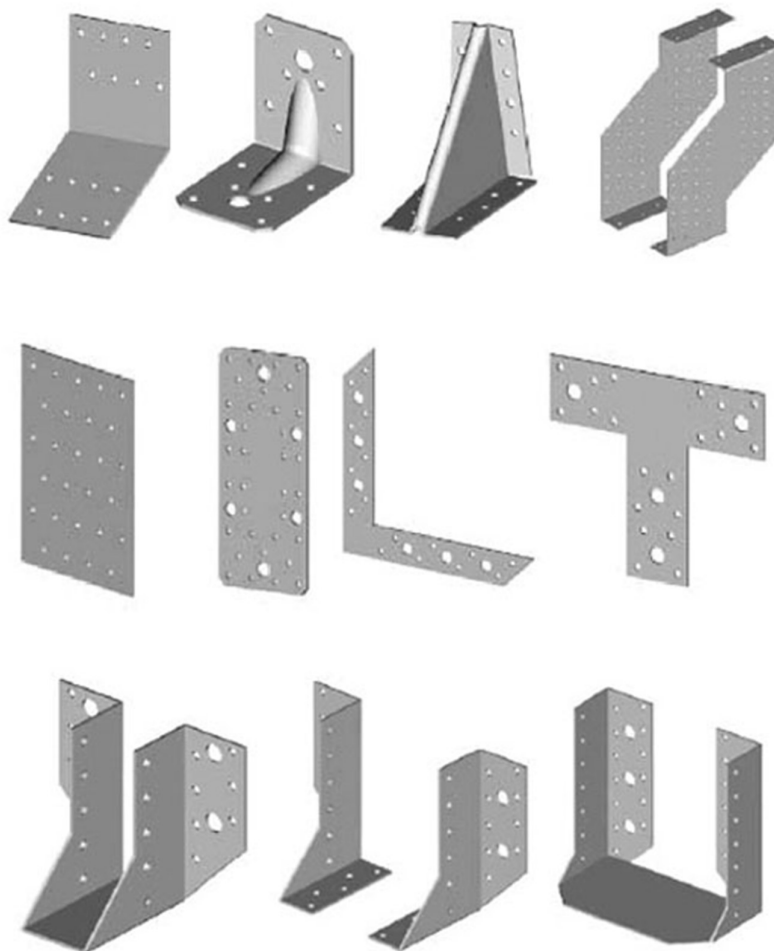
Svorníky je možné kombinovat ve svorníkovém spoji podle předepsaných pravidel s kolíky (max. 80 % kolíků). Vzhledem k menší tuhosti není vhodné používat svorníkové spoje, pokud nastane situace, kdy je tuhost spoje rozhodující.

V současné době se používají především kovové spojovací prostředky. Z velkého počtu různých druhů kovových záchytek jsou u nás nejznámější destičky s otvory, L profily prolisované nebo bez prolisu, hmoždíky, tesařské třmeny, kotevní patky pod sloupy a další.

Důvodem velkého využívání ocelových prvků je vysoká pevnost oceli oproti dřevu. Právě díky této výhodě spatříme v konstrukcích už jen zřídka dřevěné příložky. Příložky z dřevěných fošen mají též mnohonásobně nižší odolnost proti destrukci.

Pro spojení kolmých dřevěných prvků se používají tenkostěnné ocelové L profily. Existuje mnoho druhů L profilů, které se vyrábí v různých rozměrech a liší se otvory a prolisy. Některé vyráběné profily nemají prolisy a jiné mohou mít výrazné prolisy pro zvětšení své tuhosti.

Dalším, leč méně používaným prvkem, jsou trámové botky. Vyráběny jsou v různých velikostech, podle tloušťky spojovaného trámku. Nejčastější uplatnění najdou při spojování kolmých hřebenových vaznic.

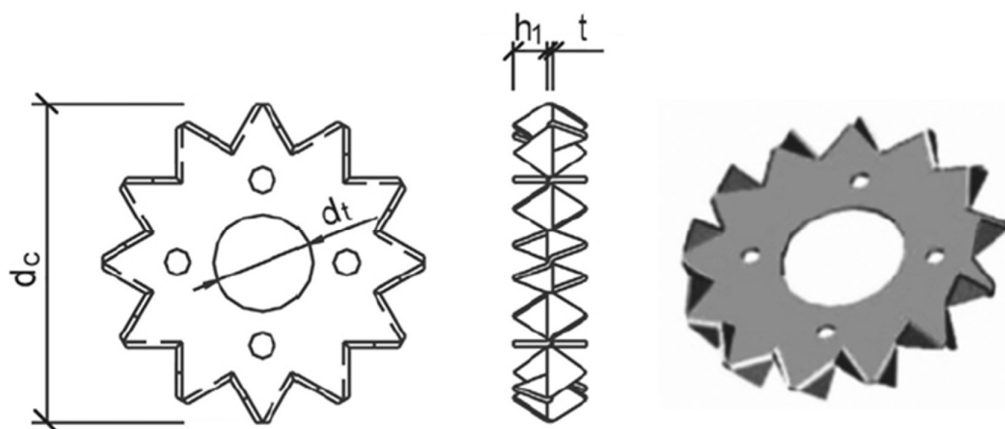


Obr. 7.4 Různé druhy ocelových plechů

Oblíbeným spojovacím prostředkem jsou hmoždíky. Nejvíce používaný typ je kruhový hmoždík typu C (Bulldog). Hmoždíky se vkládají mezi dřevěné prvky tím způsobem, aby příslušné části hmoždíku byly zcela zalisovány do dřeva. Pro fixaci prvků slouží stahovací svorníky umístěné v ose každého hmoždíku. Ve spojích tažených prvků je zapotřebí použít na každé straně spoje minimálně dva hmoždíky za sebou ve směru tahové síly.

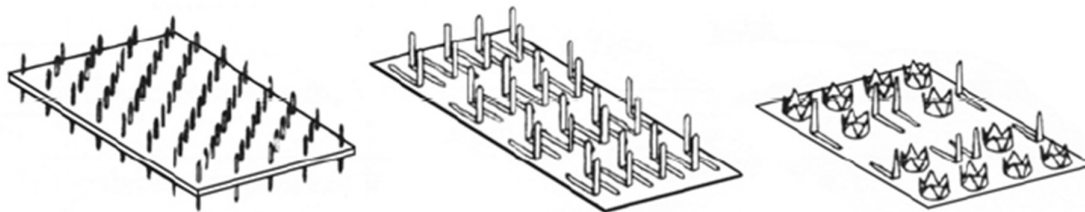
Norma ČSN EN 912 (732860) definuje geometrický tvar, rozměr, materiál a značení osvědčených typů speciálních hmoždíků, používaných ve spojích mezi prvky dřevěných konstrukcí. Speciální hmoždíky jsou zde uspořádány do čtyř skupin:

- A – prstencové hmoždíky
- B – talířové hmoždíky
- C – ozubené hmoždíky
- D – ostatní speciální hmoždíky



Obr. 7.5 Kruhový hmoždík typu C (Bulldog)

Stavební konstrukce, vytvořené pomocí integrovaných styčnickových desek, patří mezi nejmodernější a nejúspěšnější technologie systému nosníků lisovaných ocelovými styčnickovými deskami s prolisovanými trny. Variabilita výroby umožňuje využít tento způsob stykání v mnoha konstrukčních částech staveb, např. jako střešní a stropní vazníky nebo nosné rámy dřevostaveb. Největší výhodou desek s prolisovanými trny je úspora materiálu oproti klasickým dřevěným konstrukcím, které můžeme dosáhnout maximálním využitím dřevěných profilů a použitím řeziva menších šířek než u běžných dřevěných konstrukcí.



Obr. 7.6 Desky s prolisovanými trny

## 8 Lepidla

V současné době existují tři zavedené evropské normy pro klasifikaci lepidel pro dřevěné konstrukční prvky. EN 301 „Fenolická a aminová lepidla pro nosné díly dřevěných konstrukcí – Klasifikace a technické požadavky“, EN 16254+A1 „Lepidla - Emulzní polymery síťované izokyanáty (EPI) pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční charakteristiky“ a EN 15425 „Lepidla – Jednosložková polyurethanová (PUR) lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční požadavky“. Odpovídající zkušební norma je EN 302, část 1 až 4 „Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody“.

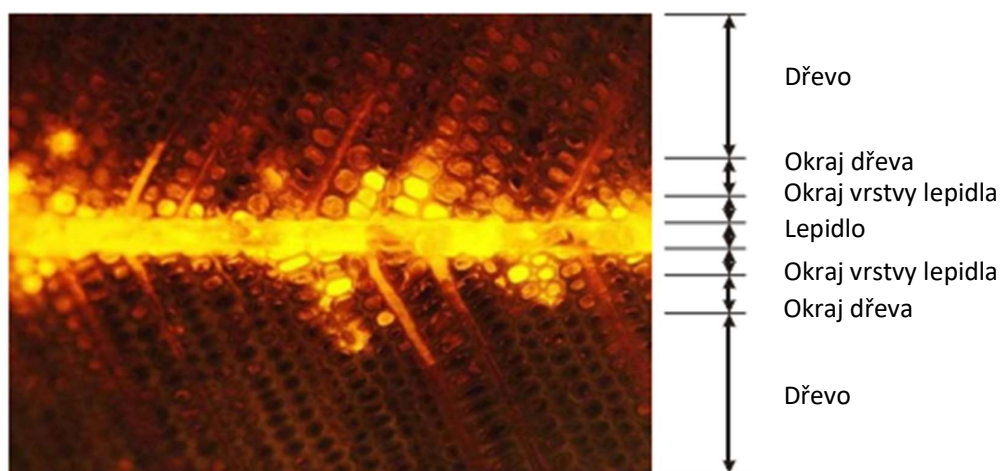
Lepidlo je nekovový, ve většině případech organický materiál, který spojuje pevné části bez zasažení do jejich struktury. Toto spojení je zhotovené bez mechanických spojovacích prostředků a výsledkem je, že spojené části vytvoří jeden celek.

Na začátku procesu je důležité ujistit se, zda je lepidlo tekuté. Pro nanášení je totiž podstatné, aby lepená plocha byla pokryta souvislou vrstvou lepidla. Abychom zabezpečili rovnoměrnou vrstvu lepidla, musí být použita dostatečná tlaková síla. Po vytvrnutí musí lepidlo vykazovat dostatečnou pevnost a trvanlivost i bez externí tlakové síly. Během tohoto procesu probíhají v lepidlu především chemické procesy, jelikož lepidla tvrdnoucí na základě fyzikálních procesů mají při působení zatížení tendenci velkých přetvoření, což je nežádoucí jev.

Během lepení proniká lepidlo do buněk dřeva, jež jsou na okraji lepené plochy. Při procesu vytvrzování lepidla vznikají tzv. zazubení mezi lepidlem a lepenými plochami (obr. 7.1). Únosnost lepeného spoje je popsána adhezí a kohezí lepidla a dřeva. Je závislá na několika faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:



- orientace vláken, kvalita a propustnost lepené plochy spojovaného materiálu
- typ lepidla a jeho charakteristiky
- prostředí (vlhkost a teplota)
- doba zpracovatelnosti lepidla
- doba trvání montáže
- hodnota lisovacího tlaku
- trvání daného vyvolaného tlaku
- rozměry a tvar lisovaného prvku (přímý, zakřivený)



Obr. 8.1 Detail lepené spáry – použito PUR lepidlo

V důsledku velké šířky lepené spáry jsou požadavky na lepidla pro nosné dřevěné konstrukce jiné, než jsou požadavky na lepidla pro nenosné dřevěné konstrukce (např. nábytek, podlahy, okna, dveře apod.).

Při výběru lepidla se nesmí zapomenout zohlednit všechny parametry výroby. Což znamená brát v potaz vlivy teploty, délky zatížení, vlhkost vzduchu atd. Tyto podmínky jsou definovány v třídách použití nacházející se v Eurokódu 5.

## 8.1 Klasifikace lepidel podle Eurokódu 5

Lepidla jsou rozdělena na dva typy:

- *Typ I* – lepidla tohoto typu se mohou používat v klimatických podmínkách charakterizované vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu nejvýše 85 %, jen krátkodobě je povoleno vystavit tyto lepidla náročnějším podmínkám
- *Typ II* – tento typ se může používat jen ve vytápěných a větraných budovách a ve venkovním prostředí chráněném před dlouhodobými vlivy počasí. Pouze krátkodobě je povoleno vystavit tato lepidla teplotám přesahujícím 65 °C.

## 8.2 Druhy lepidel

Podle Eurokódu 5 je dovoleno používat pouze lepidla, která vyhovují podmínkám EN 301. Při uvážení omezení uvedených v příslušném textu v ČSN EN 14080 „Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky“, jsou dovoleny tyto skupiny lepidel:

- a) fenolická a aminová lepidla
- b) jednosložková polyuretanová lepidla (PUR)
- c) emulzní polymerová izokyanátanová lepidla (EPI)

Dělení lepidel do jednotlivých podskupin se dále provádí podle typu chemické reakce (polykondenzace, polyadice, polymerizace), která probíhá během procesu vytvrzování.

*1) Lepidla založená na polykondenzaci*

Všeobecné vlastnosti pro tento druh lepidel:

- poměrně dlouhý čas lisování a vytvrzování
- lepidla jsou křehká
- ze smršťování lepidla vzniká napětí
- dostatečné vyplnění lepené spáry
- možné poškození vláken dřeva
- typ UF je ekonomický
- dlouholeté zkušenosti s těmito lepidly
- emitují formaldehyd

Reprezentanti podskupiny:

- Resorcinol-formaldehyd (RF): Typ I
  - Vhodné pro lepené nosníky, nedelaminují při požáru
- Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF): Typ I
  - Vhodné pro lepené nosníky, nedelaminují při požáru
- Melamin-formaldehyd (MF): Typ I
- Melamin-močovino-formaldehyd (MUF): Typ I
- Močovino-formaldehyd (UF): Typ II
  - Pouze na nenosné překližky a desky, málo odolné vůči vyšší teplotě a vlhkosti, použití do interiéru

## 2) *Lepidla založená na polyadici*

Všeobecné vlastnosti pro tento druh lepidel:

- krátký čas tvrdnutí
- použití menší lisovacího tlaku
- vyšší elasticita spoje
- nepoškozují vlákna dřeva
- dražší, zato menší spotřeba
- možnost použití ve vlhkém prostředí

Reprezentanti podskupiny:

- Emulze – Polymer – Isokynát (EPI): Typ I
- Jednosložkové – polyuretanové (1C – PUR): Typ I
  - Použití pro speciální účely

## 2) *Epoxidová lepidla*

Všeobecné vlastnosti pro tento druh lepidel:

- dvojsložkový systém
- rychlá chemická reakce
- nepoškozují vlákna dřeva
- křehká
- drahé, hlavní použití při rekonstrukcích
- skvěle vyplňují mezery

## 9 Specifické konstrukce

### 9.1 Těžký dřevěný skelet na objektu v Jeseníku

Tento typ skeletu vychází z konstrukce kdysi stavěných hrázděných domů vyplněných cihlami, které v novodobém provedení představují dřevostavby ze sušených lepených hranolů a vestavěnou otevřenou výplňovou konstrukcí. Hlavní výhodou tohoto skeletu je, že ho lze situovat do jakéhokoli terénu.

V těžkém dřevěném skeletu se může použít dřevo jako nosný a zároveň pohledový prvek. Další jeho předností je i možnost zabudování velkých prosklených ploch bez jeho upravování nebo zesilování. Realizace těžkého skeletu probíhá ve dvou fázích. Nejprve se smontuje předpřipravený skelet na CNC strojích, a následně jsou vsazena jednotlivá výplňová pole.

Nosnou konstrukci tvoří svislé sloupy, vodorovné nosníky a vyztužovací prvky v pravidelném rastru 2,5 až 6 metrů. Jak u ostatních skeletových systému, tak i u těžkého dřevěného skeletu je specifické bodové zatížení a přenos sil přes sloupy do základových konstrukcí. Skelet je sestaven z jednodílných průvlaků a jednoduchých sloupů kvůli masivnosti jednotlivých prvků. Tyto prvky se vyrábějí z lepených dvou a vícevrstevných DUO, TRIO a BSH hranolů v profilech až 240x400 mm. Jejich spojení je řešeno pomocí tesařských styčnicků. Nejčastěji pomocí rybinových zámků nebo styčnickových desek.



Obr. 9.1 Stavba konstrukce těžkého skeletu v Jeseníku

## 9.2 Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie



Obr. 9.2 Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie

Moderní kostel postavený, podle projektu architekta Jindřicha Synka, je konstrukčně netradiční, kombinovaná konstrukce. Kostel byl postaven v roce 1993 a nachází se v městské části Praha 10, Strašnice. Celá stavba je zavěšena na dřevěném sloupu uprostřed stavby a ve vrcholu je zakončena ve výšce 25 m křížem. Konstrukce má tvar jehlanu s půdorysnými rozměry 30 x 30 m.

Hlavní nosnou konstrukci tvoří čtyři nosníky se sklonem  $45^\circ$  zamontované do středového sloupu. Dva nosníky, které jsou součástí obvodových stěn, jsou plnostěnné a zbývající dva nosníky jsou příhradové a prosklené. Mezi těmito vazníky jsou tři plochy ve formě hyperbolického paraboloidu., které tvoří střešní plášť.

Sloup se skládá ze tří průřezů. Dva o velikostech 250x250 mm a třetí ze 250x750 mm. Spolu dohromady tvoří rovnoramenný kříž, který je ukotven pomocí plechu.

Spodní i horní pás příhradových vazníků mají oba průřez 500x500 mm. Vnitřní diagonály mají průřez 150x150 mm, krajní dolní 500x500 mm a krajní horní dvakrát

100x250 mm. Na sešroubování vazníků byly použity zavičkované svorníky v průměru 20 mm s roztečí 500 mm. Na připojení diagonál byly použity styčnickové plechy o tloušťce 15 mm a kolíky o průměru 16 mm.



Plnostěnné vazníky tvoří několik menších průřezů. Celkový vnější rozměr průřezu je 500x2268 mm. Příslušný líc vazníku je upraven pro kotvení střešního pláště. Poslední část je přilepena a přišroubována až po položení střešního pláště na konstrukci.

Obr. 9.3 Konstrukční systém Kostela Neposkvrněného početí Panny Marie

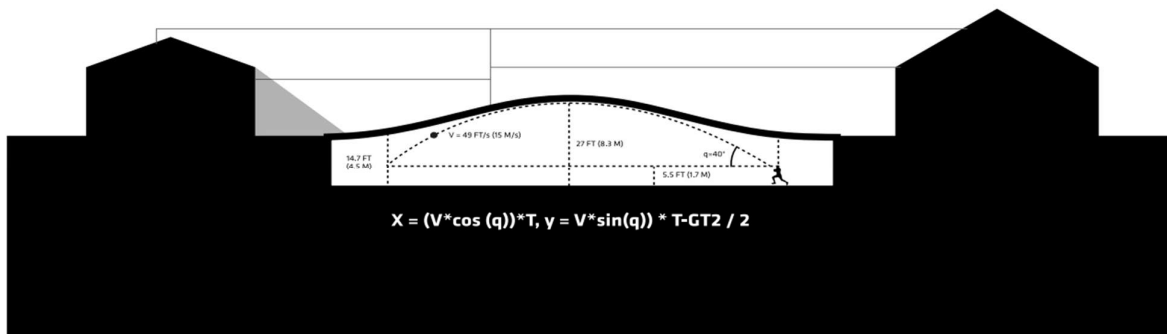
Střešní plášť je tvořen dřevěnou skořepinou, přičemž tato skořepina je provedena sbíjením vzájemně křížujících se prken ve čtyřech vrstvách. První vrstva je půdorysně rovnoběžná s jedním z vazníků, druhá je rovnoběžná naopak s druhým vazníkem, třetí opisuje spádnici, zatímco čtvrtá vrstevnici. Prkna byla nastavena pomocí lepeného zubovitého spoje na délku až 29 m. Prkna jsou přibita hřebíky.

### 9.3 Gammel Hellerup Gymnasium Multi-Purpose Hall

Projekt společnosti BIG, kde hlavním úkolem bylo navrhnout víceúčelovou halu aniž by bylo zaplněno nádvoří školy, byl vyřešen umístěním sportovní haly 5 metrů pod zem. Toto řešení nechává nádvoří nedotčené a zároveň minimalizuje zastínění okolních budov, a tím pádem zajišťuje dobré vnitřní klima.

Hala je navržena se stěnami z litého betonu a výraznou měkce zakřivenou střechou tvořenou řadou unikátních zakřivených nosníků z lepeného lamelového dřeva. Tyto nosníky jsou rozmístěny s úmyslem přístupu denního světla. Zakřivení střechy je vytvořeno pomocí vzorce balistického oblouku, óda na bývalého učitele matematiky, nynějšího ředitele školy Bjarkeho. Střecha z lepeného lamelového dřeva je navržena tak, aby optimalizovala a snížila

spotřebu materiálu. Plocha haly vyžadovala rozpětí 22 metrů se 7násobnou nosností větší než u běžné střechy z důvodu exteriérového využití střechy.



Obr. 9.4 Podélný řez sportovní halou s vyznačeným vzorcem



Obr. 9.5 Pohled na zakřivené nosníky z lepeného lamelového dřeva



## 9.4 Warwick University



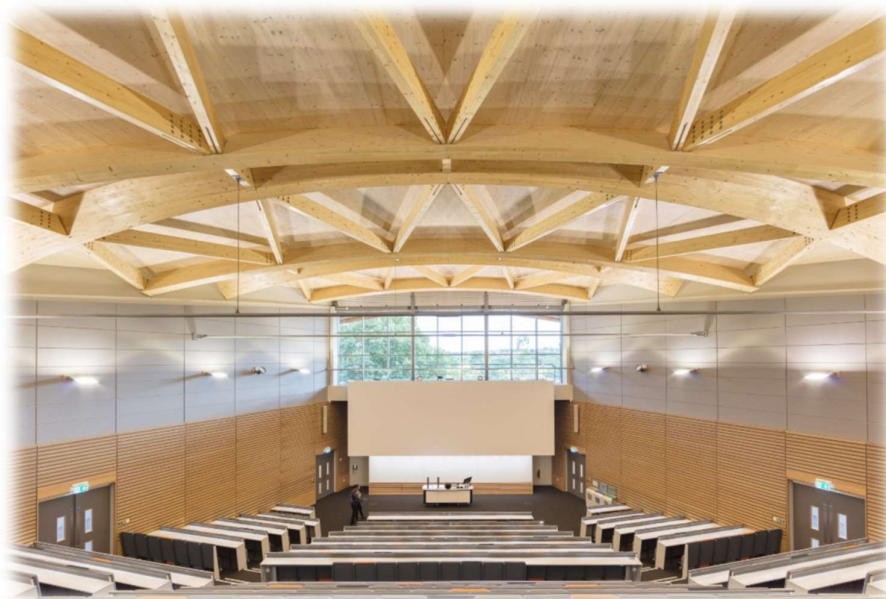
Obr. 9.6 Vnější pohled na Warwick University

Tato dvoupodlažní budova nabízí pozoruhodné hybridní střešní konstrukci. Zakřivené nosníky z lepeného lamelového dřeva s rozpětím 34 m mezi výukovými křídly pokrývají přednáškové sály a atriové prostory. Příhradové uspořádání lepených nosníků spojuje zakřivené části s panely z křížem lepeného dřeva, které jsou připevněny ve fazetovém uspořádání a navazují na zakřivený profil střechy.

Všechny dřevěné povrchy včetně křížem lepených střešních panelů jsou odkryté a viditelné ze spodní strany. Vnitřní lepené nosníky jsou vyrobeny ze smrkového dřeva, zatímco nosníky na koncích střechy jsou vyrobeny z modřínu.

Ve stavbě jsou použity materiály z udržitelných zdrojů, aby se snížila spotřeba energie a uhlíku všude, kde je to možné. Budova je navržena tak, aby dosáhla vynikajícího hodnocení BREEAM a hodnocení EPC A.

Použití CLT pro hlavní krov střechy přineslo významné výhody, protože pozitivně přispělo jak k celkovému tepelnému odporu střechy, tak umožnilo použít menší tloušťku izolace než například u profilovaného kovového krovu. Každé z 1200 mm širokých prken CLT o rozpětí až 6,6 metru mezi hlavními oblouky, které tvoří palubu, mělo podélné hrany zalomené pro vložení "jazyků" z lodní lepenky se vzduchotěsnými páskami přes každý spoj.



Obr. 9.7 Lepené nosníky v posluchárně na Warwick University

## 9.5 Crystal Bridges Museum of American Art



Obr. 9.8 Vnější pohled na budovu Crystal Bridges Museum of American Art

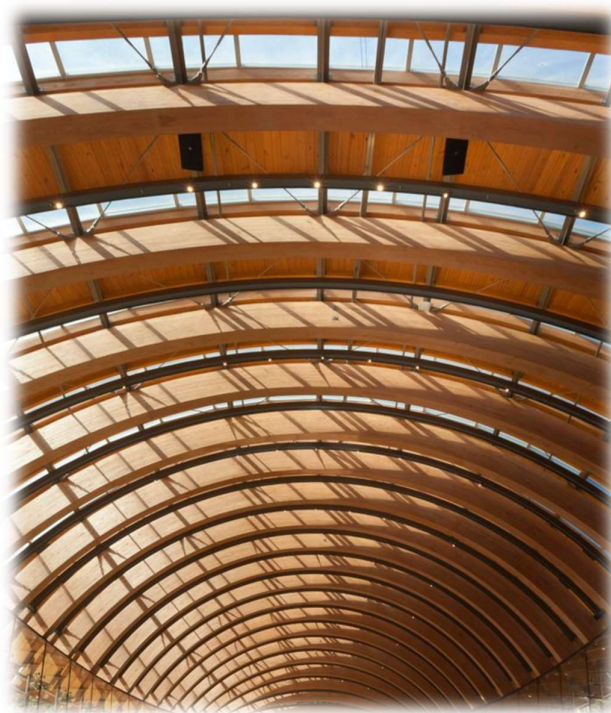
Ikonické muzeum inspirované místní arkansaskou krajinou a exotickými visutými mosty v Bhútánu o rozloze 201 000 čtverečních stop tvoří komplex osmi budov, které se

nacházejí v Bentonville v Arkansasu. Každou z osmi budov navrhl ateliér Safdie Architects, ačkoli je každá zvlášť jedinečná, navazuje na sebe jednotnou paletou betonu, dřeva, mědi a skla. Je zde pět "pozemních" staveb, které jsou zasazeny do svahů kopce, a tři "vodní" stavby, které na pozemku vytvářejí kruhovou promenádu.

Spodní úroveň pozemních budov jsou betonové rámy, které mají buď nosníky, nebo ploché desky o rozpětí 20 až 30 stop a jsou podepřeny sloupy. Sloupy a opěrné zdi horní úroveň jsou překlenuty zakřivenými nosníky z vrstveného dřeva (glulam) o průřezu 270x785 mm. Střechy budovy jsou zhotoveny z lepených nosníků z místních zdrojů se střídavými pásy měděného opláštění a prosklenými světlíky.

Střechy těchto budov tvoří řada neopakujících se lepených oblouků, z nichž každý má jedinečný vnitřní a vnější poloměr. Každý oblouk je rozdělen na tři segmenty a na koncích se zužuje, přičemž jeho průřez se pohybuje od 250x810 mm do 250x610 mm. Tyto oblouky spočívají na dvojicích lan z nerezové oceli o průměru 100 mm, navlečených mezi těžkými betonovými opěrami, které podpírají střechy. Střechy a podlaží jsou spojeny vnějšími ocelovými fasádními sloupky, které jednak podpírají fasády, jednak dodávají střechám dodatečnou stabilitu při živém zatížení.

Lepené nosníky jsou navzájem spojeny řadou ocelových příhradových nosníků ve tvaru T o průřezu 130x380 mm, které jsou umístěny na vrcholu lepených nosníků. Protože počet plátů je v celém průřezu konstantní, s tím, jak se střechy mostu rozšiřují, se postupně mění rozteč mezi pláty. Díky tomu mají vaznice ve tvaru písmene T svislý i vodorovný sklon vůči lepeným nosníkům. Inženýři také použili menší, sekundární dřevěné vaznice, aby rozdělili střechu na neprůhledné a prosvětlené oblasti. Tyto sekundární vazníky mají 20 mm křížové vzpěry, které poskytují střešní rovině konstrukční membránu.



Obr. 9.9 Oblouková konstrukce hlavní budovy muzea

Jednou z hlavních výzev tohoto projektu byl návrh typických a opakovatelných detailů, které by bylo možné efektivně použít při složité geometrii střechy. Jedním z nich je viditelné spojení kabelů a lepených lamel v typických odlitcích kulových kloubů. Tento detail fungoval jako univerzální kloub v rámci míry pohybu definované geometrií Velkého sálu, který představoval nejnáročnější podmínky ze všech mostních objektů.

## 10 Závěr

Lepené lamelové dřevo je v současné době, díky ekologickému trendu, používáno stále s větší oblibou jako konstrukční materiál. Nejčastěji se používá u konstrukcí těžkých dřevěných skeletů nebo u halových velkorozponových konstrukcí. Vzhledem ke své nízké hmotnosti má lepené lamelové dřevo vysokou pevnost, lze ho snadno spojovat a opracovávat. Náklady na montáž, dopravu, ale i na základové konstrukce se snižují s použitím lepeného lamelového dřeva, právě kvůli jeho malé hmotnosti oproti ostatním materiálům, jakými jsou beton a ocel. Je lehké a vzhledem k možnosti kvalitní prefabrikace mohou být konstrukce z lepeného lamelového dřeva rychle zhotoveny bez technické přestávky. Velké průřezy mají i velice dobrou požární odolnost.

Cílem mé bakalářské práce bylo ukázat, že lepené lamelové dřevo je velmi vhodnou volbou při výrobě nosných konstrukcí, převážně na velká rozpětí. Množství staveb po celém světě je toho důkazem. Nejdůležitější je zvolit správný konstrukční systém a odpovídající průřez a můžeme dosáhnout efektivnějšího, ekonomičtějšího a ekologičtějšího řešení než u ocelových nebo betonech konstrukcí. Životnost staveb z lepeného lamelového dřeva je stejná, v některých případech i delší než u staveb z ocele nebo betonu. Odolnost lepených spojů je stejně vysoká, jako je odolnost samostatného dřeva. To je jedním z důvodů, proč se lepené lamelové dřevo používá u staveb, kde se shromažďují lidé (sportovní haly, výstavní pavilony, stadiony a jiné). Jelikož je lepené lamelové dřevo vyráběno z přírodního materiálu, působí na okolí velice přirozeně. Možná právě proto se také stalo nejpoužívanějším stavebním materiálem pro stavbu lávek a mostů.

Lepené lamelové dřevo je bezesporu vhodným stavebním materiálem pro různé konstrukční prvky. Kvalita zpracování prvků je na vysoké úrovni a s rozvojem technologií můžeme očekávat různá zdokonalení.

Na závěr práce uvádím několik variant realizovaných staveb, kde jsou ukázány různé nosné konstrukce s použitím lepeného lamelového dřeva. Stavby jsou v daném konstrukčním typu něčím zajímavé, neotřelé a novátorské.

## 11 Seznam obrázků a tabulek

### Obrázky

*Obr. 2.1 Detail l'Ormeho oblouku*

*Obr. 2.2 Konstrukce zastřešení skladu*

*Obr. 2.3 Příhradovina z latí*

*Obr. 2.4 Detail Emyho oblouku*

*Obr. 3.1 Výrobní proces lepeného lamelového dřeva*

*Obr. 3.2 Zubovitý spoj*

*Obr. 4.3 Příklady typických průřezů z lepeného lamelového dřeva*

*Obr. 4.5 Přeprava nosníku z lepeného lamelového dřeva*

*Obr. 5.1 Nosníky z konstrukčního hlediska: a) plnostěnný b) příhradový c) speciální*

*Obr. 5.2 Prostý nosník s konstantním průřezem*

*Obr. 5.3 Spojitý nosník s konstantním průřezem*

*Obr. 5.4 Pultový nosník*

*Obr. 5.5 Sedlový nosník*

*Obr. 5.6 Zakřivený nosník*

*Obr. 5.7 Rámový roh se zakřivenou střednicí*

*Obr. 5.8 Rámový roh provedený lepeným zazubeným spojem*

*Obr. 5.9 Zubovitý spoj*

*Obr. 5.11 Svorníkový rámový roh*

*Obr. 5.12 Dvojklobový rám*

*Obr. 5.13 Trojklobový rám*

*Obr. 5.14 Dvojklobový obloukový nosník*

*Obr. 5.15 Trojklobový obloukový nosník*

*Obr. 5.16 Trojklobový obloukový nosník se zakřivenou střednicí*

*Obr. 5.17 Různé tvary příhradových vazníků*

*Obr. 6.1 MKD vazníky u sportovní haly*

*Obr. 6.2 Vazník sestavený pomocí systému GREIM BAU*

*Obr. 6.3 Systém GREIM BAU při výrobě*

*Obr. 6.4 Spojení pomocí vloženého třmenu*

*Obr. 6.5 Styčník spojený BSB systémem*

*Obr. 7.1 Spojovací prostředky ocelové*

*Obr. 7.2 Hřebíkový jedno a dvojtřížný spoj*

*Obr. 7.3 (vlevo) Schéma svorníku; (vpravo) Ocelový svorník s podložkou a maticí*

*Obr. 7.4 Různé druhy ocelových plechů*

*Obr. 7.5 Kruhový hmoždík typu C (Bulldog)*

*Obr. 7.6 Desky s prolisovanými trny*

*Obr. 8.1 Detail lepené spáry – použito PUR lepidlo*

*Obr. 9.1 Stavba konstrukce těžkého skeletu v Jeseníku*

*Obr. 9.2 Kostel Neposkvrněného početí Panny Marie*

*Obr. 9.3 Konstrukční systém Kostela Neposkvrněného početí Panny Marie*

*Obr. 9.4 Podélný řez sportovní halou s vyznačeným vzorcem*

*Obr. 9.5 Pohled na zakřivené nosníky z lepeného lamelového dřeva*

*Obr. 9.6 Vnější pohled na Warwick University*

*Obr. 9.7 Lepené nosníky v posluchárně na Warwick University*

*Obr. 9.8 Vnější pohled na budovu Crystal Bridges Museum of American Art*

*Obr. 9.9 Oblouková konstrukce hlavní budovy muzea*

## **Tabulky**

*Tab. 4.1 Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v  $N/mm^2$  a hustoty v  $kg/m^3$  pro kombinované lepené lamelové dřevo*

*Tab. 4.2 Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v  $N/mm^2$  a hustoty v  $kg/m^3$  pro homogenní lepené lamelové dřevo*

*Tab. 4.4 Tabulka objemových hmotností dřevin*

*Tab. 5.10 Délka zubů u zubovitých spojů*

## 12 Seznam použitých zdrojů

### Normy

1. ČSN EN 301 (66 8504): Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a technické požadavky
2. ČSN EN 1995-1-1 (73 1701): Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
3. ČSN EN 14080 (73 2831): Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky
4. ČSN EN 15425 (66 8505): Lepidla – Jednosložková polyurethanová (PUR) lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční požadavky
5. ČSN EN 16254+A1 (66 8530): Lepidla – Emulzní polymery síťované izokyanáty (EPI) pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční charakteristiky

### Knižní zdroje

- I. KUKLÍK, P. Dřevěné konstrukce, 1.vydání, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005, Praha, 188 stran, ISBN 80-01-03310-4
- II. KUKLÍK, P. Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5, 1.vydání, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008, Praha, 130 stran, ISBN 80-01-03310-4
- III. KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ, A, MIKEŠ, K. Dřevěné konstrukce cvičení, 1. vydání, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005, Praha, 148 stran, ISBN 80-01-03313-9
- IV. KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště, 1. vydání, Grada Praha, 2008, 317 stran, ISBN 978-80-247-2275-7.



## Internetové zdroje

- [www.swedishwood.com](http://www.swedishwood.com) Dostupný z www:  
<<https://www.swedishwood.com/building-with-wood/about-glulam/>>
- [www.asb-portal.cz](http://www.asb-portal.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/drevene-stresni-konstrukce-skovovymi-deskami-sprolisovanymi-trny>>
- [www.profinvestik.cz](http://www.profinvestik.cz) Dostupný z www:  
<<http://www.profinvestik.cz/konstrukce-systemem-greim-bau>>
- [www.strechy92.cz](http://www.strechy92.cz) Dostupný z www:  
<<http://www.strechy92.cz/2-pohledove-vazniky-mkd.html>>
- [www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz) Dostupný z www:  
<<https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/16516-kolikove-spoje-v-drevenych-konstrukcich>>
- [www.people.fsv.cvut.cz](http://www.people.fsv.cvut.cz) Dostupný z www:  
<<http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNNK/NNK-11.pdf>>
- [www.konstrukce-tesko.cz](http://www.konstrukce-tesko.cz) Dostupný z www:  
<<http://www.konstrukce-tesko.cz/lepeno-lamelove-drevo-vyroba-a-prodej>>
- [www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz) Dostupný z www:  
<<https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/9004-pouziti-lepeneho-lameloveho-dreva-v-moderni-architekture>>
- [www.casopisstavebnictvi.cz](http://www.casopisstavebnictvi.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva.html>>
- [www.eshop.drevocentrum-as.cz](http://www.eshop.drevocentrum-as.cz) Dostupný z www:  
<<https://eshop.drevocentrum-as.cz/rsc144386431-listnace-mohou-nahradit-jehlicnany-pro-vyrobu-lepeno-lameloveho-dreva>>

- [www.techmania.cz](http://www.techmania.cz) Dostupný z www:  
<<https://techmania.cz/cs/navstivte-nas/planetarium/historie-budovy>>
- [www.hranex.cz](http://www.hranex.cz) Dostupný z www:  
<<https://hranex.cz/o-firme/>>
- [www.publi.cz](http://www.publi.cz) Dostupný z www:  
<<https://publi.cz/books/163/10.html>>
- [www.old.konstrukce.cz](http://www.old.konstrukce.cz) Dostupný z www:  
<<http://old.konstrukce.cz/clanek/kolikove-a-svornikove-spoje-pouzite-na-velkorozponovych-konstrukcich/>>
- [www.krytiny-strechy.cz](http://www.krytiny-strechy.cz) Dostupný z www:  
<[https://www.krytiny-strechy.cz/stitky/drevene-konstrukce/21208-technicke-vlastnosti-dreva-a.html#.ZF\\_MfnZBxjF](https://www.krytiny-strechy.cz/stitky/drevene-konstrukce/21208-technicke-vlastnosti-dreva-a.html#.ZF_MfnZBxjF)>
- [www.archiexpo.com](http://www.archiexpo.com) Dostupný z www:  
<<https://www.archiexpo.com/prod/artbois-sa/product-94214-911609.html>>
- [www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz) Dostupný z www:  
<<https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/355-druhy-drevostaveb>>
- [www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz) Dostupný z www:  
<<https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/19262-kolikove-spoje-drevo-drevo-v-konstrukcich>>
- [www.asb-portal.cz](http://www.asb-portal.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/spojovaci-prvky-drevenych-konstrukci>>
- [www.structuremag.org](http://www.structuremag.org) Dostupný z www:  
<<https://www.structuremag.org/?p=742>>
- [www.structuraltimbermagazine.co.uk](http://www.structuraltimbermagazine.co.uk) Dostupný z www:  
<<https://www.structuraltimbermagazine.co.uk/news/clt-winner-at-warwick/>>

- [www.bkstructures.co.uk](http://www.bkstructures.co.uk) Dostupný z www:  
<<https://www.bkstructures.co.uk/our-projects/warwick-university>>
- [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com) Dostupný z www:  
<<https://www.dezeen.com/2013/06/28/gammel-hellerup-gymnasium-sports-hall-by-big/>>
- [www.architizer.com](http://www.architizer.com) Dostupný z www:  
<<https://architizer.com/projects/gammel-hellerup-gymnasium/>>
- [www.archello.com](http://www.archello.com) Dostupný z www:  
<<https://archello.com/project/gammel-hellerup-gymnasium>>
- [www.farnoststrasnice.cz](http://www.farnoststrasnice.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.farnoststrasnice.cz/farnost.php?doc=kostel.htm>>
- [www.old.konstrukce.cz](http://www.old.konstrukce.cz) Dostupný z www:  
<<http://old.konstrukce.cz/clanek/rekonstrukce-kostela-v-praze-strasnicich/>>
- [www.mezistromy.cz](http://www.mezistromy.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.mezistromy.cz/drevostavby/domy-s-tezkym-drevenym-skeletem/odborny>>
- [www.bsb-system.com](http://www.bsb-system.com) Dostupný z www:  
<<http://www.bsb-system.com/de/Home/About>>
- [www.strechy.bydleniprokazdeho.cz](http://www.strechy.bydleniprokazdeho.cz) Dostupný z www:  
<<https://strechy.bydleniprokazdeho.cz/strechy-a-prislusenstvi/novinka-spojени-prihradovych-drevenych-konstrukci-technologie-GREIM>>
- [www.ceskestavby.cz](http://www.ceskestavby.cz) Dostupný z www:  
<<https://www.ceskestavby.cz/clanky/predstavujeme-prihradove-nosniky-greim-23929.html>>
- [www.strechy92.cz](http://www.strechy92.cz) Dostupný z www:  
<<http://www.strechy92.cz/reference-vazniky-mkd.html>>