

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2018**

**Bc. Tomáš Gírl**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

**HODNOCENÍ HISTORICKÝCH KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ  
BĚHEM VÝVOJE ÚLOŽNÉHO NÁBYTKU, JEJICH  
VYUŽITÍ A OPTIMALIZACE V SOUČASNÝCH  
PODMÍNKÁCH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

Dřevařské inženýrství

Pracoviště (katedra/ústav):

Katedra základního zpracování dřeva

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Gírl

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Hodnocení historických konstrukčních spojů během vývoje úložného nábytku jejich využití a optimalizace v současných podmínkách.**

Název anglicky

**Evaluation of historical structural joints during the development of storage furniture, their use and optimization in current conditions.**

---

### Cíle práce

Základním cílem práce je optimalizovat rozměry nábytkových spojů. Při posuzování vybraných typů spojů se jedná o teoretický a experimentální rozbor.

### Metodika

1. Analýza problematiky se zaměřením na:

- poznatky o historicky používaných konstrukčních spojkách,
- možnosti optimalizace jejich rozměrů,

2. Metodika práce se zaměřením na:

- měření pevnosti vybraných konstrukčních spojů,
- rozměrová optimalizace konstrukčních spojů a hodnocení jejich pevností,
- porovnání získaných výsledků.

3. Měření a vyhodnocení

- vlivu vybraných faktorů (rozměry spojů, druhy spojů, cyklické namáhání) na jejich pevnost.

4. Výsledky a diskuse

5. Závěr

**Doporučený rozsah práce**

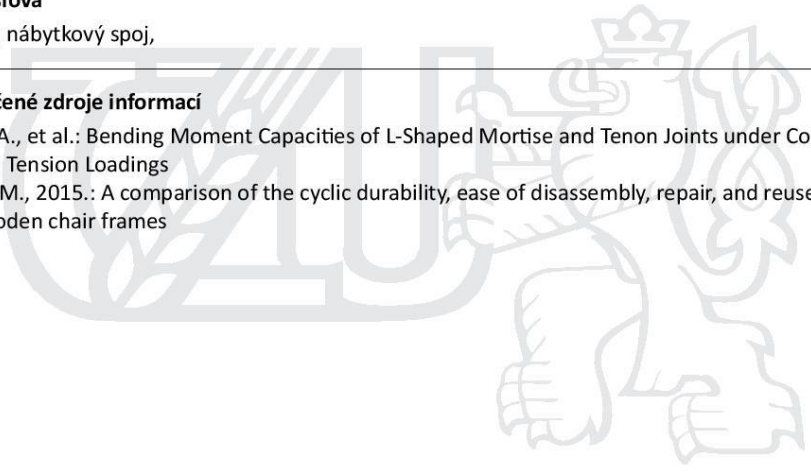
60

**Klíčová slova**

rozměry, nábytkový spoj,

---

**Doporučené zdroje informací**

- 1.Kasal, A., et al.: Bending Moment Capacities of L-Shaped Mortise and Tenon Joints under Compression and Tension Loadings
  - 2.Uysal, M., 2015.: A comparison of the cyclic durability, ease of disassembly, repair, and reuse of parts of wooden chair frames
- 

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra základního zpracování dřeva

---

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2017

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2018

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2018

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma hodnocení historických konstrukčních spojů během vývoje úložného nábytku, jejich využití a optimalizace v současných podmínkách nábytku vypracoval samostatně pod vedením Ing. Milana Gaffa, Ph.D. a použil jsem jen prameny uvedené v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V.....

dne.....

Podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto vřele poděkovat mému vedoucímu práce, doc. Ing. Milanu Gaffovi, PhD, který ve mě celou dobu věřil, podporoval a přistupoval v naprostém kolegiálním duchu. Díky patří i Ing. Václavě Kašičkové, se kterou jsem rád spolupracoval a spolužákovi Bc. Vojtěchovi Pecharovi za každodenní konzultace. Největší uznání má však moje rodina, která mě po celou dobu studia podporovala a táhla mě kupředu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce zkoumá elastickou tuhost rohového nábytkového spoje, který představuje kritickou oblast konstrukce. Práce se zaměřuje na velikost ozubů spoje spolu s dalšími sledovanými faktory, kterými byly použity lepicí směsi, zátěžové zkoušky tahové či tlakové, a především vybraný druh dřeviny.

Hlavním cílem práce bylo popsat chování spojů, optimalizovat je a zjistit, které parametry ovlivní jejich tuhost. Jedním z dílčích cílů práce bylo vytvořit přehledný seznam spojů a jejich stručnou historii.

Výsledky práce ukázaly, že tuhost spoje nejvíce závisí na počtu zubů a druhu použité dřeviny.

**Klíčová slova: nábytkářský spoj, rozměry, ozuby.**

## **Abstract**

The diploma thesis examines the elastic stiffness of the corner furniture joint, which represents the critical area of the structure. The thesis focuses on the size of the teeth of the joint together with other observed factors such as adhesive type, tensile or pressure loading tests, and especially influence of the selected species of wood.

The main aim of the thesis was to describe the behavior of the joints, optimize them and to determine which factors affect their stiffness and how. One of the partial aims of the work was to create a clear list of joint types and their brief history.

The results have showed that the stiffness of the joint depends the most on the number of teeth and type of wood species.

**Keywords: furniture joint, dimensions, toothings.**

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>7</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam zkratk a značek .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Cíl práce .....</b>	<b>14</b>
<b>3. Literární poznatky o vývoji konstrukčních spojů.....</b>	<b>15</b>
3.1 Historický vývoj konstrukčních spojů.....	15
3.2 Rozdělení jednotlivých etap vývoje konstrukčních spojů.....	17
3.2.1 Středověk (4000 př. n. l. – 600 n. l.) .....	17
3.2.2 Středověk (6. – 15. století).....	19
3.2.3 Novověk (15. století až po současnost).....	21
<b>4. Problematika konstrukčních spojů .....</b>	<b>27</b>
4.1 Konstrukční spoje .....	27
4.2 Nedemontovatelné spoje .....	28
4.2.1 Lepidla známá v dřevařském průmyslu .....	28
4.2.2 Spojení natupo .....	30
4.2.3 Na pokos .....	30
4.2.4 Polodrážka.....	31
4.2.5 Překlátování .....	31
4.2.6 Svlak .....	32
4.2.7 Okrajnice.....	32
4.2.8 Čepové spoje (čep a rozpor, čep a dlab) .....	33
4.2.9 Vlastní pero .....	34
4.2.10 Ozubový spoj (cinky, rybiny) .....	35
4.2.11 Kolíkový spoj.....	36
4.2.12 Vložená pera .....	37
4.2.13 Lamela.....	38
4.2.14 Hoffmanovo pero .....	38
4.2.15 Folding systém .....	38
4.3 Demontovatelné spoje .....	39
4.3.1 Hřebík .....	39
4.3.2 Šrouby .....	40



4.3.3	Spojení vruty .....	41
4.3.4	Excentrické spojování .....	42
4.3.5	Spony .....	43
4.3.6	Ocelové úhelníky a destičky .....	44
4.4	Vlastnosti spojů .....	44
<b>5.</b>	<b>Metodiky práce a metody zkoumání .....</b>	<b>48</b>
5.1	Příprava zkušebních vzorků .....	48
5.1.1	Počet zkušebních vzorků.....	48
5.1.2	Vzorky pro experimentální činnost.....	49
5.1.3	Lepení spojů.....	51
5.1.4	Klimatizace zkušebních vzorků .....	51
5.1.5	Stanovení hustoty dřeva .....	52
5.2	Experimentální měření .....	52
5.2.1	Značení vzorků.....	52
5.2.2	Postup při měření: .....	53
5.2.3	Stroje nezbytně používané pro experimentální činnost .....	53
5.3	Výpočty a charakteristika .....	57
5.3.1	Statistické zpracování dat .....	63
<b>6.</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>65</b>
6.1	Hustota.....	65
6.2	Elastická tuhost.....	65
6.2.1	Vyhodnocení podle faktorové analýzy .....	67
6.2.2	Čtyř faktorová analýza .....	69
6.2.3	Mnohonásobného porovnávání (Duncenův test) .....	70
6.2.4	Spearmanův korelační koeficient.....	71
6.3	Grafy v průběhu zkoušky v softwaru Tira.....	73
<b>7.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>77</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>78</b>
	<b>Elektronické zdroje.....</b>	<b>80</b>
	<b>Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky .....</b>	<b>82</b>
	<b>Normy .....</b>	<b>83</b>
	<b>Přílohy.....</b>	<b>84</b>

---

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Historicky používané spoje; z pravé strany svlakový, z levé čepový spoj, zdroj: [3] .....	15
Obrázek 2: Historicky používané spoje; motýlkový spoj, zdroj: [3] .....	16
Obrázek 3: Historicky používané spoje; kolíčkový spoj, zdroj: [3] .....	16
Obrázek 4: Historicky používaný spoj; rybinový nekrytý spoj, zdroj: [3] .....	17
Obrázek 5: Chumnachtova rakev; Egypt 1900 př. n. l., zdroj: [3] .....	18
Obrázek 6: Lidová truhla; Antika, zdroj: [3] .....	19
Obrázek 7: Truhla; Románské období, zdroj: [3] .....	20
Obrázek 8: Patrová skříň; Gotický styl, zdroj: [3] .....	21
Obrázek 9: Šatní skříň; Renesanční sloh, zdroj: [3] .....	22
Obrázek 10: Psací komoda; Barokní styl, zdroj: [3] .....	23
Obrázek 11: Komoda; styl Rokoko, zdroj: [3] .....	23
Obrázek 12: Komoda; Klasicismus, zdroj: [3] .....	24
Obrázek 13: Thonethova židle č. 14; Historismus, zdroj: [24] .....	25
Obrázek 14: Pojízdny stůl s úložným prostorem; IKEA 60. léta 20. st. n. l., zdroj: [23]	26
Obrázek 15: Možnosti spojení natupo; zleva doprava – délkové, tloušťkové, šířkové, zdroj: [15] .....	30
Obrázek 16: Spojení na pokos, zdroj: [15] .....	31
Obrázek 17: Spojení na polodrážku, zdroj: [15] .....	31
Obrázek 18: Spojení přeplátováním, zdroj: [15] .....	32
Obrázek 19: Svlakový spoj, zdroj: [15] .....	32
Obrázek 20: Okrajnice, spojení čepem a dlabem; 1 – okrajnice 2 – spárovka, zdroj: [15] .....	33
Obrázek 21: Spojení čepem a dlabem, zdroj: [15] .....	33
Obrázek 22: Spojení čepem a rozporem, zdroj: [15] .....	34
Obrázek 23: Spojení vlastním perem, zdroj: [15] .....	35
Obrázek 24: Spojení sdruženým čepem; ozuby rovné, zdroj: [15] .....	35
Obrázek 25: Spojení celokrytých ozubů, zdroj: [15] .....	36
Obrázek 26: Spojení kolíky; šířkové napojení, zdroj: [15] .....	37
Obrázek 27: Druhy vložených per; .....	37
Obrázek 28: Lamello, zdroj: [15] .....	38
Obrázek 29: Hoffmanova spojka, zdroj: [15] .....	38
Obrázek 30: Folding systém, zdroj: [15] .....	39

---

---

Obrázek 31: Hřebíky různých typů velikostí, zdroj: [30].....	40
Obrázek 32: Šrouby podle členění; a) komfirmát, b) s válcovou maticí c) dvoudílné, zdroj: [12] .....	41
Obrázek 33: Šroub pro spojování pracovních desek, zdroj [27].....	41
Obrázek 34: Vrut do dřeva, zdroj: [28].....	42
Obrázek 35: Spojení pomocí excentru, zdroj: [29].....	43
Obrázek 36: Tvarové druhy spon, zdroj: [34].....	44
Obrázek 37: Zleva ocelové uhelníky, zprava ocelové destičky, zdroj: [25,26].....	44
Obrázek 38: Schéma vzorků ke zkoušce, zdroj: vlastní .....	49
Obrázek 39: Konstrukční spoje pro experimentální část; a) počet zubů 2 b) počet zubů 5, zdroj: vlastní .....	49
Obrázek 40: Schéma vzorků k experimentální činnosti; počet zubů 2, zdroj: vlastní .....	50
Obrázek 41: Schéma vzorků k experimentální činnosti; počet zubů 5, zdroj: vlastní....	50
Obrázek 42: Zleva PUR lepidlo a napravo PVAc, zdroj: vlastní .....	51
Obrázek 43: Postup značení vzorků, zdroj: vlastní.....	52
Obrázek 44: Trhací stroj UTS 50; Fotografie pořízená v laboratoři na ČZU v Praze, zdroj: vlastní .....	54
Obrázek 45: Software TIRA, zdroj: vlastní .....	54
Obrázek 46: Pracovní diagram, zdroj: vlastní .....	55
Obrázek 47: Digitální váha PCB, zdroj: vlastní .....	56
Obrázek 48: Měření hmotnosti, zdroj: vlastní .....	57
Obrázek 49: Schéma tahové zkoušky, zdroj: vlastní .....	58
Obrázek 50: Schéma tlakové zkoušky, zdroj: vlastní .....	59
Obrázek 51: Tabulkové znázornění hladiny významnosti na elastickou tuhost spoje, zdroj: vlastní .....	71
Obrázek 52: Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu, zdroj: vlastní .....	73
Obrázek 53: Schéma vzorečku k vědecké práci z článku č. 1, zdroj: [31] .....	85
Obrázek 54: Schéma vzorečku k vědecké práci z článku č. 1, zdroj: [32] .....	85

---

---

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Informační přehled hodnot .....	66
Tabulka 2: Spearmanův korelační koeficient .....	72
Tabulka 3: Informační tabulka naměřených hodnot .....	84

---

## Seznam zkratek a značek

BK – buk

SM – smrk

F – síla

$\varphi$  – úhlová deformace

M – únosnost spoje

C – tuhost

S0 – směrodatná odchylka

S2 – rozptyl

P – hladina významnosti

MS – odchylka

SS – součet čtverců

PVAc – polyvinylacetátové lepidlo

PUR – polyuretanové lepidlo

WS – Wood species (Druh dřeva)

AT – Adhesive type (Typ lepidla)

NoT – Number of teeth (Počet zubů)

ToL – Type of loading (Typ zatížení)

Di – Density in  $\text{Kg/m}^3$  (Hustota v  $\text{Kg/m}^3$ )

BSi – Elastic stiffness in  $\text{Nm/rad}$  (Elastická tuhost v  $\text{Nm/rad}$ )

---

---

## 1. Úvod

Dnešní doba nabízí velký sortiment materiálů s odlišnými vlastnostmi spojené s jejich využitím. Dřevo je přírodní, obnovitelný a snadno dostupný materiál, který má vhodné mechanické a estetické vlastnosti. Je proto žádoucí ve stavebním průmyslu a především v nábytkářském. Jeho využití nacházíme již od nepaměti, kde naši předkové pracovali se dřevem a poznávali, jaký potenciál má tento materiál. Proto dřevo je využitelný i v jiných odvětvích. Pro výrobu hraček, papíru či hudebních nástrojů, těžko hledáme tak konkurence schopný prvek, který by jej nahradil.

Součástí každodenního života jedince spočívá vztah nebo kontakt se dřevem, ať už si to uvědomuje nebo ne. Největší zastoupení nacházíme v nábytkářském odvětví. Nejdůležitější část tvoří právě konstrukční spoje, poněvadž správné navržení při jistém konstrukčním řešení, dává za vznik potřebnou kvalitu nábytku. Nábytek musí být stabilní a pevný, proto se nejčastěji posuzuje jeho pevnostní charakter. Celosvětovým trendem je sledování pevnosti a tuhosti konstrukcí, a to nejenom u nábytkářství. Nejkritičtější oblastí jsou spoje, proto se vytvářejí neustálé poznatky a výzkumy, které jsou popisovány v odborných literaturách nebo člancích. Nejvážnější úskalí konstrukčních prvků nábytku nacházíme u sedacího, stolového nebo úložného. Dřevěný materiál nemusí tvořit samostatnou složku spoje. Lze ho kombinovat například s plastem či kovem.

Tato diplomová práce se zaměřuje na tuhost a pevnost vybraných konstrukčních spojů úložného nábytku. Experimentální část se zaměřuje na rohové spoje. Zkoumanými oblastmi, které mají vliv na konstrukci, mohou být použitá lepidla, druh dřeviny, zátěžová zkouška v tahu nebo v tlaku, ale především počet ozubů použit pro spojení. Výsledky z vědecké činnosti mohou objasnit situaci ohledně vybraných faktorů, které ovlivňují nejvíce kvalitu spoje a mohou být doporučeny.

---

## 2. Cíl práce

Cílem diplomové práce je zjistit významné faktory působící na tuhost rohových konstrukčních spojů.

Faktory:

1. Dřevina: Smrk ztepilý a Buk lesní.
2. Lepidlo: PVAc (AG-COLL 8761 D3) a PUR (NEOPUR 2238 R).
3. Počet použitých ozubů: dvojí (čep a rozpor) a pětice (sdružený čep).
4. Zátěžová zkouška: tuhost spoje v tahu a tlaku.

Výsledné hodnoty z měření mohou poskytnout přehled nebo uplatnění pro lepší a kvalitnější navrhování výroby nábytku.

---

### 3. Literární poznatky o vývoji konstrukčních spojů

Konstrukční spoje používané v dávných dobách se uplatňují do dnes. Některé prvky byly nahrazeny jiným materiálem. Lze však říct, že tesařské spoje neprodělaly žádným zásadním změnám.

#### 3.1 Historický vývoj konstrukčních spojů

Již po celá staletí provází možnost lidstva ukládat či shromažďovat předměty denních potřeb na jednotné místo. Mohou to být předměty jako šatstvo, šperky, časopisy nebo knihy a jiné. Inspirovat se lze historickými nábytky nalézající se ve starožitnictví, výskyt archeologických nálezů či materiálů, které se v určitých dobách používaly a v dnešní době se stále využívají s jistou úpravou.

Nábytek postupuje neplynulý historický vývoj, poněvadž docházelo k ústupu, posléze objevení a následně vlivem módy se konstrukční prvky měnily a přizpůsobovaly.

Konstrukční spoje a stabilita jsou základními prvky konstrukce nábytku. Základními činiteli pro konstruování spojů jsou mechanické, adhezní i kombinované vazby, spojené s účelností konstrukce, vlastnostmi používaného dřeva a orientací dřevěných vláken. V minulosti truhláři rozeznávali pravou a levou stranu prken, aby zamezili objemovým změnám, které dřevo ve všech třech směrech má sesazováním. **Pero, drážka a kolíky**, jsou pro spojení jednodušších spojů přířezu s podélným řezem. **Zápustný čep, přeplátování a svlakový spoj** se upřednostňuje pro spojení přířezu příčného řezu s přířezem podélného řezu.



Obrázek 1: Historicky používané spoje; z pravé strany svlakový, z levé čepový spoj, zdroj: [3]



---

**Motýlový spoj** je pro spojení přířezů s příčným řezem. Vyráběl se tak, že se vyřízl klínovitý tvar do desek, který se měl vzájemně spojovat a do těchto zářezů se vkládala spojka (motýlek).



**Obrázek 2: Historicky používané spoje; motýlkový spoj, zdroj: [3]**

**Čepové a kolíčkové spoje** se používaly na nejnáročnější spoje nábytku, kde docházelo k největšímu namáhání z pohledu pevnosti a tuhosti.



**Obrázek 3: Historicky používané spoje; kolíčkový spoj, zdroj: [3]**

**Ozubové spoje** se používaly tam, kde nehrozilo velké namáhání. Nejběžněji se používaly u skříní, truhel a zásuvek.



**Obrázek 4: Historicky používaný spoj; rybinový nekrytý spoj, zdroj: [3]**

Nelze z historického hlediska s jistotou určit, jaký prvek ke spojování je nejstarší. Předpokládáme, že spoje tesařské byly inspirativní pro spojovací prvky nábytkářské. **Přeplátování, čepování, spoj na pero a drážku, kolíkové spoje** se řadí mezi nejstarší. Jestliže se vyráběla rámová konstrukce, byla takto spojována. Až v pozdějších dobách se objevovaly propracovanější spojovací prvky např. **rybinový a svlakový spoj či spoje na ozuby**. Velmi staré jsou taktéž adhezivní vazby tvořené za pomoci lepících směsí, které se nejběžněji používaly na výrobu spárovky. Kihy živočišného původu a z pryskyřice, jsou nejstaršími typy lepících směsí. Ve středověku byla známá kaseinová lepidla [3].

*V následující kapitole se zaměříme především na zásadní období naší civilizace, jakou měrou se podíleli na vývoji úložných nábytků, se kterými materiály pracovali naši předkové, a především jaké konstrukční prvky používali pro spojení jednotlivých dílů.*

## **3.2 Rozdělení jednotlivých etap vývoje konstrukčních spojů**

### **3.2.1 Středověk (4000 př. n. l. – 600 n. l.)**

#### **Egypt (2800–300 př. n. l.)**

Egyptané pro výrobu nábytku ovládali dýhování vzácných dřevin, jako je tomu dnes, pro povrchovou úpravu levných dřevin. Znali lepení, kterým vyráběli překližkové materiály. Pracovali s **čepem a dlabem**, nejtypičtějším spojem pro jejich výrobu. Využívali také **dřevěné kolíčky, klínky, pero a drážku**. Dochované byly truhly s víkem

---

střechovitého nebo plochého tvaru se zásuvkami. Většinou byly postaveny na nohou, které se spojovaly plochým čepem a žlabem. Mezi úložné prostory sem patřily již zmíněné truhly nebo skříňový nábytek, ale také hrobky a sarkofágy [1,2,3,10].



Obrázek 5: Chumnachtova rakev; Egypt 1900 př. n. l., zdroj: [3]

#### **Antika (1000 př. n. l. – 450 n.l.)**

Předkové Římanů rozvíjeli nábytek se starořeckými kmeny. Římská civilizace byla tedy velice spjata s tou Řeckou. Většinu od nich přijali a z historických milníků se jejich nábytek více dochoval. Jako ukládací prostory znaly Římané skříně zabudované ve stěně nebo volně stojící s dveřmi a zásuvkové truhly. Nábytek byl často kovový, bronzový, vykládal se kostí a sklem. Lub byl zapuštěný na čep do nohou. Truhličky jsou podobně konstruovány jako egyptské. Na dně truhly jsou prkénka připevněna **kolíčky** ke spodní straně stěn desek. Konstrukce rámu se spojovala **čepem**, která byla kryta kovovými prvky. Nohy byly zapuštěné do desek [1,2,3,10].

Zatímco skvostná architektura se dochovala, s řeckým nábytkem to dobře nedopadlo. Jedno z mála věcí jsou kamenná sedadla v divadlech. Pro dané obyvatelstvo nebyla moc charakteristická tvorba nábytku. Když k tomu však docházelo využívali jako materiál dřevo se skelnými či kovovými prvky. Podobně jako staří Egypťané Řekové využívali k odkládání či úschově prádla truhly s víky sedlovitého tvaru či skříňový nábytek. Horizontální rám byl základní konstrukcí, do kterého se začepovávaly vertikální prvky. Ke spojování používali hřebíky, začepování a klížení [1,2,10].



Obrázek 6: Lidová truhla; Antika, zdroj: [3]

### 3.2.2 Středověk (6. – 15. století)

Zachovalý nábytek byl hrubý s jednoduchou konstrukcí. Byla zapomenuta technika a zručnost při zpracování dřeva a tvárnost nábytku. Kov se ve zdejší období hojně využíval jako konstrukční materiál k výrobě skříní nebo truhel z důvodu jeho estetičnosti či tuhosti. Truhla byla vytvořena tak, aby umožnila k případnému rychlému přemístění. Nejoblíbenějším nábytkem byla lavice s truhlou v sedadlu, postelová truhla, knihovny. Ukázkou románského nábytkového umění jsou dobře zachovalé lavice primitivního tvaru, zhotovené ze začepovaných trámek a sloupků [1,4,9,10].

#### **Románské období (800–1250 n.l.)**

Románský sloh, nazýváme také klášterní, se společně s křesťanstvím šířil celou Evropou. Charakteristické pro dané období jsou neustálé válečné konflikty, s tím je spjatá výroba nábytku, která si neřádala přepychové produkty. Nejnáročnější práce se dřevem, s postupem obnovy nábytkářského umění, sloužila k vlastní potřebě. Výroba prováděna **tesařským opracováním** desek za použití primitivního nářadí, sekyrky, dláta, pily. Veškerý nábytek stál na nohou kvůli oddělení od podlahy. Truhly byly řešeny tak, aby umožňovaly rychlé přenášení, jelikož se zde odkládaly nejcennější kusy majetku. Používali spojovací prvky jako **přeplátování, kolíčkování, dřevěné hřebíky, pero a drážku, čepování** a dveře skříní konstruovali na otočných čepech. Inovací zde byly **kovové pásky** sloužící k dekoračnímu i zpevňovacímu charakteru [2,3,4,10].



Obrázek 7: Truhla; Románské období, zdroj: [3]

### Gotický sloh (1250–1500 n. l.)

Vznikl 12. století ve Francii a šířil se po celé Evropě. Zvyšovala se úroveň v zemědělství, hospodářství, technika, tvořily se pocestné obchody a tím vznikaly města (cechy). Snahou bylo stmelení všech konstrukčních vymožeností z románské kultury. Podstatnou část byl nábytek, vytvářen tesařským nářadím, tesařskými konstrukcemi a velmi účelně, avšak gotika vyžadovala náročnější a jemnější práci. Vznikl dvojí proud nábytkového umění, severní (Francie, Anglie, Německo) a jižní (Švýcarsko, Rakousko a Česká země), avšak společně preferovaly odlehčenou rámovou konstrukci s výplní. Rámová konstrukce umožnila odlehčení, neboť se pro zpevnění u truhel a skříní používaly železné pásy. Zpevnění probíhalo tzv. desítkami – do ploch zapuštěné **hmoždinky ve tvaru X**, u více nohou se používala trnož. Rovinnost ploch se zajišťovala **svlakovými lištami**. Zde se též objevovaly truhly jako součást lavic a zásuvkové skříně. Převládá zde i znalosti jiných spojů. U zásuvek byl rohový sloupek spojen **přeplátováním na kolíčky**. Novinkou byl **rybinový spoj** zpevňující rohové spoje, který vycházel patrně ze svlaků a **motýlových spojů**. Truhly si ponechaly klasickou konstrukci, skříně byly **spojovány natupo**, tím byla zdokonalena technika klížení za pomoci kovových pásových prvků. Výroba dýh se zde obnovila [2,3,4,10].



Obrázek 8: Patrová skříň; Gotický styl, zdroj: [3]

### 3.2.3 Novověk (15. století až po současnost)

#### Renesance (1500 n.l. – 1600 n. l.)

Vznikla ve 14. století součástí nového směru humanismu, který věřil ve schopnost a plnohodnotnost jedince. Šířila se v bohatých zemích, nejvýraznější lokalitou byla Florencie. Převládala zde zájem o historii antiky a její poznatky. Světový názor se odrazil v umění, literatuře, ve filozofii a v bydlení. Narůstala touha po nádheře a přepychu. V palácích i v mnoha zámožných domech byla místnost pro knihovnu. Vytvářel se zde luxusní nábytek.

V začátcích se využívala gotická rámová konstrukce s výplní, následovalo jemné profilování. Oproti gotickým byla renesanční konstrukce masivnější. Tehdejší oblibou byly skříně, které měly dveřní křídla, s přihrádkou a zásuvkou. Dalším typem bývaly nízké zásuvkové skříně, šperkovnice. Silné desky byly **spojeny natupo** nebo **na ozub** a stabilitu tvořila zadní stěna **spojena na kuličky** či **ozub**. V rohovém spoji zásuvek se využívaly **polokryté** nebo **celokryté ozubové spoje**. Truhla zde byla nejpoblárnějším nábytkem, kterou zdobily prvky pro sedící nábytek, navíc se stala přenosným zavazadlem, která měla odlehčenou konstrukci provázenou **čepy**, dno bylo samostatný masivní prvek pevně spojený s nohami. Novým typem nábytku byla psací skříň, která měla uzavíratelnou desku umožňující psaní. Konstrukčními prvky se zde objevovaly **trnože** pro zpevnění nohou či **luby**. Pro dané období by se dalo říct, že to byl zlatý věk



---

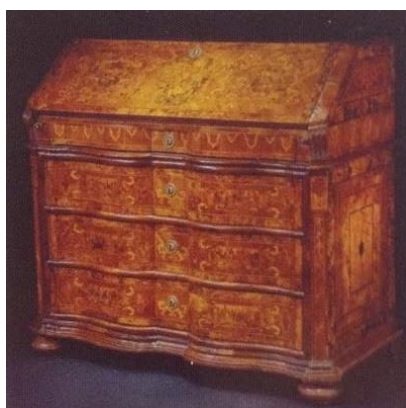
rozvoje. Využívaly se drahé kovy nebo dřeviny, doplněné stříbrem a zlatem. Jako obslužný nábytek v kuchyni se stala kredenc [2,3,4,10].



Obrázek 9: Šatní skříň; Renesanční sloh, zdroj: [3]

### **Baroko (1600 n. l. – 1730 n. l.)**

Vzniklo v Itálii 17. století a v polovině 18. století se změnilo v Rokoko. Náboženství rozdělilo Evropu. V daném období byla snaha o návratu křesťanství a získání věřících zpět. Odlišné vnímání politiky, ale i umění. Rozdělily se nábytkářské oblasti na měšťanskou, šlechtickou a lidovou. Italský a španělský nábytek byl plný vzácných dřevin obohacený mramorem, v Anglii a Německu se stal produkt účelnosti měšťanů. Nastává doba, kdy se dbalo k přístupu oblečení. Obleky se dávaly do velkých skříní, jelikož v truhlách by se jejich tvar pomačkal, avšak drobná ložní prádla se ukládala nadále do truhel. Zatímco truhla sloužila měšťanům kvůli možnosti jejího přemístění, šlechta jej nahradila šatníkem. Konstrukčním spojem zde byly **ozuby**, který byl již skryt výzdobou, dýchováním. U velkých skříní byl nový prvek, dělený korpus, který umožňoval rozebrat skříň na jednotlivé díly, které bývaly spojeny na vrchu či dnu **plochými závorami** nebo **klíny**. Renesanční charakter byl zde zachován. Vznikaly skříně pro knihy a knihovny. Materiálem pro bohaté vrstvy ve Francii za Ludvíka XIV se využívala želvovina k obohacení nábytku, mosaz či bronz. Tvůrci si libovali ve složitých řezbářských tvorbách. Reprezentativní poslání běžných nábytků se staly truhly, postele, stůl, lavice [2,3,4,10].



Obrázek 10: Psací komoda; Barokní styl, zdroj: [3]

### **Rokoko (1730 n. l. – 1770 n. l.)**

Vzniklo v Itálii 18. století, avšak bylo propagováno Francií v oblasti zařizování interiéru. Období největší slávy francouzského nábytkářského umění. Tvorba oblých dílců. Mohutný nábytek byl vyměněn za drobný, byl lehčí, menší a pohodlnější. Snaha o tvorbu drobných, již známých konstrukčních spojů, které byly často zakryté povrchovými materiály. Uplatňuje se zde jednoduchá desková konstrukce. Skříně, komody a kredence byly stále používány, mají však gotickou formu. Proud nových nábytků jako jsou stojací hodiny, nábytek s tajnými přihrádkami, lenoška a vitrína. Typické prvky u vitrín jsou prosklené dveře a boky, tvořena rámovou konstrukcí, která byla odsazena a upevněna tenkou lištou. Nejpoužívanějším materiálem byl pro přepychový nábytek exotické dřeviny a povrchová úprava pozlacení. Nábytek byl bohatě zdoben a patrné je, že cílevědomost a účelnost jde spojit s krásou [1,2,4,10].



Obrázek 11: Komoda; styl Rokoko, zdroj: [3]



---

### **Klasicismus (1770 n. l. – 1830 n. l.)**

Nábytek na rozdíl od Rokoka a Baroka odhaloval typ **konstrukčního spoje**, rámová konstrukce s výplní a prodloužení nohou. Kladl se důraz na čisté řemeslnické opracování. Některé prvky byly převzaty z Antiky. Truhlářská práce se zdokonalovala, a to v místech, kde se skrýval konstrukční prvek. Uplatnění bylo u **skrytých** a **polokrytých ozubů**. Truhláři pracovali s dřevinami, jako je ořech, mahagon nebo ebenové dřevo. Na vysoce vyleštěném povrchu bylo časté zdobení bronzem či drahým kovem. Ovlivnilo to tvorbu nábytkářů ve Skandinávii a Anglii. Radikálně se prosadil ve Francii, ve střední Evropě byl prosazován pozvolna. Směr Ludvíka XVI pocházející z francouzského královského dvora, nábytek zde byl lehký a půvabný, **konstrukční spoje** jsou zde zvýrazněny [3,10,13].



Obrázek 12: Komoda; Klasicismus, zdroj: [3]

### **Historismus (1820 n. l. – 1890 n. l.)**

Vytvořené nábytkové předměty byly inspirované z historických slohů. Bylo to tím, že návrháři došli k závěru, že nové tvarové soustavy nemohou ani vzniknout. Nešlo o vznik nového slohu, ale o takzvanou retrospektivu. Snaha o napodobení všech předchozích slohů. Tento směr hledá návrat k historickým formám především v povrchových úpravách. Navrhované nábytky nebyly jen pro bohaté obyvatele, umělci věnovali svůj zájem pro širokou veřejnost a tím vzniklo návrhářství, které ovlivnilo moderní nábytkové umění. Snaha o zjednodušení technologie, specializace úkonů a tím vytvořit sériovou výrobu jednotlivých dílů a jejich snadné spojování. Rozvoj techniky

---

strojů našlo uplatnění v opracovatelnosti dřeva k výrobě dýh a tím spjatou výrobu překližkového materiálu.

Zrychlené životní tempo přineslo střídavé umění. Na mezinárodní výstavě odhalili v roce 1851 klesající tendenci uměleckého řemesla. Průmyslová výroba ve velkém vyznačovala levně vyráběným nábytkem na úkor ručně vyráběných a kvalitních kusů. Největší ohlas udělal *Michael Thonet*. Jeho sériová výroba ohýbaného nábytku byla nadčasová. Masivní **ohýbaný nábytek** za pomoci horké vodní páry byl tvarován v jednodílné formě. Způsob výroby byl patentován. Typ židle č. 14 dosáhla v roce 1859 až 1930 prodaných 50 milionů kusů [2,3,4,10,13].



**Obrázek 13: Thonethova židle č. 14; Historismus, zdroj: [24]**

## **2. polovina 20. století**

Nábytek byl vnímán jako nedostatkové zboží, které bylo přidělováno těm, kdo utrpěl vážné poškození způsobené válkou. K jednoduchým tvarům nábytku, u kterých předcházela funkčnost od libivosti, se k této problematice stavěli neochotně spotřebitelé i výrobci. Historický nábytek nebo jeho replika starožitných kusů neznamenal kvalitu.

50. léta přinesla pokrok ve výrobě nábytku z tradičních i nových materiálů. Země jako Skandinávie, Anglie, Itálie, Amerika, Japonsko přinesly nové technologie a vytvářely moderní design. Byla překonána obava v kvalitní výrobek vyráběný sériovou výrobou. Odlehčený výrobek s kovovými a plastovými konstrukcemi, nastává tedy trend plastů a umělého materiálu, spojena s novou tvárností nábytku samotného. Častá je i návratnost tvarů inspirovanou minulostí.

---

Nelze říct, že poválečné období je jedním slohem výroby nábytku, ale označován jako progresivní vývoj, které ovlivnil především italské a skandinávské země. Architekti ze Skandinávie vytvořením prostého a kvalitního nábytku dali inspiraci k dlouholeté tradici zpracování dřeva. Švédové si uvědomili, že prodej nábytku hraje jednu z klíčových rolí v celém komplexu výbavy interiéru. Propagovali krásu všemi prostředky. Největší sortiment představuje IKEA, která je levná, umožní zařídit celý byt a je takzvanou lidovou variantou nábytku. Získala si oblibu i proto, že nábytek vyhovoval životnímu stylu Skandinávská kultura pronikala do světa svou praktičností a jednoduchostí montáže. Italské umění se méně staralo o konstrukční řešení, spíš sledovalo umělecký výraz předmětů. Navrhovaly pojízdné úložné prostory.

Začátkem 80. let se upíná mnoho architektů ke geometrickým výtvarným prvkům, kterými jsou koule, trojúhelníkové tvary či kruhy. Říká se tomuto projevu postmodernismus.

Dnes můžeme vnímat ušlechtilé materiály používané v kusové výrobě nábytku. Kombinace kovu, dřeva, skla je z jedné žádoucích prvků pro konstruování nábytku. Křivé čelní či boční plochy nám ke snadnosti výroby umožňují novodobé deskové technické materiály na bázi dřeva (překližka, MDF, vrstvené a tvarované dřevo). V sériové výrobě s výrobou složitých propracovaných konstrukčních prvků, nacházíme uplatnění v CNC strojích [2,4,10,13].



**Obrázek 14: Pojízdný stůl s úložným prostorem; IKEA 60. léta 20. st. n. l., zdroj: [23]**

---

## 4. Problematika konstrukčních spojů

Konstruování nábytkářských, potažmo truhlářských spojů ve stavebnictví, se spojují suchým způsobem nebo pomocí lepících směsí. Správné využití a provedení spojovacích vazeb mají za následek kvalitu pevnosti a tuhosti v celém konstrukčním spoji. Navrhování nábytku se neobejde bez využití spojovacích prvků. Vážnou problematikou, kterou se musíme nutně zabývat pro optimální navržení, jsou vlastnosti pevnostní, tedy kritická místa ovlivňující tuhost spojovací vazby. Dřevěné části spojujeme za dosažením tvarově dokonalého, funkčního a vyhovujícího předmětu, díky kterému vznikne nábytkářský dílec či nábytek samotný. V konstrukčním spoji se vytvářejí vlivem vnější zátěže vnitřní pnutí, které přenáší síly mezi oba prvky. Kvalitu spoje docílíme tím, že používáme pro výrobu spoje dřevo bez trhlin, suků, oblin nebo jiných vad, které může ovlivnit pevnostní vlastnosti spoje. Oblast spoje při navrhování je často limitující. Členíme spojovací vazby na demontovatelné a nedemontovatelné. Nerozebíratelné spoje slepené lepícími směsí, jsou tužšího rázu a jeví se jako charakteristicky dobré vůči vibracím, které tlumí. Možnost členit také spoje určené ke spojování nebo určené k montážním prostředkům. Přesnost a preciznost při tvorbě konstrukčního spoje je nezbytné k dosažení kvalitní tuhosti a pevnosti v celé konstrukci [2,5,9,11,12].

### 4.1 Konstrukční spoje

#### Spojovací vazby

Nerozebíratelné – Výhoda tuhých spojů je tvarová stálost, pevnost a trvanlivost, využitelnost malé sorty speciálních strojů a nástrojů, avšak je zapotřebí velkých skladovacích prostorů nejen pro vytvrzovací dobu lepících směsí, ale i k expedici a skladování.

Rozebíratelné – Mají výhodu v demontování, usnadnění transportovatelnosti a skladování, možnost sestavení výrobku na místě používání, jako nevýhodné se jeví cena spojovacích prvků a výroba otvorů pro jejich uložení. Nelepené spoje se využívají tehdy, když chceme dosáhnout k vyměnitelnosti jednotlivých dílců [2,10,11].

#### Spojování materiálu v nábytkářství:

- šířkové spojení,
- délkové spojení,

- 
- rámové spojení,
  - rohové spojení.

## 4.2 Nedemontovatelné spoje

### 4.2.1 Lepidla známá v dřevařském průmyslu

#### členíme lepené spoje podle zátěžových skupin

- D1: odolnost běžných teplot (pod 50°) a vlhkosti (do 15%); nábytek, interiérové dveře,
- D2: krátkodobá odolnost vůči vodě a vysokých vlhkostí; kuchyňský nábytek,
- D3: častější styk s vodou a vysoká vlhkost vzduchu; vstupní barákové dveře, schodiště, okna (nutnost ochrany povětrnostních vlivů),
- D4: silný kontakt s vodou; okna, vstupní barákové dveře, koupelnový nábytek [11].

#### **Lepidla organického původu**

##### Směs z přírodních látek

###### *Glutinové (kostní a kožní)*

- Kostní se vyrábějí z odtučněných kopyt, rohů a paznehtů,
- Kožní jsou ze šlach, kůží a jatek.

###### *Kaseinové*

Lepidla ze zkysnutého mléka, v dostání v krupičnaté formě. Uplatnění nacházejí ve výrobě překližek. Čistý kasein je vodou rozpustitelný, proto se používá hydrát vápenatý či uhličitý sklo.

###### *Rostlinné*

Hlavním zástupcem rostlinných lepidel je škrob. Ke spojování překližek se zpracovává z tropických rostlin.

---

### *Syntetické směsi*

- *Termoplasty* – polyuretanová, polyakrylátová, polyvinylacetátová, polyvinylchloridová,
- *Reaktoplastická* - močovinoformaldehydová, melaminformaldehydová, fenolformaldehydová, epoxidová [8,14,21].

*Protože v experimentální části práce hraje velkou roli lepicí směs, popíšeme si jej zde tyto druhy lepidel.*

### **Polyuretanová lepidla (PUR)**

Velké teplotní rozmezí k vytvrzení lepidla. Za daný čas dovede i při 0°C. K vytvrzení lepidla stačí vzduch nebo vlhkost materiálu. Jednosložková lepidla jsou termoplastická. Dvousložková obsahují polyesterovou pryskyřici a jsou klasifikována jako lepidla s dobrým charakterem pro pevnostnímu a pružnostnímu namáhání, odolávající vůči vysoké vlhkosti a odolávají proti povětrnostním vlivům.

### **Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)**

Vinylacetát vzniká polymerizací termoplastu. Polyvinylacetát se nerozpustí ve vodě, avšak jeho velmi malé části se jemně rozptylují. Chemicky vytvrdne lepidlo přidáním tvrdidla, fyzikálně bez jejího přidání. Lepidlo umožňuje okamžité využití bez přidání z některých přísad. Některé typy PVAc lepidel dle technického listu vyžadují ředit vodou do 3 %. Lepený spoj odolá do 60 °C teploty, v kombinaci dvousložkového až 150 °C. Spojení je měkké překročením hranice teplot výše zmíněné. Lepidla jsou odolná vůči plísním a nepodléhají stárnutí. Nezbarvují dřevo bez přímého styku s železem. Možnost lepicí směs přizpůsobit k účelu využití [14].

### **Lepené spoje**

U principu daného druhu spojování nedochází k viditelným spárám, předpokládáme-li její tloušťku 0,1 mm. Pokud chceme docílit kvalitního konstrukčního zpracování, musíme dbát na zákonitost o bobtnání a sesychání [11].

---

#### 4.2.2 Spojení natupo

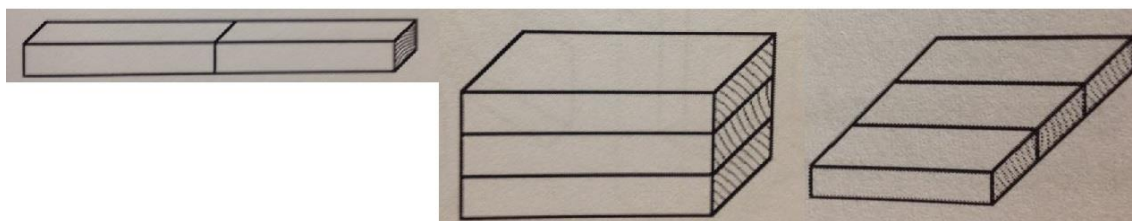
Šířkové, délkové či tloušťkové nejjednodušší napojení. Žádá si důsledné opracování lepených bočních ploch přířezů a geometrickou rovnost splňující pravouhlé opracování. Hrany musí vůči sobě lícovat. Bezchybné lepení provádíme při dostatečném tlaku a kvalitním zpracováním dosáhneme vysoké pevnosti. Středová deska se zpracovává stejně jako u spárovky.

##### Zásady pro lepení masivních dílců na šířku

- *jádro k jádru, běl k běli, jednou levá pak pravá strana; dřeň se vyřezává pro předcházení trhlin.*

Jestliže chceme široké masivní dílce lepit, stabilizujeme je tím, že je opatříme okrajnicemi, svlaky na bočních stranách před deformací. V místech velkého zatížení, se uplatňuje podobné spojení jako je tomu u délkového, vložením pera nebo kolíků.

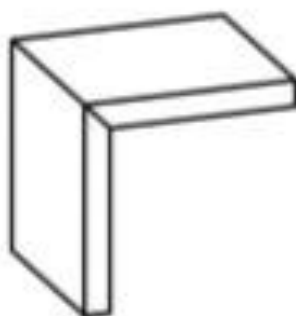
Možnost využití nelepené spáry za pomoci vrutů či hřebíků k nosné konstrukci opatřenou krycí lištou. Využitelnost u méně náročných dílů (sklepní dveře) [7,10,11,15,16].



Obrázek 15: Možnosti spojení natupo; zleva doprava – délkové, tloušťkové, šířkové, zdroj: [15]

#### 4.2.3 Na pokos

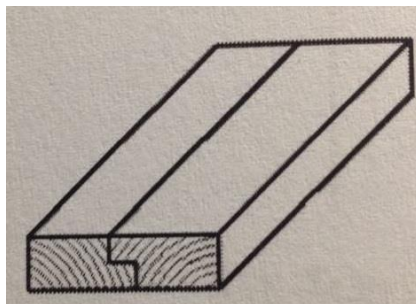
Nevhodné spojení pouze slepením, doporučuje se doplnit tento spoj spojovacími prvky kolíkem vloženým perem, pero s drážkou a v menších případech čepem s rozporem. U úhlového spojení volíme rovné kolíky posunuté co nejvíce k pokosové hraně nebo plastové kolíky, které svírají úhel 90° [10,11,15,16].



Obrázek 16: Spojení na pokos, zdroj: [15]

#### 4.2.4 Polodrážka

Spoj vzniká tím, že jedna strana dílce má vyfrézovanou polodrážku. Větší lepená plocha nám umožňuje dosáhnout vyšší pevnosti spoje. Minimálně viditelné spáry, které se můžou zdůraznit zkosenou hranou. Při sesychání drážka odstává. Užívá se pro méně namáhané dílce. Materiál při opracování se vytrácí ve velkém počtu. Využívá se pro DTD, PDP a masiv [10,11,15,16].



Obrázek 17: Spojení na polodrážku, zdroj: [15]

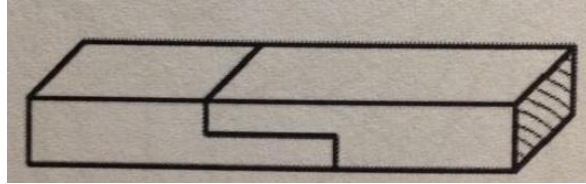
#### 4.2.5 Překlátování

Spoj se vyrobí tak, že se odebírá materiál v oblasti konstrukce do poloviny tloušťky. Využívá se převážně k rohovým spojmům v rámové konstrukci pro vlysy o šířce do 100 mm. Nutností lepících směsí dosáhneme minimální nutnou tuhost, navíc se vyskytuje možnost doplnit tuto soustavu o dřevěné kolíky či vruty podporující pevnost spoje. Pro menší zatížení je tento způsob ideální, nežádá si tolik velkých nákladů na výrobu.



---

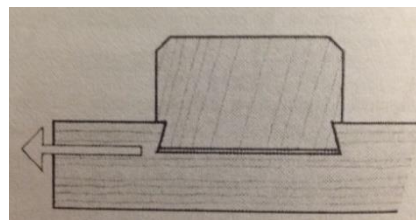
Minimální využití v průmyslové výrobě. Hlavní uplatnění mají při zakázkovém typu výroby [7,10,11,15,16].



Obrázek 18: Spojení přeplátováním, zdroj: [15]

#### 4.2.6 Svlak

Neviditelný spoj pro zadní či spodní pohledové strany. Výjimečné využití u masivních dílců napojením T způsobem (mezistěny). Svakový spoj (svaková drážka a pero) je klínovitého tvaru kvůli pevnému doražení. Natupo osazeno ve vyfrézovaných průběžných dílcích (úhel musí být v rozmezí 70-75°), do které se čelně napojí svlak. Dostatečné pevnosti dosáhneme tehdy, když hloubka svakové drážky bude činit maximálně do 1/3 tloušťky a svakové pero se zasouvá snadno do 2/3, ve zbylé 1/3 jde na doraz. Je to stabilní **nelepící typ spoje**. Může být v jednostranném nebo oboustranném provedení, kdy druhá varianta dosahuje vyšších pevnostních hodnot. Zabezpečuje plošné dílce proti deformaci a praskání [10,11,15,16].



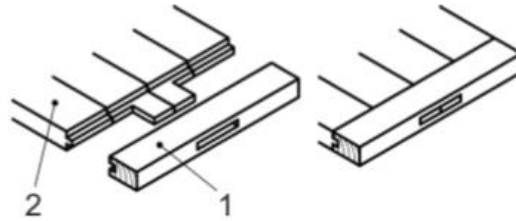
Obrázek 19: Svakový spoj, zdroj: [15]

#### 4.2.7 Okrajnice

Odlišují se s drážkou nebo vlepené do drážky. Využíváme je ke zpevnění úzkého dřevěného materiálu a zároveň ochranu čelní plochy. Spojují se lepením nebo za použití

---

konstrukčních prvků vloženým perem nebo klínovitým čepem. Maximální šířka přípustná pro tvorbu okrajnice činí 200 mm [10,11,15,16].



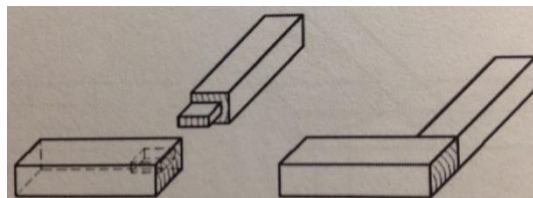
Obrázek 20: Okrajnice, spojení čepem a dlabem; 1 – okrajnice 2 – spárovka, zdroj: [15]

#### 4.2.8 Čepové spoje (čep a rozpor, čep a dlab)

Čepovým spojem rozumíme to, že jeden z dílců bude mít opatřený čep a druhý dlab nebo rozpor. Typ vytvořeného spoje má ukončující útvar na konstrukčním prvku. Tvary dlabu nebo rozporu musí být přizpůsobivý čepu, prochází po celé tloušťce druhého prkna. Tvarovou stálost dosáhneme slepením konstrukce. Vazby mohou být zapuštěné, jednoduchá či dvojitá rybina [7,10,11,15,16].

##### Čep a dlab

Dlab neprochází do čela vlysu, vytváří se jako otvory. Velké pevnosti dosáhneme tak, že délka čepu je co nejdelší. Šířka vlysu může být stejná jako délka čepu, pak nám vznikne viditelný čep na vnější straně rámu. Šířka čepu se nejčastěji volí jako dvě třetiny šířky vlysu. Zákonitě mohou zde vzniknout viditelné spáry, které můžeme preventivně zabezpečit o natlučení z čela čepu.

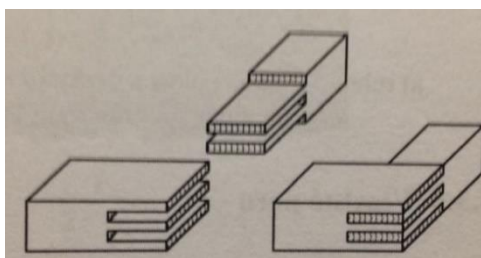


Obrázek 21: Spojení čepem a dlabem, zdroj: [15]

---

## Čep a rozpor

Při podobné tvarové části je rozpor odolnější proti kroucení způsobenou větší lepící plochou u přehlátování. Pro rozdělení čepu a dlabu vytvoříme orýsování rýsovadlem D/3 (čep je 1/3 tloušťka; v případě D/5, čep má 2x 1/5). Nejpoužívanější u spojení rohových rámu. Uplatnění pro okenní rámy či konstrukcích nábytku [7,10,11,15,16].

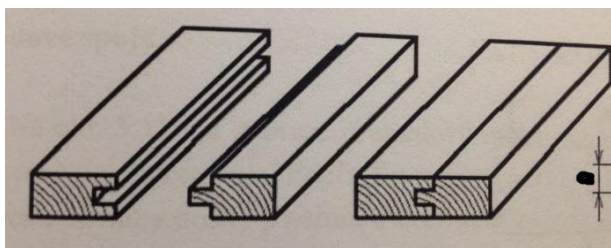


Obrázek 22: Spojení čepem a rozporem, zdroj: [15]

### 4.2.9 Vlastní pero

Jedna strana opatřena drážkou na protilehlé boční straně perem. Oba přířezy mají drážku, avšak z jedné strany se zasouvá pero. Pravidlo zhotovení per s délkou 1/4 tloušťky dna, maximální vydrážkování hloubky boku 4/10 tloušťky. Spáry můžeme zvýraznit profilem či sražením (drážka má tvar rybiny pod úhlem 15°, kvůli odolnosti péra před odštípnutím). Rozštípnutí nastává při silném zatížení horní konstrukce, při dolním zatížení vzniká viditelná mezera prohnutím. Poškození může nastat také, jestli pera nebudou přesná.

Deformace menší jak u polodrážky, protože při sesychání se spára dá skrýt perem či skoseným profilem hrany. Lepíme nebo sbíjíme. Využíváno u korpusu a spoje mezistěn ve tvaru T převládajících u polic a zásuvek. Možnost viditelného či skrytého přibití přířezů. Vyrábějí se z masivního dřeva, v dnešní době skoro již nevyužitelný z důvodu lehkého popraskání materiálu. Dnes se volí varianta **kolíkového spoje** nebo **spojením vrutů** (šroubů). Podobně jako u zapuštění kolíku, zde by měla být větší hloubka drážky než šířka zapouštějícího pera [7,9,10,11,15,16].



Obrázek 23: Spojení vlastním perem, zdroj: [15]

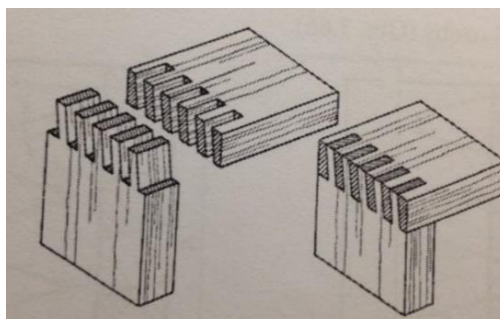
#### 4.2.10 Ozubový spoj (cinky, rybiny)

Starý truhlářský spoj využívaný u masivního materiálu, méně pak u překližek k vytvoření rohových konstrukčních variant (zásuvky, bedny, korpus skříňového nábytku). Spojení koncového dřeva s koncovým. U laťovkového materiálu musí být střední vrstva kolmo k ozubům. Taktéž jako u svlaku, tvarovatelný v hlavním směru. Nevýrazné sesychání a bobtnání, avšak se nesmí bortit.

Typy spojovacích prvků třídíme na rovné ozuby, rybinové nebo klínovité. Trvanlivý spoje je tzv. rybina, která by neměla být příliš zkosena, došlo by k odstříhnutí (doporučuje se 75-80° sklon). Členíme je ještě na sdružené čepy, otevřené, polokryté, celokryté.

##### Sdružený čep

Veškeré řezy jsou si rovnoběžné navzájem, tedy mezery s čepy jsou o stejné šířce. Vyrábějí se na speciálních frézovacích strojích. Frézka dosahuje naprosté přesnosti, a proto tento spoj umožňuje dosáhnout vysoké pevnosti. Rovnoběžné ozuby (rovnoběžná řezná plocha), ozubové a rybinové části jsou stejného tvaru, podobné čepovým spojům.



Obrázek 24: Spojení sdruženým čepem; ozuby rovné, zdroj: [15]

---

### Otevřený způsob

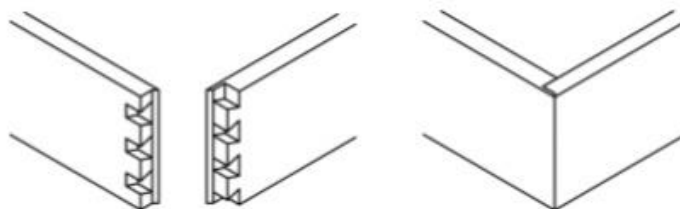
Spojení je viditelné. Klínovitý tvar ozubů je samosvorný, proto se nemusí při lepení lisovat. Stejnou šířku mají ozuby a rybiny, proto volíme jejich součet v lichém provedení

### Polokryté ozuby

Viditelná je jedna strana spojovacího prvku. Uplatňuje se u předních částí zásuvek, kde chceme dosáhnout neviditelnosti spoje.

### Celokryté ozuby

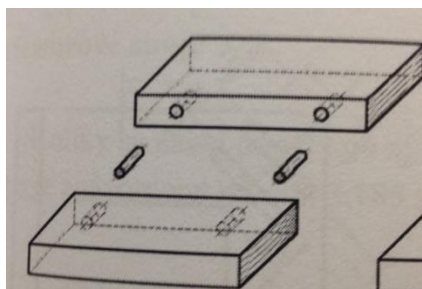
Nazývat jej můžeme jako pokosové ozuby, jelikož jejich spojení v rámu není viditelné. Náhrada kolíkem nebo spojeným perem [7,9,10,11,15,16].



Obrázek 25: Spojení celokrytých ozubů, zdroj: [15]

#### 4.2.11 Kolíkový spoj

Ve výrobě se řadí mezi základní a nejpoužívanější spoj, který lze využít ve své podstatě na aplikovatelná místa ve všech typech nábytku. Spoj je nejvhodnější pro automatizovanou výrobu. Využije se ke spojení lubů s nohami u stolových či židlových nábytků, u tvorby rámové konstrukce. Převážně se spojují DTD, možnost však uplatnění u PDP a masivu. Vyrábějí se z buku v podobě tyčky, které mají rýhovanou, hladkou či spirálovitou povrchovou úpravu. Používá se lepicí směs pro zpevnění spoje. Rýhovaný povrch kolíků zlepšují smáčivost spoje, jelikož se lepidlo lépe usadí a při stlučení na povrchu zůstává. Optimální využití při 1/3 tloušťce materiálu, kolík se ve svém předvrtaném otvoru nezarazí na ráz, má vůli 2-3 mm. Válcové otvory zeslabují dřevěný materiál [7,8,9,10,11,15,16].

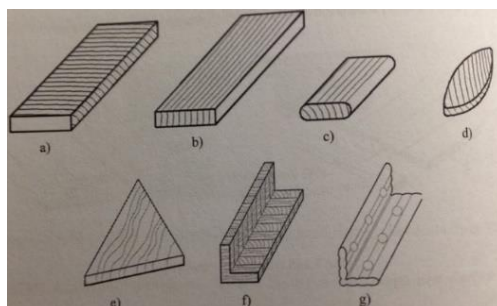


Obrázek 26: Spojení kolíky; šířkové napojení, zdroj: [15]

#### 4.2.12 Vložená pera

Plošný prvek, který slouží pro spojení velkoplošných dílců s povrchovou úpravou. Na bočních stranách přířezu jsou drážky, kam se vkládají pera. V rámových konstrukcích se jeví oproti vlastnímu peru jako odolnější a stabilnější. Povahově příbuzné čepu a dlabu, jelikož neprobíhá po celé šířce dílce. Možnost spojení rohových částí na pokos nebo rovná pera z podélného dřeva z příčným. Při pokosové konstrukci se volí vložení pera co nejtěsněji k vnitřní hraně, kvůli šířce pera. Také využitelný ke spojení mezistěn ve tvaru T. Oproti kolíkům udržují spáru sevřenější. Nejběžnější jsou vlepená, zpevňující spoj.

Péro je buď z masivu, které má podélně orientovaná vlákna nebo z překližky. Péro z dřevotřísky je nevhodné. Úhlová pera jsou vyhovující při souběžném napojení DTD a DVD. Plastová pera vyhovují svou děrovanou strukturou, kvůli lepšímu využití lepicí směsi a variant v rovném provedení nebo pod úhlem 45° či 90°, pro masiv, DTD, PDP. V následující kategorii konstrukčních druhů zmíníme, že vloženým perem může být lamela z listnaté dřeviny, materiálově vyráběná překližka [7,9,10,11,15,16].



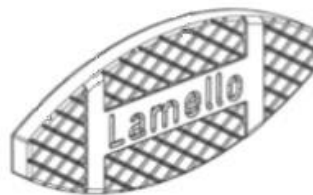
Obrázek 27: Druhy vložených per;

a) příčné hranaté b) podélné hranaté c) podélné zaoblené d) podélné příčně čočkovité e) trojúhelníkové f) úhlové překližkové g) úhlové plastové, zdroj: [15]

---

#### 4.2.13 Lamela

Možné znát pod pojmem čokkové pero, je jedeno z typů vložených. Vyrábí se slisováním listnatých dřevin lišící se svou orientací dřevních vláken ve 45°, proto je odlišná od jiných. Ve spojení na pokos nahrazují vložené pero. Možné spojení aglomerátů a masivních dílců. Předností lamel je spojení dílce pomocí vyfrézované drážky v místech nastavování, dílce se neoslabují. Navíc nemusí být přesný otvor pro zapuštění lamely oproti kolíkovému spoji [7,10,11,15,16].



Obrázek 28: Lamello, zdroj: [15]

#### 4.2.14 Hoffmanovo pero

Spojení pomocí Hoffmanova pera lze uplatnit i pro konstrukční prvky bez lepících směsí. Je to pero, který má oboustranný rybinový tvar. Vyrábí se ze dřeva nebo plastu [15,16].



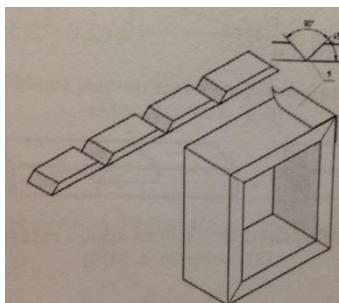
Obrázek 29: Hoffmanova spojka, zdroj: [15]

#### 4.2.15 Folding systém

Nejsou to jednotlivé dílce, nýbrž skeletový plášť s pokosově vyfrézovanými drážkami. Před finální operací jsou na speciálních strojích dílce upravovány, vyfrézovány nebo do nich vyříznuty zářezy o potřebných vzdálenostech. Hloubka drážek je

---

v dostatečné vzdálenosti tak, aby nebyla porušena vnější strana, která má dýhovou nebo foliovou povrchovou úpravu. Jsou to tři nebo čtyřstranné korpusy, následně slepené. Vhodné pro televizní skříně, zásuvky [2,7,10,11,15,16].



Obrázek 30: Folding systém, zdroj: [15]

### 4.3 Demontovatelné spoje

Kovový materiál má v nábytkářském odvětví největší uplatnění mezi nedřevěnými materiály. Může být čistě surový, vyleštěný, obroušený či pochromovaný. Používá se nejen jako hlavní konstrukční materiál, tedy dílec pro zkonstruování nábytku, ale převážně jako spojovací prvek, kde plní funkci konstrukční. V další míře se využívá jako doplňkový či dekorativní [9].

#### 4.3.1 Hřebík

Jeden z nejstarších způsobů spojení. Dříve byl dřevěného typu, poté se využíval měděný. Dnes v podobě ocelových nebo lesklých kovových materiálů. Dělíme je podle délky, průměru a hlavy.  $1/10$  tloušťky desky je hranicí pro průměr hřebíku. Pro spojení konstrukčních desek hřebíky užíváme se zapuštěnou hlavou a sbíjíme je v šikmém směru (kolmo na vlákna pod úhlem  $45-60^\circ$ ), kde dosahuje větších pevnostních vlastností než rovnoběžně zaražený, a tím dosáhneme kvality spoje a nenarušení dřeva samotného. Pravidlem zůstává, u spojování příčného dřeva s příčným a podélného s podélným. Příčné protnutí nebo boční odhrnutí vláken zapříčiní jejich tuhost ve dřevě. Proto v čele zaražený bude mít menší odolnost oproti kolmo na vlákna. Odpor vůči vytažení klade hřebík vyšších hodnot napříč vlákna. Dřevo tvrdé nebo suché se spojuje snáz než vlhké a měkké.



---

Hřebíkům můžeme lehce ztupit hrot, kvůli zabránění rozštípnutí desek na úkor přídržnosti ve dřevě [7,8,10,12,11].



Obrázek 31: Hřebíky různých typů velikostí, zdroj: [30]

#### 4.3.2 Šrouby

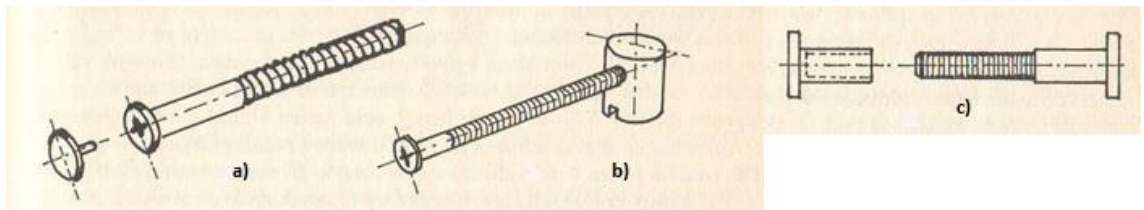
Samostatně nebo častěji v kombinaci s kolíky. Spojování pomocí šroubů opatřených metrickým závitem je z hlediska samovolného uvolnění nejbezpečnější. Šroub s metrickým závitem dokáže dostatečně stáhnout materiál k sobě. Nejúčinnější typ spojování kvůli kvalitnímu přilnutí, nehrozí zde samovolnému uvolnění a má více typů řešení. Skládá se ze šroubu s vnějším závitem a maticí (vnitřní závit). Závit je navinut okolo šroubu a má různého stoupání. V praxi se využívá šroub s metrickým závitem. Velké uplatnění při nejedné konstrukci. Závit šroubu tvoří funkční část.

Tělo závrtné matice je z kovového materiálu s vnějším i vnitřním závitem. Z vrchu je zářez pro šroubovací nástroj, vnější strana opatřena závitem do dřeva a vnitřním pro šroub.

Trh nabízí mnoho variant spojovacích demontovatelných prvků, avšak nejběžněji se využívá v truhlářské výrobě jednodílné šrouby nebo s válcovou maticí a kombinované šrouby.

- a) **Jednodílné spojovací šrouby (konfirmáty)** nejběžněji se používají v kombinaci s kolíky, avšak při menších rozměrech lze využít samostatně. Konstrukce hlavy šroubu zajišťuje vyšší pevnost spoje, šestihranná více než křížová hlava. Platí zde konstrukční řešení 32 mm rozteče mezi kolíkem a konfirmátem.

- 
- b) **Šrouby s válcovou maticí** po obvodové vnější straně matice má povrch hladký. Do předvrtaného otvoru se vkládá matice. Využijeme jej na spojení podnoží, noh a lubů a na spojení korpusu. Uplatnění by se našlo i pro sedící nábytek.
- c) **Spojovací šrouby dvoudílné** mají nejběžnější uplatnění ve spojování jednotlivých dílců/korpusů do sestav. Daný spojovací prvek je dvojdílný. Z jedné části se jeví jako klasický šroub a druhá má vnitřní závit [2,7,9,10,12].



Obrázek 32: Šrouby podle členění; a) komfirmát, b) s válcovou maticí c) dvoudílné, zdroj: [12]

#### d) **Spojovací šroub pro pracovní desky**

Pro spojování kuchyňských nebo pracovních desek využíváme tento typ šroubu. Je opatřen maticí a vytvarovanou podložku, která je předem umístěná ve vytvarovaném otvoru, který po spojení a dotáhnutí vytváří stabilní spoj [15,16].



Obrázek 33: Šroub pro spojování pracovních desek, zdroj [27]

### 4.3.3 Spojení vruty

Podmínkou použití musí být spojovací součástka umístěna do dřeva buď přes nějaký element (úhelník) nebo na přímo. Opakovaným montováním či demontováním se

---

jednotlivé spojovací díly nebo materiál opotřebují. Větší pevnost spoje než hřebík, který se běžně používá, ale má menší pevnost spoje, proto se volí vrut s křížovou hlavou.

Pro dobrou odolnost dílce a možnosti pozdějšího rozebírání se volí jako optimální varianta tento spojovací prvek. Dělíme je podle délky, průměru, hlavy (drážka, která umožňuje typ utahování) a dle používaného materiálu (dřevotřískové x masivní). Vruty jsou vyráběny z oceli, mosazi s kovovou lesklou povrchovou úpravou. Pro použití se nejprve musí předvrtat otvor takový, aby vrut zavrtaný ve dřevě držel. Preferuje se převážně u vrutů s větším průměrem a tělem za pomoci před vrtání o stejném průměru dřívku. Pevnost přitažení je taková, jaká je závitová hloubka. Tvrdší dřeviny mají vyšší pevnost spoje. Z praktického hlediska se tento spoj nevyskytuje, jelikož působí svou viditelností laciným dojmem, i když se na jeho hlavu použije plastová krytka. Vruty, které mají přímou drážku se uplatňují v historickém nábytku či rekonstrukcím nábytku starého. Používají se tak, aby kresby dřeva byla souběžně s podélnou osou kování [7,8,10,12].



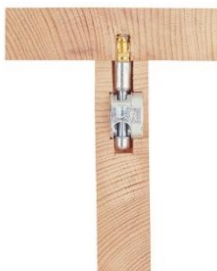
Obrázek 34: Vrut do dřeva, zdroj: [28]

#### 4.3.4 Excentrické spojování

Excentry umožňují dílce spojit do pravého nebo jiného úhlu a následně korpus demontovat. Skladební podstata je v excentrickém spoji; protikus, rozpínací šroub, svěrací pružina. Výška spojovací částky excentru vychází z tloušťky připojovaného dílce. Spojovací táhla lze několika způsoby upevnit v připojovaném dílci. Na závit je nejrozšířenějším druhem, který vychází z euro šroubů. Průchozí spojení má tehdy, když táhlo bude mít tělo ploché nebo kloubovitě v místě připojení mezistěny. Strana kolíku (hlava) má upravený konec k uchycení excentru. Kolík je v předvrtaném otvoru zašroubovaný. Jestliže hlavou nebo excentrem pootočíme, dojde k zamknutí spoje. Tloušťka dílce ovlivní délku kolíku. Jestliže nepoužijeme při kombinaci s kolíky, vznikne

---

rozebíratelný, velice pevný spoj. Tělo excentrů je válcovitého tvaru opatřeno drážkou pro umístění hlavy kolíků. Mohou být s plastovým pouzdrům nebo bez pouzdra. Kolíky pro spojení desek s excentrickým prvkem mají hlavu pro excentr a tělo s předem opatřeným závitem pro otvory osazené do dřeva [2,7,15,16].



**Obrázek 35: Spojení pomocí excentru, zdroj: [29]**

#### **4.3.5 Spony**

Vrutky nebo hřebíky lze do jisté míry nahradit sponami (průmyslové spojovače). Jsou to ocelové dráty o průřezu 1 až 1,23 mm. Dělíme je na úzké, základní, široké a také podle rozdílných délek. Jejich vlastností je, že lze způsobit dle povrchových úprav zinkováním či lakováním, také je možnost opatřit spojovací prvek pryskyřicí pro zvýšení pevnosti vůči vytažení. Pomocí sponkovačky jej upevňujeme pro příslušné účely tak, aby na druhém konci nevylezly, jelikož by způsobovaly při používání úraz. Připevňujeme jimi záda s korpusem u skříňového nábytku, čalounické a textilní materiály k dřevěným podnožím. Podobně jako hřebíky nedokážeme spony vytáhnout bez porušení dílce nábytku [7,10,12].



Obrázek 36: Tvarové druhy spon, zdroj: [34]

#### 4.3.6 Ocelové úhelníky a destičky

Daný spojovací prvek funguje pouze při kombinaci dalšího konstrukčního spoje. Vrutem nebo šroubem spojujeme ocelové úhelníky a destičky přes jejich průchodové otvory. Povrch bývá většinou pozinkovaný, což umožňuje odolnost vůči korozím. Ocelovými destičkami lze nastavovat dílce plošné, zatímco úhelníkový spoj použijeme při konstrukce do pravého úhlu, dřevěné spojovací materiály nemusejí mít pracné tesařské opracování. Ke spojování u aglomerovaných materiálů se využívají euro vruty [25,26].



Obrázek 37: Zleva ocelové úhelníky, zprava ocelové destičky, zdroj: [25,26]

### 4.4 Vlastnosti spojů

Sebekrásnější nábytek ztrácí na své hodnotě, pokud jeho sestavení není správné. Dřevo svými vlastnostmi se žádá zvýšenou pozornost při jednotlivém spojování dílců. Klade se důraz na pružnost, pevnost, ohýbatelnost, bobtnání, sesychání, borcení a vláknitost.

U prken známe levou a pravou stranu. Pravá je obrácená ke dřeni, levá ke kůře. Obvodové dřevo sesychá mnohem více než poloměrové. Proto i v minulosti se naši předkové snažili o co nejpevnější a nejtrvanlivější nábytek z poznatků, které získávali

---

s práci se dřevem. Mnohé konstrukční spoje se vyvíjeli metodou náhodného omylu. Většina konstrukčních prvků se moc neliší od těch starých, které se předávaly po generace. Kvalitních a výpočtových metod se tehdy moc neprovádělo a důvodem tedy je zdokonalování [8,17].

Pevnostní kritéria u navrhování nábytku:

- zabezpečení spolehlivosti a bezpečnosti,
- šetrné využití materiálů,
- funkčnosti a estetika spoje.

Navrhování pevností má za výhodu především:

- možnost analyzovat neznámé konstrukční prvky,
- pevnostní analýza navrhované konstrukce,
- výroba experimentů.

Nevýhodami pevnostního navrhování:

- nákladnost podkladů,
- výsledek v určité pravděpodobnosti.

### **Testování konstrukčních prvků**

K závadnosti nábytku dochází převážně v konstrukčních spojích, které jsou jako nejpřísněji hodnoceny. Riziko takové závady vzniká při špatně navrhovaném prvku pro spojení nebo v jeho funkčnosti na úkor jeho účinnosti. Procentuální únosnost dílců a spojů má být v rozmezí 10-30 % [18].

U nábytkářských spojů rozeznáváme tři typy sil a tři typy momentových sil. Nejlépe pozorovatelné pevnostní vlastnosti konstrukčních prvků nacházíme v deformačním diagramu (vztah síly a posunutí) [17].

Namáhání konstrukčních spojů v ohybovém momentu v závislosti na úhlovou rovinu, je nejnebezpečnějším typem zatížení [15,16].

---

## Podmínky pro vytvoření trvanlivého spoje

### Dřevina

Nejvýraznější pevnost dřeva v nábytkářství, je v ohybovém nebo krutovém zatížení. Odklon vláken od podélné osy, nepravidelnost růstu letokruhů a vnitřní trhlinky závisí na pružnosti a pevnosti v ohybovém zatížení.

V experimentální práci se testovalo s konstrukčními spoji vyrobené z těchto dřevin:

#### BUK

Botanický název – Buk lesní

Latinský název – *Fagus sylvatica* L.

Anglický název – BUK

Zkratka – BK

Dřevina – listnatá, roztroušeně pórovitá s dobře viditelnými dřevnými paprsky na všech řezech.

Tvrдость dřeviny je při vlhkosti 12 % je 61 MPa

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v ohybu je 109 MPa

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v tahu 132 MPa

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v tlaku podél vláken 56 MPa [19,20].

#### SMRK

Botanický název – Smrk ztepilý

Latinský název – *Picea abies* (L.) Karsten

Anglický název – SMRK

Zkratka – SM

Dřevina – jehličnatá, pryskyřičné kanálky jsou špatně viditelné, pozvolný přechod mezi jarním a letním dřevem

Tvrдость dřeva je při vlhkosti 12 % je 26 MPa

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v ohybu 80 MPa

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v tahu 120 MPa

---

Při vlhkosti 12 % je **mez pevnosti** v tlaku podél vláken 45 MPa [19,20].

### **Vlhkostní změny**

Snaha o dobrou konstrukci je balance výrobní a užité vlhkosti. V zimní sezoně, kdy se běžně topí, dochází ke klesání relativní vlhkosti vzduchu blížíci se 25 % (7-8 % vlhkost dřeva). Ve zbylých dnech průměrně se vyšplhá na hodnotu 65 % (tedy přibližující se 10-13 % vlhkost dřeva). Teplota se počítá v rozmezí 18 až 23 °C. Výkyvy mají dopad na poklesnou hodnotu tuhosti spojů.

### **Druh lepidla**

Pro aplikaci lepicí směsi se musí splnit kladené požadavky. Převážně jsou nároky na vysokou pevnost a zpracovatelské vlastnosti. Lepená spára musí převyšovat pevnost dřeviny, což má za následek vyšší pevnostní požadavky. Pevnostní charakteristika lepicí spáry ve střihu je 12-15 MPa. Jestliže lepidlo má dobrou plasticitu, je to správný indikátor, jelikož dřevo měnící svou vlhkost vytváří vnitřní napětí spojenou s lepenou spárou.

*Ve vědecké práci jsme testovaly tuhosti dvou typů konstrukčních spojů, a to sdružený čep a čep s rozporem.*



---

## 5. Metodiky práce a metody zkoumání

Metodiku rozdělíme podle jednotlivých bodů:

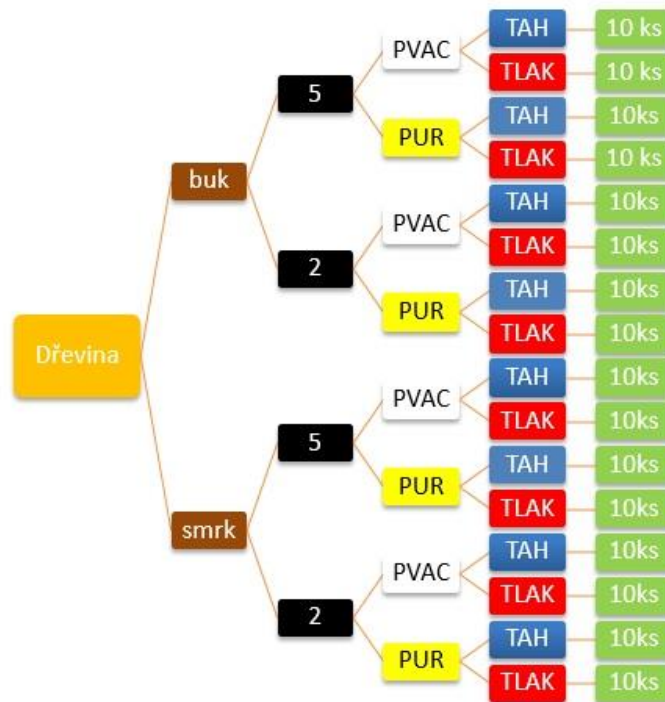
- příprava zkušebních vzorků,
- experimentální měření,
- zpracování dat.

### 5.1 Příprava zkušebních vzorků

Ke zkoumání konstrukčních prvků byly vyrobeny vzorečky ze smrku a buku. Vlhkost zkušebních těles byla při testování  $W = 10 \%$ . Vzorky se spojovaly polyuretanovým nebo PVAc lepidlem. Po řádném slepení a dodržení vytvrzovací doby podle technického listu, byly vzorečky připraveny k experimentálnímu měření.

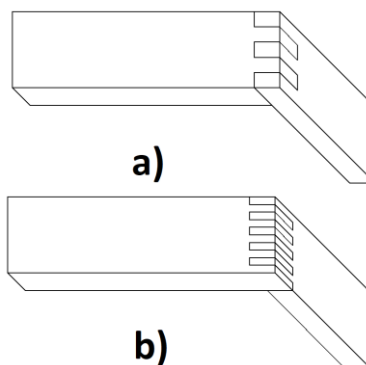
#### 5.1.1 Počet zkušebních vzorků

Pro vědeckou, experimentální činnost jsem použil 160 vzorečků. Jejich rozdělení můžete vidět na schématickém obrázku, který popisuje průběh k vytvoření spoje za pomoci druhu dřeviny, počtu ozubů, typ lepicí směsi, následně o jaký druh zátěže se jednalo a množství použitých spojů pro danou zkoušku.



Obrázek 38: Schéma vzorků ke zkoušce, zdroj: vlastní

### 5.1.2 Vzorky pro experimentální činnost



Obrázek 39: Konstrukční spoje pro experimentální část; a) počet zubů 2 b) počet zubů 5, zdroj: vlastní

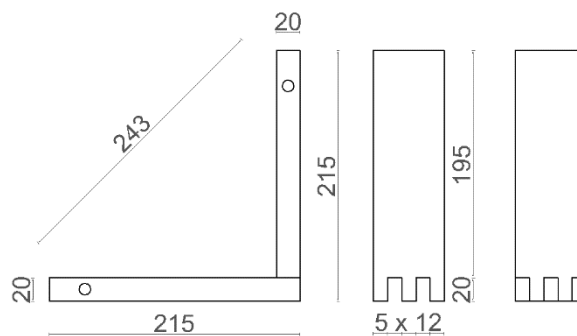
Na obrázku č. 39 je ukázka spojení dvou dílů k vytvoření konstrukčního spoje. Na příkladech pro experimentální činnost, se členilo podle počtu ozubů. Správné provedení slepení, jsem dostal požadovanou konstrukci. Vytvořená šablona vzorků, která je možná k vidění na obrázcích pod číslem 40 a 41, jsou patrné rozměry pro dané prvky, které

---

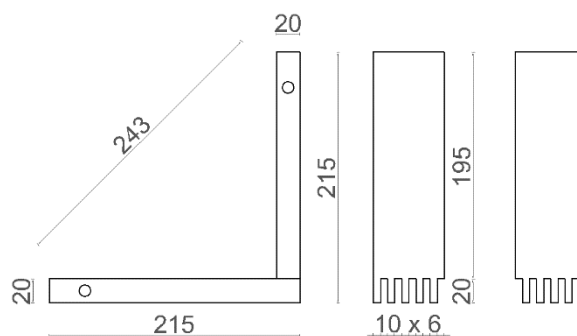
sloužily pro výrobu vzorků. Taktéž jsem z těchto obrázků vycházel výpočtové charakteristice, které se věnuji v následujících kapitolách.

**Technologický postup výroby:**

- zkracování (zkracovací pila),
- srovnávání (srovnávací frézka),
- rozmítání (rozmítací pila),
- tloušťková egalizace (širokopásová bruska),
- přesné zkracování (formátovací pila),
- konstrukční opracování – frézování přímých ozubů (spodní frézka).



**Obrázek 40: Schéma vzorků k experimentální činnosti; počet zubů 2, zdroj: vlastní**



**Obrázek 41: Schéma vzorků k experimentální činnosti; počet zubů 5, zdroj: vlastní**

---

### 5.1.3 Lepení spojů

Lepení zkušebních spojů jsem prováděl v rukodílně na dřevařském pavilonu, který je součástí Fakulty lesnické a dřevařské v Praze. Použitá lepidla byla PVAc – Ag-Coll 873/L D3 a Neopur 2238 R. Vzorky se spojovaly podle vytvrzovací tabulky na příbalovém letáku o vlastnostech lepicí směsí za použití truhlářského ztužidla.



Obrázek 42: Zleva PUR lepidlo a napravo PVAc, zdroj: vlastní

### 5.1.4 Klimatizace zkušebních vzorků

Vzorky, které se nechaly vyrábět ke zkoumání, se musely klimatizovat na vlhkost 10 %, jelikož se předpokládalo jejich využití v interiéru.

#### Určení vlhkosti ve vzorcích

Výpočty vlhkosti vzorků se prováděl podle normy ISO 13061-1-(2014). Určování a ověřování obsahu bylo prováděno vždy před a po zkoušce.

$$w = \frac{m_w - m_o}{m_o} * 100 \quad (1)$$

Kde:

W – vlhkost tělesa [%]

$m_w$  – hmotnost tělesa před vysušením [g]

$m_o$  – hmotnost tělesa po vysušení [g]

---

### 5.1.5 Stanovení hustoty dřeva

Podle normy ISO 13061-2 (2014) se stanovila hustota vzorku.

$$\rho_w = \frac{m_w}{b_w h_w l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (2)$$

Kde:

$\rho_w$  – hustota tělesa při vlhkosti W [g·cm<sup>-3</sup>]

$m_w$  – hmotnost tělesa při vlhkosti W [g]

$b_w, h_w, l_w$  – rozměry zkušební vzorku při vlhkosti W [cm<sup>3</sup>]

$V_w$  – objem tělesa při vlhkosti W [cm<sup>3</sup>]

## 5.2 Experimentální měření

Zkoumání a měření se provádělo na FLD v Praze v laboratořích, kde jsou místa splňující podmínky k jejímu vypracování.

### 5.2.1 Značení vzorků

Jednotlivé vzorečky, které jsem spojoval, byly také označeny podle typu materiálu a daného konstrukčního spoje, respektive počet ozubů, použité lepidlo, typu zátěžové zkoušky a pořadí vzorku. Dané značení se uplatňovalo při měření zátěžové zkoušky.



Obrázek 43: Postup značení vzorků, zdroj: vlastní

---

### 5.2.2 Postup při měření:

- a) Spuštěním stroje a počítače, které jsou na sebe vázány, se musely v programu nastavit jednotlivé příkazy pro metodiku měření tak, aby stroj byl připravený k měření.
- b) Před experimentálním měřením jsem jednotlivé vzorky vážil, kvůli výpočtu hustoty.
- c) Vzorky byly zafixovány ve zkušebním stroji svorníky o průměru 10 mm, které se musely pro jejich stabilitu zajistit kovovou závlačkou.
- d) Pro kvalitní a přesné měření jsem dbal, aby testované spoje byly co nejlépe vycentrované.
- e) Zkušební tělesa byla namáhaná tahovou a tlakovou silou.
- f) Rychlost zátěžové zkoušky se prováděla tak, aby splňovala časovou podmínku v rozmezí 1-1,5 minut na jedno zkušební těleso.

### 5.2.3 Stroje nezbytně používané pro experimentální činnost

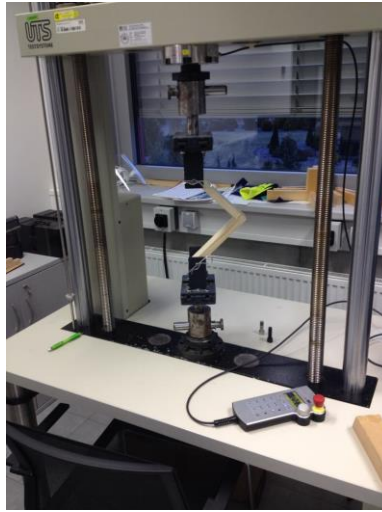
Abychom dosáhli cílených výsledků ze zkušebních těles, které byly podrobeny experimentálnímu měření, nemohl jsem se obejít bez následujících strojů a zařízení.

#### Trhací stroj UTS 50

Zkoušení probíhalo ve školní laboratoři v místnosti, kde je stroj UTS 50. Univerzální elektromechanický stroj umožňuje přesné testování s rozsahem do 50kN a je řízený přes počítač. Zkoušení materiálových vlastností se může provádět na dřevěných i nedřevěných materiálech, kterým chceme zjistit hodnoty přes zátěžovou zkoušku v tahu, tlaku, ohybu, v krutu, odloupaním. Přístroj můžeme definovat nejen jako velice stabilní při měření s vysokou přesností, ale především kvalitní svou spolehlivostí. Pro jeho širokou nabídku příslušenství, je patrná možnost využití tam, kde lze uplatnit jeho využití. Nejpoužívanějšími místy jsou výzkumné ústavy, ve stavebním, leteckém, petrochemickém nebo plastovém či lékárenském průmyslu. Na školách, kde se nacházíme, se lze s tímto strojem běžně setkat. Pro použití stroje se využívá software TIRA, umožňující regulaci rychlosti, síly zátěže a rychlosti posuvu hlavic (mm/min).

---

Zkušební tělesa musí být opatřena otvory splňující průměr pro zafixování svorníky k čelistím nástroje.



**Obrázek 44: Trhací stroj UTS 50; Fotografie pořízená v laboratoři na ČZU v Praze, zdroj: vlastní**

### **Tira software**

Tira software umožňuje přímé ovládání trhacího stroje, ve kterém se dají nastavit nejen typy zátěžových zkoušek, ale také rychlost a velikost trhání, možnosti výstupu z testovací zátěže. Graficky znázorněnou deformaci se zatížením nalezneme v levé části obrazovky, kterou jsme exportovali jako obrázek ve formátu JPEG. Na pravé straně obrazovky se nám zobrazovaly číselné hodnoty deformací, které byly exportovány do programu Microsoft Excel a jsou podstatné pro náš výstup z měření.

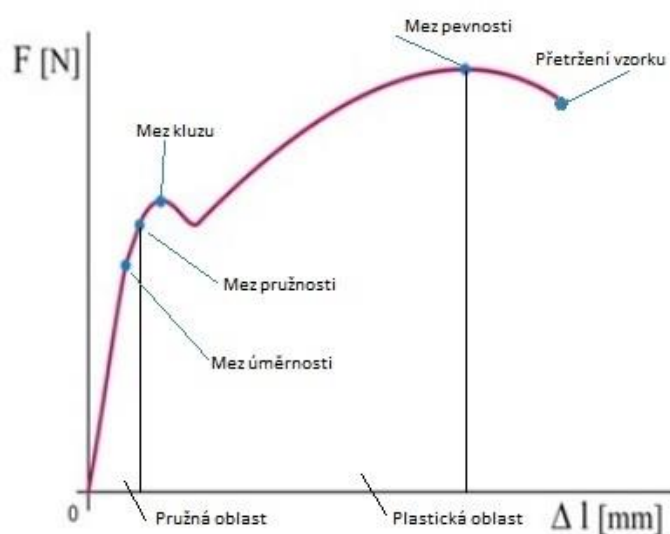


**Obrázek 45: Software TIRA, zdroj: vlastní**

---

Software TIRA při měření vytvářel grafické znázornění tvrdosti konstrukčních spojů. Podstatné pro analýzu zjištění tuhosti.

Pracovní diagram, vycházející z Hookova zákona, nás informuje o charakteru pevnosti konstrukčního spoje. Napětí je síla na plochu (tlak), ve kterém se při namáhání vytvářejí dvě vnitřní složky síly, normálová a tečná. Deformační křivka nám říká, jak závisí ( $\epsilon$ ) relativní prodloužení na ( $\sigma$ ) normálové napětí.



Obrázek 46: Pracovní diagram, zdroj: vlastní

- do **meze úměrnosti** se jeví napětí v materiálu jako pružná, jelikož po odlehčení zátěžového tělesa zmizí a vrátí se do původního stavu (zde platí Hookův zákon),
- po překročení **meze pružnosti** materiál se stává trvale nevratný do původního stavu,
- jestliže se překročí **mez kluzu**, materiál se chová jako tečící, nebo-li materiál se prodlužuje aniž by se zvyšovalo napětí. Zde se mění fyzikální vlastnosti,
- **mez pevnosti** chápeme jako maximální síla, kterou materiál vydrží,
- **přetržení vzorku** překročením meze pevnosti dostáváme vzorek, který se jeví jako oddělený [22].



---

## Microsoft Excel

Software vyvinutý a vyrobený společností Microsoft Corporation, který umožňuje uživatelům organizovat, formátovat a vypočítávat data pomocí vzorců pomocí tabulkového systému rozděleného podle řádků a sloupců. Aplikace Microsoft Excel obvykle dodává sady Microsoft Office a je kompatibilní s dalšími aplikacemi nabízenými v sadě produktů. Software umožňuje data rozřadit podle různých grafů a je optimálním pomocníkem pro pracovníky s čísly. Z programu TIRA, kde jsme získávali číselná data po deformaci, se kopírovala do excelovské tabulky.

## Digitální váha PCB

Vzorečky se vážily na digitální váze PCB–2500–2. Váha má možnost nastavení přesnosti měření regulací nožek pro přesné vycentrování nulové hmotnosti. Maximální nosnost je 2500 g, minimální hmotnost jednoho kusu k vážení je 0,02 g s přesností na 0,01g.



Obrázek 47: Digitální váha PCB, zdroj: vlastní

## Statistica 12

Software statistica 12 je multifunkční analytický program pro analýzu, vizualizaci a grafické zobrazení dat. K vyhodnocení dat byla použita jednofaktorová analýza rozptylu a významnosti.

---

### 5.3 Výpočty a charakteristika

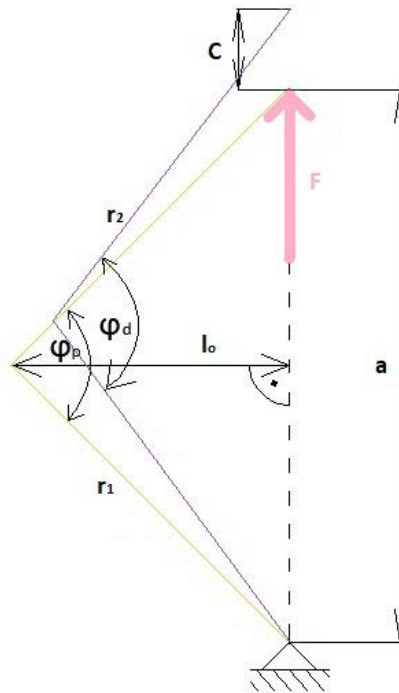
Po doměření jsme vždy jednotlivá testovaná tělesa zvážili, abychom mohli stanovit jejich přesnou hustotu.



Obrázek 48: Měření hmotnosti, zdroj: vlastní

Na obrázku 49 a 50 je schéma tahové a tlakové zkoušky, která vznikla měřením tuhosti konstrukčních spojů. Zelená znázorňuje původní stav měřeného vzorku před měřením a fialová znamená znázornění deformačního stavu. Uchycení jednotlivých dílů bylo za pomoci ocelových kolíků o průměru 10 mm, které projížděly skrz otvory čelistí stroje a samotného vzorku. Jisticími prvky byly svorky, které zafixovaly vzorek.

Při zkoušení byla vyhodnocena změna mezi vzdálenostmi jednotlivých kolíků. Z daných změn se vypočítával úhel před funkcí arccos v radiánech.



Obrázek 49: Schéma tahové zkoušky, zdroj: vlastní

$F$  – síla [N]

$r_{1,2}$  – délka ramen (vzdálenost síly od osy otáčení) [m]

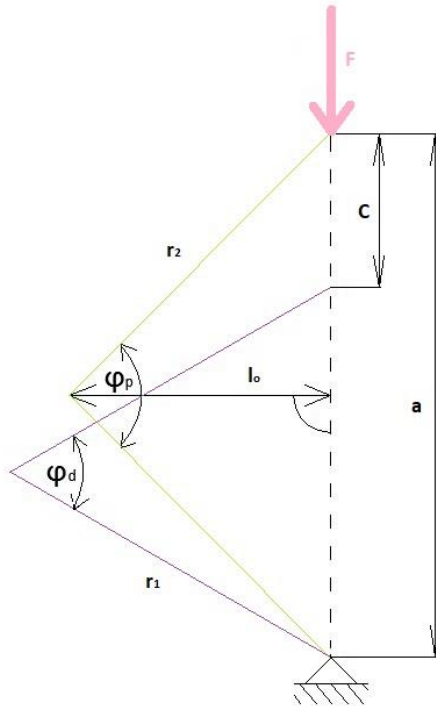
$\varphi_p$  – úhel spoje před zatížením [rad]

$\varphi_p$  – úhel spoje po zatížení [rad]

$l_0$  – rameno síly z původního tvaru [m]

$a$  – vzdálenost ramen [m]

$c$  – posunutí ramen [m]



Obrázek 50: Schéma tlakové zkoušky, zdroj: vlastní

Úhlové deformační spoje  $\varphi$  se vypočítají dle Joščáka [17] jako:

$$\varphi = \varphi_p \pm \varphi_d \quad (3)$$

Kde:

$\varphi$  – úhlová deformace [rad]

$\varphi_p$  – úhel před deformací [rad]

$\varphi_d$  – úhel po deformaci [rad]

Deformační mez únosnosti ( $\varphi_{max}$ ):

Deformační mez únosnosti spoje  $\varphi_{max}$  svědčí o maximální úhlové deformaci vzniklé při maximální odolnosti spoje.

$$\varphi_{max} = \varphi_p \pm \varphi_{dmax} \quad (4)$$

---

Kde:

$\varphi_{\max}$  – úhlová deformace na mezi únosnosti [rad]

$\varphi_p$  – úhel před deformací [rad]

$\varphi_{d, \max}$  – maximální úhel po deformaci [rad]

Po zatížení vzorku vznikne tvar obecného trojúhelníku a jeho úhel  $\varphi_d$  lze vyjádřit z **Kosinovy věty**:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos * \alpha$$

$$2bc \cos * \alpha = b^2 + c^2 - a^2$$

$$\cos \alpha = \frac{b^2 - c^2 - a^2}{2bc} \quad (5)$$

Matematickou úpravou vznikne vzorec:

$$\alpha = \arccos \frac{b^2 - c^2 - a^2}{2bc} \quad (6)$$

Dosáhnutím hodnot vznikne tvar:

$$\varphi_d = \arccos \frac{r_1^2 + r_2^2 - (a-c)^2}{2r_1 r_2} \quad (7)$$

Síla ramena se vytýčí ze strany a obsahu **obecného trojúhelníku**:

$$l_o = \frac{2 * S}{a} \quad (8)$$

$$S = \frac{1}{2} * r_1 * r_2 * \sin_{\varphi_p} \quad (9)$$

---

Matematickou úpravou vznikne vzorec:

$$l_o = \frac{r_1 r_2 \sin \varphi p}{a} \quad (10)$$

Testovaným konstrukčním spojům byla zkoumána pevnostní vlastnost tuhost a únosnost, které se vypočítávaly podle následujících vztahů. Velikost ramene nebo také vzdálenost otvorů byla u všech vzorcích 243 mm. Ohybový moment se vypočítal podle následujícího vzorce:

Únosnost spoje do meze pružnosti ( $\Delta M$ ):

$$\Delta M = \Delta F * L_0 \quad (11)$$

Kde:

$\Delta M$  – změna ohybového momentu [N·m]

$\Delta F$  – změna síly [N]

$L_0$  – vzdálenost otvorů [m]

$\Delta F$  tvoří odchylku dvou sil zaznamenané v pracovním diagramu při hodnotách v rozmezí 10 až 40 % z maximální pevnosti.

Únosnost do meze pružnosti spoje se vypočítávalo pro pružnou oblast.

Výpočet maximální únosnosti spoje ( $M$ ):

$$M = F_{max} * x * L_0 \quad (12)$$

Kde:

$M$  – ohybový moment [N x m]

$F_{max}$  – maximální síla [N]

$L_0$  – vzdálenost otvorů [m]

---

Únosností zjistíme odolnost konstrukčního spoje vůči aktivitě vnější síly. Ohybový moment vyjadřuje maximální únosnost spoje.

Elastická tuhost spoje ( $C_{elast}$ )

$$C_{elast} = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} \quad (13)$$

Kde:

$C_{elast}$  – elastická tuhost [Nm / rad]

$\Delta M$  – změna ohybového momentu [N x m]

$\Delta \varphi$  – změna úhlové deformace [rad]

Elastická tuhost spoje byla vypočtena pro pružnou oblast do meze pružnosti.

Maximální tuhost ( $c$ )

$$c = \frac{M_{max}}{\varphi_{max}} \quad (14)$$

Kde:

$c$  – elastická tuhost [Nm / rad]

$M_{max}$  – maximální ohybový momentu [N x m]

$\varphi_{max}$  – maximální úhlová deformace [rad]

Tuhost vypovídá o nějaké míře změn vyvolané podílem vnější síly při pružné deformaci, která má dopad na celé těleso.

---

### 5.3.1 Statistické zpracování dat

#### **Střední hodnota**

Aritmetický průměr slouží ke zjištění střední hodnoty. Ze základního souboru všech měřených hodnot byl vypočítán průměr. Je typickou hodnotou popisující vícero hodnot. Průměr je ovlivnitelný extrémní hodnotou lišící se oproti standartu, které mají vliv na zkreslení výsledné hodnoty, při menším počtu měřitelných výsledků. Kvalitní je tehdy, když jsou zkoumané znaky stejnorodé [35,36].

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x \quad (15)$$

Kde:

$\bar{X}$  – aritmetický průměr souboru

n – počet prvků v souboru

#### **Směrodatná odchylka**

Směrodatná odchylka nabývá pouze kladných hodnot a má stejné měrné jednotky jako čísla zkoumaná ve statistickém znaku [35,37].

$$S_0 = \sqrt{S^2} \quad (16)$$

Kde:

S<sub>0</sub> – směrodatná odchylka

S<sup>2</sup> – rozptyl

#### **Rozptyl**

Rozptyl sleduje odchylky čtvercových hodnot, které jsou odlišné od průměru celého souboru, respektive od aritmetického průměru. Nastane-li situace, kde hodnoty nabývají stejných hodnot, variabilita sledovaných hodnot bude nulová. S narůstající variabilitou se zvětšuje podíl velikostí rozptýlených hodnot [35,37].



---

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (17)$$

Kde:

$S^2$  – rozptyl

$n$  – počet prvků v souboru

$\bar{x}$  – aritmetický průměr souboru

### **Variační koeficient**

Je míra variability, která není ovlivnitelná absolutní hodnotou sledovaného znaku statistiky. Hodí se pro vzájemné srovnání dvou nebo více variabilit s velice odlišnou úrovní hodnot. Vypočítáme jej, že směrodatnou odchylku dělíme od střední hodnoty [35,37].

$$V = \frac{s}{\bar{x}} 100[\%] \quad (18)$$

Kde:

$v$  – variační koeficient

$S$  – směrodatná odchylka

$\bar{x}$  – aritmetický průměr souboru

### **Minimum a maximum**

V měřeném cyklu hodnota nejvyšší představuje maximum dosažení, zatímco minimum je hodnota nejnižší.

---

## 6. Výsledky

Naměřené výsledky jsou v této práci přehledně zpracovány pomocí grafů, tabulek a podrobných popisků. Využil jsem jednofaktorovou metodu, která sleduje určitý rozptyl vlivů zaměřené na ovlivnitelnosti konstrukčního spoje. V popiskách jsem se snažil stručně a jasně vysvětlit výsledek v jakých hodnotách se nacházejí určité faktory. Pro lepší zjištění vyhodnocených výsledků byl použit Duncanův test mnohonásobného porovnávání, který srovnává účinnost materiálu hodnoty elastické tuhosti dle významnosti a Spearmanův korelační koeficient.

### 6.1 Hustota

První sledovanou charakteristikou byla hustota:

- průměrná hustota smrkových těles byla  $380 \text{ g/cm}^3$ ,
- průměrná hustota bukových těles byla  $675 \text{ g/cm}^3$ .

Porovnání s literaturou:

- smrk má hustotu  $420 \rho \text{ kg/m}^3$ ,
- buk v rozmezí  $570\text{-}720 \rho \text{ kg/m}^3$  [33].

### 6.2 Elastická tuhost

Informační tabulka, zde v příloze pod číslem 3, nás informuje o průměrné hustotě dřevin nebo o elastické tuhosti k jednotlivým testovaným souborům. Maximální průměrná hodnota  $3254 \text{ Nm/rad}$  byla zjištěna u bukových těles s 5 ozuby za použití PVAc lepidla namáhaných tahem. Minimální hodnotu jsme zjistili u smrkových těles s 2 zuby slepenými PVAc lepidlem a namáhaných tlakem.

Dle zvolené metodiky jsem vypočítal hodnoty průměrné elastické tuhosti. Mezi sledované faktory jsem zařadil následující faktory:

- druh dřeviny,
- typ namáhání,
- počet zubů,
- typ lepidla,
- hustota.

Statistické vyhodnocení faktorů ovlivňujících elasticitu tuhosti vidíme na tabulce č. 1. Poslední sloupeček ukazuje, zda se jedná o statisticky významný faktor či nikoliv.

**Tabulka 1: Informační přehled hodnot**

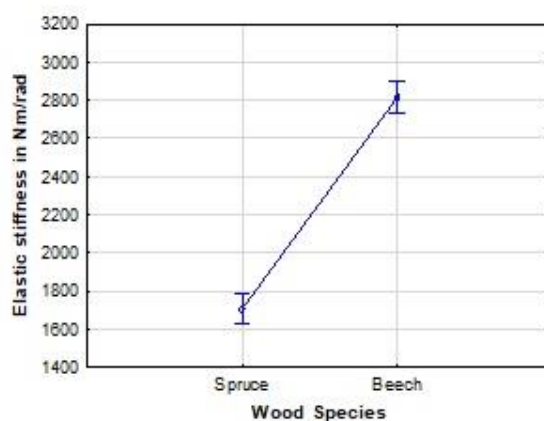
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F - Test	Hladina významnost P
ÚSEK	817521787	1	817521787	18142,56	***
1) DŘEVINA	49457268	1	49457268	1097,56	***
2) TYP LEPIDLA	329	1	329	0,01	NS
3) POČET ZUBŮ	14307412	1	14307412	317,51	***
4) TYP NAMÁHÁNÍ	209710	1	209710	4,65	***
1*2*3*4	242470	1	242470	5,38	***
Chyba	6488781	144	45061		

---

### 6.2.1 Vyhodnocení podle faktorové analýzy

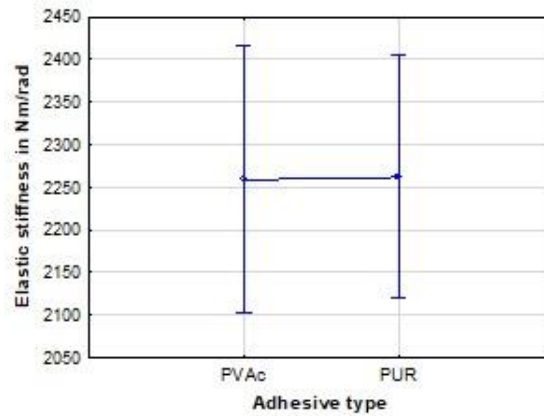
Vliv jednotlivých faktorů je zřejmý z následujících grafů.

Faktor ovlivněn druhem dřeviny je významný. Graf č. 1 porovnává smrkové spoje s bukovými. U všech bukových spojů jsem naměřil průměrnou elastickou tuhost 2816 Nm/rad. Pro smrkové spoje jsem zjistil průměrnou tuhost 1704 Nm/rad. Jedná se o statisticky signifikantní parametr. Bukové spoje vykazovaly o 65 % vyšší tuhost.



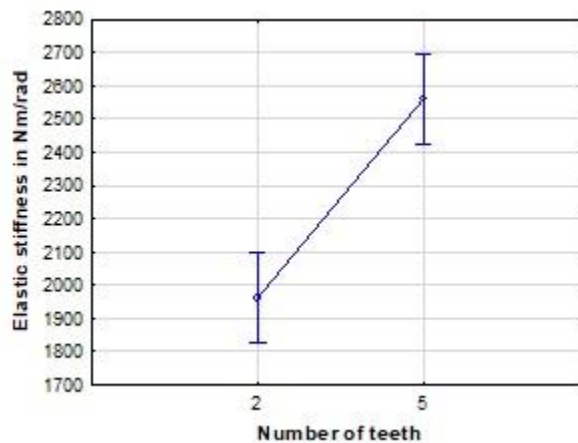
**Graf 1: Faktor použité dřeviny**

Typ lepidla tuhost výrazně neovlivnil. Hodnota P ukazuje, že se jedná o statisticky nevýznamný faktor. Při použití PUR lepidla jsem naměřil průměrnou tuhost 2261 Nm/rad, což téměř odpovídá průměrné tuhosti naměřené při použití PVAc lepidla, která byla 2259 Nm/rad. Rozptyl hodnot je při použití obou lepidel velice malý.



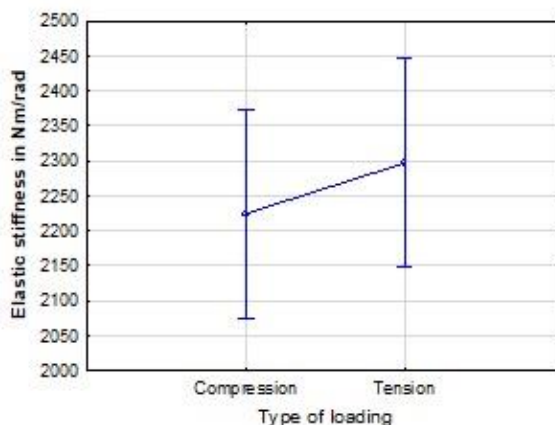
**Graf 2: Faktor lepicí směsi**

Počet zubů tuhost ovlivnil významně. U spojů s 5 ozuby jsem naměřil hodnoty o 30 % vyšší než u spojů s 2 ozuby. Daný výsledek si vysvětluju zvětšením lepené spáry. Z výsledků je patrné, že pro více namáhané dílce je vhodnější použít vyšší počet zubů. Výsledky jsou patrné z grafu číslo 3.



**Graf 3: Faktor použitých počtů ozubů**

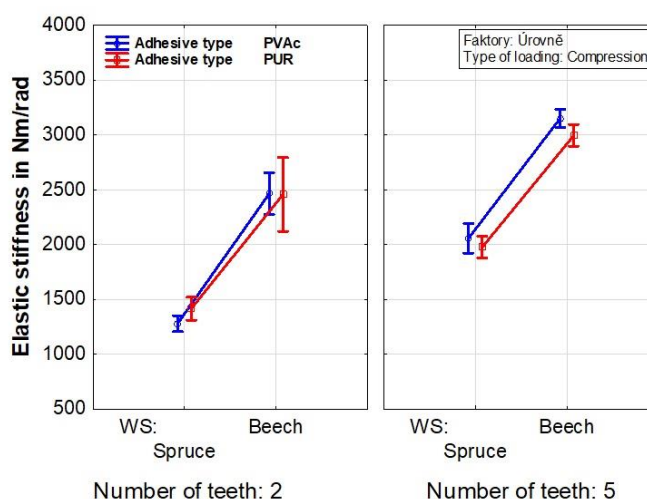
Na grafu č. 4 jsou porovnány průměrné hodnoty tuhosti při tahovém a tlakovém namáhání. Hodnoty se výrazně neliší. Při namáhání tahem jsme naměřili tuhost o 3 % vyšší.



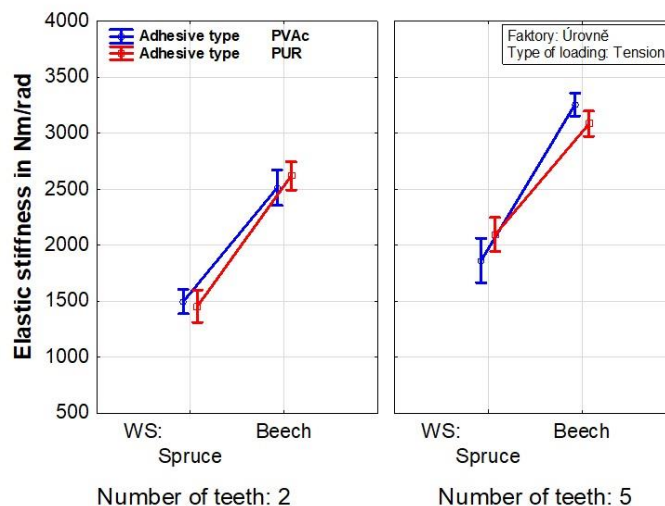
Graf 4: Faktor typu zátěžové zkoušky

### 6.2.2 Čtyř faktorová analýza

Vzájemné působení dřevin\*typ namáhání\*počet zubů\*použití lepidla je podle významnosti  $P = ***$  vycházející z tabulky č. 3 patrné, že nejvýznamnějším statistickým faktorem jsou ozuby, použitý typ materiálu a neméně má podíl i zátěžová zkouška. Nejlepších výsledků dosahují podle terminologického názvu sdrúžený ozub a buková dřevina. Použitý prvek lepicí směs nemá ve výsledku největší rozdíl na výsledcích měření, což odpovídá i hladinou významnosti.



Graf 5: Čtyř faktorová analýza v závislosti na množství ozubů\*dřeviny\*typ lepidla v ukázce tlakové zkoušky



Graf 6: Čtyř faktorová analýza v závislosti na množství ozubů\*dřeviny\*typ lepidla v ukázce tahové zkoušky

### 6.2.3 Mnohonásobného porovnávání (Duncenův test)

Výsledky z Duncanového testu vycházející z obrázku pod číslem 51 je patrné, že hodnoty ovlivňující elastickou tuhost za použitým lepidlem, počtem ozubů a typem namáhání byly velmi rozdílné s hladinou významnosti  $P = 0,05$ . Výjimkou jsou ve většině případů kombinace počet ozubů se stejnou dřevinou, kde přesahují hladinu a jsou tedy statisticky nevýznamným rozdílem.

Adhesive type	Number of teeth	Type of loading	(1) 1278,8	(2) 1495,3	(3) 2057,0	(4) 1862,8	(5) 1415	(6) 1415,8	(7) 1976,6	(8) 2095,8
1PVAc	2	Compression		0,035	0,000	0,000	0,149	0,081	0,000	0,000
2PVAc	2	Tension	0,035		0,000	0,000	0,434	0,660	0,000	0,000
3PVAc	5	Compression	0,000	0,000		0,052	0,000	0,000	0,397	0,683
4PVAc	5	Tension	0,000	0,000	0,052		0,000	0,000	0,231	0,023
5PUR	2	Compression	0,149	0,434	0,000	0,000		0,690	0,000	0,000
6PUR	2	Tension	0,081	0,660	0,000	0,000	0,690		0,000	0,000
7PUR	5	Compression	0,000	0,000	0,397	0,231	0,000	0,000		0,239
8PUR	5	Tension	0,000	0,000	0,683	0,023	0,000	0,000	0,239	
9PVAc	2	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10PVAc	2	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11PVAc	5	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12PVAc	5	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13PUR	2	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14PUR	2	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15PUR	5	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16PUR	5	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Adhesive type	Number of teeth	Type of loading	(9) 2463,4	(10) 2510,7	(11) 3149,8	(12) 3254,2	(13) 2456,3	(14) 2617,3	(15) 2996,1	(16) 3083,4
1PVAc	2	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2PVAc	2	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3PVAc	5	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4PVAc	5	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5PUR	2	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6PUR	2	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7PUR	5	Compression	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8PUR	5	Tension	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9PVAc	2	Compression		0,818	0,000	0,000	0,941	0,126	0,000	0,000
10PVAc	2	Tension	0,818		0,000	0,000	0,593	0,262	0,000	0,000
11PVAc	5	Compression	0,000	0,000		0,272	0,000	0,000	0,127	0,484
12PVAc	5	Tension	0,000	0,000	0,272		0,000	0,000	0,011	0,089
13PUR	2	Compression	0,941	0,593	0,000	0,000		0,123	0,000	0,000
14PUR	2	Tension	0,126	0,262	0,000	0,000	0,123		0,000	0,000
15PUR	5	Compression	0,000	0,000	0,127	0,011	0,000	0,000		0,358
16PUR	5	Tension	0,000	0,000	0,484	0,089	0,000	0,000	0,358	

Obrázek 51: Tabulkové znázornění hladiny významnosti na elasticitou tuhost spoje, zdroj: vlastní

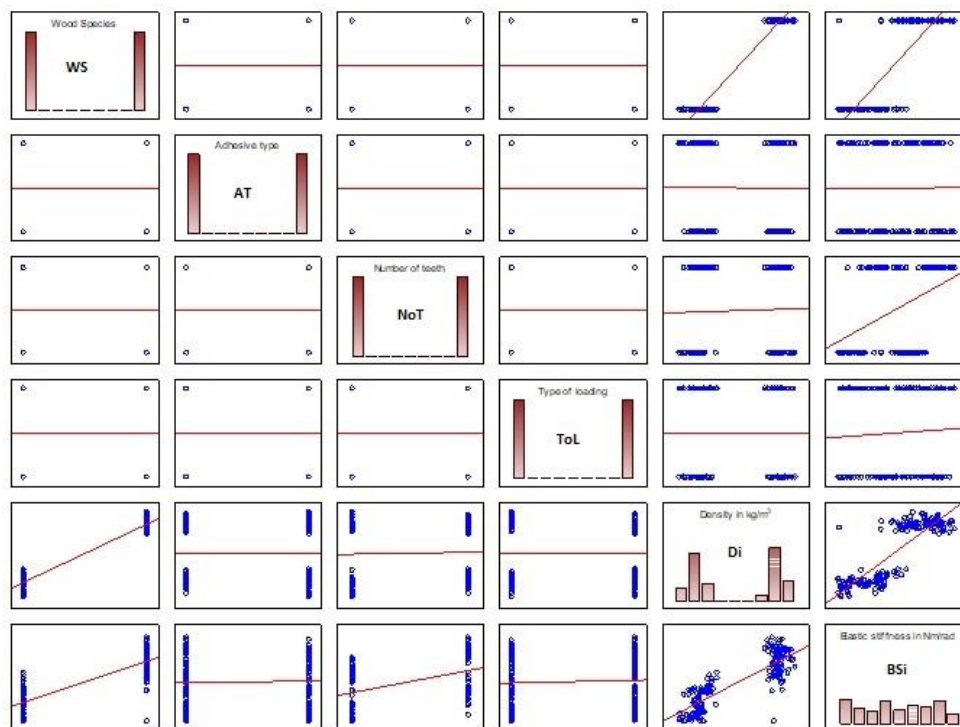
#### 6.2.4 Spearmanův korelační koeficient

Spearmanův korelační koeficient nás informuje o hodnotách pohybující se v intervalu -1 do 1. Hodnoty pohybující se okolo nuly nabývají případně tehdy, když pořadí hodnot  $x_i$  a  $y_i$  jsou náhodně zpřeházená a vztah mezi sledovanými veličinami není žádný. Pokud čísla pohybující se v blízkosti -1 nebo 1, ukazuje na to, že jedna z veličin je jednotvárná oproti druhé.



**Tabulka 2: Spearmanův koraláčnický koeficient**

Proměnná	Druh dřeva (WS)	Typ lepidla (AT)	Počet zubů (NoT)	Typ namáhání (ToL)	Hustota (Kg/m <sup>3</sup> ) (Di)	Elastická tuhost (Nm/rad) (BSi)
<b>Druh dřeva</b>		0,00	0,00	0,00	86,60	82,76
<b>Typ lepidla</b>	0,00		0,00	0,00	-0,54	-0,03
<b>Počet zubů</b>	0,00	0,00		0,00	7,28	44,79
<b>Typ namáhání</b>	0,00	0,00	0,00		0,38	6,33
<b>Hustota (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	86,60	-0,54	7,28	0,38		79,62
<b>Elastická tuhost (Nm/rad)</b>	82,76	-0,03	44,79	6,33	79,62	

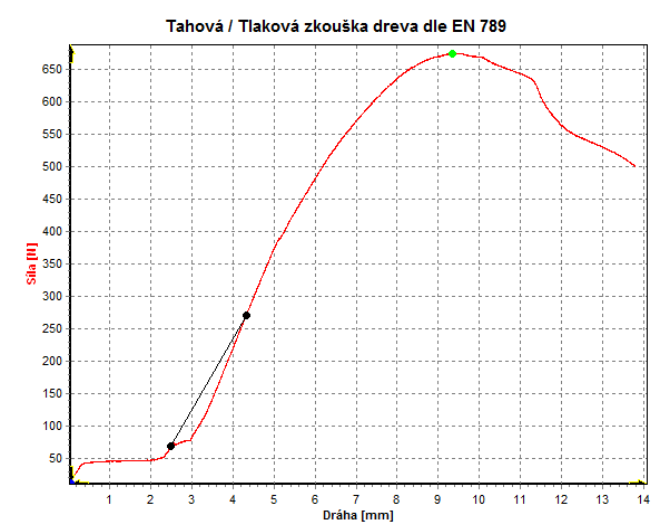


Obrázek 52: Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu, zdroj: vlastní

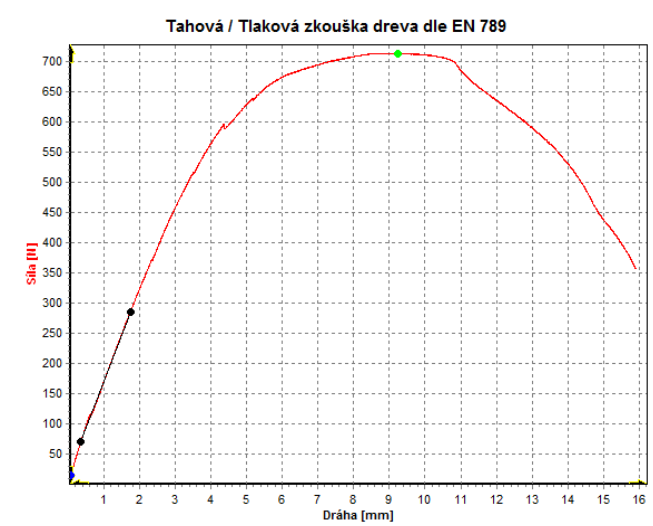
### 6.3 Grafy v průběhu zkoušky v softwaru Tira

Zátěžová zkouška tělesa při tlaku/tahu provází již zmíněný pracovní diagram v kapitole Experimentální měření (5.2). Software Tira znázorňuje zkoušku v podobě grafu, kde je možné sledovat změny sil a dráhy v průběhu testovaného vzorku do meze pevnosti, kde vzorek dosáhne své maximální tuhosti. Dráha testovaného vzorku neměla vždy pravidelnou cestu. Daný jev si vysvětlují tím, že testovaný vzorek nemusel být vždy stejně slepený, mohlo dojít k nestejnosti při výrobě či narušení vnitřního pnutí vláken.

Pro ukázkou je vidět na grafu č. 7 pokles síly okolo 50 N. Deformace se zvýšila o 3 mm důsledkem vyrovnávání sil. Ukázkový průběh zkoušky je vidět na grafu č. 8, kde průběh je zde lineární.



**Graf 7: BK s dvouma ozubama lepeno PVAc při tahové zkoušce č. 9**



**Graf 8: BK s dvouma ozubama lepeno PVAc při tahové zkoušce č. 2**

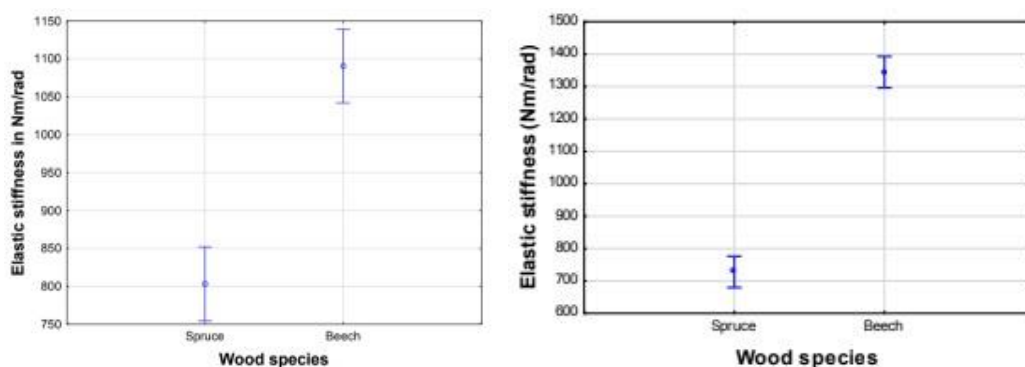
---

## 7. Diskuse

Pro srovnání jsem hledal obdobný typ vědecké práce, který by mi mohl pomoci porovnat jisté výsledky, faktory a ujasnit situaci ohledně vlastních. Jedná se o práci pana Záborského a jeho týmu, kteří zkoumali problematiku v nejedné vědecké práci. Zaměřili se na spoj, sloužící například pro spojení nohou s trnoží u stolu. Pro porovnání zvolili odlišné prvky, které by jim mohli ujasnit některé problematické situace. Zde v příloze obrázek pod číslem 53 a 54 můžete vidět typ vzorečků, kterým zjišťovali elastickou tuhost. Dovolil jsem si použít ke srovnání s vlastní prací hodnoty, které mi mohou ujasnit mnohé z daných článků. [31,32]

### Faktor dřeviny

Jak bylo předpokládáno, tak jsem se ve vlastních výsledcích přesvědčil o tom, že BK dosahuje větších hodnot než SM. Pro porovnání jsem pročítal v člancích, jestli pan Záborský dosáhnul podobných výsledků, jako moje vědecká práce. Dospěl jsem k závěru, že listnatá dřevina vykazuje velice vyšších a přesvědčivých hodnot, které musím komentovat, jako velice významné pro určování a uplatňování pro konstrukční účely. Záborského tým dosáhnul při první práci k 36 % a v druhé až na 81 %, což je velice výstižné. Vlastní hodnoty výzkumu šplhají k 65 %.

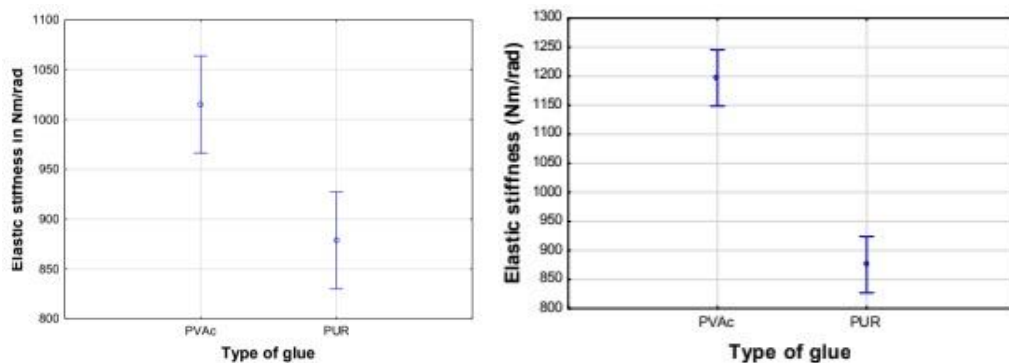


Graf 9: Porovnávací faktor dřeviny; zleva článek 1 zprava článek 2, zdroj: [31,32]

### Faktor lepicí směsi

S jistotou jsem určil, že ve vlastním výzkumu nedošlo k patrnému vlivu použitého lepidla. Hodnota PUR nepřesáhla ani desetinu procenta (0,08%). Jinak tomu je v práci

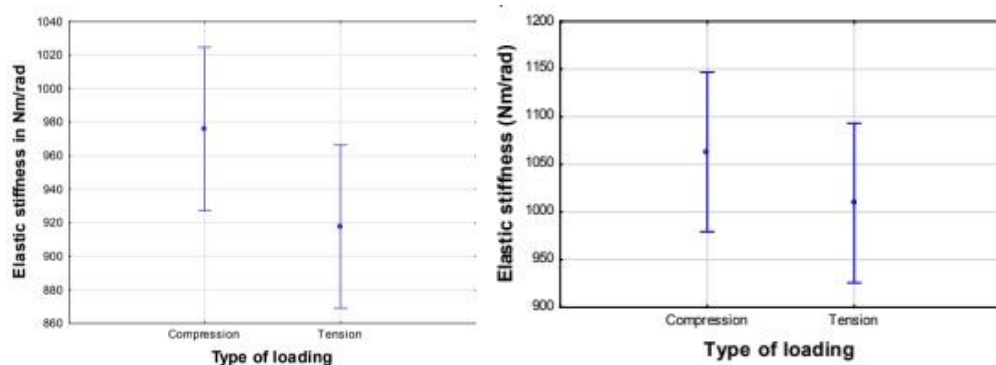
u pana Záborského a jeho týmu. Jejich výzkum vyvrací můj nepodstatný faktor ovlivňující charakter spojovací vazby. Je jisté, že nelze zcela porovnávat odlišné typy konstrukce, avšak zajímavost zde nacházím. V obou případech dosáhnul jejich výzkum k výsledkům, že PVAc lepidla jsou kvalitnější. V prvním případě bylo polyvinylacetátové lepidlo kvalitnější o 16 %, při druhém výzkumu dosáhlo až na 37 %. Je tedy patrné, že rozptyl hodnot je zde veliký.



Graf 10: Porovnávací faktor použitého lepidla; zleva článek 1 zprava článek 2, zdroj: [31,32]

### Faktor typu zátěžové zkoušky

Záborského vědecký tým došel k výsledku u obou zmíněných pracích, že tlaková zkouška se pohybuje na 6 % a u druhého na 10 % více, než je tomu u tahové. Mým úsudkem je ten, že tahový nebo tlakový zátěžový test může mít význam, avšak s porovnáním s vlastním dosahuje příliš větších hodnot, navíc v tahu.



Graf 11: Porovnávací faktor zátěžová zkouška; zleva článek 1 zprava článek 2, zdroj: [31,32]

---

## 8. Závěr

Cílem diplomové práce byla experimentální část, která se zabývala vybranými faktory (druh dřeviny, typ zátěžové zkoušky, druh lepidla a hustota), ovlivňující tuhost spoje.

Práce popisuje historický vývoj konstrukčních spojů od starověku až po dnešní dobu, kde je možné dozvědět se, jaké spojovací prvky naši předkové znali a taktéž s jakými materiály především pracovali. V metodice popisují, jakým způsobem se připravovaly vzorky k experimentálnímu měření, jak dané testování probíhalo a jaké stroje nebo prostředky umožnily vykonat danou práci. Postup by měl seznámit o veškeré činnosti. Výsledky jsou zpracovány do přehledných tabulek či grafů, ke kterým je napsaný popis, co dané faktory způsobily a jak moc jsou vážné z hlediska řešení konstrukce při vzájemném působení dvou i více činitelů tuhosti spoje. Samotná diskuze informuje o srovnání jednotlivých ukazatelů, které jsou použity z odborných článků. Autoři se zde zabývají podobnou tematikou.

Naměřené hodnoty vypovídají o tom, že vliv dřeviny, typ namáhání a počet zubů použito v konstrukčním spojení, je významně statisticky ovlivnitelný. Podle očekávání bukové dřeviny dosahují mnohem vyšších hodnot oproti smrkovým, proto se tento faktor jeví jako velmi zásadní. Počet zubů je taktéž velice zásadním faktorem, jelikož čím víc zubů spoj má, tím více je stabilní. Zátěžové zkoušky prokázaly, že rozdíl je zde patrný při tahu, avšak oproti předchozím činitelům neprojevuje velkých rozdílných hodnot.

Faktor použité lepicí směsi je neovlivnitelným činitelem, jelikož v základním porovnání se jeví jako naprosto shodný. Najdou se výjimky, kde hodnoty jsou rozdílné i v řádkách stovek. Například použití smrkové dřeviny s pěticí ozubů při tahové zkoušce dosahuje PVAc lepidla 1863 Nm/rad, znamenající nižší dosáhnuté hodnoty oproti PUR lepidlům s 2096 Nm/rad.

Lze z výsledků doporučit, že buková dřevina lepena PVAc směsí s pěticí ozubů dosáhne nejvyšších hodnot v tlakové zkoušce, oproti jakýmkoliv jiným použitých vzorečků v dané práci tj. 3150 Nm/rad. Nejnižší tuhost spoje dosahují smrkové vzorečky lepené PVAc, při použití dvou ozubů, taktéž při tlakové zkoušce v hodnotách 1279 Nm/rad.

Hodnoty naměřené a vyhodnocené v diplomové práci, poskytují lepší nadhled o problematice konstrukčních spojů v nábytkářském průmyslu.

---

## 9. Seznam použité literatury

- [1] CIMBUREK, F. *Dějiny nábytkového umění*. V Praze: ARGO, 1995. 440 s. ISBN 80-85794-54-3
- [2] STRÁNSKÝ, K. *Konstrukce nábytku*. V Praze: Státní pedagogické nakladatelství, 1988. 147 s. ISBN 14-543-88
- [3] LOSOS, L. *Historický nábytek*. V Praze: GRADA, 2013. 272 s. ISBN 978-80-247-3546-7
- [4] DLABAL, S. *Nábytkové umění*. V Praze: GRADA, 2000. 312 s. ISBN 80-7169-655-2
- [5] GERNER, M. *Tesařské spoje*. V Praze: GRADA, 2003. 220 s. ISBN 80-247-0076-X
- [6] HOLOUŠ, Z. a MACHOVÁ, E. *Konstrukce nábytku*. V Brně: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 185 s. Dočasná vysokoškolská učebnice
- [7] HOLOUŠ, Z a KÁNICKÁ, L. *Nábytek*. V Praze: GRADA, 2011. 160 s. 978-80-247-3746-1
- [8] BUBEN, F a KOUŘIL, J. *Konstrukce nábytku*. V Praze: České grafické unie a. s., 1947. 97 s. č. j.: 64.122/39-II/2
- [9] HALABALA, J. *Výroba nábytku*. V Praze: SNTL, 1975. 320 s. ISBN 04-819-75
- [10] JOSTEN, E. *Truhlářské konstrukce*. V Praze: GRADA, 2011. 288 s. ISBN 978-80-247-2960-2
- [11] NUTSCH, W. *Konstrukce nábytku*. V Praze: GRADA, 2012. 408 s. ISBN 978-80-247-4244-1
- [12] KŘUPALOVÁ, Z. *Technologie pro 1. roční SOU oborů zpracování dřeva*. V Praze: Sobotáles, 2000. 126 s. ISBN 80-85920-74-3
- [13] BRUNECKÝ, P. *Historický vývoj nábytku*. V Brně: Mendelova univerzita v Brně, 2000. 228 s. ISBN 80-7157-093-1
- [14] BÖHM, M. *Materiály na bázi dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6
- [15] JOŠČÁK, P. *Konstruktia nábytku*. Ve Zvolenu: Technická univerzita ve Zvolenu, 2014. 366 s. ISBN 978-80-228-2464-4

- 
- [16] JOŠČÁK, P. *Nábytkové konštrukčné spoje*. Ve Zvolenu: Technická univerzita ve Zvolenu, 2011. 164 s. ISBN 978-80-228-2255-8
- [17] JOŠČÁK, P. *Pevnostné navrhovanie nábytku*. Ve Zvolenu: Technická univerzita ve Zvolenu, 1999. 246 s. ISBN 80-228-0921-7
- [18] BAŠISTA, A.: *Drevené konštrukcie a stavebno stolárske výrobky*. Ve Zvolenu: VŠLD, 1972. 310 s. Dočasná vysokoškolská učebnice
- [19] KŘUPALOVÁ, Z. *Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář*. V Praze: Sobotáles, 2004. 241 s. ISBN 80-86817-02-4
- [20] ZEIDLER, A. *Lexikon dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 61 s. Dostupné na: <http://docplayer.cz/4041658-Ceska-zemedelska-univerzita-v-praze-fakulta-lesnicka-a-drevarska-lexikon-dreva.html>
- [33] GANDELOVÁ, L. *Nauka o dřevě*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 176 s. ISBN 80-7157-577-1



---

## Elektronické zdroje

- [21] ORGANICKÁ LEPIDLA ŽIVOČIŠNÉHO PŮVODU. [online]. 2018. [cit. 2018-2-3] Dostupné na: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/terms/142>
- [22] DEFORMACE, Normálové napětí. [online]. 2018. [cit. 2018-18-3] Dostupné na: [http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/2\\_Molekulova\\_fyzika\\_a\\_termika/4\\_Pevne\\_skupenstvi/2405\\_Deformace\\_Normalove\\_napeti\\_II.pdf](http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/2_Molekulova_fyzika_a_termika/4_Pevne_skupenstvi/2405_Deformace_Normalove_napeti_II.pdf)
- [23] IKEA pojízdný stůl, historický stůl z roku 1969. [online]. 2018. [cit. 2018-18-3] Dostupné na: <https://www.lauritz.com/en/auction/soffgrupp-privat-aake-fribyter-foer-ikea-1960-70-tal-4/i2764456/>
- [24] TON, Thonetova historická židle č. 14 z roku 1859. [online]. 2018. [cit. 2018-18-3] Dostupné na: <https://www.ton.eu/cz/ton-produkty/detail/zidle-14-/>
- [25] ÚHELNÍKOVÝ SPOJ [online]. 2018. [cit. 2018-18-3] Dostupné na: <https://www.obchodprodilnu.cz/produkty/stavebni-prvky-a-materialy/tesarske-kovani/tesarske-uhelniky.html>
- [26] SPOJOVACÍ DESTIČKY [online]. 2018. [cit. 2018-18-3] Dostupné na: <https://www.obchodprodilnu.cz/produkty/stavebni-prvky-a-materialy/tesarske-kovani/spojovaci-ocelove-desky.html>
- [27] SPOJ PRACOVNÍ DESKY [online]. 2018. [cit. 2018-4-4] Dostupné na: <http://www.wintech.cz/cs/wintech-furniture/katalog/spoj-pracovni-desky-855/spoj-pracovni-desky-m6-35x81-zb-48471>
- [28] VRUT [online]. 2018. [cit. 2018-4-4] Dostupné na: <http://www.pro-kutily.cz/Vrut-do-dreva-8x120-TORX-hlava-s-podlozkou-d4826.htm>
- [29] EXCENTR [online]. 2018. [cit. 2018-4-4] Dostupné na: [https://eshop.wuerth.cz/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/3146-B1-Site/cs\\_CZ/-/CZK/ViewCatalog-Browse?CatalogCategoryRef=31461504180512%40WuerthGroup-Wuerth-3146&CatalogCategoryID=g8IKD92ePFcAAAFEiwAp045N&SelectedFilterAttribut=%255B%255D](https://eshop.wuerth.cz/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/3146-B1-Site/cs_CZ/-/CZK/ViewCatalog-Browse?CatalogCategoryRef=31461504180512%40WuerthGroup-Wuerth-3146&CatalogCategoryID=g8IKD92ePFcAAAFEiwAp045N&SelectedFilterAttribut=%255B%255D)
- [30] HŘEBÍK [online]. 2018. [cit. 2018-4-4] Dostupné na: <http://www.pro-kutily.cz/Hrebik-kolarsky-32mm-d31.htm>

- 
- [34] SPONY [online]. 2018. [cit. 2018-4-4] Dostupné na: <https://www.brufus.cz/spony-11-3-x-0-7mm-delka-10mm-baleni-1000ks-eanV9167-skup99332.php>
- [35] STATISTICKÉ SOUBORY [online]. 2018. [cit. 2018-4-7] Dostupné na: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/soubory.htm#populace>
- [36] CHARAKTERISTIKA STATISTICKÝCH SOUBORŮ [online]. 2018. [cit. 2018-4-7] Dostupné na: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/strednih.htm>
- [37] CHARAKTERISTIKY VARIABILITY [online]. 2018. [cit. 2018-4-7] Dostupné na: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/variabil.htm>

---

## Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky

[31] ZÁBORSKÝ, V. *Effect of Geometric Parameters of Structural Elements on Joint Stiffnes*. In BioResources [online]. 2017, vol. 12, no.1 [cit. 2018-5-4]

[32] ZÁBORSKÝ, V. *Effect of Wood Species, Adhesive Type, and Annual Ring Directions on the Stiffness of Rail to Leg Mortise and Tenon Furniture Joints*. In BioResources [online]. 2017, vol. 12, no.4 [cit. 2018-5-4]

---

## **Normy**

ISO 13061-1 (2014) Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests

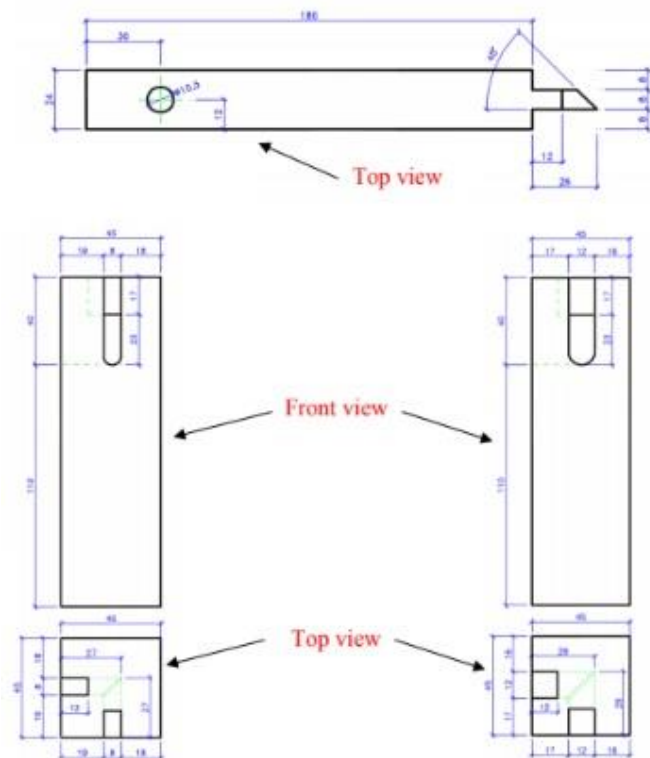
ISO 13061-2 (2014) Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens - Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests

---

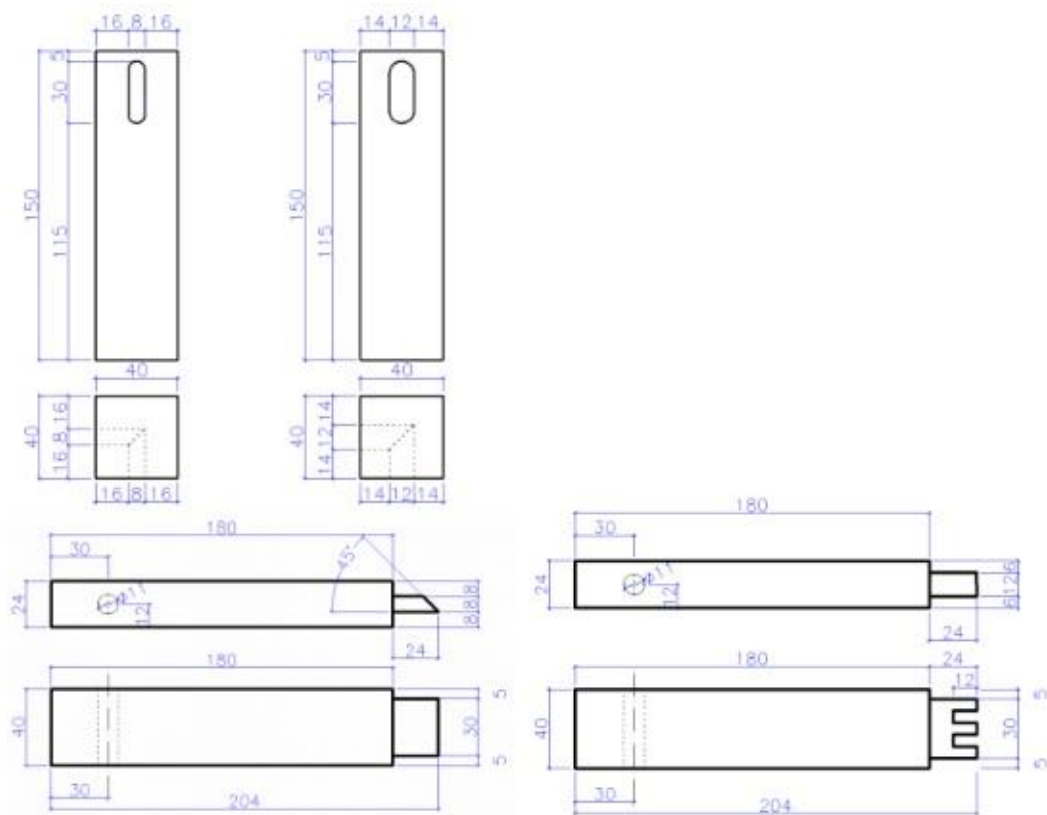
## Přílohy

**Tabulka 3: Informační tabulka naměřených hodnot**

Druh dřeviny	Typ lepidla	Počet ozubů	Typ namáhání	Hustota	Elastická tuhost	N
BUK / SMRK	PVAc / PUR	2 / 5	TAH / TLAK	g/cm <sup>3</sup>	Nm/rad	
SMRK	PVAc	2	TLAK	378	1279	20
SMRK	PUR	2	TLAK	378	1416	20
SMRK	PVAc	5	TLAK	376	2057	20
SMRK	PUR	5	TLAK	394	1977	20
BUK	PVAc	2	TLAK	688	2463	20
BUK	PUR	2	TLAK	731	2456	20
BUK	PVAc	5	TLAK	679	3150	20
BUK	PUR	5	TLAK	644	2996	20
SMRK	PVAc	2	TAH	355	1495	20
SMRK	PUR	2	TAH	369	1454	20
SMRK	PVAc	5	TAH	376	1863	20
SMRK	PUR	5	TAH	416	2096	20
BUK	PVAc	2	TAH	678	2511	20
BUK	PUR	2	TAH	670	2617	20
BUK	PVAc	5	TAH	667	3254	20
BUK	PUR	5	TAH	650	3083	20



Obrázek 53: Schéma vzorečku k vědecké práci z článku č. 1, zdroj: [31]



Obrázek 54: Schéma vzorečku k vědecké práci z článku č. 1, zdroj: [32]