



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**MODIFIKACE KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ A JEJICH VYUŽITÍ V  
PRAXI  
KONSTRUKČNÍ SPOJ OZUBY**



Česká zemědělská univerzita v Praze  
**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**MODIFIKACE KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ A JEJICH  
VYUŽITÍ V PRAXI  
KONSTRUKČNÍ SPOJ OZUBY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Studijní program:	Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu
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 BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zbyněk Šmíd

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

**Modifikace konstrukčních spojů a jejich využití v praxi.**

Název anglicky

**Construction joint's modification and its use in practise**

---

### Cíle práce

Práce si pokládá za cíl souhrnně představit používané současné a historické konstrukční spoje – soustředit se budeme na spoj pomocí ozubů a jeho variace. Cílem práce je otestovat vybraný modifikovaný konstrukční spoj a porovnat jeho vlastnosti s vlastnostmi tradičních spojů, které uvádí odborná literatura. Práce prověří výhody, nevýhody a budoucí možnosti takového spojování. Mezi sledované charakteristiky jsme zařadili – použití lepidla, typ dřeviny, typ spoje a jeho geometrii. Sledovat budeme také vliv letokruhů.

### Metodika

Práci lze rozdělit na část teoretickou a praktickou. V teoretické části student seznámí čtenáře s obvyklými konstrukčními spoji, porovná jejich vlastnosti a oblasti použití.

V praktické části ho pak čekají příprava zkušebních těles, jejich testování, výpočet a sledování pevnosti a tuhosti konstrukčního spoje.

**Doporučený rozsah práce**

100 stran

**Klíčová slova**

ozuby, konstrukční spoj, modifikace spoje, geometrie spoje

---

**Doporučené zdroje informací**

Nábytek: encyklopedie. 2. vyd. Praha: Svojtka & Co, 2008. ISBN 8025601048;9788025601044

NUTSCH, Wolfgang. Příručka pro truhláře. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 8086706141;9788086706146

ZWERGER, Klaus. Wood and Wood Joints: Building Traditions of Europe, Japan and China. 2nd rev. and enlarg. Basel: Birkhäuser, 2012. ISBN 9783034606851

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

Ing. Vlastimil Borůvka

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

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

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2019

## **Čestné prohlášení**

"Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci na téma Modifikace konstrukčních spojů, vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské 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 autora

## **Poděkování**

Děkuji touto cestou vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Milan Gaff, PhD za odborné vedení, technické rady a podnětné připomínky při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat svému kamarádovi Petru Goszovi, který semnou měl trpělivost v práci a nesmím opomenout na všechny rodinné příslušníky, kteří mi podporovali po celou dobu studia.

## **Abstrakt ve státním jazyce**

V této bakalářské práci jsme se zabývali vlivem vybraných faktorů na tuhost konstrukčního spoje. Vybranými faktory jsou typ použitého lepidla a druh dřeviny.

Zajímalo nás hlavně, jak se tuhost spoje bude chovat v tlaku a tahu. Všechny naměřené hodnoty byly zpracovány a vyhodnoceny. Ze získaných výsledků vyplývá, že na tuhost konstrukčního spoje má velký vliv druh použitého lepidla a druh dřeviny.

Díky naměřeným hodnotám a jejich vyhodnocení bychom mohli navrhnout konstrukční spoj s dobrými pevnostními vlastnostmi.

Klíčová slova: nábytkové konstrukční spoje, tuhost spoje, lepený spoj, ozuby

## **Abstrakt v cizím jazyce**

In this bachelor thesis we deal with the influence of selected factors on the stiffness of the constriction joint. Selected factors are the type of glue and wood species.

We were mainly interested in how it will behave in pressure and pull. All measured values were processed and evaluated. The results show that the stiffness of the structural joint is greatly influenced by the type of glue and wood species.

Using measured values and their evaluation, we could design a construction joint with good strength properties.

Keywords: furniture construction joints, joint stiffness, glued joint, teeth

---

## Obsah

Čestné prohlášení.....	4
Poděkování .....	5
Obsah .....	7
Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek .....	11
Seznam zkratk a značek .....	12
Úvod .....	13
<b>1 Cíl Práce.....</b>	<b>14</b>
<b>2 Literární poznatky o vývoji konstrukčních spojů .....</b>	<b>15</b>
2.1 Historie dřevěných konstrukčních spojů .....	15
<b>3 Rozbor problematiky konstrukčních spojů.....</b>	<b>16</b>
3.1 Konstrukční spoje .....	16
3.2 Lepené spoje .....	17
3.2.1 Lepidla používaná v dřevařském průmyslu .....	17
3.2.2 Spojení natupo .....	18
3.2.3 Na pokos .....	19
3.2.4 Spoj na polodrážku .....	20
3.2.5 Překlátování .....	20
3.2.6 Svlak .....	21
3.2.7 Okrajnice .....	22
3.2.8 Čepové spoje (čep a dlab, čep a rozpor) .....	23
3.2.9 Vlastní pero.....	24
3.2.10 Ozubový spoj .....	25
3.2.11 Kolíkový spoj .....	28
3.2.12 Vložená pera .....	29
3.2.13 Lamela .....	29
3.2.14 Hoffmanovo pero.....	30
3.3 Nelepené spoje (rozebíratelné spoje).....	30
3.3.1 Hřebíky .....	31
3.3.2 Šrouby.....	31
3.3.3 Spojení vruty.....	33
3.3.4 Excentrické spojení.....	33
3.3.5 Spony .....	34
3.3.6 Ocelové úhelníky a destičky .....	34
3.4 Pevnostní vlastnosti spojů .....	35



---

<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>36</b>
4.1	Příprava zkušebních vzorků .....	36
4.1.1	Technologický postup při výrobě vzorků .....	37
4.1.2	Lepení vzorků .....	38
4.1.3	Klimatizace vzorků .....	39
4.1.4	Stanovení hustoty dřeva .....	39
4.2	Experimentální měření .....	39
4.2.1	Značení vzorků .....	40
4.2.2	Postup při měření .....	40
4.2.3	Zařízení použita při měření .....	42
4.2.4	Výpočty a charakteristika .....	44
4.2.5	Statistické zpracování dat .....	48
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>50</b>
5.1	Statisticky zpracované výsledky v programu statistika 12 .....	51
5.1.1	Vyhodnocení faktorových analýz .....	52
	Tuhost spoje závislá na odklonu letokruhů .....	53
5.1.2	Tuhost spoje závislá na dvou a více faktorech .....	54
5.1.3	Mnohonásobného porovnávání (Duncenův test) .....	54
5.2	Grafy v průběhu zkoušky v softwaru Tira .....	55
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>61</b>

---

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Správně a chybně lepené spárovky, zdroj: [4] .....	19
Obrázek 2. Spoj na tupo (šířkové), zdroj: [4] .....	19
Obrázek 3. Spoj na polodrážku, zdroj: [4] .....	20
Obrázek 4. Rohové přeplátování, zdroj: [4] .....	21
Obrázek 5. Oboustranný svlak, zdroj: [4] .....	22
Obrázek 6. Jednostranný svlak, zdroj: [4] .....	22
Obrázek 7. Okrajnice, zdroj: [4] .....	22
Obrázek 8. Spoj na čep a rozpor, zdroj: [4] .....	23
Obrázek 9. Čep dlab s perem (průchozí), zdroj: [8] .....	24
Obrázek 10. Čep a dlab (neprůchozí), zdroj: [8] .....	24
Obrázek 11. Spoj na pero a drážku, zdroj: [4] .....	24
Obrázek 12. Sdružené čepy (středové), zdroj: [4] .....	25
Obrázek 13. Sdružené čepy (rohové), zdroj: [4] .....	25
Obrázek 14. Rozkreslení ozubů, zdroj: [4] .....	26
Obrázek 15. Spoj na polokryté ozuby, zdroj: [4] .....	27
Obrázek 16. Spoj na celokryté ozuby, zdroj: [8] .....	27
Obrázek 17. Strojově vyráběné ozuby, zdroj: [4] .....	28
Obrázek 18. Kolíkový spoj (plošný), zdroj: [4] .....	28
Obrázek 19. Kolíkový spoj (rámový-rohový), zdroj: [4] .....	28
Obrázek 20. Spojování vloženými péry, zdroj: [4] .....	29
Obrázek 21. Spoj na lamelu, zdroj: [4] .....	29
Obrázek 22. Hoffmanova spojka, zdroj [15] .....	30
Obrázek 23. Druhy hřebíků, zdroj: [4] .....	31
Obrázek 24. Spoj na confirmát, zdroj: [4] .....	32
Obrázek 25. Dvoudílné šrouby, zdroj: [24] .....	32
Obrázek 26. Šroub pro spojení pracovní desky, zdroj: [22] .....	33
Obrázek 27. Vruty do dřeva, zdroj: [23] .....	33
Obrázek 28. Ocelový úhelník, zdroj: [25] .....	34
Obrázek 29. Druhy namáhání spojů, zdroj: [5] .....	35
Obrázek 30. Příprava vzorků na zalepení, zdroj: vlastní .....	36
Obrázek 31. Schéma rozdělení zkušebních vzorků, zdroj: vlastní .....	37
Obrázek 32. Detail spoje vzorku, zdroj: vlastní .....	38
Obrázek 33. PVAc lepidlo, zdroj: vlastní .....	38
Obrázek 34. PUR lepidlo, zdroj: vlastní .....	38

---

Obrázek 35. Ukázka letokruhů 90°, zdroj: vlastní.....	40
Obrázek 36. Tabulka v softwaru Tira, zdroj: vlastní .....	41
Obrázek 37. Upnutí vzorku do stroje, zdroj: vlastní.....	41
Obrázek 38. Digitální váha PCB, zdroj: [26].....	42
Obrázek 39. Pravá obrazovka softwaru, zdroj: vlastní .....	43
Obrázek 40. Pracovní diagram, zdroj: [10].....	43
Obrázek 41. Vážení vzorků, zdroj: vlastní .....	44
Obrázek 42. Schéma zkoušky tah/tlak, zdroj: [28] .....	45
Obrázek 43. Faktor ovlivňující druhu dřeviny.....	52
Obrázek 44. Faktor ovlivňující druh lepidla .....	52
Obrázek 45. Faktor ovlivňující typ namáhání .....	53
Obrázek 46. Tří faktorová analýza v závislosti na druhu dřeviny, typu lepidla a druhu namáhání .....	54
Obrázek 47. Graf bukového vzorku slepený PVAc lepidlem v tlaku.....	55
Obrázek 48. Graf smrkového vzorku lepený PUR lepidlem v tahu .....	56
Obrázek 49. Faktor ovlivňující druhu dřeviny.....	57
Obrázek 50. Faktor ovlivňující typ použitého lepidla .....	58
Obrázek 51. Faktor ovlivňující druh namáhání .....	58
Obrázek 52. Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje .....	59

---

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Základní statistické hodnoty hustoty a elastické tuhosti.....	50
Tabulka 2. Statistické vyhodnocení faktorů ovlivňující elastickou tuhost .....	51
Tabulka 3. Znázornění odklonu letokruhů.....	53
Tabulka 4. Vyhodnocení jednotlivých odklonů ročních letokruhů .....	53
Tabulka 5. Statistické výsledky mnohonásobného porovnání faktorů .....	54

---

## Seznam zkratk a značek

- BK – buk
- SM – smrk
- F – síla
- W – vlhkost (%)
- $\varphi$  – 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

## Úvod

Dřevo, jako jeden z nejstarších používaných materiálů, je od pradávna spojeno s lidskou civilizací. Dřevo je přírodní a snadno dostupný materiál, jehož obnovitelnost je při správném hospodaření nekonečná. Dřevo je pružný, pevný a přitom lehký materiál, a proto se využívá v mnoha odvětvích např. nábytkářství, stavebnictví, chemický průmysl, ale také k výrobě hraček, sportovních pomůcek, papíru, hudebních nástrojů. Těžko bychom hledali materiál, který by dřevo nahradil.

Součástí našeho každodenního života, ať už si to uvědomujeme nebo ne, je vztah nebo kontakt se dřevem. Nejčastější zastoupení můžeme najít v nábytkářském odvětví, kde nejdůležitější část tvoří konstrukční spoje nábytku. Konstrukční spoje jsou nejkritičtějšími místy nábytku, a proto je velmi důležité zkoumání těchto spojů. Na nábytek ze dřeva nebo dřevěných materiálů je kladen důraz, aby byl co možná nejpevnější a nejstabilnější. U mechanických vlastností nábytku je nejčastěji posuzována jeho pevnost a tuhost. Ve světě se věnuje značná pozornost u nábytkových konstrukcí právě na pevnost a tuhost. Poznatky výzkumu se neustále rozšiřují a prohlubují. V oblasti konstrukčních prvků nábytku se výzkumy zaměřují hlavně na nosné prvky stolového a skříňového nábytku.

Proto je tento výzkum zaměřen především na vybrané faktory ovlivňující pevnost a tuhost konstrukčního spoje nábytku. Experimentální část se zaměřuje na korpusové rohové spoje - ozuby. Pevnost a tuhost rohového spoje budeme zkoumat u spoje na polokryté ozuby, který můžeme najít u konstrukce skříní, truhel nebo zásuvek. Faktory, které mají vliv na konstrukci, mohou být použita lepidla, druh dřeviny nebo také typ namáhání, tlak nebo tah. Výsledky nám mohou objasnit situaci ohledně vybraných faktorů.

# 1 Cíl Práce

Cílem bakalářské práce je zjistit vliv určitých faktorů na tuhost rohových konstrukčních spojů.

Sledované faktory:

1. Druh dřeviny (SM, BK)
2. Typ použitého lepidla (PVAc, PUR)
3. Zátěžová zkouška (tah/tlak)

Výsledné hodnoty nám pomohou při navrhování konstrukčních spojů nábytku a při dalším výzkumu podobné problematiky.

## **2 Literární poznatky o vývoji konstrukčních spojů**

V současné době používané spojovací prvky nábytku vychází z dávných dob. Lze však říci, že truhlářské spoje vznikly z tesařských spojů, kde se některé spoje používají dodnes.

### **2.1 Historie dřevěných konstrukčních spojů**

Počátky dřevěných konstrukčních spojů vznikaly už v dávné historii, která nelze přesně určit, protože se neví, které spoje vznikly jako první. Předpokládá se, že vznik truhlářských spojů vzešel ze spojů tesařských, protože dřevo se často používalo pro stavbu střešních konstrukcí. Námí zkoumaný spoj ozuby se začíná datovat již ve Starověkém Egyptě, kdy Egypťané při svých pracích pomocí čepů, drážek, hmoždinek i čepů klínových vytvořili nádherné nábytkové předměty [1,2].



### 3 Rozbor problematiky konstrukčních spojů

Jednotlivé díly nábytkových a stavebně truhlářských konstrukcí jsou spojovány za pomoci lepidla nebo na sucho. Pro pevnost a tuhost celé konstrukce je nejdůležitější správně zvolený konstrukční spoj, kvalita a přesné provedení spoje. Důležitou problematikou, kterou je třeba se zabývat pro správné navržení, jsou pevnostní vlastnosti neboli kritická místa ovlivňující tuhost spoje. Dřevěné díly spojujeme za účelem tvarově dokonalého, funkčního a vyhovujícího předmětu, přičemž vznikne nábytkářský dílec nebo nábytek samotný. Vlivem vnější zátěže se v konstrukčním spoji vytváří vnitřní pnutí, které přenáší síly mezi oba spojované díly. Kvalitu spoje ovlivňuje hlavně kvalita dřeva pro výrobu. Důležité je, aby dřevo bylo bez trhlin, suků, oblín nebo jiných vad, které ovlivňují pevnostní vlastnosti spoje. Spojovací vazby můžeme rozdělit na rozebíratelné a nerozebíratelné. Nerozebíratelné spoje lepíme pomocí lepidel, které jsou tužšího rázu a jeví se dobře vůči vibracím, které tlumí. Přesnost a preciznost při výrobě konstrukčního spoje je velmi důležitá k dosažení pevnosti a kvalitní tuhosti v celé konstrukci. [3,4,8,12,13].

#### 3.1 Konstrukční spoje

Konstrukční spoje jsou nepostradatelnou částí výrobků. Nejdůležitější u výrobků je zajistit pevnost a funkčnost. Správné zhotovení a zvolení správného spoje, by mělo být povinností každého řemeslníka. Materiály např. masivní nebo aglomerované materiály mají každý své vhodné prostředky pro spojení. Některé jsou vhodné jen pro masiv a jiné jen pro aglomerované materiály [4].

##### **Spojovací vazby**

- lepené spoje - spoj vytvořený pomocí lepidla, které může být ještě doplněno kolíky, pery, lamely. Jedná se o nerozebíratelný spoj.
- nelepené spoje - tyto spoje jsou vytvořeny pomocí spojovacích prvků např. hřebíky, šrouby, vruty apod. Jedná se o rozebíratelný spoj [12].

##### **Způsob spojování**

- plošné spoje – používají se pro prodloužení nebo rozšíření materiálu (obklady stěn, spárovky, nekonečný vlys)

- rámové spoje – spoje používané ve vlysech (rám dveří, okenní rámy apod.)
- rohové spoje plošných dílců – spojení konstrukčních desek (korpusy skříní, zásuvky apod.) [12].

## 3.2 Lepené spoje

### 3.2.1 Lepidla používaná v dřevařském průmyslu

Lepidlo je materiál schopný spojit tuhá tělesa v důsledku přilnavosti k jejich povrchu a jejich dobré vnitřní soudržnosti. Lepidla můžeme rozdělit do několika kategorií. Nejčastěji je rozdělujeme podle suroviny, ze které byly vyrobeny:

#### Organická lepidla

- přírodní lepidla:
  - rostlinná (rostlinné bílkoviny, přírodní kaučuk, deriváty celulózy, přírodní pryskyřice, mouky, škroby)
  - živočišná glutinové klihy, lepidla kaseinová a albuminová.
- syntetická lepidla:
  - reaktoplastická (fenolformaldehydová, melaminformaldehydová, rezorcinformaldehydová, xylenoformaldehydová, močovinoformaldehydová, fenolkresolformaldehydová, epoxidová), polyesterová, polyuretanová,
  - termoplastická (etylenvinylacetátová, polyvinylacetátová, polyvinylchloridová, polyakrylátová, polyuretanová, polyamidová),
  - rozpouštědlová (disperzní na bázi syntetického kaučuku, nebo roztoková).

#### Anorganická lepidla - minerální pojiva (vodní sklo, sádra, cement)

#### Rozdělení podle odolnosti vůči vlhkosti

D1 - odolné při nízké vlhkosti vzduchu a pokojové teplotě např. u vnitřních dveří, nábytku, obkladů atd.

D2 - odolné proti normální vlhkosti např. u kuchyní, koupelen

D3 - odolné proti běžným klimatickým vlivům např. vnější dveře, okna, schody

D4 - vodovzdorné např. v krytých bazénech, ve sprchách, žebříky, schody, vnější dveře s lazurou nebo tmavým krycím nátěrem [4].

## **Lepidla námi použité na lepení vzorků**

### **PUR lepidla**

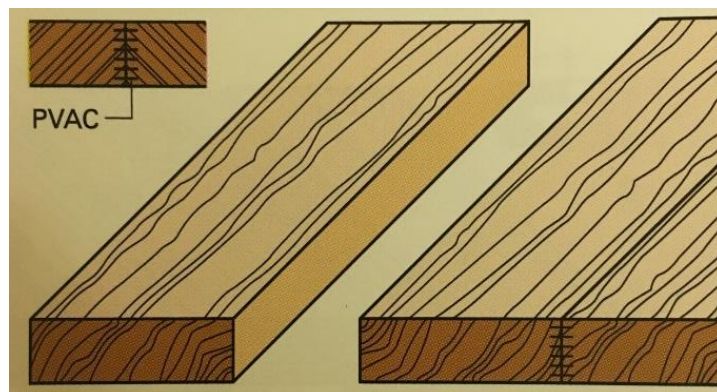
Jsou jednosložková nebo dvousložková. Jednosložková lepidla se vytvrzují odebráním okolní vlhkosti, dvousložková se vytvrzují polyadici. Tekutá lepidla mají barvu béžovou až hnědou. Polyuretanovými lepidly je možno pro jejich dobrou přilnavost k materiálům lepit kromě dřeva i kovy, plasty a textilie. Slepěný spoj je nehořlavý, tuhý, odolný proti povětrnostním vlivům, chemicky stálý a elasticky měkký až tvrdý [12].

### **PVAc lepidla**

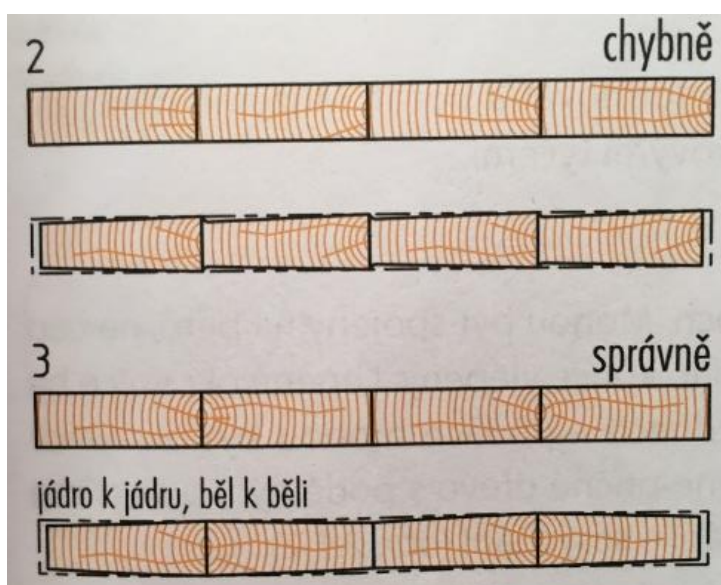
Polyvinylacetát se nerozpouští ve vodě, ale jeho velmi malé částice jsou velmi jemně rozptýleny ve vodě (dispergovány). Tato lepidla jsou k dostání pouze v kapalné podobě a mají mléčně bílou barvu. Vytvrzují fyzikálně s přidáním tvrdidla a zčásti chemicky. U hustých lepidel je možné ředit lepidlo vodou, ale maximálně do 3 % vody. Teplotní odolnost lepeného spoje je 40-60 °C [11].

### **3.2.2 Spojení natupo**

Šířkové, délkové či tloušťkové nejjednodušší napojení. Pro dokonalý spoj je důležité dobře srovnat plochy a hrany, aby vzájemně svíraly pravý úhel. Jedno z nejčastějších využití tohoto spoje je výroba spárovek na korpusy nábytku, zásuvek, atd. Spárovku zhotovíme z několika užších přířezů stejné tloušťky. Přířezy se srovnají a očíslojí. Jednotlivé přířezy se skládají tak, aby přišel střed ke středu a běl k běli. Všechny pravé plochy přířezů se kladou nahoru nebo se střídá pravá a levá strana. Hrany klížených přířezů musí být rovné, a proto je srovnáme na srovnávače. Na připravené přířezy nanese lepidlo (např. PVAc) a poskládáme je do plochy. Na stažení používáme ztužidla nebo kovové stahováky. Plochu při lepení vyrovnáme kladivem. Po vytvrzení lepidla spárovku srovnáme a ohoblujeme na tloušťku [4,8,12,14,].



Obrázek 2. Spoj na tupo (šířkové), zdroj: [4]



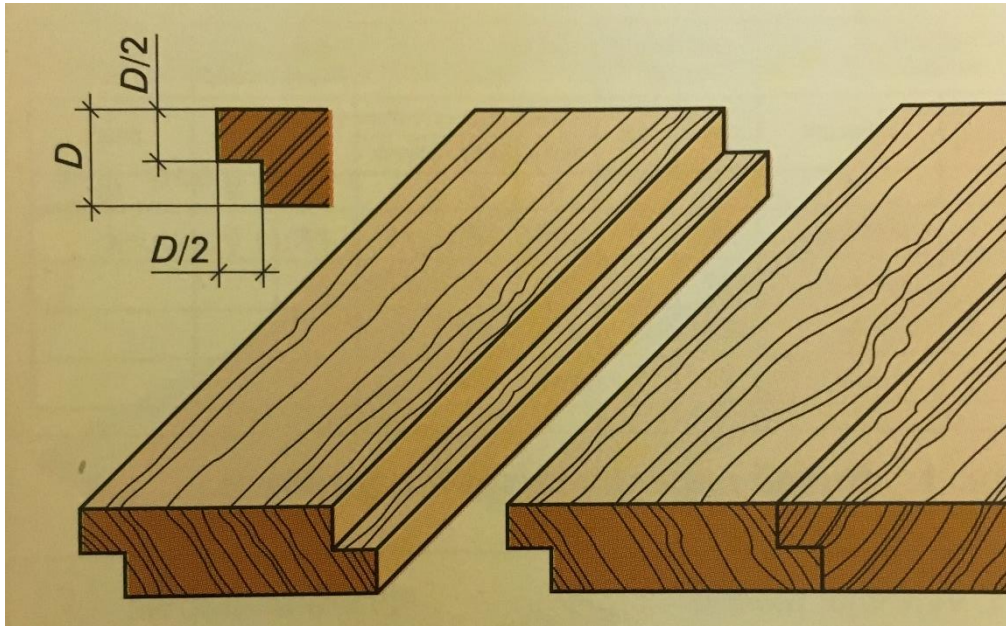
Obrázek 1. Správně a chybně lepené spárovky, zdroj: [4]

### 3.2.3 Na pokos

Není vhodné spoj na pokos pouze slepovat. Tento spoj se doporučuje kombinovat se spojovacími prvky např. kolíkem, vloženým perem, perem s drážkou a v menších případech čepem s rozporem. U pokosového spojení volíme rovné kolíky, které jsou posunuté co nejvíce k vnitřní hraně nebo využíváme plastových úhlových kolíků, které svírají úhel 90° [8,14,15].

### 3.2.4 Spoj na polodrážku

Přířezy mají na obou hranách střídavě vyfrézované polodrážky. Obě polodrážky mají stejné rozměry. Větší lepená plocha nám umožňuje dosáhnout vyšší pevnosti spoje. Výška polodrážky je polovina tloušťky materiálu a hloubka se může lišit. Pokud chceme spoj zdůraznit, můžeme hranu ofrézovat (zkosení, profil). Při sesychání drážka odstává. Využívá se pro méně namáhané dílce. Využívá se například i DTD nebo masivu [8,14,15,16].

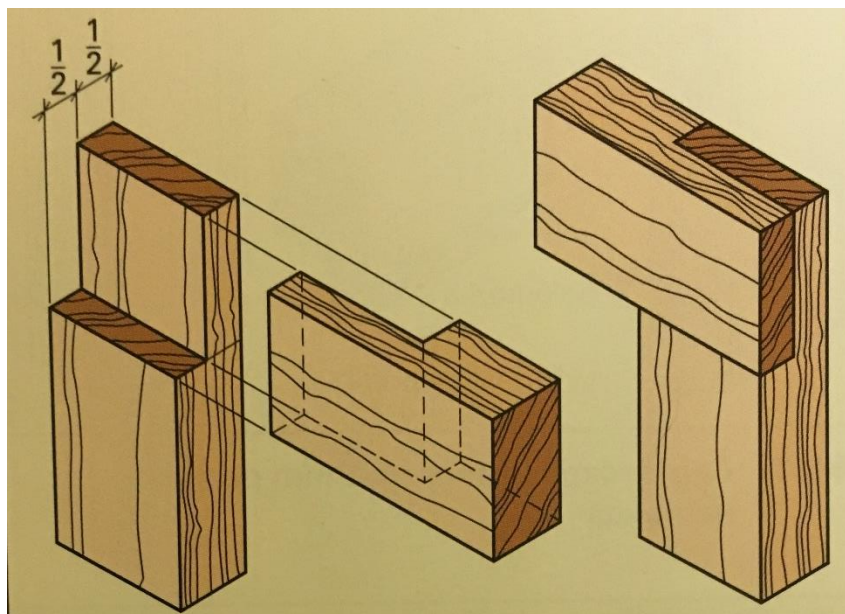


Obrázek 3. Spoj na polodrážku, zdroj: [4]

### 3.2.5 Překlátování

Jedná se o spojení méně používané vzhledem k nižší pevnosti a stabilitě. Překlátování provádíme tak, že se vlys rozdělí rejskem na polovinu a pilkou se odřízne jednostranný čep. Stejný způsob se udělá u protikusů, čímž vznikne spoj. Spoj se musí lepit. Překlátování může být rozděleno na:

- rohové
- rohové na pokos (45°)
- středové [4,8,12,14,15,16].



Obrázek 4. Rohové přeplátování, zdroj: [4]

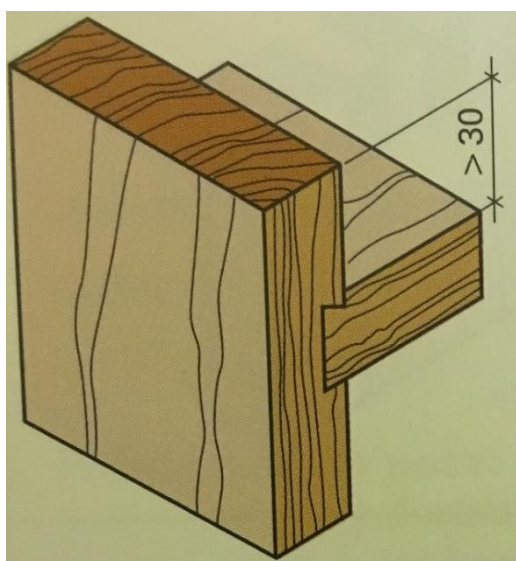
### 3.2.6 Svлак

Svlak jsou dřevěné lišty, které jsou umístěny v rybinové drážce, která je vyfrézovaná kolmo na směr vláken v ploše desky. Svlačky zabraňují, aby spárovkové desky bobtnáním nebo sesycháním neměnily svůj tvar (používají se hlavně na masivní desky).

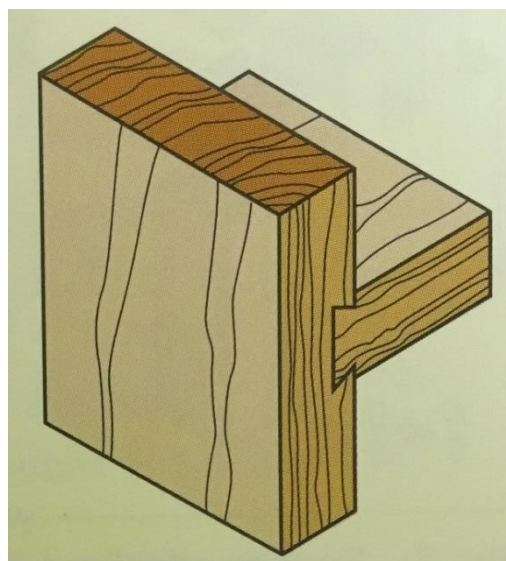
Svlačky rozlišujeme na:

- stojaté - jsou uloženy na výšku a jsou úzké. Nejčastěji je využíváme na vodorovně umístěné spárovky (spárovka má vyšší pevnost v ohybu).
- ležaté - jsou uloženy na ležato, mohou být i zapuštěné do desky. Nejčastěji je využíváme na spárovky ve svislé poloze (např. dveře skříní). V těchto případech by stojatý svlak překážel. Ležatý svlak by měl mít co nejkolmější letokruhy k ploše svlaku, aby nedocházelo při sesychání k uvolnění svlaku.

Svlačky se skládají z rybiny a rybinové drážky, můžeme mít oboustrannou nebo jednostrannou rybinu. Svлак by měl jít zasunout lehce ale těsně [4,12,15,16].



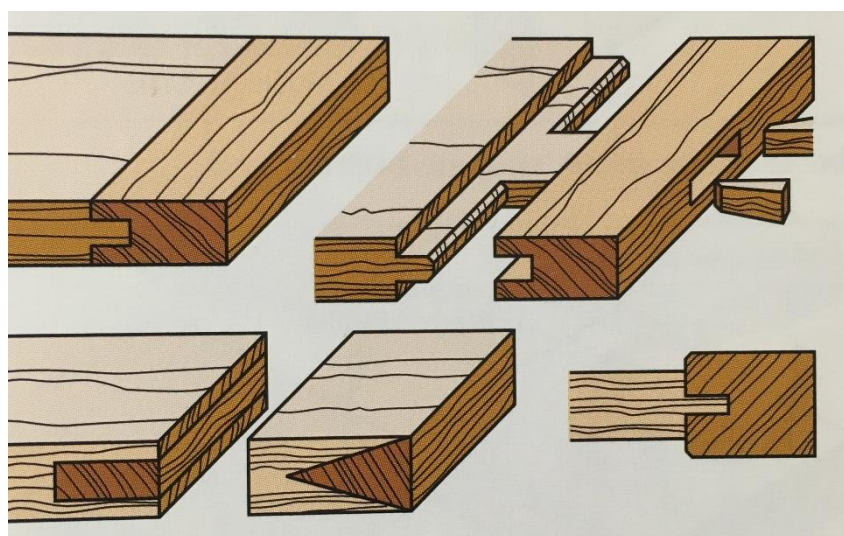
Obrázek 6. Jednostranný svlak, zdroj: [4]



Obrázek 5. Oboustranný svlak, zdroj: [4]

### 3.2.7 Okrajnice

Zabraňují zborcení malých ploch masivního dřeva. Je to lišta z masivního dřeva přilepená na čele, kolmo k vláknům spárovky. Okrajnice umožňují měnit šířku desky, vlivem sesychání a bobtnání. V prostřední části může být pero zvětšeno do čepu, nebo můžeme použít spoj na dřevěné kolíky. Materiál pro výrobu okrajnice je nejčastěji tvrdé masivní dřevo a připevňuje se pomocí pera a drážky. Okrajnice se nejčastěji používá u valů, kuchyňských desek, apod. [4,15,16].



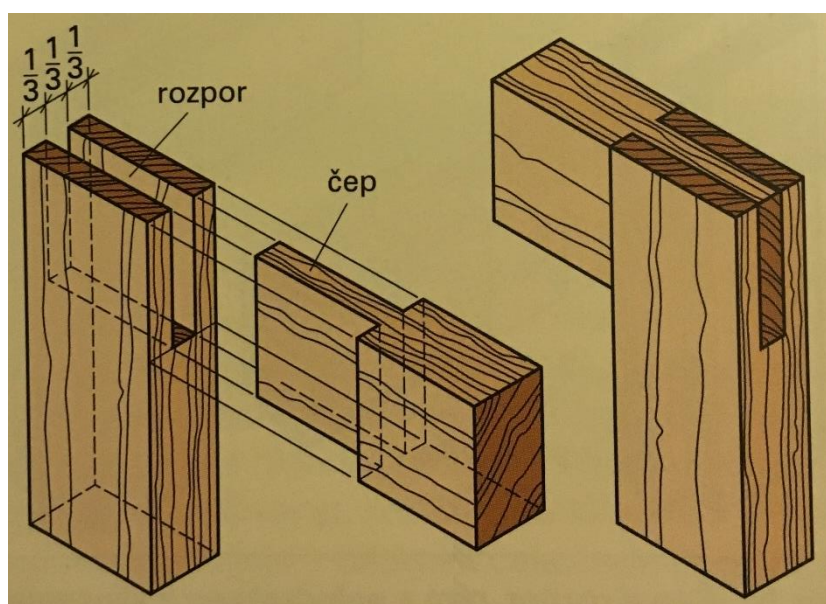
Obrázek 7. Okrajnice, zdroj: [4]

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

Čepové spoje se používají zpravidla u spojení rámu např. křídlo dveří nebo okna apod. Rámy jsou zpravidla nosné a výztužné konstrukční prvky.

#### Čep a rozpor

Používá se pro výrobu oken, rámu a nábytku. Tloušťka čepu je  $\frac{1}{3}$  nebo  $\frac{1}{5}$  u dvojitého čepu a rozporu. Svislé vlysy opatřujeme rozporu a vodorovné čepy. Pokud se bude vkládat výplň, mají přířezy na vnitřní straně většinou polodrážku.

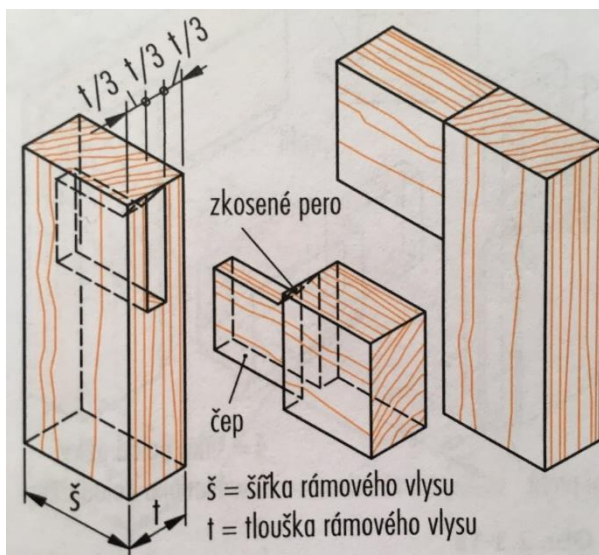


Obrázek 8. Spoj na čep a rozpor, zdroj: [4]

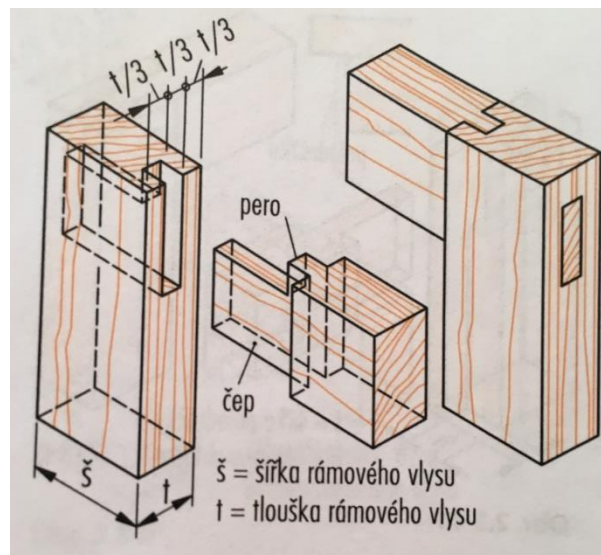
#### Spojení na čep a dlab

Rozeznáváme způsob průchozí a neprůchozí. Průběžný dlab rýsujeme z obou stran, neprůběžný ze strany nasazení čepu. U neprůběžného dlabu je důležité přesné dodržení hloubky dlabu, abychom neprosekli nebo nevydlabali protější plochu. Spoj se často využívá u širších vlysech, trnoží, lubů nebo u připojení středových příčných nebo vodorovných vlysech na podélné. Spoj může být doplněn i o další konstrukční prvky např. čep dlab s perem, který je nejvíce využíván u spodních a horních vlysech při výrobě dveří. [4,8,12,15,16].





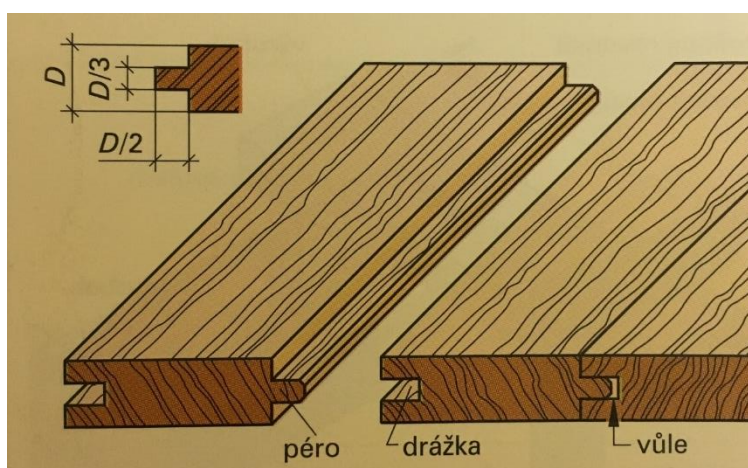
Obrázek 10. Čep a dlab (neprůchozí), zdroj: [8]



Obrázek 9. Čep dlab s perem (průchozí), zdroj: [8]

### 3.2.9 Vlastní pero

Na jedné hraně přířezu se vyfrézuje pero a na druhé drážka. Při sesazování se pero jedné části vkládá do drážky druhé části. Hloubka drážky se volí o 1 mm větší než je šířka pera. Spoj se používá hlavně při výrobě palubek nebo se takto nechají spojovat spárovky. Rozměry se stanovují tak, že šířka drážky pro pero je třetina tloušťky přířezu, hloubka pak polovině tloušťky [12].



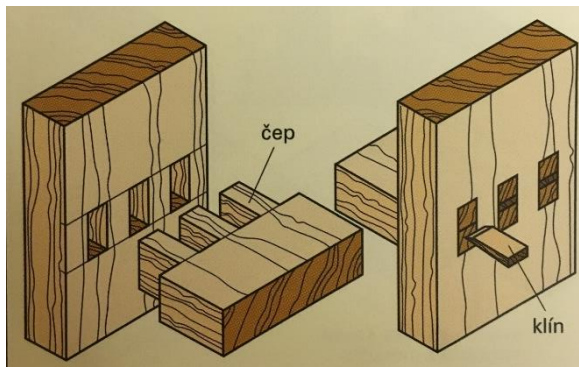
Obrázek 11. Spoj na pero a drážku, zdroj: [4]

### 3.2.10 Ozubový spoj

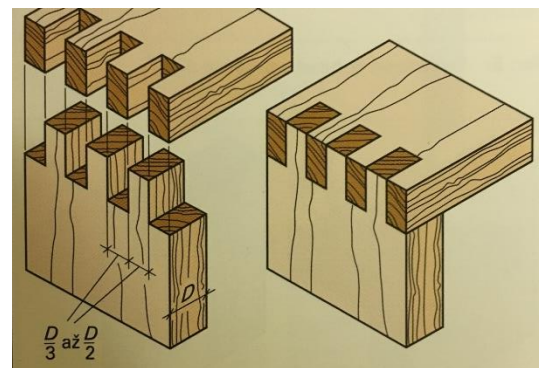
Ozubový spoj patří mezi jeden z nejstarší truhlářských spojů. Tímto spojem se spojují pouze desky z masivního dřeva. Využíváme je především u spojení korpusů skříní, zásuvek, bedny apod. Tento konstrukční spoj je více násobný spojení pomocí klínovitých nebo rovných čepů, které nazýváme ozuby. Největší výhodou spoje je, že spojené díly mohou sesychat a bobtnat, ale nedochází k velkému borcení. Precizně vyrobené ozuby mohou být zároveň ozdobné, proto musíme ozuby dobře rozvrhnout. Nejpoužívanější ozubové spoje jsou: otevřený, polokrytý ozubový spoj a spoj na sdružené čepy [4,12,15,16].

#### Spojení na sdružené čepy

Tento rohový spoj je charakterizován tím, že probíhají všechny řezy vzájemně rovnoběžně. Proto se spoj při montování sám od sebe nezatáhne (není samosvorný). Musí být slepen pomocí svěrek na korpusy nebo v podobném zařízení. Díky tomu, že jsou plochy ze všech stran rovnoběžné, můžeme sdružené čepy vyřezat na čepovacích nebo speciálních frézovacích strojích.



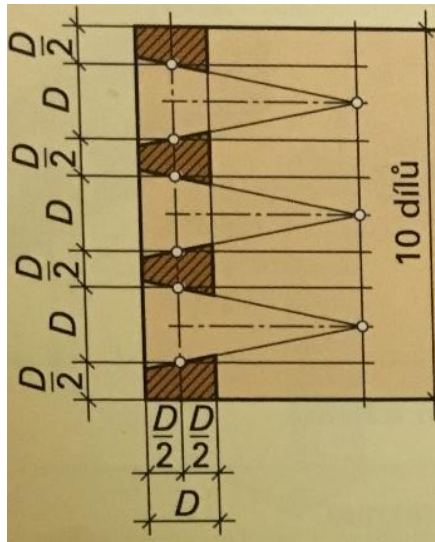
Obrázek 12. Sdružené čepy (středové), zdroj: [4]



Obrázek 13. Sdružené čepy (rohové), zdroj: [4]

#### Vykreslení ozubů

Nejprve narýsujeme rejskem podle čelní plochy z obou stran délku rozporů i čepů. Délka se rovná tloušťce desky. Na svislých deskách rýsujeme rozpory. Kolmici u přímých ozubů narýsujeme podle úhelníku přiloženému k čelu desky. Na čele nejprve nakreslíme střednici a pomocné čáry ve vzdálenosti 1/4 tloušťky dřeva od hran. Zbylou část rozdělíme na tolik stejných dílů, aby každý díl byl široký 1,5 až 2 tloušťky dřeva. Pak na střednici vyneseme na každou stranu od osy ozubu 1/4 tloušťky dřeva. Nakonec pomocí trojúhelníkové šablony, jejíž ramena svírají 20°, narýsujeme obrysy ozubů. Z praxe se trojúhelníková šablona dělá v poměru 1:3.39



Obrázek 14. Rozkreslení ozubů, zdroj: [4]

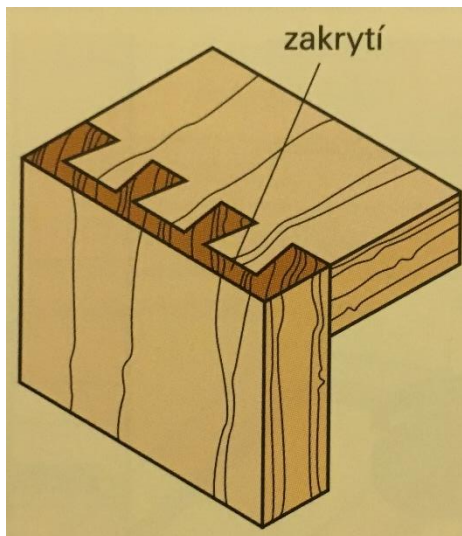
### Otevřené ozuby

U otevřeného spoje na ozuby jsou ozuby a rybiny viditelné z obou stran spoje. Na jaké díly je třeba ozuby nebo rybiny vyřezat, závisí na pozdějším namáhání nábytkového dílce a na možnosti montáže. Klínovitý tvar ozubů je samosvorný, proto se nemusí při lepení lisovat. Stejnou šířku mají ozuby a rybiny, proto volíme jejich součet v lichém provedení.

Po vyznačení ozubů se tyto ozuby naříznou pilkou tak, aby se zachovaly rysy čepů. Poté následuje vydlabání meziprostorů pro rybiny. Pak se dlabe až do poloviny ozubů. Poté se díly obrátí a dodlabou z druhé strany. K načrtnutí rybin se na dílec, na kterém budou rybiny, položí dílce s hotovými ozuby tak, aby ležel čelními hranami přesně na sobě. Špičákem nebo ostře ořezanou tužkou se pečlivě vyznačí rybiny a přenesou potom náčrty s úhelníkem na čelní plochu dílce. Po vydlabání meziprostorů pro ozuby je potřeba vnitřní strany dílů očistit a obrousit. Po nanesení lepidla na ozuby a rybiny se díly za použití příložek z tvrdého dřeva kladivem sesadí a kolmo vyrovnají. [4,8,12,15,16].

### Spojení na polokryté ozuby

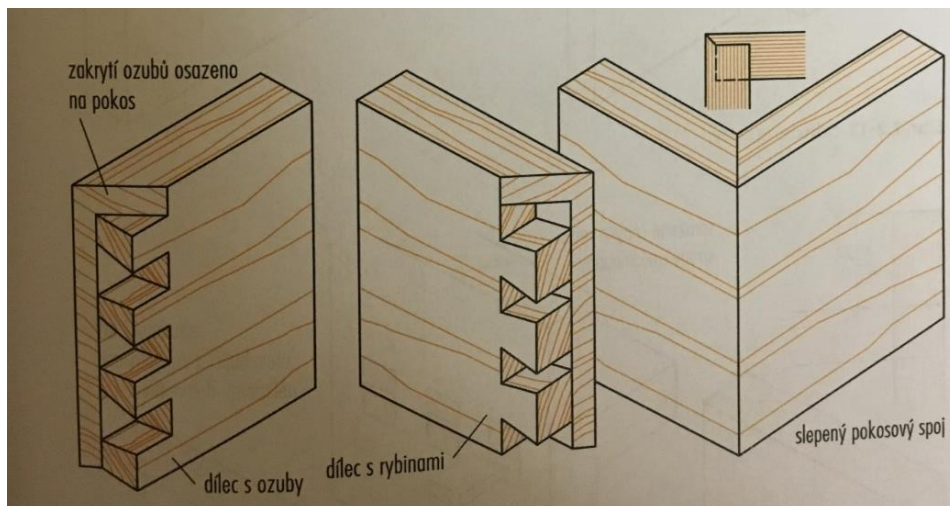
Pokud potřebujeme, aby spoj na ozuby nebyl z jedné strany vidět, tak přichází na řadu polokryté ozuby. Uplatňuje se u předních částí zásuvek, kde chceme dosáhnout neviditelnosti spoje [4].



Obrázek 15. Spoj na polokryté ozuby, zdroj: [4]

### Spojení na celokryté ozuby

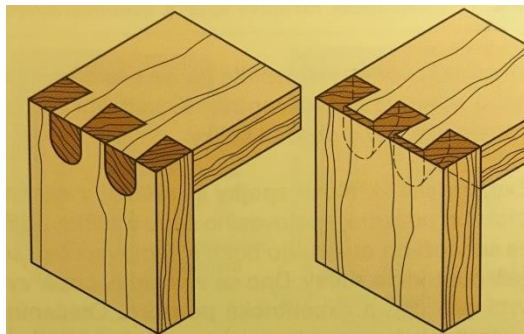
Celokryté ozubové spoje jsou ze všech stran skryté. Přitom kryt ozubů a rybin je spojen na úhel 45°. Toto spojení se v dnešní době používá jen málo [4].



Obrázek 16. Spoj na celokryté ozuby, zdroj: [8]

## Strojové ozuby

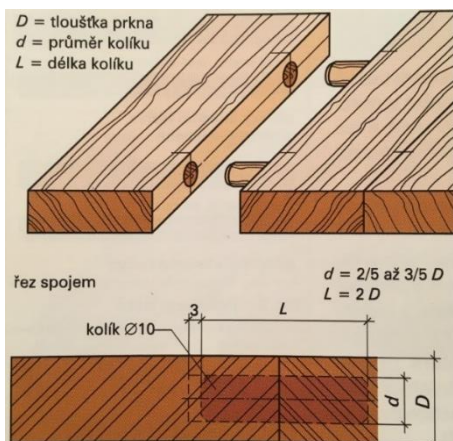
Při strojové výrobě ozubových spojů používáme nejčastěji ozubové frézky, na kterých se rybiny a ozuby zhotovují zároveň v jedné operaci. Z důvodu zaobleného tvaru frézy získají ozuby zaoblené dno. Na frézkách lze vyrábět otevřené a polokryté ozuby [4].



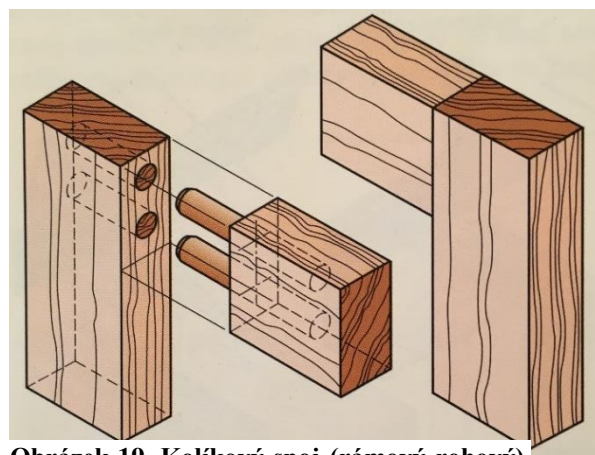
Obrázek 17. Strojově vyráběné ozuby, zdroj: [4]

### 3.2.11 Kolíkový spoj

Kolíkové spoje patří k nejčastějším způsobům spojení nábytku pro svou jednoduchost, malou pracnost a velkou pevnost. Dalším důvodem je nezeslabení spojovaného materiálu. Obzvláště pak u materiálu DTD. Kolíky se vyrábí z tvrdých dřevin (hlavně z buku), mohou být i z plastu. Povrch kolíku je hladký, nebo častěji rýhovaný. Rýhy na kolíku mohou být buďto podélné nebo spirálové. Kolíky s rýhami umožňují únik vzduchu při zatloukání kolíků do otvoru. Další výhodou je snadnější vytlačení lepidla z otvoru při velkém množství v rýhách vzhůru do celé plochy kolíku. Do vyvrtaného otvoru se nanáší lepidlo a následně se zatloukají kolíky paličkou. Používá se pro spojení masivních desek, aglomerových materiálů a rámových konstrukcí [4,8,13,14,15,16].



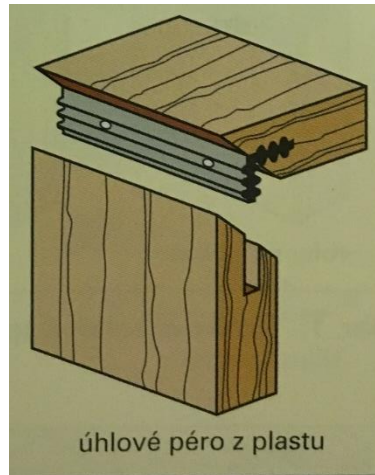
Obrázek 18. Kolíkový spoj (plošný), zdroj: [4]



Obrázek 19. Kolíkový spoj (rámový-rohový), zdroj: [4]

### 3.2.12 Vložená pera

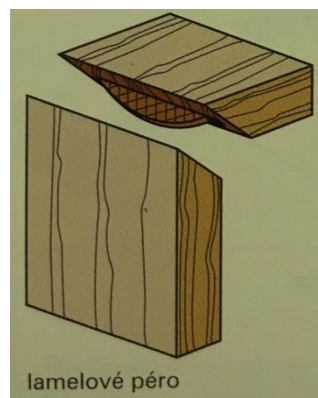
Vložená pera se používají v nábytkářství méně než kolíky. Používají se hlavně pro plošné spoje. Pera se vyrábějí často z překližky, ale mohou být z dřevovláknité desky, masivu, nebo plastové. Pero se vkládá do vyfrézované drážky. Vysoká náročnost na přesnost je spojení pomocí pera v rohových spojkách často nahrazeno lamelami. Častěji se tento způsob spoje používá jako rozšiřovací spoj [4,8,13,15,16].



Obrázek 20. Spojování vloženými péry, zdroj: [4]

### 3.2.13 Lamela

Jedná se o pero ve tvaru čocky s obchodním názvem „Lamello“. V současné době nahrazují ve velké míře kolíkové spoje. Otvory se frézují delší než je lamela, proto lze při montáži lamelu v drážce posunout a tím dílce přesněji osadit. Kolíkové spoje jsou však pevnější. Nejčastěji se lamely vyrábějí z dřevních vláken, které jsou orientovány k podélné ose pod úhlem 45° ve směru úhlopříčky. Proti zlomení ve spoji tak odolávají vysoké pevnosti při manipulaci výrobku. Materiál na výrobu lamel může být tvrdá dřevovláknitá deska, překližka, nebo i masivní dřevo. [4,14,15,16].



Obrázek 21. Spoj na lamelu, zdroj: [4]

### 3.2.14 Hoffmanovo pero

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



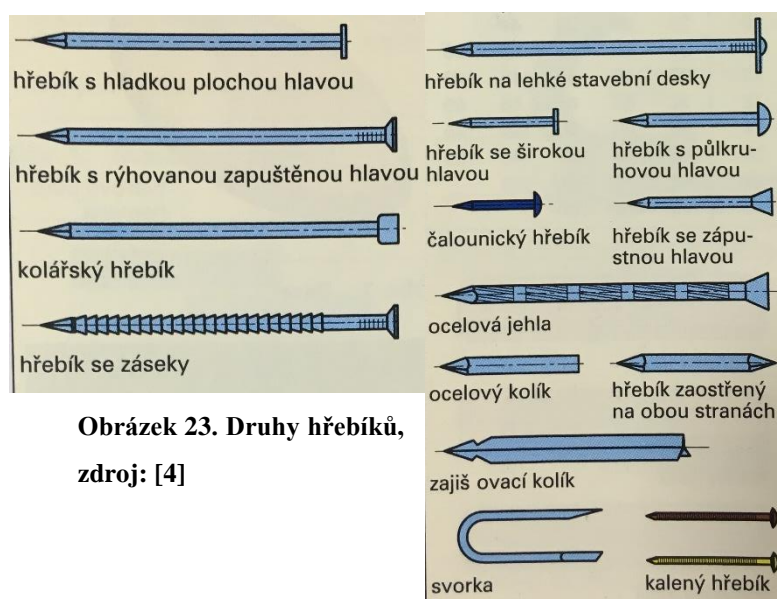
Obrázek 22. Hoffmanova spojka, zdroj [15]

### 3.3 Nelepené spoje (rozebíratelné spoje)

Aby se velké části nábytku, jako jsou třeba skříně apod., mohly účelně balit, transportovat a montovat, jsou jednotlivé dílce spojovány rozebíratelně. K tomu je k dispozici celá řada demontovatelného spojovacího kování, které samostatně nebo v kombinaci s kolíky drží pohromadě části korpusů bez lepidla, mechanicky [13].

### 3.3.1 Hřebíky

Hřebíky jsou jeden z nejstarších způsobů spojení. Prvotně byl dřevěný, poté ho nahradil měděný. Dnes se vyrábí z oceli nebo lesklých kovových materiálů. Hřebíky můžeme dělit podle délky, průměru a hlavy. Skládají se z hlavy, dřívku a hrotu. Pro spojení konstrukčních desek používáme hřebík se zapuštěnou hlavou. Jedná se o rychlý a snadný způsob zhotovení spoje. Namísto zatlukání hřebíků v pravém úhlu ke spojovanému materiálu, jsou hřebíky zatlukány šikmo proti sobě (kolmo na vlákna pod úhlem 45-60 °). Tím se vytvářejí dostatečně pevná spojení. Tvrdé nebo suché dřevo se spojuje snáz než vlhké a měkké. Hřebíkům lze lehce ztupit hrot, a to z důvodu zabránění rozštípnutí desek na úkor přídržnosti ve dřevě [12,18].



Obrázek 23. Druhy hřebíků,  
zdroj: [4]

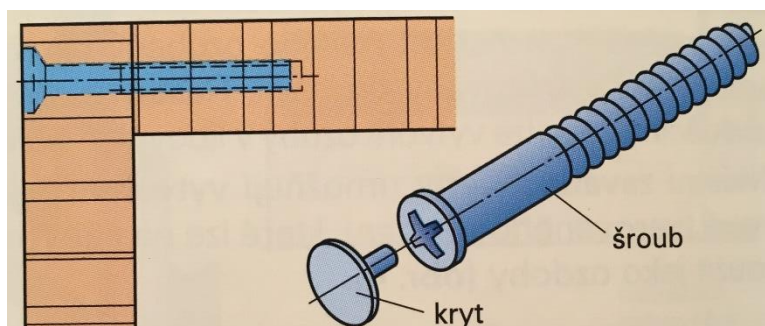
### 3.3.2 Šrouby

Používají se samostatně nebo častěji v kombinaci s kolíky. V truhlářské výrobě se používají pro rozebíratelné spoje. Šrouby mají hlavu, válcový dřív se závitem a obvykle k nim patří druhý díl (matice). Používá se nejvíce při spojování aglomerovaných materiálů.

Pro truhlářskou výrobu se nabízí mnoho variant spojovacích demontovatelných prvků, avšak nejběžněji se využívá:



- a) **Jednodílné spojovací šrouby** - nazývané jako confirmáty, jsou to šrouby pro spojování korpusových dílců. Nejčastěji se používají confirmáty s dřevěnými kolíky na sucho. Otvory se vrtají pomocí speciálních stupňovitých vrtáků. Hlavu šroubu můžeme zakrýt krytkou.



Obrázek 24. Spoj na confirmát, zdroj: [4]

- b) **Šrouby s válcovou maticí** používají se na spojování nohy a lubů stolu, spojování podnoží ale také na spojování boků u postele. Matice má z vnější strany hladký povrch. Rozlišujeme dva druhy matic:

- Matice příčná (kolmá na osu šroubu)
- Matice podélná (s osou ve směru osy šroubu)

obr

- c) **Spojovací šrouby dvoudílné** - nejčastěji se používají na spojení jednotlivých korpusů k sobě např. spojení jednotlivých skříněk u kuchyně nebo u skříňové stěny. Šroub má dvě části, kde jedna má závit vnitřní a druhá vnější [4,812,13,14].



Obrázek 25. Dvoudílné šrouby, zdroj: [24]

- d) **Kombinované vruty a šrouby** - jsou opatřeny z jedné strany závitem do dřeva a na druhém konci metrickým závitem. Používá se pro spojování noh menších stolků se stolovou deskou apod. [15,16].
- e) **Spojovací šroub pro pracovní desky** - se využívají na spojení pracovních desek. Šroub se skládá ze samotného šroubu, matice a vytvarované podložky.



Obrázek 26. Šroub pro spojení pracovní desky, zdroj: [22]

### 3.3.3 Spojení vruty

Spojení na vruty se hlavně používá k připevňování kování, ale mohou se využít i na spojování korpusů nebo zajišťování některých z výše uvedených spojů. Vruty se skládají z hlavy a dříku se závitem zakončeným vrutem. Hlavy mají zápustný, půlkulatý nebo čokovitý tvar. Zářez v hlavě je pro šroubovák rovný, křížový, šestihranný nebo s vnitřní hvězdou torx. Dělíme je podle délky, průměru a hlavy. Vruty se vyrábějí z oceli a mosazi s kovovou lesklou povrchovou úpravou. Při použití se nejprve musí předvrtat otvor takový, aby vrut ve dřevě držel. Předvrtané otvory se preferují převážně u vrutů s větším průměrem nebo u tvrdého materiálu. Důležité při dotahování je, aby se vrut přetočili hrozilo by stržení závitu a došlo by ke ztrátě pevnosti spoje[4,12,14].



Obrázek 27. Vruty do dřeva, zdroj: [23]

### 3.3.4 Excentrické spojení

Excentry nám umožňují spojovat jednotlivé dílce korpusu skříní. Můžeme s nimi spojovat do pravého nebo i jiného úhlu. Excentry jsou rozebíratelný spoj. Skládají se

z excentrického pouzdra a spojovacího čepu se závitem. Nejčastěji se tento spoj používá v kombinaci s kolíky (bez lepidla), kde vzniká pevný spoj, který se může kdykoliv složit nebo rozložit. Před tím, než spojíme jednotlivé dílce k sobě, je třeba provést předmotáž kování (zašroubování čepu do připraveného otvoru). Spojením dílců prostrčíme čep do excentrického pouzdra a následným pootočením excentru se přitáhne čep a dojde k zamknutí [3,4,15,16].

### 3.3.5 Spony

Spony jsou z ocelového drátu o průměru 1-1,21 mm. Dělíme je na úzké, základní, široké (5-20 mm), dále je dělíme podle délek (14-52 mm). Sponky se používají k připevňování zadních stran nábytku, k rohovému spojení malých rámečků, čalounického a textilního materiálu k dřevěným podnožím apod. Nastřelovány jsou pomocí ruční nebo pneumatické sponkovačky [4,12].

### 3.3.6 Ocelové úhelníky a destičky

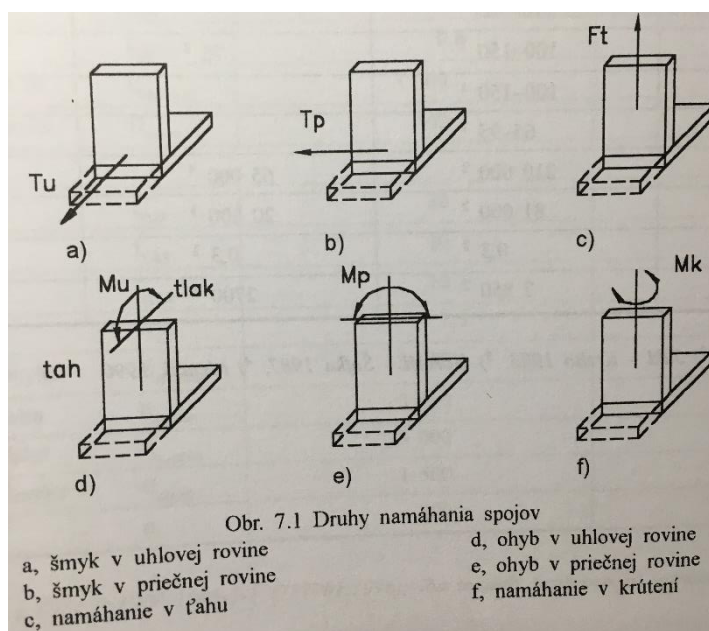
Ocelové úhelníky a destičky se připevňují pomocí šroubů nebo vrutu. Ocelové úhelníky a destičky odolávají vůči korozi, protože povrch mají pozinkovaný. Ocelové destičky nám slouží ke spojování plošných dílců, ale úhelníkový spoj používáme při spojování konstrukce do pravého úhlu[15,16].



Obrázek 28. Ocelový úhelník, zdroj: [25]

### 3.4 Pevnostní vlastnosti spojů

Velké množství konstrukčních prvků se moc neliší od těch používaných v historii, které se předávaly po generace. Kvalitních výpočtových metod se v historii moc neprovádělo a důvodem dalšího výzkumu je zdokonalování konstrukčních prvků. Jak jsem již zmínil spoje nábytku jsou ta nejkritičtější místa, protože k závadám nábytku dochází ve velké míře v konstrukčních spojkách nábytku. Častou chybou je navržení spoje s nízkou účinností nebo podíl únosnosti dílce. Únosnost dílců a spojů by měla být v rozsahu od 10 do 30 %. U konstrukčních spojů nábytku rozlišujeme tři typy sil a tři typy momentových sil [5,17].



Obrázek 29. Druhy namáhání spojů, zdroj: [5]

Nejlepší ukazatel pro pevnostní vlastnosti konstrukčního spoje je deformačním diagram (vztah síly a posunutí) [5].

## 4 Metodika

Metodika této práce lze rozdělit na jednotlivé části:

1. Příprava zkušebních vzorků
2. Experimentální měření vzorků
3. Zpracování a vyhodnocení dat

### 4.1 Příprava zkušebních vzorků

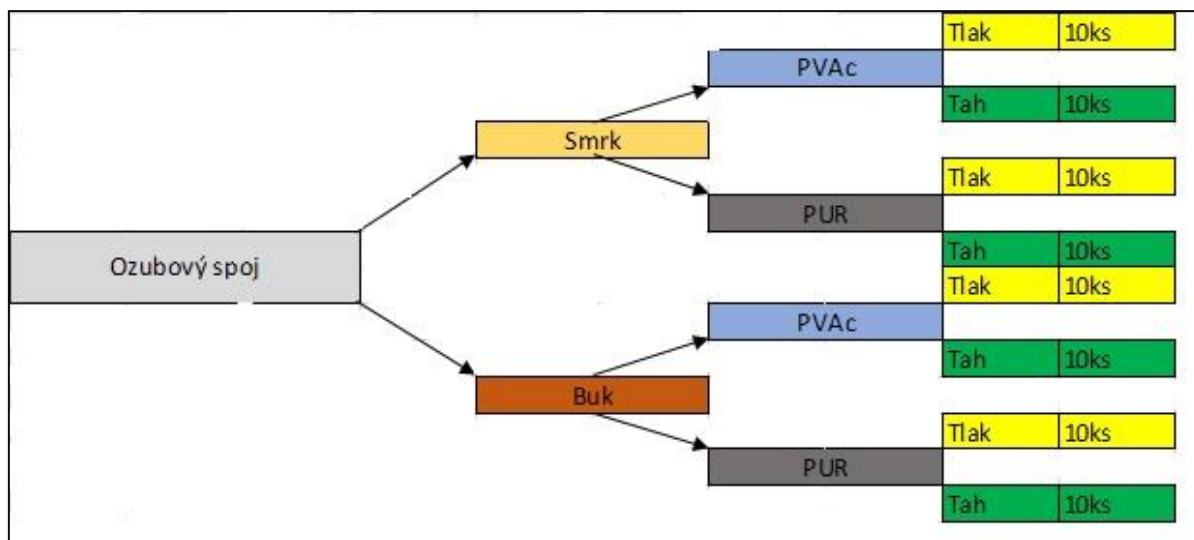
Na výzkum konstrukčního spoje, byli vyrobeny vzorky ze smrku a buku. Vzorky byly vysušena na vlhkost  $W = 10\%$ . Vzorky byla slepena pomocí lepidel PVAc a PUR. Po řádném slepení a dodržení doby na vytvrzení lepidla, byly vzorky podrobeny měření v jednotlivých zkouškách.



Obrázek 30. Příprava vzorků na zalepení, zdroj: vlastní

#### Počet vzorků

Celkem bylo připraveno 80 vzorků, z toho bylo 40 vzorků smrku a 40 vzorků buku. Od každé dřeviny bylo rozděleno 20 vzorků na tlak a 20 vzorků na tah, kde se z každého souboru 20 vzorků zalepí 10 PUR lepidlem a 10 PVAc lepidlem. Detail souborů je podrobně zobrazen v následujícím schématu.



Obrázek 31. Schéma rozdělení zkušebních vzorků, zdroj: vlastní

#### 4.1.1 Technologický postup při výrobě vzorků

##### Postup

1. Zakrácení smrkových a bukových fošen o tloušťce 50 mm (pro snazší manipulaci a opracování)
2. Omítnutí a rozřezání na rozmítací pile na jednotlivé přířezy
3. Srovnání hrany a plochy přířezů na srovnávací frézce do pravého úhlu, které si označíme
4. Pomocí tloušťkovací frézky orovnáme protější hranu a plochu tak, aby hrany nám svíraly pravý úhel a protilehlé plochy byly na sebe rovnoběžné
5. Rozmítání (na tloušťku) na půl na rozmítací pile, aby nám vznikly dva přířezy o tloušťce 21 mm
6. Jednotlivé dílce tloušťkově egalizujeme na širokopásové brusce na tloušťku 20 mm.
7. Nakonec se přířezy zařezou na délku na formátovací pile a vznikne nám dílec o rozměru 215 x 60 x 20 mm
8. Na jednotlivých dílcích se podle šablony zhotoví čepy a rozpory ozubového spoje
9. V neposlední řadě se na stojanové vrtačce vyvrtají otvory o průměru 10 mm na uchycení do zkušebního stroje



Obrázek 32. Detail spoje vzorku, zdroj: vlastní

#### 4.1.2 Lepení vzorků

Na lepení jsem použil dva typy lepidla. Dvacet vzorků buku a dvacet vzorků smrku byly lepeny pomocí PVAc lepidla a zbylé vzorky byly lepeny PUR lepidlem. Lepení probíhalo v rukodílně České zemědělské univerzity v Praze v dřevařském pavilonu. Během lepení bylo zapotřebí dbát na to, aby bylo lepidlo nanášeno v dostatečné míře a zda bylo řádně rozetřeno po celém konstrukčním spoji. Pozor jsme si museli dávat i na zalepení vzorku do pravého úhlu.

Použitá lepidla:

Lepidla jsou od firmy AGGLU

- PVAc: Ag-Coll D3 8761/L
- PUR: Neopur 2238 R



Obrázek 34. PUR lepidlo, zdroj: vlastní



Obrázek 33. PVAc lepidlo, zdroj: vlastní

### 4.1.3 Klimatizace vzorků

Vzorky spojů byly klimatizovány do ustálení rovnovážné vlhkosti v prostředí klimatizační komory CLIMACELL 707 (BMT Medical Technology s.r.o., Brno, ČR) s relativní vlhkostí vzduchu ( $50 \pm 5$ ) % a teplotou ( $20 \pm 2$ ) °C.

#### Určení vlhkosti

Dle normy ISO 13061-1 (2014) jsme provedli výpočet vlhkosti ve zkušebních vzorcích před i po testování vzorků.

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \quad (1)$$

Kde:

$W$  – vlhkost tělesa [%]

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

$m_0$  – hmotnost tělesa po vysušení [g]

### 4.1.4 Stanovení hustoty dřeva

Hustota vzorků byla stanovena dle normy ISO 13061-2 (2014)

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

Kde:

$\rho_w$  – hustota tělesa při vlhkosti  $W$  [ $\text{g} \times \text{cm}^{-3}$ ]

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

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

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

## 4.2 Experimentální měření

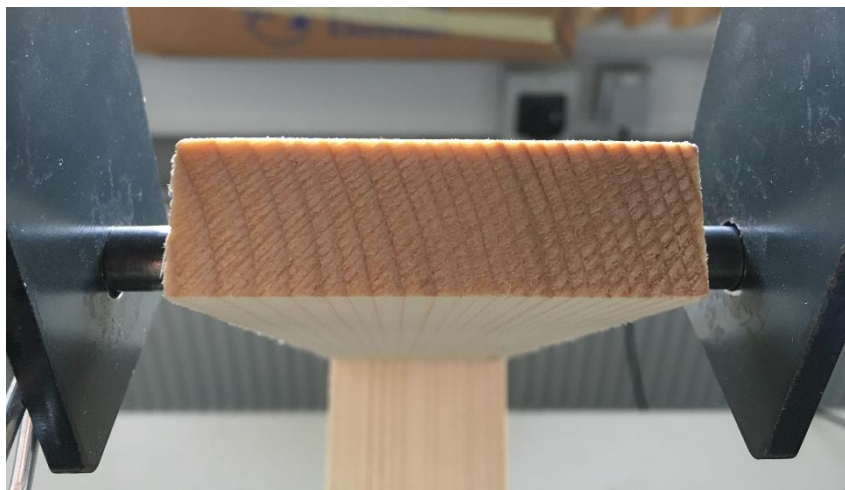
Zkoumání a měření zkušebních vzorků probíhalo v dřevařském pavilonu v laboratoři na ČZU v Praze.



#### 4.2.1 Značení vzorků

Jednotlivé vzorky při slepování, byli označeny podle druhu dřeviny, druhu použitého lepidla, dále byly vzorky očíslované od 1-20 u smrku a 1-20 u buku. Kdy vzorky 1-10 u smrku i buku byli testovány na tah. Vzorky 11-20 u smrku a buku byli testovány na tlak. Podle směru letokruhů byly napsány dvě značky (90, 45, M) např. M-90, která nám udávala úhel natočení letokruhů na jednotlivých dílech spoje. První značka v pořadí udávala úhel letokruhů na čepu a druhá na rozporu.

- 90 – letokruhy svírají 90° ke hraně vzorku
- 45 – letokruhy svírají 45° ke hraně vzorku
- M – letokruhy svírají úhel mezi 45° a 90°



Obrázek 35. Ukázka letokruhů 90°, zdroj: vlastní

#### 4.2.2 Postup při měření

- Na začátku měření jsme si zapnuli stroj a počítač který, jsou vzájemně propojeny a museli jsme nastavit program tak, aby byl stroj připraven k měření.
- Dále jsme vzorek zafixovali ve zkušební stroji pomocí svorníků o průměru 10 mm, které se museli pro jejich stabilitu zajistit kovovou závlačkou proti uvolnění.
- Po zajištění čepu jsme každý vzorek museli vycentrovat, aby nedošlo ke křížení a nerovnoměrnému rozložení sil působící na vzorek.
- Vzorek byl následně vystaven tahu nebo tlaku.
- Doba trvání zátěžové zkoušky byla průměrně tak 2 minuty.

- Po ukončení zkoušky byl každý vzorek zvážen, kvůli výpočtu hustoty a hodnota byla zanesena do tabulky.

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	Ozn.3	Ozn.4	Ozn.5	FH [N]	dLH [mm]	Fx_1 [N]	Fx_2 [N]	Sx1 [mm]	Sx2 [mm]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:16											
2	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:27	SM	TI									
3	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:33			PUR		201,52	256	7,39	26,20	103,05	0,32	2,22
4	<input type="checkbox"/>	05.04.19	10:36				M-M	214,69	361	5,93	36,15	144,60	0,35	1,99
5	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:38				M-90	200,60	358	7,66	35,85	143,50	0,94	2,86
6	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:41				M-90	196,64	52	0,78	10,25	20,80	0,00	0,28
7	<input checked="" type="checkbox"/>	05.04.19	10:45				M-0	190,18	365	6,89	36,70	146,05	1,54	3,12
8	<input type="checkbox"/>						M-0	185,63	311	6,05	31,30	124,40	0,85	2,13
9	<input type="checkbox"/>								321	6,37	32,15	129,20	0,49	2,15
10	<input type="checkbox"/>													
11	<input type="checkbox"/>													

Obrázek 36. Tabulka v softwaru Tira, zdroj: vlastní



Obrázek 37. Upnutí vzorku do stroje, zdroj: vlastní

### 4.2.3 Zařízení použita při měření

#### Digitální váha PCB

Pro vážení vzorků byla použita váha PCB–2500-2. Váha má možnost přesnou regulaci nastavení nožiček pro přesné vycentrování nulové hmotnosti. Nosnost váhy je maximálně 2500 g a minimální hmotnost jednoho kusu je 0,02 g s přesností na 0,01g.



Obrázek 38. Digitální váha PCB, zdroj: [26]

#### Trhací stroj UTS 50

Zkoušení probíhalo ve školní laboratoři, kde se nachází stroj UTS 50. Tento stroj byl použit pro zkoušení všech smrkových a bukových vzorků spojené na konstrukční spoj ozuby. Univerzální elektromechanický zkušební stroj UTS Testsysteme, který se používá pro měření mechanických vlastností dřeva a materiálu na bázi dřeva, má rozsah 50 kN a je kompletně řízený přes počítač. Výsledky zpracovává software TIRA, který nám také umožňuje regulaci rychlosti, síly zátěže a rychlosti posuvu hlavic (mm/min).

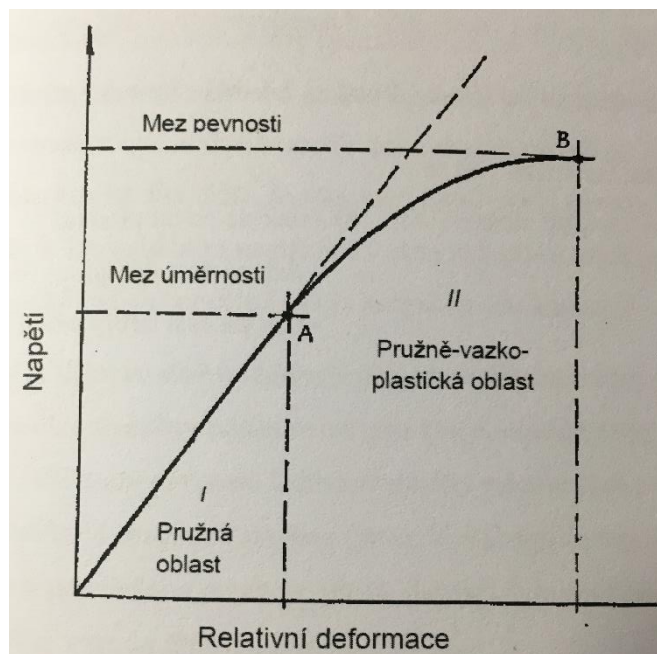
#### Tira software

Trhací stroj je ovládaný pomocí softwaru Tira od společnosti TIRA. Pomocí softwaru můžeme nastavit typy zátěžových zkoušek, rychlost a velikost trhání, možnosti výstupu z testovací zátěže apod. V levé části obrazovky se nám po každém vzorku objeví graficky znázorněná deformace se zatížením. Graf jsme dále uložili jako obrázek ve formátu JPEG. Na pravé straně obrazovky se nám zobrazovaly číselné hodnoty deformací, které byly postupně vkládány do programu Microsoft Excel.

OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	Ozn.3	Ozn.4	Ozn.5	FH	dLH	F <sub>x,1</sub>	F <sub>x,2</sub>	S <sub>x1</sub>	S <sub>x2</sub>
1	05.04.19	10:16	SM	TI	PUR	M-M	201,52	266	7,39	26,20	103,95	0,32	2,22
2	05.04.19	10:27				M-90	214,89	361	5,93	36,15	144,60	0,35	1,99
3	05.04.19	10:33				M-90	200,60	358	7,66	35,85	143,50	0,94	2,86
4	05.04.19	10:36						52	0,78	10,25	20,60	0,60	0,26
5	05.04.19	10:38				M-90	196,64	385	6,89	36,70	146,05	1,54	3,12
6	05.04.19	10:41				M-0	190,18	311	6,05	31,30	124,40	0,85	2,13
7	05.04.19	10:45				M-0	185,63	321	6,37	32,15	129,20	0,49	2,15
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													

Obrázek 39. Pravá obrazovka softwaru, zdroj: vlastní

Nejlépe zřetelné jsou pevnostní vlastnosti z pracovního diagramu daného spoje. Průběh pracovního diagramu vycházel z Hookova zákona. Hookův zákon lze vyjádřit následovně: „Každá složka napětí je přímo úměrná každé složce deformace.“ [10].



Obrázek 40. Pracovní diagram, zdroj: [10]

## Microsoft excel

Excel program, který pracuje s daty a zpracovává je matematicky a statisticky. Je to tabulkový procesor od firmy Microsoft. Software umožňuje vytváření různých grafů a je dobrým pomocníkem pro pracovníky kteří pracují s čísly. Do programu Excel byla postupně zkopírována všechna data ze softwaru TIRA.

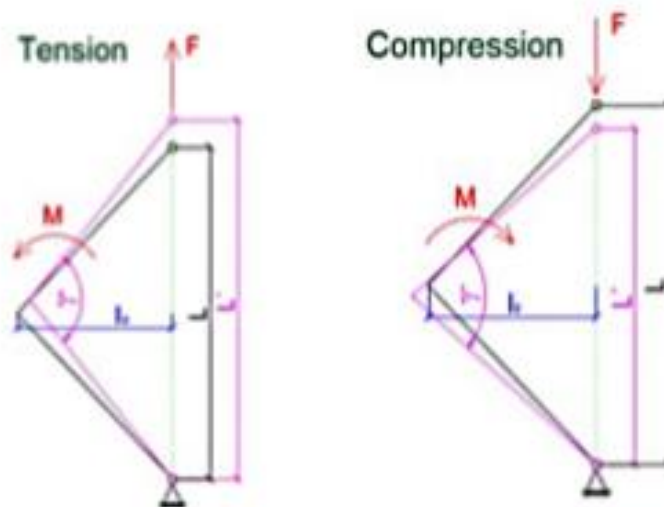
### 4.2.4 Výpočty a charakteristika

Po provedení zkoušky na tah/tlak jsme vždy každý vzorek zvážily a hodnotu jsme zanesli do softwaru. Hodnoty jsou důležité, abychom mohli stanovit přesnou hustotu jednotlivých vzorků.



Obrázek 41. Vážení vzorků, zdroj: vlastní

Schéma tahové a tlakové zkoušky najdeme na následujícím obrázku. Černě je vidět původní tvar měřeného vzorku a růžovou barvou je znázorněn deformovaný stav. Uchycení vzorků do zkušebního stroje, bylo provedeno pomocí ocelových čepů o průměru 10 mm, které byli zajištěny ocelovou závlačkou.



Obrázek 42. Schéma zkoušky tah/tlak, zdroj: [28]

F – síla	[N]
M – moment	[Nm]
$\gamma$ – úhel spoje po zatížení	[rad]
$l_0$ – rameno síly z původního tvaru	[m]
L – vzdálenost ramen	[m]
$L'$ – vzdálenost ramen po zatížení	[m]

Dle Jošáka (1999)17 uvádí výpočet úhlové deformace spoje  $\varphi$  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]

Vyjádření deformace na mez únosnosti ( $\varphi_{max}$ )

Představuje maximální úhlovou deformaci vzniklou 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]

$\varphi_{dmax}$  – maximální úhel po deformaci [rad]

Tvar obecného trojúhelníku a jeho úhel  $\varphi_d$ , po zatížení vzorku, lze vyjádřit z Kosinovy věty:

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

$$2bc \cos \alpha = b^2 + c^2 - a^2 \quad (6)$$

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2ab} \quad (7)$$

Po matematické úpravě:

$$\alpha = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2ab} \quad (8)$$

Po dosažení hodnot:

$$\varphi_d = \arccos \frac{r_1^2 + r_2^2 - (a-c)^2}{2r_1 r_2} \quad (9)$$

Rameno síly se vytýčí ze strany a obsahu obecného trojúhelníku

$$l_0 = \frac{2 \cdot S}{a} \quad (10)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \sin \varphi_p \quad (11)$$

Po matematické úpravě dostáváme tvar vzorce:

$$l_0 = \frac{r_1 r_2 \sin \varphi_p}{a} \quad (12)$$

Konstrukční spoje byly zkoumané v pevnostních vlastnostech v tuhosti a únosnosti, které se vypočítávaly podle následujících vzorečků.

Vzdálenost otvorů (velikost ramene) byla u všech vzorků 243 mm. Ohybový moment pro tento profil se vypočítal podle následujícího vzorce:

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

$$\Delta M = \Delta F * l_0 \quad (13)$$

Kde:

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

$\Delta F$  – změna síly [N]

$L_0$  – vzdálenost otvorů [m]

$\Delta F$  je odchylka dvou sil, které máme zaznamenané v pracovním diagramu, při hodnotách mezi 10-40 % z maximální pevnosti.

Únosnost spoje do meze pružnosti se vypočítávala pro pružnou oblast.

**Vzorec maximální únosnosti spoje ( $M$ ):**

$$M = F_{max} * x * L_0 \quad (14)$$

Kde:

$M$  – ohybový moment [N x m]

$F_{max}$  – maximální síla [N]

$L_0$  – vzdálenost otvorů [m]

Na základě únosnosti, zjistíme odolnost konstrukčního spoje proti aktivitě vnější síly. Ohybový moment se vyjadřuje jako maximální únosnost spoje.

**Elastická tuhost spoje ( $C_{elast}$ )**

$$C_{elast} = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} \quad (15)$$



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)

$$C = \frac{M_{max}}{\varphi_{max}} \quad (16)$$

Kde:

$c$ – elastická tuhost	[Nm / rad]
$M_{max}$ – maximální ohybový momentu	[N x m]
$\varphi_{max}$ – maximální úhlová deformace	[rad]

Tuhost je odolnost proti deformaci vyjádřena podílem vnější síly a deformační výchylky ve směru působené síly.

## 4.2.5 Statistické zpracování dat

### Střední hodnota

Ke zjištění střední hodnoty nám poslouží aritmetický průměr. Ze všech naměřených hodnot byl vypočítán průměr. Aritmetický průměr se počítá dle následujícího vzorce:35,36

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x \quad (17)$$

Kde:

$\bar{X}$  – aritmetický průměr souboru

$n$  – počet prvků v souboru

### Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka má pouze kladný hodnoty a má stejné měrné jednotky jako jsou čísla zkoumaná ve statistickém znaku.35,37

$$S_0 = \sqrt{S^2} \quad (18)$$

Kde:

$S_0$  – směrodatná odchylka

$S^2$  – rozptyl

### **Rozptyl**

Rozptyl nám ukazuje odchylky čtvercových hodnot, které jsou odlišné od průměru celého souboru. Nastane-li možnost, kde hodnoty nabývají podobných hodnot, variabilita sledovaných hodnot bude nulová. Se zvyšující variabilitou se zvětšuje podíl velikostí rozptýlených hodnot.<sup>35,37</sup>

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (19)$$

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. Je vhodná pro vzájemné porovnání dvou nebo více variabilit s velice odlišnou úrovní hodnot. Vzorec pro výpočet variačního koeficientu je, že směrodatnou odchylku vydělíme od střední hodnoty.<sup>35,37</sup>

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100[\%] \quad (20)$$

Kde:

$v$  – variační koeficient

$S$  – směrodatná odchylka

$\bar{x}$  – aritmetický průměr souboru

### **Minimum a maximum**

Minimum nám charakterizuje nejnižší hodnotu a maximum je opak, což je maximální dosažená hodnota v měřeném cyklu.

## 5 Výsledky

Do softwaru Excel jsme vložili naměřené výsledky, které jsme naměřili pomocí softwaru TIRA. Ke každému vzorku byli přiřazeny hodnoty sil a posunů, které byly znázorněny i graficky. Jednotlivé vzorky byly označeny druhem dřeviny, druhem použitého lepidla, typem zkoušky, orientací letokruhů a hmotností vzorku. Po dokončení všech měření byly naměřené hodnoty zpracovány v programu Statistica 12 a v softwaru Excel.

Rozhodující faktory, které ovlivnily tuhost spoje:

- směr letokruhů
- dřevina
- typ namáhání
- druh lepidla
- hustota vzorku

Tabulka 1. Základní statistické hodnoty hustoty a elastické tuhosti

druh dřeva	typ lepidla	typ namáhání	Hustota v g/cm <sup>3</sup>			Elastická tuhost Nm/rad		
			průměr	sm. odchylka	variační koeficient	průměr	sm. odchylka	variační koeficient
SM	PVAc	Tl	0,379	0,015	3,9	800	168	20,9
SM	PVAc	Ta	0,396	0,013	3,3	800	316	39,5
SM	PUR	Tl	0,389	0,017	4,5	909	230	25,3
SM	PUR	Ta	0,395	0,019	4,9	997	292	29,2
BK	PVAc	Tl	0,706	0,020	2,8	1880	274	14,6
BK	PVAc	Ta	0,742	0,018	2,4	1322	419	31,7
BK	PUR	Tl	0,702	0,018	2,6	1324	471	35,5
BK	PUR	Ta	0,743	0,018	2,5	969	285	29,4

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

**Tabulka 2. Statistické vyhodnocení faktorů ovlivňující elastickou tuhost**

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F - Test	Hladina významnosti P
Úsek	101293029	1	101293029	890,3634	0,000000
Dřevina	4945087	1	4945087	43,4672	0,000000
Lepidla	453192	1	453192	3,9835	0,049730
Namáhání	851775	1	851775	7,4871	0,007821
Dřevina - lepidlo - namáhání	16702	1	16702	0,1468	0,702730
Chyba	8191147	72	113766		

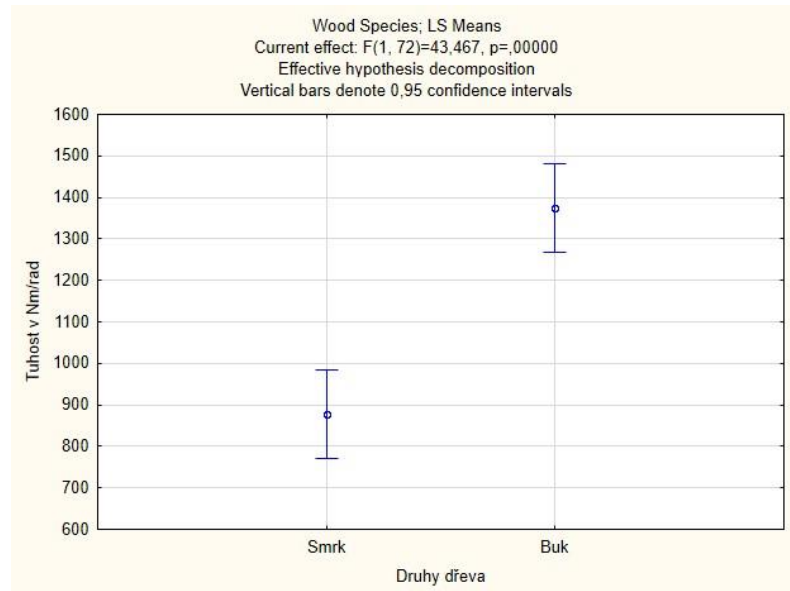
## 5.1 Statisticky zpracované výsledky v programu statistika 12

Statistické vyhodnocení naměřených hodnot byla použita třífaktorová analýza rozptylu. Analýza rozptylu vyhodnocuje účinky jednotlivých faktorů a jejich dvou, tří nebo více vzájemných kombinací. Hodnocení účinku jednotlivých faktorů i jejich vzájemnou kombinaci byl použit Fisherův F-test s hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ . F-test na základě hladiny významnosti P stanoví, zda je sledovaný faktor statisticky významný či nikoliv. Podle hodnoty P lze testovaný faktor ohodnotit takto:

- $P < 0,05$  vliv faktoru je statisticky významný,
- $P > 0,05$  vliv faktoru není statisticky významný,
- $P = 0,05$  vliv faktoru se nachází na hranici statické významnosti,
- $P = 0$  faktor působí,
- $P < 0,001$  vliv faktoru je statisticky velmi významný,
- $0,001 < P < 0,01$  vliv faktoru je statisticky středně významný,
- $0,01 < P < 0,05$  vliv faktoru je statisticky málo významný (Gaff, Gaborik,2009)

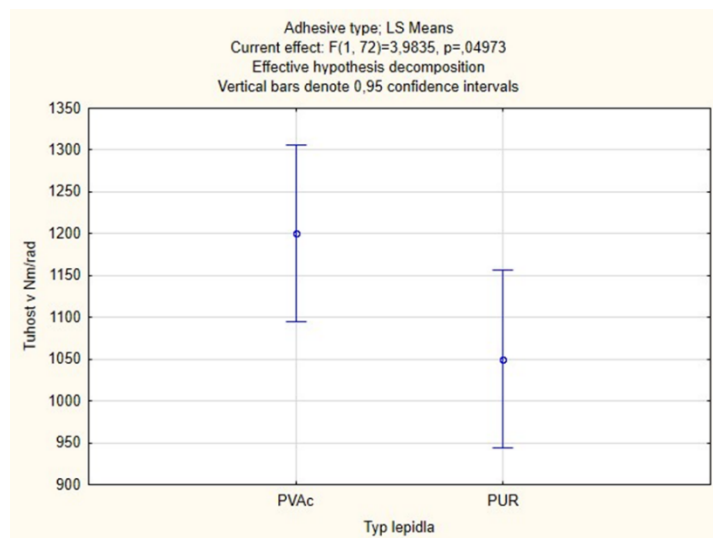
### 5.1.1 Vyhodnocení faktorových analýz

**Faktor ovlivňující druh dřeviny** - na následujícím obrázku vidíme graf, kde je zřejmé, že dřevina má statisticky významný vliv na hodnotu tuhosti. U zkušebních vzorků byla naměřena větší průměrná hodnota u buku. Na hladině významnosti  $P = 0,000000$  z toho můžeme říci, že druh dřeviny má zásadní vliv na tuhost spoje.



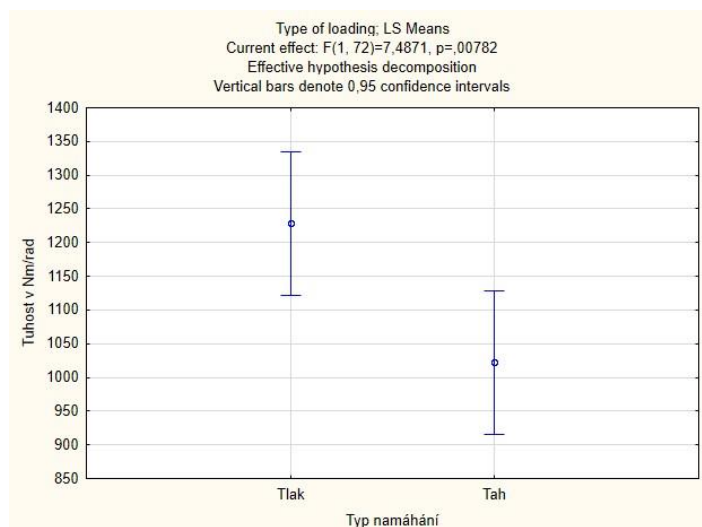
Obrázek 43. Faktor ovlivňující druhu dřeviny

**Faktor ovlivňující typ lepidla** – hodnota  $P$  ukazuje, že se jedná o statisticky významný faktor, kde  $p = 0,04973$ . Spoj lepený pomocí lepidla PVAc, má při porovnání průměrných hodnot o 12,5% větší tuhost spoje než spoj lepený PUR.



Obrázek 44. Faktor ovlivňující druh lepidla

**Faktor ovlivňující typ namáhání** - podle hladiny významnosti  $p = 0,00782$  pro tuhost spoje lze usoudit, že typ namáhání (tlak/tah) patří mezi významné statistické charakteristiky. Při namáhání tlakem jsme při porovnání průměrných hodnot naměřili o skoro 17% větší tuhost.



**Obrázek 45. Faktor ovlivňující typ namáhání**

### Tuhost spoje závislá na odklonu letokruhů

Z tabulky vyplývá, že odklon letokruhů má na hladině významnosti  $P = 0,012367$  statisticky významný vliv na tuhost spoje. Je to zejména u ročních letokruhů 90-90.

**Tabulka 3. Znázornění odklonu letokruhů**

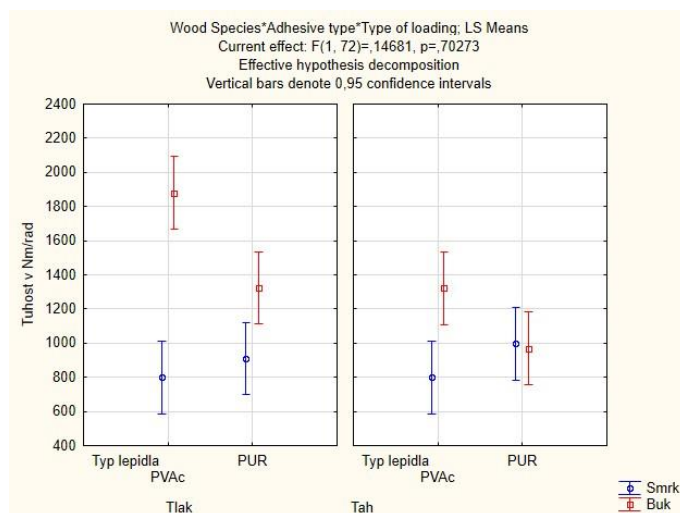
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fisherův F - Test	Hladina významnosti P
Odklon ročních letokruhů	3100725	5	620145	3,1519	0,012367

**Tabulka 4. Vyhodnocení jednotlivých odklonů ročních letokruhů**

	Odklon ročních letokruhů	(1) 846,66	(2) 794,73	(3) 1143,3	(4) 1193,0	(5) 942,18	(6) 1432,2
1	M-0		0,838551	0,275805	0,219904	0,707819	0,041016
2	0-90	0,838551		0,217008	0,168311	0,588602	0,028358
3	M-M	0,275805	0,217008		0,845190	0,430823	0,288434
4	M-90	0,219904	0,168311	0,845190		0,356979	0,349118
5	0-0	0,707819	0,588602	0,430823	0,356979		0,081150
6	90-90	0,041016	0,028358	0,288434	0,349118	0,081150	

### 5.1.2 Tuhost spoje závislá na dvou a více faktorech

Vzájemné působení druhu dřeviny, typu namáhání, druhu použitého lepidla podle významnosti  $P = 0,70273$  je, že nemá statistický význam. Je viditelné, že bukové vzorky mají vyšší tuhost než smrkové při namáhání v tlaku a obou typech lepidel a při namáhání tahu mají větší tuhost pouze při použití lepidla PVAc. Nejmenší rozdíly jsou při použití PUR lepidla u tahového namáhání při porovnání smrkové bukové dřevin.



Obrázek 46. Tří faktorová analýza v závislosti na druhu

### 5.1.3 Mnohonásobného porovnávání (Duncenův test)

Výsledky z Duncanového testu vycházející z následující tabulky. Patrné je, že hodnoty ovlivňující elasticitou, tuhost za použitým druhem dřeviny, typu lepidla a typem namáhání byly velmi rozdílné. Statisticky významné jsou pro nás zejména vzorky buku při použití PVAc lepidla v tlaku a tahu, dále vzorek buku slepený PUR lepidlem při tlaku.

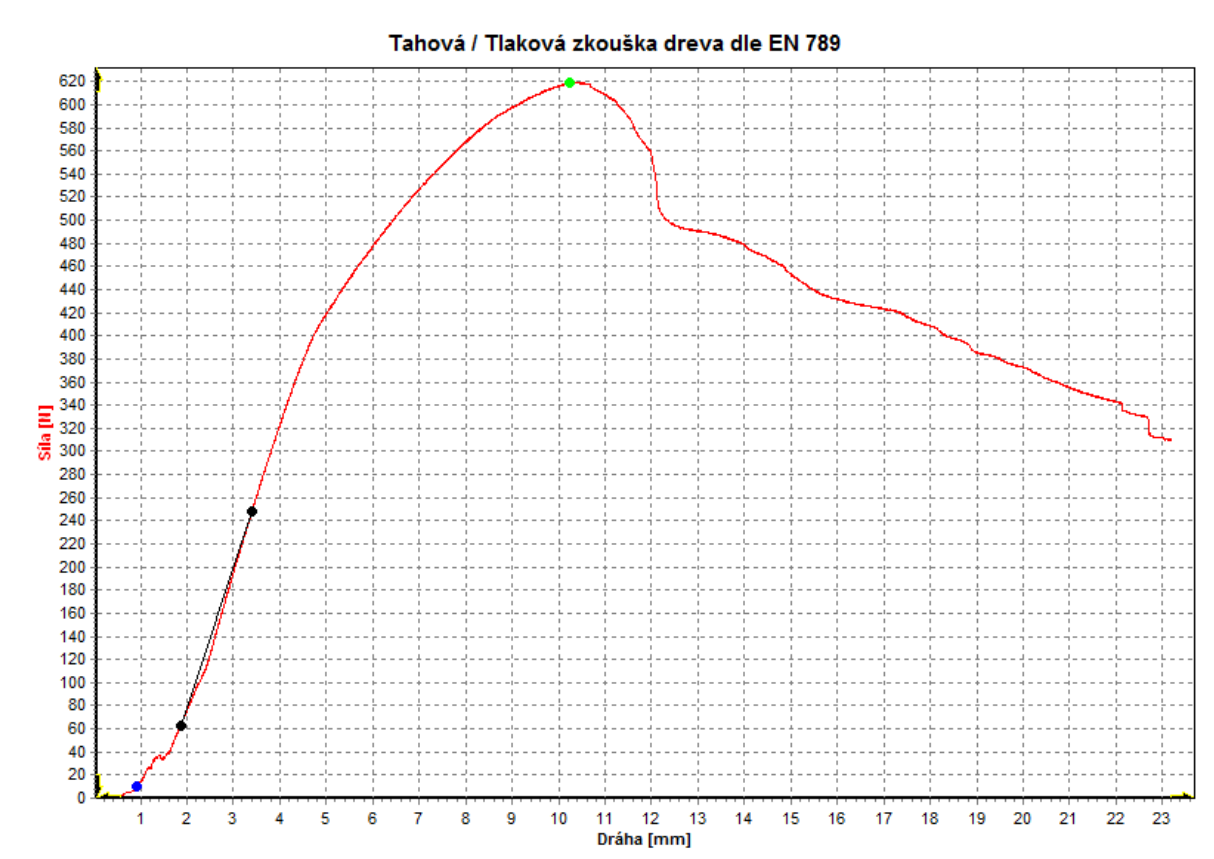
Tabulka 5. Statistické výsledky mnohonásobného porovnání faktorů

	Druh dřeviny	Typ lepidla	Typ namáhání	(1) 800,14	(2) 799,85	(3) 909,41	(4) 997,07	(5) 1880,1	(6) 1321,9	(7) 1324,0	(8) 969,38
1	Smrk	PVAc	Tlak		0,9985 47	0,4713 01	0,2408 61	0,0000 21	0,0020 04	0,0022 06	0,2956 19
2	Smrk	PVAc	Tah	0,9985 47		0,4988 09	0,2523 40	0,0000 18	0,0022 87	0,0024 57	0,3132 67
3	Smrk	PUR	Tlak	0,4713 01	0,4988 09		0,5885 00	0,0000 25	0,0130 19	0,0144 79	0,6922 28
4	Smrk	PUR	Tah	0,2408 61	0,2523 40	0,5885 00		0,0000 50	0,0347 20	0,0428 47	0,8549 60
5	Buk	PVAc	Tlak	0,0000 21	0,0000 18	0,0000 25	0,0000 50		0,0006 48	0,0005 49	0,0000 31

6	Buk	PVAc	Tah	0,0020 04	0,0022 87	0,0130 19	0,0347 20	0,0006 48		0,9889 41	0,0289 89
7	Buk	PUR	Tlak	0,0022 06	0,0024 57	0,0144 79	0,0428 47	0,0005 49	0,9889 41		0,0331 60
8	Buk	PUR	Tah	0,2956 19	0,3132 67	0,6922 28	0,8549 60	0,0000 31	0,0289 89	0,0331 60	

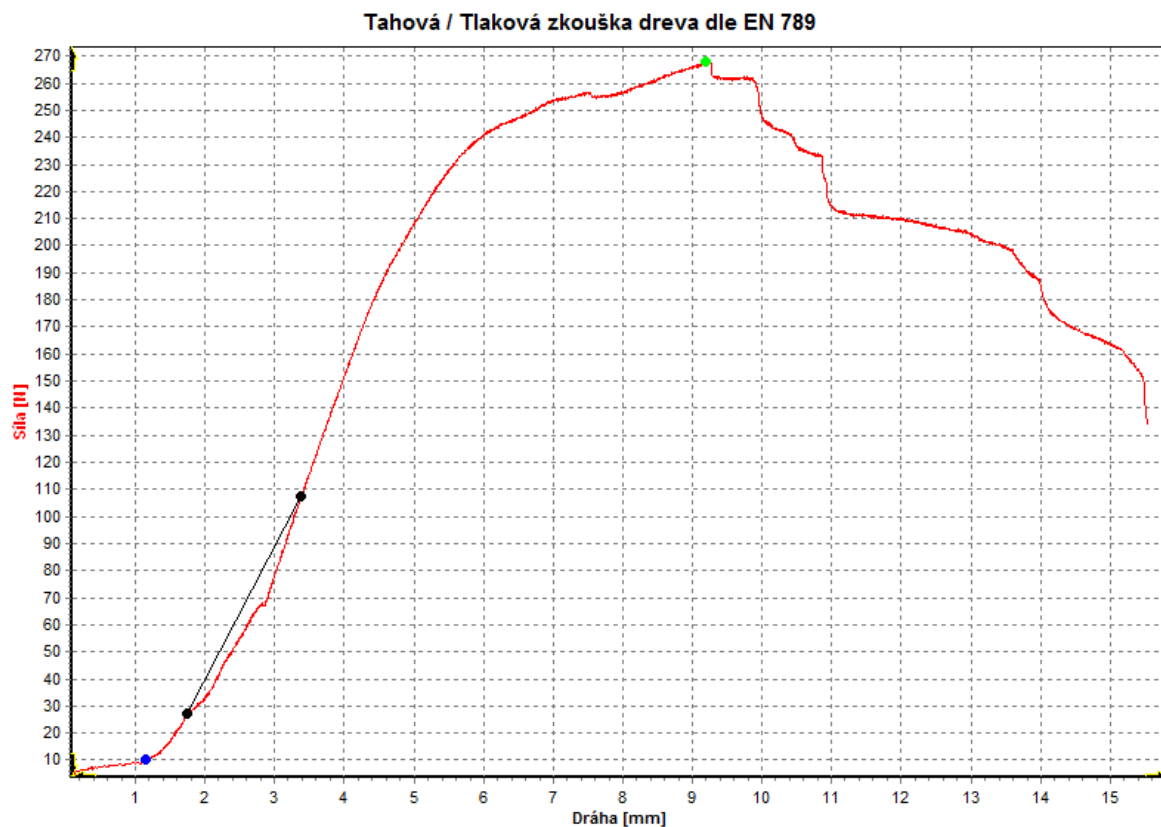
## 5.2 Grafy v průběhu zkoušky v softwaru Tira

Software Tira zaznamenává zkoušku v podobě grafu, kde je možné vidět změny sil a dráhy, při testování vzorku do meze pevnosti, kde vzorek dosáhne své maximální tuhosti. Dráha zkoušeného vzorku neměla vždy pravidelnou křivku. Vysvětlujeme si to tím, že zkoušené vzorky nemusel být vždy stejně slepené nebo mohlo dojít k nesterčnosti při výrobě.



Obrázek 47. Graf bukového vzorku slepený PVAc lepidlem v tlaku





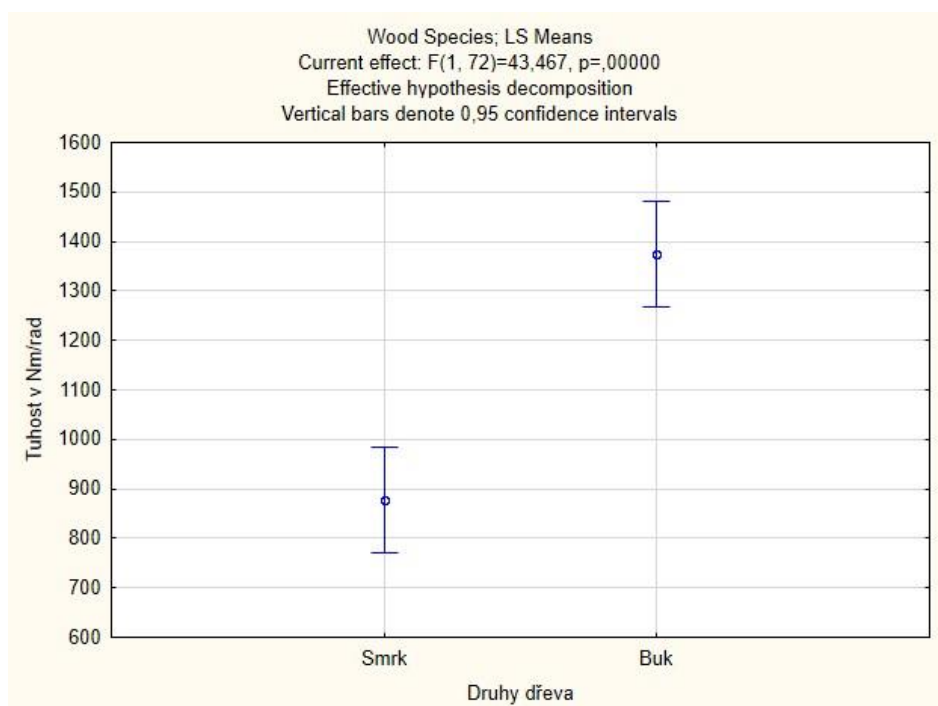
**Obrázek 48. Graf smrkového vzorku lepený PUR lepidlem v tahu**

## 6 Diskuse

Pro porovnání výsledků jsou níže naměřené hodnoty porovnány s výsledky odborných článků podobné problematiky.

### Faktor dřeviny

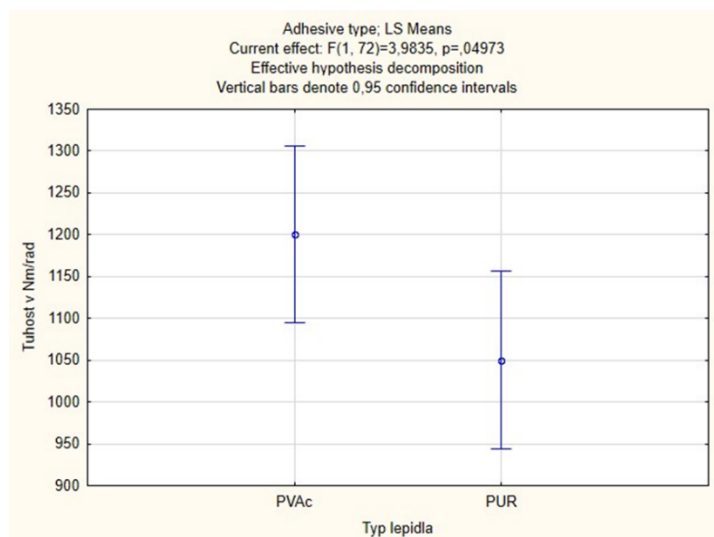
Výsledky ukazují, že buk má větších hodnoty elastické tuhosti než smrk. K porovnání jsem použil články pana (Kamboj a kol, 2019) který dosáhnul o něco vyšších výsledků než moje bakalářská práce. Buk vykazuje mnohem vyšší hodnoty elastické tuhosti než smrk. Je to velice významné zjištění pro určování a uplatňování duhu dřeviny pro konstrukční účely. Kambojův tým dosáhnul hodnoty výzkumu šplhají k 65 % oproti mému výzkumu, kde hodnoty činili něco málo přes 36 %. Což se shoduje se (Záborský a kol, 2017)



Obrázek 49. Faktor ovlivňující druhu dřeviny

### Faktor lepidla

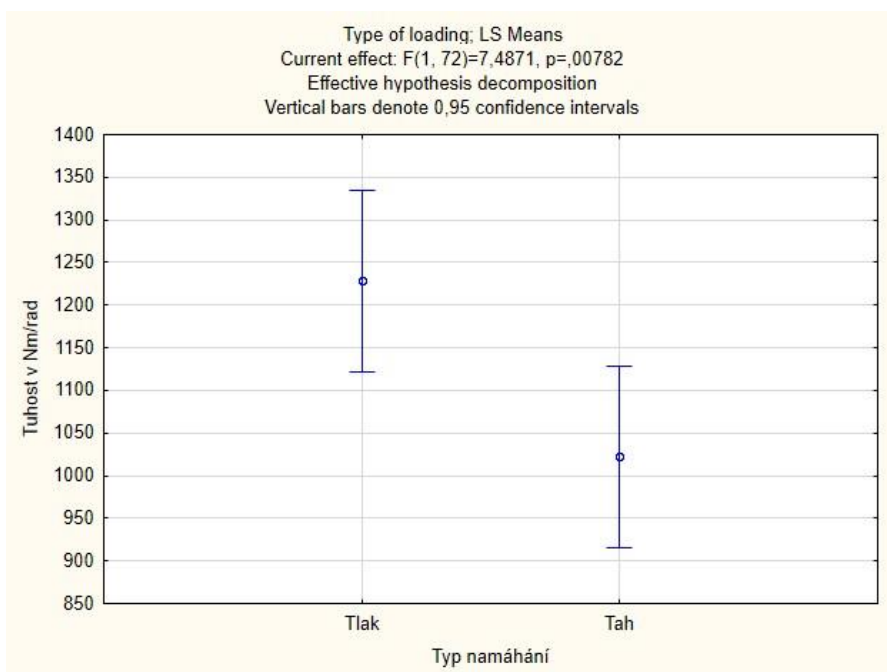
Druh lepidla byl při našem zkoumání statisticky významný. Spoj lepený pomocí lepidla PVAc, má při porovnání průměrných hodnot o 12,5% větší tuhost spoje než spoj lepený PUR. V porovnání s literaturou, kde naměřili, že PVAc lepidlo mělo vyšší hodnoty o 16 % než lepidlo PUR. Což znamená, že mé naměřené hodnoty jsou podobné jako uvádí (Záborský a kol, 2017) Vyplývá z toho vyšší tuhost spoje PVAc lepidel než PUR.



**Obrázek 50. Faktor ovlivňující typ použitého lepidla**

### Faktor typu namáhání

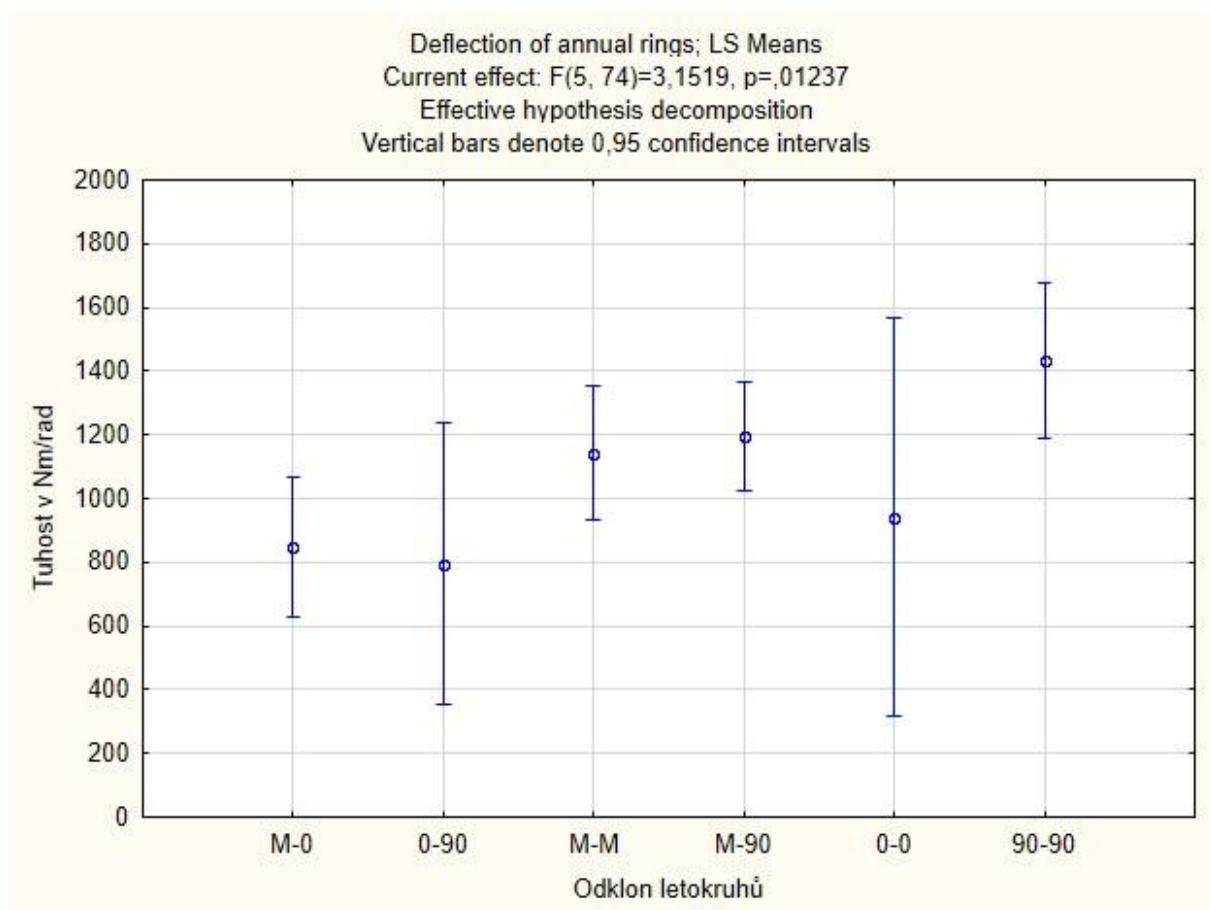
Vědecký tým pana (Záborský a kol, 2017) k výsledku uvedla, že tlaková zkouška se pohybuje na 6 % více, než je tomu u tahové. Podle mého vyhodnocení, má tlak také vyšší tuhost, ale vyšlo mi to o 17 % více než u tahu.



**Obrázek 51. Faktor ovlivňující druh namáhání**

### Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje

Podle (Záborský a kol, 2017) nemá odklon letokruhů velký vliv na tuhost spoje. Tento výsledek se částečně rozchází s mými výsledky, neboť při odklonu letokruhu 90-90 se jeví jako statisticky významné.



Obrázek 52. Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje

## 7 Závěr

Úkolem této práce bylo hlavně pomoci s orientací v problematice konstrukčních spojů a jejich tuhosti. Soustředili jsem se na spoj pomocí konstrukčního spoje na ozuby. Cílem práce bylo otestovat vybraný modifikovaný konstrukční spoj a porovnat jej s odbornou literaturou. Sledovali jsme vybrané faktory (druh dřeviny, typ použitého lepidla, typ namáhání, odklon ročních letokruhů), ovlivňujících tuhost konstrukčního spojení na ozuby.

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány základní charakteristiky působící na chování dřeva. Popsány jsou některé druhy konstrukčních spojů, které se používají.

V metodice popisují způsob, jakým se vyráběli vzorky k experimentálnímu měření, jak testování probíhalo a také jaké stroje nám umožnily udělat danou práci. Výsledky jsou zpracované do tabulek a jsou přidáné i obrázky grafů, ke kterým je vždy napsaný popis, co dané faktory způsobily. Diskuze informuje o porovnání jednotlivých ukazatelů, které jsou použity z odborných článků (podobné problematiky). Z naměřených dat je zřejmé, že tuhost spoje statisticky významně ovlivňují: druh dřeviny, typ namáhání, typ použitého lepidla a částečně také odklon letokruhů. Tuhost spoje byla podle očekávání naměřena vyšší u bukového dřeva než u dřeva smrkového. Druh namáhání nám ovlivňuje tuhost spoje tak, že při tlaku má konstrukční spoj větší tuhost než při tahu. V porovnání lepidel nám v porovnání naměřených hodnot vyšlo lépe lepidlo PVAc, které mělo větší pevnost spoje než PUR.

Z výsledků můžeme doporučit, že buková dřevina lepena lepidlem PVAc dosáhne nejvyšších hodnot v tlakové zkoušce, oproti jiným kombinacím faktorů. Nejnižší tuhost spoje osahují smrkové vzorečky lepené PVAc.

Vyhodnocené a naměřené hodnoty v této práci, poskytují lepší nadhled do problematiky konstrukčních spojů v nábytkářském průmyslu.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] DLABAL, S. *Nábytkové umění*. V Praze: GRADA, 2000. 312 s. ISBN 80-7169-655-2
- [2] Medková, E. a Bohmanová, A. *Starožitný nábytek*. V Praze: SNTL, 1985. 264 s.
- [3] STRÁNSKÝ, K. *Konstrukce nábytku*. V Praze: Státní pedagogické nakladatelství, 1988. 147 s. ISBN 14-543-88
- [4] NUTSCH, Wolfgang. *Příručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: EuropaSobotáles, 2006. ISBN 80-86706-14-1.
- [5] JOŠČÁK, P. *Pevnostné navrhovanie nábytku*. Ve Zvolenu: Technická univerzita ve Zvolenu, 1999. 246 s. ISBN 80-228-0921-7
- [6] GERNER, M. *Tesařské spoje*. V Praze: GRADA, 2003. 220 s. ISBN 80-247-0076-X
- [7] ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-636-0.
- [8] NUTSCH, W. *Konstrukce nábytku*. V Praze: GRADA, 2012. 408 s. ISBN 978-80247-4244-1
- [9] GAFF, Milan; GÁBORÍK, Jozef. *Vlastnosti povrchu dřeva modifikovaného reliéfováním*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 81 s. ISBN 97880-228-2035-6.
- [10] KVIETKOVÁ, M. *Obrábění dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. 395 s. ISBN 978-80-213-2604-0
- [11] BÖHM, M. *Materiály na bázi dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6
- [12] KŘUPALOVÁ, Z. *Technologie pro 1. roční SOU oborů zpracování dřeva*. V Praze: Sobotáles, 2000. 126 s. ISBN 80-85920-74-3
- [13] HALABALA, J. *Výroba nábytku*. V Praze: SNTL, 1975. 320 s. ISBN 04-819-75
- [14] JOSTEN, E. *Truhlářské konstrukce*. V Praze: GRADA, 2011. 288 s. ISBN 978-80247-2960-
- [15] JOŠČÁK, P. *Konštrukcia 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] BAŠISTA, A.: 1972. *Drevené konštrukcie a stavebno stolárske výrobky*. 1. Vyd. Zvolen: VŠLD, 1972. 310 s. Dočasná vysokoškolská učebnica

[18] VIGUE, Jordi. *Dřevo od A do Z*. Čestlice: Rebo, 2006. 427 s. ISBN 80-7234-531-1.

## **Elektronické zdroje**

[19] STATISTICKÉ SOUBORY [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
<https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/soubory.htm#populace>

[20] CHARAKTERISTIKA STATISTICKÝCH SOUBORŮ [online]. 2019. [cit. 2019-20-4]  
Dostupné na: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/strednih.htm>

[21] CHARAKTERISTIKY VARIABILITY [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
<https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/variabil.htm>

[22] SPOJ PRACOVNÍ DESKY [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
[https://www.igm.cz/igm-stahovaci-sverky-pracovnich-desek--150mm-baleni-200ks/?utm\\_source=seznam&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Produktov%a1+kampa%588+1&utm\\_content=Sestava+1.+\(produkty+%2b+zna%48dky\)&utm\\_term=spoj+pracovn%adch+desek](https://www.igm.cz/igm-stahovaci-sverky-pracovnich-desek--150mm-baleni-200ks/?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=Produktov%a1+kampa%588+1&utm_content=Sestava+1.+(produkty+%2b+zna%48dky)&utm_term=spoj+pracovn%adch+desek)

[23] VRUTY DO DŘEVA [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
[http://www.mitekatrade.cz/wp-content/uploads/2014/07/univerzalni\\_vruty\\_do\\_dreva.png](http://www.mitekatrade.cz/wp-content/uploads/2014/07/univerzalni_vruty_do_dreva.png)

[24] DVOUDÍLNÍ ŠROUBY [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
<http://www.kovaninabytkove.cz/upload/images-cache/38902/1200x663.jpg>

[25] OCELOVÝ ÚHELNÍK [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
[https://www.zelezarstvi-knor.cz/\\_obchody/zelezarstvi-knor.shop5.cz/prilohy/5/uhelniky-nabytkove-typ6-0.jpg](https://www.zelezarstvi-knor.cz/_obchody/zelezarstvi-knor.shop5.cz/prilohy/5/uhelniky-nabytkove-typ6-0.jpg)

[26] DIGITÁLNÍ VÁHA PCB [online]. 2019. [cit. 2019-20-4] Dostupné na:  
([www.meteostanice.cz](http://www.meteostanice.cz))

## **Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky**

[27] ZÁBORSKÝ, V. *Effect of Geometric Parameters of Structural Elements on Joint Stiffnes*. In BioResources [online]. 2017, vol. 12, no.1 [cit. 2019-20-4]

[28] 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. 2019-20-4]

[29] KAMBOJ, G. *Influence of Geometry on the Stiffness of Corner Finger Joints*. In BioResources [online]. 2019, vol. 12, no.4 [cit. 2019-20-4]



## **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