

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



Stanovení závislosti pevnosti

lepených nábytkových spojů na vlhkosti

Diplomová práce

Autor: **Bc. Jakub Vykoukal**

Vedoucí práce: **Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.**

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Vykoukal

Dřevařské inženýrství

Název práce

Stanovení závislosti pevnosti lepených nábytkových spojů na vlhkosti

Název anglicky

Determination of the influence of moisture content on strength of bonded furniture joints

Cíle práce

1. Teoretický rozbor problematiky.
2. Na vybraném typu nábytkového spoje experimentálně ověřit jeho tuhost při různých vlhkostních stavech (min. 4).
3. Statistické vyhodnocení vlivu vlhkosti na tuhost spojů.
4. Porovnání získaných výsledků s dostupnou literaturou.

Metodika

1. Klimatizování spojů na příslušné vlhkostní stavy bude prováděno do ustálení rovnovážné vlhkosti v klimatizační komoře.
2. Experimentální měření bude realizované na certifikovaném trhacím stroji a speciálním přípravku pro tahové a tlakové zkoušky spojů.
3. Statistické vyhodnocení vlivu vlhkosti na tuhost spojů pomocí sofistikovaného softwaru.

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

nábytkový spoj, experimentální test, vlhkost, klimatizování, tuhost

Doporučené zdroje informací

Bodig, J., Jayne, B. A. (1982). Mechanics of wood and wood composites, Van Nostrand Reinhold Compony, New York. 712 s. ISBN 0-442-00822-8.

Budíková, M. (2010). Průvodce základními statistickými metodami, GRADA. ISBN 978-80-247-3243-5.

Joščák, P., Zemiar, J., Gaff, M. (2013). Furniture production. Technická Univerzita Zvolen. ISBN 978-80-228-2505-4.

Joščák, P. (1999). Pevnostné navrhovanie nábytku. Technická Univerzita Zvolen. ISBN 80-228-0921-7.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Konzultant

Ing. Vladimír Záborský

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2017

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 20. 09. 2018

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Stanovení závislosti pevnosti lepených nábytkových spojů na vlhkosti vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Borůvky, PhD., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom/a že zveřejněním 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 Praze dne 15.6.2020

Poděkování

Chtěl bych poděkovat primárně vedoucímu své práce, Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD., za vstřícnost a ochotu při konzultování práce a překonávání jejích úskalí, a dále pak Ing. Tomáši Holečkovi za pomoc s přípravou vzorků. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině a přítelkyni, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia a pomohli mi dojít až do finále.

Abstrakt

Cílem této práce je stanovit závislost pevnosti lepeného nábytkového spoje na vlhkosti. Spoj na čep a dlab je podroben namáhání v tahu a v tlaku na vzorku, který simuluje spoj nábytkové nohy se dvěma luby. Není to ale pouze klasické namáhání na tah a tlak, vzhledem ke způsobu zkoušení je potřeba brát v potaz i ohybový moment. Zkoumá se i celková elastická tuhost vzorku.

Vzorky se klimatizovaly do 4 vlhkostních stavů: 6, 10, 14 a 18 % absolutní vlhkosti, spojovacím médiem bylo polyvinylacetátové lepidlo. Zkoumala se statistická závislost vlivu vlhkosti, typu namáhání, odklonu ročních kruhů a hustoty na výslednou tuhost vzorků. Pozornost se věnovala i průběhům jednotlivých zkoušek.

Výsledky nám ukázaly, že vlhkost má jasný statisticky významný vliv na výslednou elastickou tuhost spoje, typ namáhání se ukázal být na hranici významnosti. Jako statisticky nevýznamné se ukázaly být faktory hustota a odklon ročních kruhů.

Klíčová slova: nábytkový spoj, experimentální test, vlhkost, klimatizování, tuhost

Abstract

The main purpose of this thesis is to determine the dependence of strength of glued furniture joint on moisture level. The mortise and tenon joint is exposed to tensile and pressure stress, which simulates the joint of stiles with rails. It's not only simple tensile and pressure stress, due to the testing method, we must take into consideration the bending moment. The overall elastic stiffness of the samples is also examined.

The samples were conditioned at 4 moisture levels: 6, 10, 14 and 18 % of absolute moisture, the joining medium was polyvinyl acetate glue. The statistical dependence of the influence of moisture level, type of loading, deflection of annual rings and density was examined. The process of the individual tests has also been taken into consideration.

The results showed that moisture level has a clear statistically significant impact on the resulting elastic stiffness of the joint, the type of loading proved to be on the border of significance. The density and deflection of annual rings have proved to be statistically insignificant.

Keywords: furniture joint, experimental test, moisture, climatization, stiffness

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 Úvod..... | 12 |
| 2 Cíle práce | 13 |
| 3 Teoretický rozbor problematiky..... | 14 |
| 3.1 Charakteristika zkoušené dřeviny – buku lesního..... | 14 |
| 3.1.1 Dendrologické zařazení..... | 14 |
| 3.1.2 Popis rostliny..... | 14 |
| 3.1.3 Hospodářský význam | 16 |
| 3.1.4 Struktura dřeva | 17 |
| 3.1.7 Fyzikální a mechanické vlastnosti | 18 |
| 3.2 Nábytkové spoje..... | 19 |
| 3.2.1 Rozdělení podle tvaru dílců | 20 |
| 3.2.1.1 Šířková spojení..... | 20 |
| 3.2.1.2 Rohová spojení..... | 21 |
| 3.2.1.3 Spoje rámových konstrukcí..... | 24 |
| 3.2.2 Rozdělení podle typu spojování | 26 |
| 3.2.2.1 Lepené spoje..... | 26 |
| 3.2.2.2 Mechanické spoje..... | 38 |
| 3.3 Zkoumané veličiny..... | 44 |
| 3.3.1 Vlhkost | 44 |
| 3.3.2 Hustota | 47 |
| 3.3.3 Napětí ve dřevě | 48 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 3.3.4 | Deformace ve dřevě | 48 |
| 3.3.5 | Pružnost dřeva | 50 |
| 3.3.6 | Pevnost dřeva | 52 |
| 3.3.7 | Tuhost dřeva..... | 53 |
| 4 | Metodika | 55 |
| 4.1 | Zkušební vzorky a přístroje..... | 56 |
| 4.2 | Výpočtové metody | 60 |
| 4.3 | Statistické metody | 62 |
| 5 | Výsledky | 65 |
| 5.1 | Vyhodnocení výsledků..... | 65 |
| 5.2 | Průběhy zkoušek | 70 |
| 6 | Diskuze..... | 73 |
| 7 | Závěr | 78 |
| 8 | Zdroje | 79 |
| 8.1 | Literatura..... | 79 |
| 8.2 | Internetové zdroje..... | 81 |
| 8.3 | Normy | 83 |

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulky

| | |
|---|----|
| Tab. 1 – Hodnoty hustot a sesychání buku různých autorů | 18 |
| Tab. 2 – Hodnoty mechanických charakteristik buku při 12 % vlhkosti od různých autorů | 19 |
| Tab. 4 - Technické údaje lepidla AG-COLL 8761 (exkalibr.cz) | 57 |
| Tab. 5 - Výsledné hodnoty hustoty a elastické tuhosti | 65 |
| Tab. 6 - Výsledné hodnoty analýzy ANOVA - analýzy rozptylu | 69 |
| Tab. 7 - Porovnání hodnot elastické tuhosti s jinými autory | 74 |

Obrázky

| | |
|--|----|
| Obr. 1 - Kmen buku (Biolib, 2018) | 15 |
| Obr. 2 - Příčný, radiální a tangenciální řez bukového dřeva (Zeidler, 2012) | 17 |
| Obr. 3 - Příčný, radiální a tangenciální mikroskopický řez buku (Zeidler 2007) | 18 |
| Obr. 4 - Stupně volnosti tuhého tělesa v prostoru (Joščák et al., 2014) | 20 |
| Obr. 5 - Folding systém (Nutsch, 2003) | 22 |
| Obr. 6 - Moltinject system - příklady použití (Joščák, 2014) | 23 |
| Obr. 7 - Spoj roztavitelnými kolíky (Zemiar, 2009) | 24 |
| Obr. 8 - Dřevěná lamela (www.ason-vala.cz,2019) | 26 |
| Obr. 9 - Domino kolík (www.festool.cz, 2019) | 26 |
| Obr. 10- Hoffmannova rybina (Joščák, 2014) | 26 |

| | |
|--|----|
| Obr. 11 - Druhy lepidel používané ve výrobě nábytku (podle Nemeč et al., 1985) | 31 |
| Obr. 12 - Princip spojení dílců pomocí kolíků s plastovými obrubami (Joščák, 2014) | 38 |
| Obr. 13 - Kategorizace hřebíků (Joščák, 2014) | 39 |
| Obr. 14 - Druhy sponek - z drátu hranaté, ohýbané, z tvarovaného plechu (Joščák, 2014) | 39 |
| Obr. 15 - Druhy vrutů vyžadující předvrtání (Joščák, 2014) | 40 |
| Obr. 16 - Vrut se zápuštnou hlavou nevyžadující předvrtání (Joščák, 2014) | 40 |
| Obr. 17 - Princip spojení pomocí klínů (Joščák, 2014) | 41 |
| Obr. 18 - Princip spojení pomocí excentru s táhlem (Joščák, 2014) | 42 |
| Obr. 19 - Princip spojení pomocí šroubu a matice (Joščák, 2014) | 42 |
| Obr. 20 - Možnosti spojování dílců pomocí spojovacích plechů (Noll, 1997) | 43 |
| Obr. 21 - Možnosti spojování dílců úhelníků (Noll, 1997) | 43 |
| Obr. 22 - Působení sil na zkoušené vzorky | 55 |
| Obr. 23 - Rozměry jednotlivých částí zkušebních vzorků | 56 |
| Obr. 24 - Celkové rozměry vzorku | 57 |
| Obr. 25 - Upevnění vzorků do zkoušecího stroje | 58 |
| Obr. 26 - Znázornění určení úhlu probíhajících letokruhů (Šulc, 2017) | 59 |
| Obr. 27 - Zkoušení rohového spoje (Podlena and Borůvka, 2016) | 76 |

Grafy

| | |
|---|----|
| Graf 1 - Diagramy napětí - deformace dřeva v absolutně suchém stavu a nad mezí nasycení buněčných stěn při zatížení v tlaku a tahu podél vláken (Požgaj et al., 1993) | 45 |
| Graf 2 - Pracovní diagram napětí - deformace (Požgaj et al., 1993) | 49 |
| Graf 3 - Silově deformační diagram (Joščák, 2011) | 53 |
| Graf 4 - Vliv vlhkosti na elastickou tuhost | 66 |
| Graf 5 - Lineární závislost mezi elastickou tuhostí a tuhostí při maximálním zatížení | 67 |
| Graf 6 - Vliv odklonu ročních kruhů na elastickou pevnost | 68 |
| Graf 7 - Ukázka průběhu zkoušky při porušení ve dřevě | 70 |
| Graf 8 - Ukázka průběhu zkoušky při porušení ve spoji | 71 |

1 Úvod

Dřevo je využívanou surovinou v mnoha odvětvích průmyslu a v nábytkářství se stále využívá v hojné míře. Se stále inovujícími se technologiemi je dnes ještě větší možnost využití dřevní hmoty, než jak tomu bylo dříve. Využívá se s větší efektivitou a míra zpracovatelnosti vzrostla do té míry, že ze vzrostlého stromu téměř nic nepříjde vniveč.

Technologii spojů je dnes přikládána velká váha, neboť volba vhodného spoje je důležitá pro to, aby byl výrobek po celou dobu své životnosti funkční, nijak nedegradoval jeho užitnou hodnotu, dodržoval požadavky na bezpečnost a pozvedával jeho design. Volba vhodného spoje je také důležitá z konstrukčního hlediska pro pevnost a podle případných požadavků na montáž je důležité zvolit, zda spoj má být rozebíratelný, či nerozebíratelný.

Účelem této práce je zjistit, jaký vliv má vlhkost na lepený spoj z masivního dřeva. I přes rozsáhlé využívání aglomerovaných materiálů a materiálů na bázi dřeva v posledních desetiletích se masiv stále těší vysoké oblibě a jeho výzkum a výzkum vlastností s ním spojených si stále zaslouží velkou pozornost, neboť dřevo je jedna z mála obnovitelných surovin, ze které můžeme stále hodně čerpat.

2 Cíle práce

1. Teoretický rozbor problematiky.
2. Na vybraném typu nábytkového spoje experimentálně ověřit jeho tuhost při různých vlhkostních stavech (4 stavy).
3. Statistické vyhodnocení vlivu vlhkosti na tuhost spojů.
4. Porovnání získaných výsledků s dostupnou literaturou.

3 Teoretický rozbor problematiky

3.1 Charakteristika zkoušené dřeviny – buku lesního

3.1.1 Dendrologické zařazení

Říše – *Plantae* – rostliny

Oddělení – *Magnoliophyta* – krytosemenné rostliny

Třída – *Rosopsida* – vyšší dvouděložné rostliny

Řád – *Fagales* – bukotvaré

Čeleď – *Fagaceae* – bukovité

Rod – *Fagus* - buk

(Biolib, 2018)

3.1.2 Popis rostliny

Buk dosahuje výšky kolem 35 až 45 metrů, průměr kmene může dosáhnout až 1,5 metru, nejrozvinutější kmeny mohou dosáhnout objemu až třiceti kubických metrů. V závislosti na stanovišti buk dosahuje věku 200 – 400 let. Nejlépe se mu daří na optimálně vlhkých, dobře provzdušněných, humózních a minerálně bohatých půdách. Hůře se usazuje na půdách těžkých, neprovzdušněných, nebo vysýchavých či kyselých (Biolib, 2018; Úradníček2001).

Kmen bývá vysoko do koruny průběžný a větve odstávají v ostrém úhlu. Zprohýbané, bělavě pýřité, později lysé, červenohnědé letorosty nesou odstávající, hnědé, dvouřadě střídavé, štíhle větvenovité, ostře zašpicatělé pupeny s bělavě pýřitými šupinami. Listy jsou střídavě eliptické, 5-10 cm dlouhé, celokrajné, na okraji zvlňené, zašpicatělé, na bázi zaokrouhlené až klínovité, v paždí žilek a na okraji listů (hlavně zjara) dlouze bělavě pýřité. Plodem je jednosemenná nažka (bukvice) buď částečně, anebo zcela uzavřená ve zveličelé čišce otvírající se

čtyřmi chloupěmi. Listy jsou ve stínu ploše rozložené, dvouřadě střídavé, řapíkaté, s tenkou čepelí; listy vystavené slunci jsou pevné s čepelí k okraji zdviženou (Hejný, 2003; Úradníček, 2001).

Samčí květy v paždí listů v dlouze stopkatých nících svazečcích, samičí květy po dvou v červenavé číšce zevně porostlé dlouze chlupatými, později dřevnatíciými výrůstky. Semena buku jsou bez endospermu, embryo se většinou vyskytuje s velkými dělohami. Jedná se o dřevinu jednodomou. Na volném prostranství začíná buk plodit mezi 20. a 40. rokem. Plodná období se vyskytují nepravidelně ve víceletých intervalech (5 až 10 let). Bukvice jsou oříškovité chuti, jedlé. Proto je hojně roznášejí ptáci a drobní hlodavci (Hejný, 2003; Úradníček, 2001).

Kořenový systém můžeme označit za srdčitý se zkráceným hlavním kořenem. Z mohutného kořenového uzlu pod povrchem vyhání buk silné kořeny všemi směry do půdy. Bývá proto v půdě velmi dobře zakotven. Na živných půdách však buk kořenuje často poměrně mělce, avšak svrchní vrstvu důkladně prokoření. Koruna bývá vysoko nasazená, kulovitá a bohatě větvená, borku má i v pokročilém věku hladkou, stříbrošedou. Výmladková schopnost buku je celkem malá (Hejný, 2003; Úradníček, 2001).



Obr. 1 - Kmen buku (Biolib, 2018)

Kromě buku lesního – *Fagus sylvatica* existuje ještě několik dalších významných druhů buků:

- *Fagus grandifolia* – buk velkolistý (Americký),
- *Fagus orientalis* – buk východní,
- *Fagus crenata* – buk japonský.

V současnosti je známo celkově okolo 13 – 15 různých druhů buků, včetně vyhynulých druhů (Biolib, 2018; Wagenführ, 2000; Walker, 2009).

3.1.3 Hospodářský význam

Buk je naší nejdůležitější hospodářskou listnatou dřevinou. Cenné sortimenty dává obvykle jen hladká část kmene; ostatek se zpracovává na palivo nebo celulózu. Bukové dřevo má všestranné použití. Využívá se hojně v nábytkářství; pro svou schopnost dobré ohýbatelnosti se používá na výrobu ohýbaného nábytku. Je důležitou surovinou pro výrobu dýk, překližek, parket, pro chemické a polochemické zpracování dřeva (buničina, výroba dřevotřískových a dřevovláknitých desek), dobře se impregnuje, paří a moří. Hojně se využívá také jako palivové dřevo. Dá se použít též jako konstrukční materiál, při výrobě dřevěných doplňků, drobných ozdobných předmětů a náradí. Z bukovic se dřívě lisoval olej. V okrasném zahradnictví má buk již dávno pevné postavení. Staré buky jsou častou ozdobou zámeckých parků. Dekorativních kultivarů je větší počet, velmi známý je cv. Pendula - smuteční buk, nebo cv. Rohanii s tmavě purpurovými, nepravidelně laločnatými listy (Gandelová et al., 2012; Úradníček, 2001; Walker, 2009).

3.1.4 Struktura dřeva

Makroskopická struktura

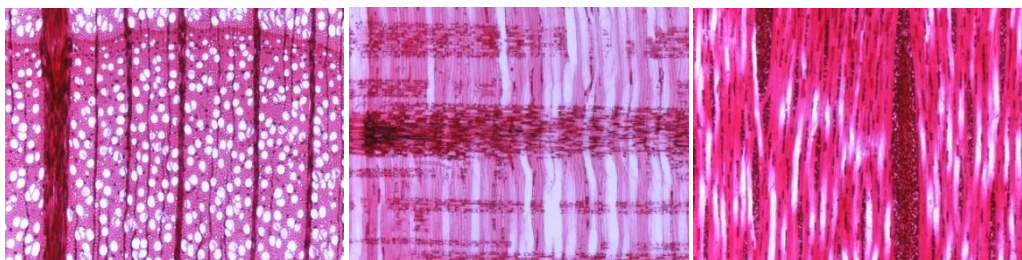
Buk je dřevina bezjaderná, roztroušeně pórovitá se znatelnými pravidelnými letokruhy, dřevo je barvy bílo-růžové, až červenohnědé. Dřeňové paprsky jsou viditelné na všech řezech. Na příčném tvoří husté pásy probíhající kolmo na letokruhy, na radiálním dobře postřehnutelná zrcátka a na tangenciálním až 5 milimetrů svislé, tmavé pásy, viz obr. 2. Dřevina je charakteristická přítomností vyvrátého dřeva. V místě průchodu dřeňového paprsku hranicí letokruhů dochází často ke zvlnění letokruhu (Gandelová et al., 2012; Zeidler, 2012).



Obr. 2 - Příčný, radiální a tangenciální řez bukového dřeva (Zeidler, 2012)

Mikroskopická struktura

Na příčném řezu můžeme vidět cévy jednotlivě anebo v radiálních skupinách. V nepravém jádru se v cévách vyskytují thyly a jádrové látky. Základní pletivo je tlustostěnné, dřeňové paprsky jsou na hranici letokruhů rozšířené. Podélný dřevní parenchym apotracheální je difuzní, až rozptýleně nakupený. Na radiálním řezu můžeme vidět jak jednoduché, tak i žebříčkové perforace, stěny cév jsou hladké. Na tangenciálním řezu můžeme vidět mnohvrstevné dřeňové paprsky, které se skládají až z 25 vrstev, viz obr. 3. Základní pletivo tvoří libriformní vlákna, vyskytují se v něm i vláknité, cévovité a vazicentrické tracheidy (Gandelová et al., 2012).



Obr. 3 - Příčný, radiální a tangenciální mikroskopický řez buku (Zeidler 2007)

3.1.7 Fyzikální a mechanické vlastnosti

Fyzikální vlastnosti

Buk se považuje za středně těžké a středně tvrdé dřevo. Není tolik trvanlivé a má malou odolnost vůči biotickým činitelům, při sušení má sklon se bortit a praskat. Patří mezi dřeva velmi sesýchavá (Gandelová et al., 2012). Základní fyzikální hodnoty hustoty a bobtnání podle různých autorů ukazuje následující tabulka:

Tab. 1 – Hodnoty hustot a sesychání buku různých autorů

| | Lexa, 1952 | Kollmann, 1951 | Novák, 1970 | Požgaj et al. 1997 | Wagenführ, 2000 |
|--|------------|----------------|-------------|--------------------|-----------------|
| Hustota dřeva v absolutně suchém stavu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | 0,68 | 0,68 | 0,68 | 0,684 | 0,68 |
| Hustota dřeva při vlhkosti 12% ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | 0,71 | 0,72 | 0,72 | - | 0,72 |
| Bobtnání podélné (%) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Bobtnání radiální (%) | 5,0 | 5,8 | 5,8 | 5,3 | 5,8 |
| Bobtnání tangenciální (%) | 11,8 | 11,8 | 11,8 | 12,5 | 11,8 |
| Bobtnání objemové (%) | 17,5 | 17,9 | 17,9 | 17,5 | 17,9 |

Mechanické vlastnosti

Bukové dřevo má střední pevnost v ohybu, tuhost a rázovou houževnatost, vysokou pevnost v tlaku a dobrou pevnost v ohybu (Walker, 2009). Následující tabulka ukazuje hodnoty mezí pevnosti buku lesního při 12 % vlhkosti:

Tab. 2 – Hodnoty mechanických charakteristik buku při 12 % vlhkosti od různých autorů

| | Lexa, 1952 | Kollmann, 1951 | Novák, 1970 | Požgaj et al., 1993 | Gandelová, 2012 | Wagenführ 2000 |
|--|---------------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Mez pevnosti v tlaku podél vláken (MPa) | 53 | 62 | 62 | 56,7 | 57,5 | 62 |
| Modul pružnosti v tlaku (MPa) | 16 000 | 16 000 | 16 000 | 16 837 | - | 16 000 |
| Mez pevnosti v tahu podél vláken (MPa) | 135 | 135 | 135 | 135,5 | 123 | 135 |
| Mez pevnosti v tahu napříč vláken (MPa) | 7 | 7 | 7 | 3,4 – 4,4 | 3,4 – 4,4 | 7 – 10,7 |
| Mez pevnosti v ohybu (MPa) | 105 | 123 | 123 | 124 | 109 | 123 |

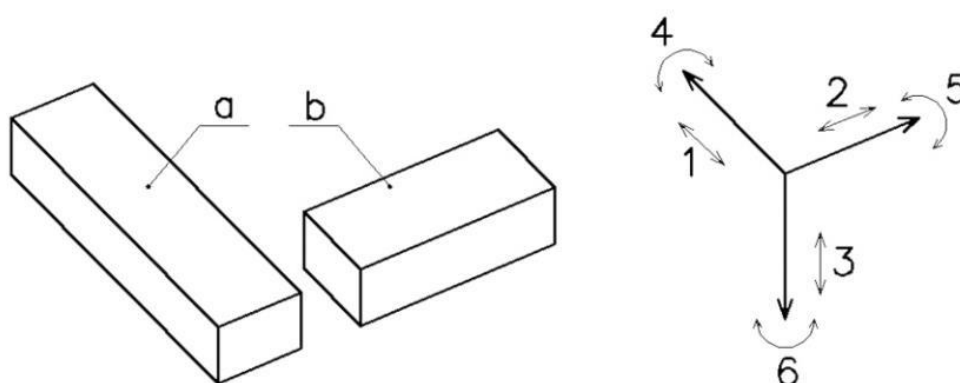
3.2 Nábytkové spoje

Nábytkový spoj je konstrukční prvek, který se využívá ve druhostupňovém zpracování dřeva při výrobě nábytku. Pomocí těchto spojů se jednotlivé dílce skládají v dílčí nábytkové podsestavy, ty se pak pomocí nich dají kompletovat i do finálních nábytkových sestav. Spojovat se dají jak prvky z masivního dřeva, tak prvky z materiálů na bázi dřeva, prvky kovové, hliníkové i skleněné a samozřejmě i jejich jednotlivé kombinace. U každého spoje je vždy nutné brát v potaz jeho konkrétní charakteristiku, aby spoj byl vždy pevný a nepovolil, a aby byl i designově vzhledný. U některých typů nábytku může být spoj schválně přiznán, kde přispívá k celkovému dojmu nábytku, ale většinou je spíše snaha o to, co nejlépe spoj schovat v konstrukci nábytku.

Definice spoje:

V prostoru může mít těleso až šest stupňů volnosti, tzn. může se volně pohybovat přímočarým pohybem v třech navzájem kolmých směrech anebo se kolem těchto tří os otáčet.

Spoj je tedy spojení dvou nebo více konstrukčních prvků, které mají za úkol u dané spojované sestavy tyto stupně volnosti snížit o požadovaný počet (Joščák et al., 2014)



Obr. 4 - Stupně volnosti tuhého tělesa v prostoru (Joščák et al., 2014)

a - nepohyblivý prvek, b - pohyblivý prvek, 1, 2, 3, - posuvy, 4, 5, 6, - otáčení

3.2.1 Rozdělení podle tvaru dílců

V úplně základním rozdělení můžeme spoje dělit podle tvaru dílců na spojení šířková, rohová a spoje rámových konstrukcí.

3.2.1.1 Šířková spojení

Šířková spojení se používají v největší míře u prvků z masivního dřeva, kdy je potřeba vyrobit deskový materiál, který je širší, než samotné masivní dřevo. Šířkovým nastavením přířezů z masivního dřeva je tedy možné vyrobit desky s jakoukoliv požadovanou šířkou. U masivního dřeva je potom nutno dbát na správnou skladbu přířezů, aby vlivem bobtnání a sesychání nedocházelo

k velkému pnutí uvnitř desky a následným prasklinám. K zamezení praskání desek je také možno použít svlaků, které zabezpečí lepší rozměrovou stabilitu.

Samotné spojení přířezů může mít různá provedení:

- natupo,
- polodrážka,
- drážkovaný profil,
- s vlastním nebo vloženým perem.

(Nutsch, 2003)

3.2.1.2 Rohová spojení

Rohová spojení nábytkových dílců se používá především u korpusových dílců, kdy je potřeba spojit dvě na sebe kolmé desky. Druh spojovacího prostředku a konstrukční provedení závisí jednak na typu použitých materiálů a dále také na tom, jak moc bude tento spoj zatěžován. V případě masivního dřeva je také potřeba vzít v potaz anizotropii a bobtnání a sesychání materiálu.

Rohová spojení mohou mít různé provedení:

- spoje sbíjené - takovéto spoje se k sobě spojují natupo anebo do polodrážky. Pokud se sbíjejí hřebíky, tak by se měly vždy zatloukat našikmo, aby spoj lépe držel (Nutsch, 2003).

- lepené spoje natupo (na pokos) nebo na polodrážku - tyto spoje se mohou vyztužovat špalíkem nebo ocelovou sponou (Nutsch, 2003).

- spoje na vlastní nebo vložené pero - zvětšují lepenou plochu a tím i výslednou pevnost spoje (Nutsch, 2003).

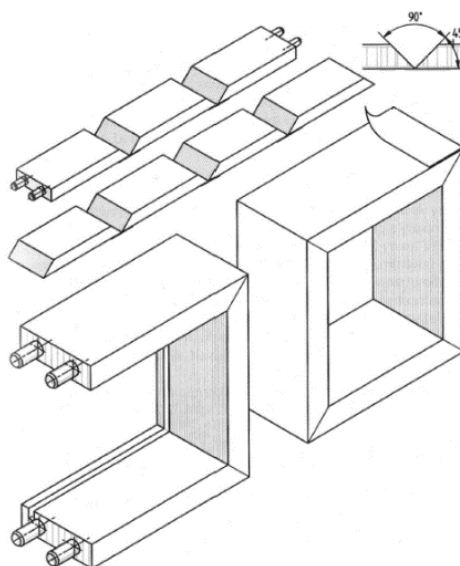
- vnější rohová spojení s vlastní s drážkovanou spárou - velkou výhodou těchto spojů je zvětšení lepené spáry a tím i větší pevnost, naopak lehkou nevýhodou je trochu složitější výroba (Nutsch, 2003).

- svlaky - málo používaný, pouze u spojů ve tvaru "T", musí se směrem ke konci zužovat, aby byla zajištěna výsledná pevnost spoje (Nutsch, 2003).

- ozuby - mohou být otevřené (spoj je vidět ze dvou ploch), polokryté (spoj vidět jen z jedné plochy) nebo celokryté (spoj není vůbec vidět). Používaly se spíše dříve ruční výrobou a hlavně u masivu. Dnes už se vyrábějí strojně, ale pouze jako designový prvek, výroba tohoto spoje je totiž náročnější, než dnes používané spoje (Nutsch, 2003).

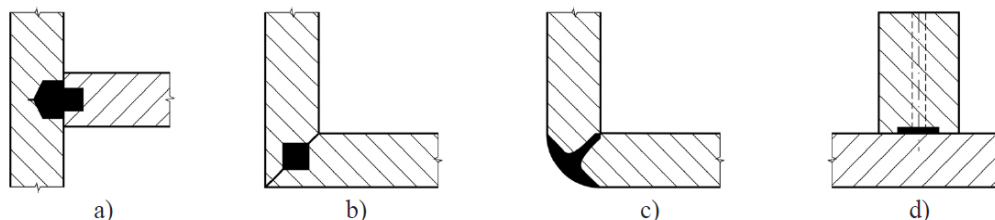
- sdružené čepy - používají se u spojů ve tvaru "T", a pouze u masivu. Mohou být lepené, nebo s přesahem a zaklínované. Takový spoj je potom rozebíratelný (Nutsch, 2003).

- Folding system - speciální systém skládání korpusů, kdy celý korpus se na začátku skládá z jednoho dlouhého rovného dílce opatřeného povrchovou úpravou, který se pak na předem daných místech nařízne "V" drážkou bez toho, aniž by byla narušena povrchová úprava. To umožňuje, že se celý korpus dá složit dohromady tak, aby například v případě dýhy nebo vzorované fólie byl zachován stálý průběh kresby. Používá se hlavně u aglomerovaných materiálů (Nutsch, 2003).



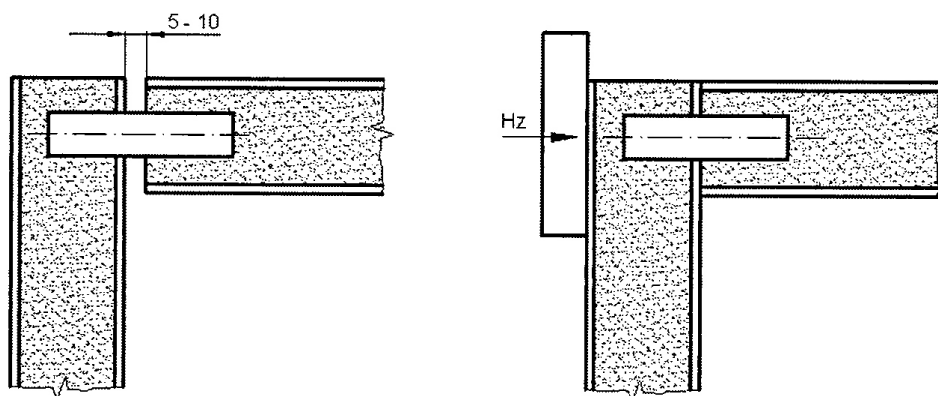
Obr. 5 - Folding systém (Nutsch, 2003)

- Molting systém - Tato metoda spojování spočívá ve vstřikování tavitelného plastu (nejčastěji polyamidu) do speciálně vyfrézovaných drážek v dílcích. Polyamid se do spár vstřikuje pod velkým tlakem (cca 20 MPa) a za vysoké teploty (220 °C - 300 °C). Díky vysokému tlaku se plast dostává do mikrospar a pórů materiálu. Vzhledem k faktu, že polyamid po vychladnutí zmenšuje svůj objem o cca 4 - 7 %, tak tato skutečnost ve finále zabezpečí celkovou tuhost a soudržnost spoje (Joščák et al., 2011). Na obrázku dole můžeme vidět různé způsoby použití (zleva doprava): středový nebo rohový spoj natupo, rohový spoj na pokos, rohový spoj současně se zaoblením a připojení lišty na plochu (Joščák, 2014). V praxi se mohou používat ještě jinak profilované drážky pro lepší samosvornost spoje.



Obr. 6 - Molting systém - příklady použití (Joščák, 2014)

- roztavitelné kolíky - spoj pomocí tavitelného kolíku vypadá obdobně, jako u kolíku dřevěného. Nicméně dřevěný kolík zde nahrazuje dutý plastový kolík, který je však cca o 5 - 10 mm delší, než je součet délek otvorů v jednotlivých dílcích. Při přitlačování dílců k sobě začne na dílce působit ultrazvukový zářič, díky kterému se kolíky roztaví, dílce dolehnou k sobě a díky plastu, který se pevně spojí se strukturou dřeva, dochází k vysoké pevnosti spoje. Doba trvání tvorby spoje nepřesahuje 5 vteřin a je cca o 30 % pevnější než klasický dřevěný kolíkový spoj. Díky technologii je spoj výhodné využívat ve větších sériových výrobcích (Zemiar et al., 2009).



Obr. 7 - Spoj roztavitelnými kolíky (Zemiar, 2009)

3.2.1.3 Spoje rámových konstrukcí

Rámy se zhotovují převážně z masivních materiálů, v o něco menší míře i z aglomerovaných materiálů. Spojují se převážně lepením, ojediněle i mechanickými spojovacími prostředky.

Rohové spoje mají různá provedení:

- přeplátování - nejjednodušší rohový spoj s nepříliš velkou pevností.

- čepové spoje:

- čep a rozpor - často používané a pevné spojení, které se používá buď s jednoduchým nebo dvojitým čepem a většinou bývá osazeno na pokos. Hodí se pro oboustranně profilované nebo frézované vlysů (Nutsch, 2003).

- čep a dlab - lepený spoj, kdy čep je vlepen do frézovaného, vrtaného nebo dlabaného otvoru. Používá se u širších vlysů, lubů, nebo u připojení středových příčných či vodorovných vlysů na podélné (Nutsch, 2003).

- miniozuby - frézují se speciálními nožovými hlavami, mají až o 50 % větší lepenou plochu než dvojitý čep. Tím pádem je spoj o mnoho

pevnější, avšak jeho výroba vyžaduje trochu větší technologickou náročnost (Nutsch, 2003).

- kolíkové spoje - dají se použít u rohových spojů, které mohou být truhlářské výrobě je velkou výhodou rychlost výroby tohoto spoje (Nutsch, 2003).

- spoje s vloženými pery - používaný jak u spojení na pokos, tak natupo. Mohou se používat buď pera z překližky či masivu pro konkrétní rozměr spoje, či jiné varianty, podle účelu použití (Nutsch, 2003):

- dřevěná lamela - nejběžnější spojovací prvek jako vložené pero. Má eliptický tvar, vyrábí se nejčastěji z bukového dřeva. Lamela je stlačená a na povrchu rýhovaná, aby zajistila rovnoměrné rozložení lepidla a po nabobtnání vlivem vlhkosti z lepidla i pevnost spoje. Drážka pro lamelu bývá frézována o něco větší než samotná lamela, takže při lepení dovoluje jistou vůli při manipulaci (Nutsch, 2003). To může být výhodou i nevýhodou. Plastové a kovové lamely můžeme použít jako nerozebíratelný lepený spoj, ale určité typy mohou být použity i jako rozebíratelný spoj (Vassiliou a Barboutis, 2008).

- specialitou je potom tzv. DOMINO kolík (pero), který se vyznačuje oválným průřezem a rýhovaným povrchem pro větší kvalitu lepené plochy (Joščák, 2014). DOMINO kolík je produktem obchodní značky Festool a vyznačuje se větší lepenou plochou, tedy i větší pevností, a zabraňování otáčení nebo posouvání spojovaných prvků při použití i jediného kolíku narozdíl od použití klasického kolíku či lamely. Dá se použít při spojení natupo i na pokos.

- Hoffmannova rybina - tento spoj má v obou dílcích vyfrézovanou rybinovou drážku, do které zapadá Hoffmannova rybina. Tento spoj nemusí být lepený. Pero může být nejen ze dřeva, ale i z plastu či kovu. Používá se jako středový spoj (tvar "T"), nebo jako rohový spoj, a to jak natupo, tak i na pokos (Joščák, 2014).



Obr. 8 - Dřevěná lamela
(www.ason-vala.cz, 2019)



Obr. 9 - Domino kolík
(www.festool.cz, 2019)



Obr. 10- Hoffmannova rybina
(Joščák, 2014)

3.2.2 Rozdělení podle typu spojování

Podle typu spojení, respektive typu sil, které tvoří spojení mezi dílci nábytku, můžeme nábytkové spoje rozdělit takto (Joščák, 2014):

- lepené spoje,
- mechanické spoje,
- pojení tavitelnými plasty,
- svařované spoje.

3.2.2.1 Lepené spoje

Lepený spoj je pevné, trvalé spojení dvou na sebe přiléhajících povrchů pomocí lepidla, které mezi nimi tvoří souvislou tenkou vrstvou, která tvoří spoj daných materiálů (Drápela et al., 1980). Lepení spočívá v nanesení lepidla na lepené materiály, jejich spojení a následně vytvrzení. Vytvrzování lepidla může probíhat následujícími procesy nebo jejich kombinacemi:

- unikáním disperzního prostředku z lepené spáry,
- solvatací,
- ochlazováním,
- chemicky (polyadice, polykondenzace).

(Trávník a Svoboda, 2007, Nemeč et al., 1985)

Nejčastější kombinace vytvrzování je spojení chemické reakce a únik disperzního prostředku. Vytvrzování lze také urychlit využitím vhodných podmínek po slepení spojovaných dílců dle způsobu vytvrzování, např. zvýšenou teplotou nebo tlakem (Nemec et al., 1985).

Vlastnosti lepených spojů

Adheze - působení přitažlivých mezimolekulárních sil na rozhraní mezi lepidlem a povrchem lepeného materiálu, neboli schopnost lepidla přilnout k materiálu. Na vzniku adheze se podílí mechanickými silami lepidlo zateklé do pórů dřeva, kde po zaschnutí vytvoří drobné "kolíčky" pro mechanické spojení povrchů. Pevnost lepeného spoje závisí na množství těchto vzniklých kolíčků (Drápela et al., 1980; Muzikář et al., 2008).

Koheze - vzájemné působení molekul lepidla mezi sebou, neboli schopnost vytvořit soudržnou, pospolitou hmotu. Částice lepidla v pevném lepeném spoji jsou drženy silami chemických vazeb a mezimolekulárními silami. Koheze lepidla u daného spoje by měla být vždy vyšší, než koheze daného materiálu. Čili při zkoušce pevnosti lepidla by mělo dojít k porušení spoje ve dřevě, nikoliv v lepidle (Drápela et al., 1980; Muzikář et al., 2008).

Další významnou vlastností, která se podílí na výsledné pevnosti spoje, je smáčivost lepidla. Obecně můžeme říci, že pokud se lepidlo dokáže k danému materiálu přiblížit na vzdálenost kratší než 3 - 4 μm , můžeme říci, že dané lepidlo smáčí povrch materiálu. O tom, zda lepidlo bude daný materiál dobře smáčet, rozhoduje vlastnost známá jako povrchové napětí. Je to veličina, která popisuje rovnováhu přitažlivých a odpudivých sil molekul pevných látek, kapalin a plynů na jejich rozhraní. Pokud je povrchové napětí kapaliny nižší, než napětí látky pevné, kapalina povrch dobře smáčí a dobře ulpívá na povrchu - látka je polární. V opačném případě se kapalina sbalí do kapky kulovitěho tvaru a povrch materiálu vůbec nesmáčí - látka nepolární (Drápela et al., 1980; Muzikář, et al., 2008).

Kromě adheze, koheze a smáčivosti rozhodují o výsledné kvalitě spoje ještě tyto vlastnosti:

- viskozita lepidla - velmi řídké lepidlo se příliš vsakuje do povrchu lepeného materiálu a nevytváří dostatečný film, potřebný k požadované pevnosti spoje. Příliš hustá směs se zase špatně rozlévá po lepeném povrchu a mohou vzniknout místa s nedostatečným nánosem lepidla.

- způsob nanášení lepidla - může se používat nanášení štětcem, stříkáním, případně navalováním.

- množství naneseného lepidla - při malém nánosu může vzniknout tzv. chudý spoj s malou pevností.

- působení tlaku na spoj - aby proběhla dostatečná adheze lepidla k lepenému materiálu, musí být zvolen optimální lisovací tlak. Ten je u každého lepidla uveden v technickém listu.

- teplota lepeného materiálu a lepidla - zvýšenou teplotou můžeme dosáhnout kratšího lisovacího času a zvýšené pevnosti díky většímu odpařování vody či ředidla a zrychlení chemických reakcí. Pokud však bude teplota příliš vysoká, může dojít k rozkladu složek lepidla a to má za následek degradaci spoje.

- savost lepených materiálů a jejich povrch - u dřeva závisí savost povrchu od typu dřeviny a hlavně od její pórovitosti. Příliš pórovité dřeviny absorbují větší množství naneseného lepidla, takže se nevytvoří dostatečný film. Málo pórovité dřeviny zase nemusí lepidlo dostatečně vstřebat, takže nedojde k požadované adhezi potřebné pro pevný spoj. Pro vyšší pevnost spoje je také požadovaná dostatečná drsnost povrchu. Mezi příliš hladkými povrchy se nemusí vytvořit dostatečná vrstva filmu, potřebného k pevnému spoji, u příliš drsného povrchu zase film nemusí dostatečně spojovat obě plochy spojovaného materiálu a může vzniknout riziko rozlepeného spoje. (Drápela et al., 1980; Muzikář, et al., 2008)

Při nedodržení technologických požadavků daného lepidla při lepení spoje mohou vzniknout vady v lepeném spoji:

- zrnitý spoj - spoj s malou pevností, který má po rozloupnutí krupicovou strukturu.

- chudý spoj - málo pevný spoj, zapříčiněný malým nánosem lepidla. Malé množství směsi se okamžitě vsákne do lepeného povrchu a nevytvoří souvislý film, potřebný k dostatečné pevnosti spoje.

- rozlepený spoj - místy nebo po celé ploše volný s viditelnými spárami v lepeném spoji.

- zamrzlý spoj - málo pevný spoj, při jehož porušení se na jedné z lepených ploch objeví souvislý film lepidla.

- nezakotvený spoj - při jeho porušení je sice ve spáře dostatečný film lepidla, ten však nedostatečně ulpívá k lepenému povrchu (spoj s malou adhezí).

- zdánlivě pevný spoj - při jeho porušení se spoj porušuje ve dřevě, v přímé blízkosti filmu lepidla. Na filmu lepidla zůstává souvislá vrstvička jemných dřevních vláken.

(Muzikář et al., 2008)

Dřevo je velmi polární látka, tudíž ulpívání lepidel na dřevu nebo na většině materiálů na bázi dřeva není problém. Ten nastává až v případě, že do materiálu je přimícháno větší množství nepolární látky (např. parafín), nebo už je povrch materiálu ošetřen povrchovou úpravou. Při tvorbě lepeného spoje se od sebe liší tvorba filmu lepidel rozpouštěných v rozpouštědlech, lepidel, jejichž částice jsou dispergovány ve vodě, lepidel, která bez obsahu vody nebo rozpouštědel tvoří film chemickou reakcí, nebo u tavných lepidel, kde k tvorbě filmu dochází pouze změnou skupenství (Muzikář et al., 2008).

Složení lepidel:

- filmotvorná látka (pojivo) - makromolekulární látka, která je při nanášení v tekutém stavu. Do tekutého stavu je převedena zahřátím nad bod tání (tavná lepidla), rozpuštěním v organickém rozpouštědle nebo rozptýlením pojiva ve vodě. Přílnavost (adheze) filmotvorné látky k jiným materiálům a její koheze určuje výslednou pevnost lepeného spoje.

- rozpouštědlo - kapalina, nebo směs kapalin, které se používají při výrobě lepidel k rozpouštění nebo úpravě hustoty lepidla.

- ředidlo - pouze upravuje viskozitu lepicí směsi při jejím nanášení na lepený materiál.

- tvrdidlo - vyvolává nebo urychluje chemickou reakci vytvrzování a přeměnu kapalného lepidla do pevného stavu svými katalytickými účinky. Pro jednotlivá lepidla jsou určeny rozdílné typy tvrdidel. Močovinová lepidla se obecně vytvrzují kyselé reagujícími látkami, fenolická kyselými organickými sulfokyselinami, rezorcinová látkami na bázi paraformaldehydu a epoxidová tvrdnou po přidání polyaminů.

- retardér - prodlužují životnost lepicí směsi.

- plniva - jemně mleté tuhé látky, zvyšující zpracovatelnost a snižující cenu lepidla. Zabraňují také nadměrnému prosakování lepidla do lepeného materiálu. Jako plniva se používají kaolín, křída, nebo dřevní moučka.

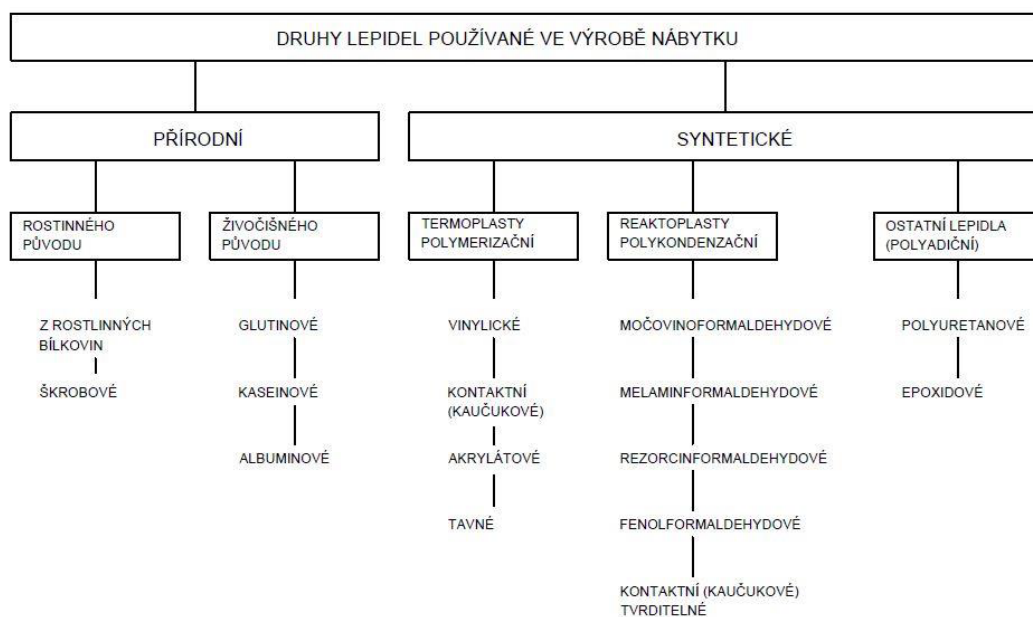
- nastavovadla - jemně mleté organické látky s vlastní lepivostí jako např. mouka, škrob, celulóza. Jejich použití snižuje cenu, reguluje tekutost lepicích směsí a zlepšuje pružnost lepených spojů. Zvláštním případem je potom zpěňování. Takto připravené směsi mají menší tekutost, lépe se nanášejí a nevsakují se do dřeva. Ideální použití je však jen při lepení plošných elementů za zvýšené teploty.

- stabilizátory - látky, které se do lepidel přidávají za účelem uchování vlastností jak během skladování, tak i během zpracování a zároveň zachování vlastností lepeného spoje během jeho používání.

- zušlechťující přísady - látky, které zlepšují vlastnosti lepené směsi (smáčedla, barviva, fungicidní látky, hydrofobní látky, atd.).

(Drápela et al., 1980; Muzikář, et al., 2008)

Co do tvaru dílců a jednotlivých spojení jsme si lepené spoje rozebrali v kapitole 3.2.1. Nyní si lepené spoje rozebereme z hlediska použitých lepidel a technologií lepení.



Obr. 11 - Druhy lepidel používané ve výrobě nábytku (podle Nemeč et al., 1985)

Lepidla přírodní

Lepidla rostlinného původu

Používají se nejčastěji lepidla na bázi škrobu. Škrob vlivem teplé vody (cca 62 - 68 °C) nabobtnává a stává se lepivým. Tato lepidla nejsou odolná vůči působení vlhkosti, bakterií ani plísní. Odbouráváním škrobu se připravují dextrinová lepidla, jejichž výhodou je velmi nízká cena, používají se ale jen k lepení papírů, obalů nebo tapet. Kromě lepidel ze škrobu se řadí ještě lepidla z přírodního kaučuku, rostlinné gumy nebo alginátů (Muzikář et al., 2008).

Lepidla živočišného původu

Lepidla živočišného původu se nejčastěji vyrábí z kolagenu obsaženého v kůžích nebo kostech zvířat působením kyselin alkálií, nebo vody za zvýšené teploty. Odtud název kostní nebo kožní klíh, hromadně glutinová lepidla. Tato lepidla nejsou odolná proti vodě, vlhkosti, teplotě, ani proti působení organismů. O něco vyšší odolnosti lze dosáhnout přidáním formaldehydu. Mohou se plnit např. moučkou či křídou a jejich koncentrace má vliv na výsledné použití. Před příchodem syntetických lepidel se používaly k výrobě a opravám nábytku, tužek, sirek a hudebních nástrojů (Eisner et al., 1983, Muzikář et al., 2008). U hudebních nástrojů měl klíh tu výhodu, že kličem lepený poškozený nástroj se v daném místě zahřál, klíh povolil a poškozený dílec se jednoduše vyměnil.

Dalším typem jsou lepidla kaseinová a albuminová. Lepidla kaseinová se vyrábí z kaseinu, čili bílkoviny obsažené v kravském mléce. Tam je obsažen ve formě vápenaté soli, která se izoluje vysrážením kyselinami. K přípravě koloidních viskózních roztoků, které se pak používají pro lepení, se používají sloučeniny hydroxidu, konkrétně hydroxid sodný, vápenatý, draselný, amoniak, nebo alkalicky reagující soli. Zvolením správné přísady v roztoku se poté může dosáhnout rozličných požadovaných vlastností roztoku. Přidáním formaldehydu se může dosáhnout vyšší vodovzdornosti (Eisner et al., 1983).

Albuminová lepidla se připravují z krve jatečných zvířat rozpuštěním albuminu ve vodě v přítomnosti alkálií tím způsobem, že krevní albumin se nechá namočený ve vodě a po uplynutí šedesáti minut se přidá příslušná alkálie (např. hydroxid vápenatý ve formě vápenného mléka). Poté se směs cca 30 minut míchá. Výsledné použití albuminového lepidla se poté odvíjí od koncentrace vyrobeného roztoku. Tento typ lepidla se v praxi příliš nevyužíval díky nízké odolnosti vůči vlhkosti, škůdcům, nepříjemnému zápachu a přílišnému otupování dřevoobráběcích nástrojů (Eisner et al., 1983).

Lepidla syntetická

Termoplasty - polymerizační

- **kontaktní lepidla** - neboli také lepidla roztoková, jsou v podstatě roztoky syntetických pryskyřic v organických rozpouštědlech. Název kontaktní je odvozen od způsobu práce s těmito lepidly. Ten spočívá v nanesení lepidla na obě lepené plochy, následném ponechání dílců na větraném prostoru (cca 10 - 15 minut), aby se z lepidla odvětralo rozpouštědlo, a následném přiložení dílců k sobě. Jelikož kontaktní lepidla vytvrzují chemicky, závisí výsledná pevnost primárně na velikosti lisovacího tlaku. Lepidlo následně zesítuje a vytvoří film lepidla, který utváří výslednou pevnost. U náročnějších spojů je doporučeno ponechat spoj v zatížení po dobu až 24 hodin. Používá se spíše pro spojování nedřevěných materiálů, či jejich kombinací (Eisner et al., 1983, Drápela et al., 1980).

- **tavná lepidla** - jsou tuhé směsi termoplastických hmot a přísad vyznačujících se tím, že za normální teploty jsou nelepivé, tuhé a neobsahují žádná organická rozpouštědla. Základní složkou bývá nejčastěji kopolymer ethylvinylacetátu (odtud někdy název ethylvinylacetátová lepidla - EVA). Tavná lepidla se obvykle dodávají v granulátu či blocích. Při aplikaci se lepidlo v tuhé formě musí roztavit na teplotu nad 200 °C a následně se aplikuje na spoj, kde zase velmi rychle tuhne a tvoří výsledný spoj. Výhodou je téměř nekonečný počet

cyklů rozpuštění/ztuhnutí lepidla. Nevýhodou je jejich nízká tepelná odolnost při teplotách vyšších než 60 °C (Drápela et al., 1980; Muzikář, et al., 2008).

Nejčastěji se používá při olepování rovných bočních ploch nábytkových dílců v průběžných olepovačkách, při výrobě hran pro ruční olepování a při olepování technologií softforming. Dále se poté používají při lepení čalouněného nábytku, montážním lepení a oplášt'ování profilů. Pro olepování tepelně namáhaných bočních ploch se používají pásy s nánosem polamidové směsi, která odolává teplotě vyšší než 100 °C. Vyšším stupněm tepelné odolnosti potom disponují polyesterová tavná lepidla, která odolávají i teplotám nad 140 °C. (Drápela et al., 1980; Muzikář, et al., 2008)

- **disperze** - z chemického hlediska patří disperzní lepidla do kategorie lepidel termoplastických. Pojem disperze, pod kterým máme vžitý název pro druh lepidla ve dřevozpracujícím průmyslu, pochází z koloidní chemie a představuje heterogenní systém dvou a více látek, kde částice jedné nebo několika dalších jsou rozptýleny (dispergovány) v látce jiné - disperzním prostředí. V případě disperzních lepidel je dispergována polyvinylacetátová pryskyřice ve vodě (odtud také zkratka PVAC lepidla). K tomuto stavu dochází již při vlastní výrobě disperze, při **polymeraci** (Drápela et al., 1980, Eisner et al., 1983).

Základním postupem přípravy disperzí je polymerace či kopolymerace monomerů v disperzním prostředí. Tímto postupem vznikají disperze s velkou molekulovou hmotností. Jiné postupy bývají založeny na dodatečné dispergaci připravených makromolekulárních látek, jejich vysokoprocenních roztoků. Dalším způsobem může být příprava z práškových makromolekulárních látek. Jako disperzní lepidla se nejvíce uplatňují PVAC disperze homopolymerní, či kopolymerní, nejčastěji s esterem kyseliny akrylové (Eisner et al., 1983).

Vlastnosti PVAC lepidel jsou z velké míry ovlivněny také polymeračním stupněm a velikostí částeczek disperze. Polymerační stupeň se pohybuje okolo stupně 1 000 - 2 000 a velikost částeczek bývá v hodnotách mezi 0,1 až 5 μm, přičemž valná většina částic má velikost 1 - 2 μm. Při lepení podíl jemných částic spolu s disperzním prostředkem difunduje do porézního materiálu, kde poté

dochází k dostatečnému zakotvení filmu lepidla do lepeného materiálu. Dobré kohezní vlastnosti vytváří film, který obsahuje střední a hrubší částice disperze (Eisner et al., 1983).

Disperzní lepidla jsou díky své vysoké polaritě dobře přilnavé ke dřevu a materiálům na jeho bázi. Mezi jejich největší výhody patří ředitelnost vodou, nízká viskozita, zpracování za běžné teploty jako jednosložková, minimální filmotvorná teplota (cca 12 - 13 °C), ve většině namáhání pevnost větší, než je pevnost dřeva a relativně krátká lisovací doba (10 - 20 minut). Konečná pevnost lepeného spoje však nastává až po 24 hodinách. Dobu lisování spoje lze ještě zkrátit vystavením zvýšené teplotě či infračervenému ohřevu o více jak 60%. Mezi nevýhody můžeme zařadit omezenou odolnost vůči působení vlhkosti (i při přidání hydrofobních látek), a pokles pevnosti vlivem zvýšené teploty (Drápela et al., 1980, Muzikář et al., 2008).

PVAC lepidla se v dnešní době nejčastěji používají při montážním lepení kolíkových a lamelovaných spojů nebo při lepení spárovek. Podle normy ČSN EN 204 můžeme obecně termoplastická lepidla rozdělit podle odolnosti vůči vlhkosti a povětrnostním vlivům a podle použití. Od lepení nábytkových dílců v interiéru bez působení vlhkosti, až po prvky vystavené v exteriéru, které mohou být vystaveny omezenému působení vysoké vlhkosti, tekoucí vody i povětrnostním vlivům. Výsledná pevnost lepeného spoje bývá ve většině případů vyšší, než pevnost lepeného dřeva. Pro tento výsledek musí být však zabezpečeno, aby byly obě lepené plochy dostatečně hladké a nános lepidla se pohyboval mezi 100 - 300 g.m⁻² v závislosti na velikosti lepené plochy a vlhkosti daného materiálu. Přitom platí, že čím má daný materiál větší vlhkost, tím delší dobu film vytvrzuje (Drápela et al., 1980, Eisner et al., 1983).

Reaktoplasty - polykondenzační

- **močovinoformaldehydová (UF) lepidla** - nejrozšířenější lepidla používaná k lepení dřevěných materiálů. Vznikají kondenzací močoviny s formaldehydem v rozmezí polárních poměrů obou složek 1:1,4 až 1:2,3. Na výsledný produkt dané reakce má potom největší vliv molární poměr obou reagujících složek a hodnota pH reakce. Teplota a koncentrace potom ovlivňují především rychlost reakce (Drápela et al., 1980, Muzikář et al., 2008).

Močovinoformaldehydová lepidla jsou čiré, až bíle zakalené viskózní kapaliny, v prášku mají barvu bílou. Jsou omezeně rozpustné ve vodě, po reakci s příslušnými tužidly mají bezbarvé, pevné a křehké spoje. Po vytvrzení dlouhodobě uvolňují volný formaldehyd, který je zdraví škodlivý. V současné době v EU se hodnota povoleného úniku volného formaldehydu pohybuje kolem 0,1 ppm v závislosti na měřeném materiálu. Největší využití mají při výrobě plošných aglomerovaných materiálů na bázi dřeva. Výhodou UF lepidel je jejich nízká cena, dobrá viskozita a krátká vytvrzovací doba. Jejich nevýhodou je zase malá odolnost vůči vlhkosti a uvolňování volného formaldehydu, které musí podléhat příslušným normám (Drápela et al., 1980, Muzikář et al., 2008).

- **melaminformaldehydová (MUF) lepidla** - oproti lepidlům močovinoformaldehydovým vynikají vyšší pevností, větší odolností vůči vlhkosti a zdravotní nezávadností, avšak na úkor ceny produktu. Z toho důvodu se tato lepidla používají jen ve velmi omezené míře. Další nevýhodou je jejich malá stabilita, díky které mají směsi jen malou životnost. Jejich největší využití je tam, kde je zapotřebí dosáhnout zdravotně nezávadného výrobku (Drápela et al., 1980, Muzikář et al., 2008).

- **rezorcinformaldehydová lepidla** - patří mezi nejkvalitnější lepidla, mezi jejich největší výhody patří vysoká pevnost ve spoji a velká odolnost vůči působení studené i vroucí vody a vůči povětrnostním vlivům. Dokáží odolat i kyselinám, slabým zásadám a rozpouštědlům. Mají červenou barvu, v praxi se jich však příliš nepoužívá pro jejich vysokou cenu (Drápela et al., 1980).

- **fenolformaldehydová lepidla** - jsou roztoky fenolformaldehydových pryskyřic ve vodě. Spoje lepené fenolickými pryskyřicemi jsou pevné a pružné spoje, které dokáží odolat zvýšeným teplotám, vařící vodě, rozpouštědlům, stárnutí a dlouhodobému působení vlhkosti i povětrnostním vlivům. můžeme je rozdělit na konstrukční a montážní. V praxi se jimi nejčastěji lepí překližky pro použití ve venkovním prostředí (Drápela et al., 1980, Muzikář et al., 2008).

Ostatní lepidla (polyadiční)

- **polyuretanová lepidla** - vznikají adiční polymerací polyisokyanátů s vícesytnými alkoholy nebo polyesterovými či polyetherovými pryskyřicemi. Mezi jejich největší výhody patří dobrá adheze k širokému spektru materiálu, dobře spojuje i různé kombinace materiálů. K dalším přednostem patří jejich pružnost a odolnost vůči vlhkosti, povětrnostním vlivům, zvýšeným teplotám a rozpouštědlům. Snadno se zpracovává s možností vytvrzování v širokém spektru teplot. Používá se i v průběžných olepovačkách (Eisner et al., 1983).

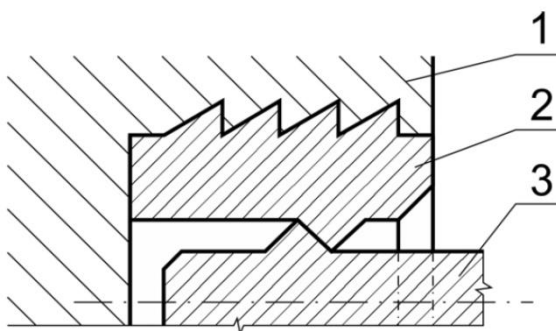
- **epoxidová lepidla** - jsou dvousložková lepidla, která se ve dřevozpracujícím průmyslu příliš nepoužívají, kvůli cenové nákladnosti a technologické náročnosti. Použití nachází při spojování dřevěných materiálů s materiály nedřevěnými, např. kovy, lamináty apod. Nejsou vhodné k lepení termoplastických hmot jako polyethylen, polystyren, polyvinylchlorid apod. Lepený spoj však dosahuje vysokých pevností a dobře odolávají vodě a teplotám do 70 °C. Pro dosažení kvalitního spoje je potřeba aplikovat přesné množství tvrdidla, které je velmi silnou žiravinou (Eisner et al., 1983, Muzikář et al., 2008).

3.2.2.2 Mechanické spoje

Mechanické spoje jsou takové spoje, které ke spojení dvou kusů dílců využívají externí spojovací prostředek bez využití sil adheze a koheze. Pevnost výsledného spoje je potom odvislá jednak od toho, jakou pevnost má samotný spojovací prostředek, případně jak jeho součásti drží pohromadě, ale hlavně od toho, jakou pevnost má spojení prostředku s daným dílcem (Joščák, 2014).

Mechanické spoje dělíme na:

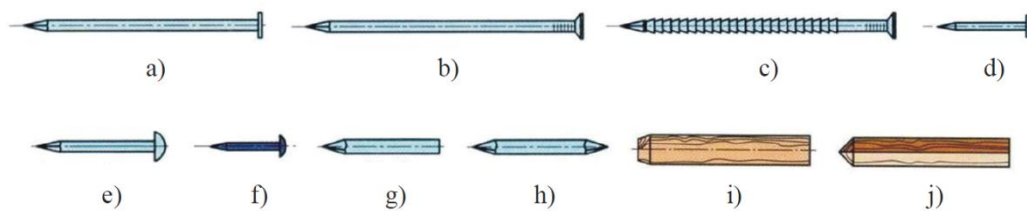
- kolík - kromě klasických bukových kolíků, které se používají při lepení, se používají ještě další dřevěné, kovové, nebo i plastové kolíky, které jsou zabezpečené proti zpětnému vytáhnutí různou tvarovou úpravou povrchu (příčné vroubkování nebo ozub), nebo využití protikusu s využitím pružnosti materiálu. Jedna z dalších možností je využití kolíku s klínovou obrubou, který je zasunutý do plastového pouzdra uvnitř otvoru pro kolík, který má klínovou obrubu na vnitřní ploše (Joščák, 2014).



Obr. 12 - Princip spojení dílců pomocí kolíků s plastovými obrubami (Joščák, 2014)

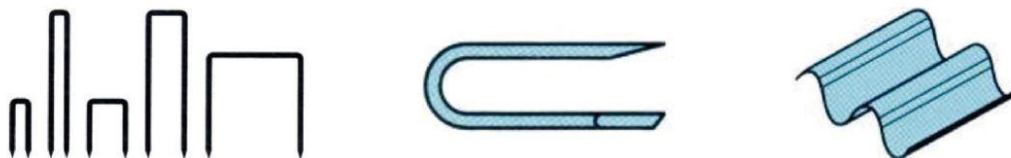
1 - dílec, 2 - pouzdro s vnitřní obrubou, 3 - kolík s vnější obrubou

- hřebíky - jsou kovové či dřevěné elementy kruhového průřezu s hladkým, anebo rýhovaným povrchem, buď s hlavičkou, či bez ní. Na druhém konci je zakončen špičkou určenou pro lepší průnik do materiálu (Joščák, 2014).



Obr. 13 - Kategorizace hřebíků (Joščák, 2014)

- sponky - je spojovací prvek z ocelového drátu ve tvaru U, anebo z tvarovaného plechu z oceli, který je určený na zatloukání do dřeva špičatým koncem (Joščák, 2014).



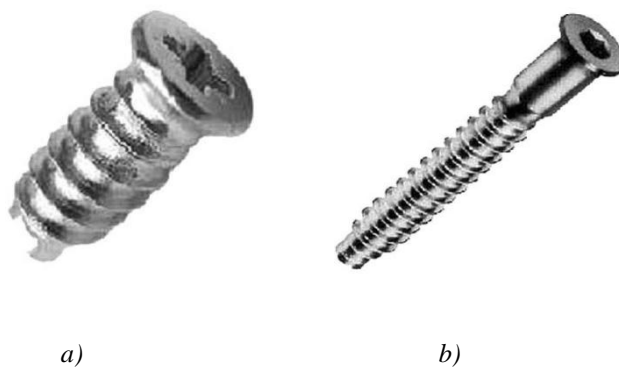
Obr. 14 - Druhy sponek - z drátu hranaté, ohýbané, z tvarovaného plechu (Joščák, 2014)

Princip spojení pomocí hřebíku či sponky spočívá v sevření spojovacího prostředku vlivem stlačení materiálu, ve kterém je prvek zasazený. Stlačení vyvolá tření, ke kterému dochází mezi prvkem a materiálem zatíženým na vytáhnutí. Větší pevnosti spoje se dá dosáhnout, pokud prvek aplikujeme do materiálu pod úhlem a ne přímo kolmo na rovinu desky (Joščák, 2014).

- vruty - jsou jedním z nejpoužívanějších mechanických spojovacích prostředků při výrobě nábytku. Jsou to kovové součástky s ostrým závitem, kterým se vrut zařezává do materiálu. Tento závit je hrubší, než jak je tomu u metrického závitu a při aplikaci do spoje se zařezává do materiálu. Je však ale potřeba, aby v prvním materiálu, do kterého vrut vstupuje, byla předvrtána díra o průměru závitu vrutu, aby mohlo dojít k opravdu pevnému spojení obou dílců.

Vruty můžeme dělit podle dvou kritérií:

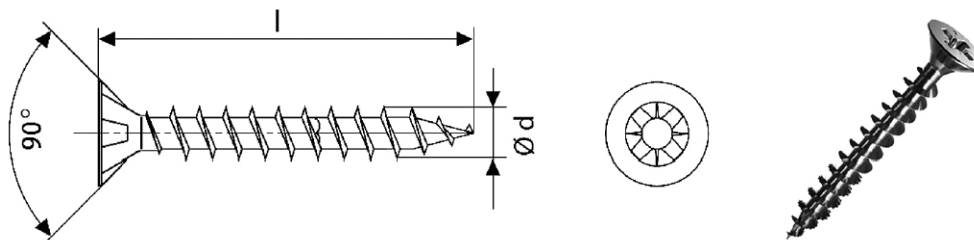
- vruty vyžadující předvrtání - pro tyto vruty se do dřeva musí vyvrtat otvor o velikosti vnitřního průměru vrutu. Jsou zakončeny tupým koncem, patří mezi ně např. konfirmáty či eurovruty (Joščák, 2014).



Obr. 15 - Druhy vrutů vyžadující předvrtání (Joščák, 2014)

a) - eurovrut, b)- konfirmát

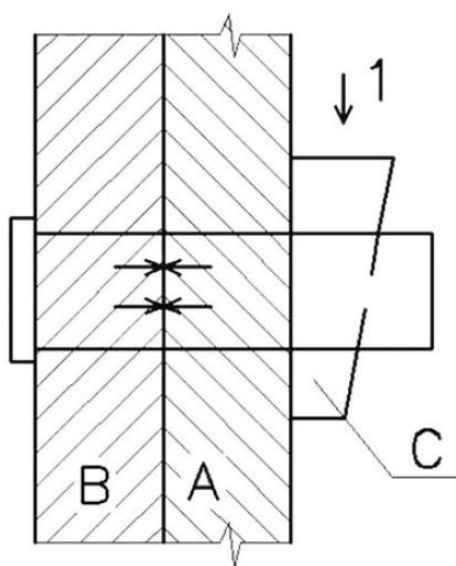
- vruty nevyžadující předvrtání - do této skupiny patří vruty se samořezným závitem, které dobře pronikají do dřevních materiálů. Mohou mít zápusťnou nebo půlkulatou hlavu. Při spojování tvrdších materiálů či vruty o větším průměru se doporučuje i tak spojovaný materiál předvrtat. Vyvarujeme se tak štípání materiálu (Joščák, 2014).



Obr. 16 - Vrut se zápusťnou hlavou nevyžadující předvrtání (Joščák, 2014)

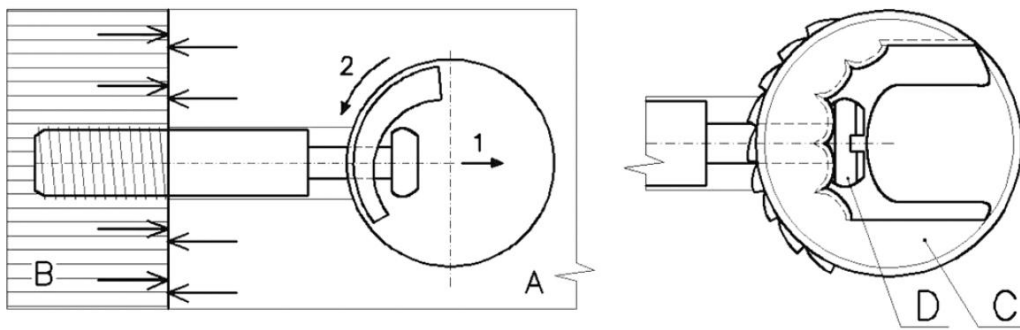
- klíny - spojování klíny se používalo spíše v dobách minulých při spojování demontovatelných částí nábytku např. u masivních stolů, lavic či stoliček. V dnešní době se používá však už jen při reprodukci dobového nábytku.

Princip spojení spočívá v použití dlabu a průchozího čepu, který se v otvoru zajistí klínem s odpovídajícími rozměry. Klín se může použít jak v rohovém spoji, tak i při spojení dvou ploch. Polohu a princip spojení ukazuje následující obrázek (Joščák, 2014):



*Obr. 17 - Princip spojení pomocí klínů (Joščák, 2014)
A,B - spojované materiály; C - klín; 1 - směr aplikované síly*

- excentry - jsou mechanické spojovací prostředky, které se používají na rohové spoje korpusových spojů. Tento spoj je spoj demontovatelný a vyžaduje předmontáž do předvrtaných otvorů. Ta se sestává ze zavrtání táhla excentru do plochy prvního dílce a osazení excentru do plochy dílce druhého. Spoj je vhodné ještě podpořit kolík pro podpoření pevnosti a rovinnosti. Po sesazení dílců k sobě stačí již pouze otočit excentrem tak, aby excentr přitáhl táhlo k sobě a spojil oba dílce dohromady (Joščák, 2014).



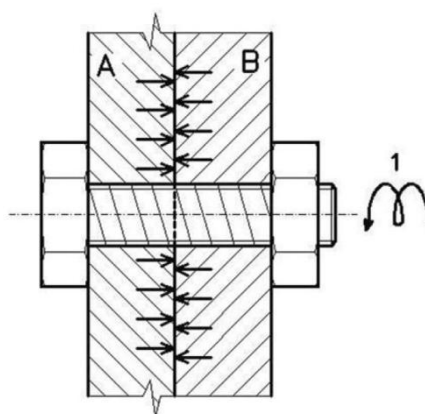
Obr. 18 - Princip spojení pomocí excentru s táhlem (Joščák, 2014)

A,B - spojované materiály; C - excentr; D - táhlo excentru;

1 - směr tažení kolíku; 2 - směr otáčení excentru

Tělo excentru může být samotné bez pouzdra, nebo může být vsazeno do plastového pouzdra, které může mít přídavné vrtání pro větší pevnost. Stejně tak můžeme podle účelu použití mít i kolíky přímé, oboustranné nebo kloubové zakončené metrickým či samořezným závitem nebo rozpěrnou hmoždinkou (Joščák, 2014).

- šrouby s metrickým závitem - můžeme považovat za jedno z neúčinnějších spojení, neboť v tomto spoji je nejmenší riziko samovolného uvolnění. Používají se v kombinaci s maticí, ať už klasickou šestihrannou, závrtnou, válcovou či jinou (Joščák, 2014).

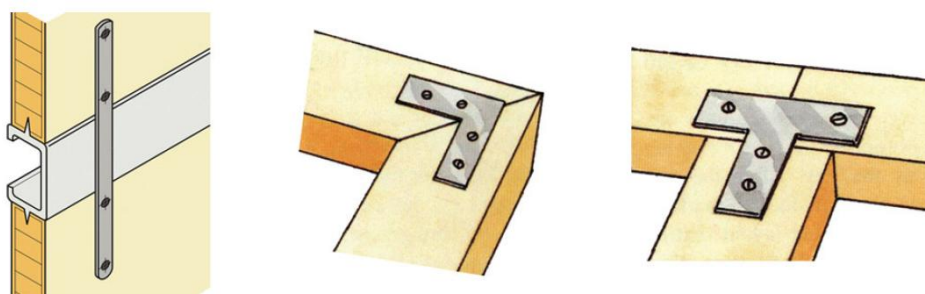


Obr. 19 - Princip spojení pomocí šroubu a matice (Joščák, 2014)

A,B - spojované materiály; 1 - směr otáčení

Rozdělujeme je také podle způsobu použití: do rohových spojů používáme šrouby s válcovou nebo závrtnou či maticí. Tu můžeme použít i pro spojení dvou ploch. Kromě ní používáme i spojovací šroub s pouzdrovou maticí nebo šroub s maticí narážecí. U spoje hrana-hrana (např. spoj pracovních kuchyňských desek), používáme spojovací šrouby s tvarovanými podložkami, které se usazují do předvrtaných otvorů.

- spojovací plechy a úhelníky - oba prvky se aplikují na povrch jednotlivých dílců, kde se připevňují pomocí vrtů do předvrtaných otvorů. Spojovací plechy se mohou používat na nastavování plošných dílců. Podle tvaru mohou být použity na přímé, rohové či "T" spoje. Úhelníky se používají na rohové spoje, kdy podle typu spoje je potřeba použít úhelník s vhodnými rozměry a tloušťkou. Principiálně je to přímý spojovací plech, který je ohnut do pravého, či případně jiného požadovaného úhlu (Joščák, 2014).



Obr. 20 - Možnosti spojování dílců pomocí spojovacích plechů (Noll, 1997)



Obr. 21 - Možnosti spojování dílců úhelníků (Noll, 1997)

Specifickým spojem mohou být kloubové nebo prostorové úhelníky, které se využívají pro specifické polohy spojů.

3.3 Zkoumané veličiny

Dřevo má díky tomu, že je tvořeno vlákny různých dimenzí a vlastností, v každém ze svých směrů (podélném, příčném a tangenciálním) jiné mechanické vlastnosti. Hlavní příčina rozdílných vlastností v různých směrech je ve tvaru a uspořádání především libriformních vláken a orientaci mikro fibril ve vrstvách S2 buněčné stěny vláknitých elementů. Z těchto důvodů síly, které účinkují napříč vlákny, tvoří větší deformace než síly, působící rovnoběžně s vlákny.

U dřeva rozlišujeme tyto tři základní směry:

- podélný (axiální) směr - je rovnoběžný s podélnou osou kmene.
- radiální směr - kolmý na podélnou osu kmene, protíná jeho střed.
- tangenciální - kolmý na podélnou osu kmene, avšak neprotíná jeho střed

(Gandelová et al., 2012; Horáček, 2008).

3.3.1 Vlhkost

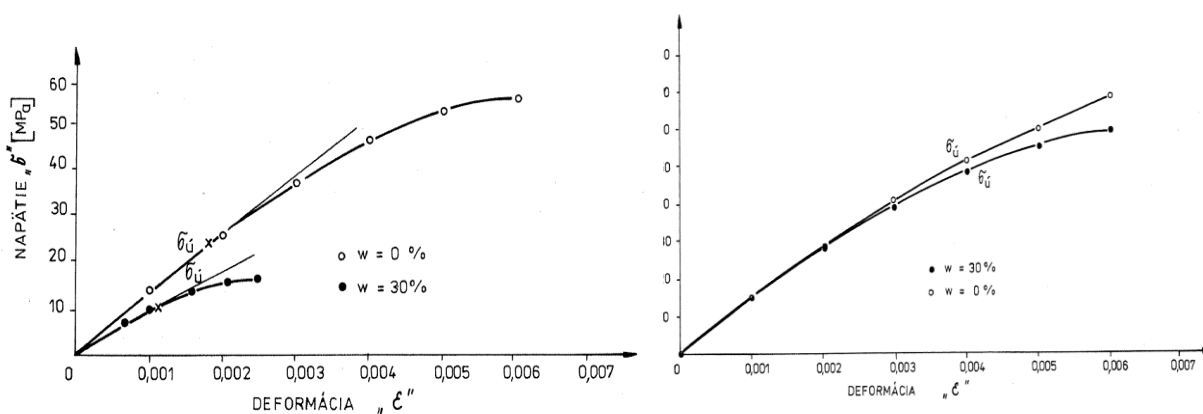
Vlhkost dřeva, neboli také hygroskopicita je vlastnost dřeva přijímat nebo odevzdávat kapalinu (vodu) na základě vnějších podmínek. Dřevo je schopno pracovat s vodou jak ve stavu kapalném, tak i plynném. Každá změna obsahu vody ve dřevě má za následek změnu jak ve fyzikálních, tak i v mechanických vlastnostech. Obecně lze říci, že se stoupajícím obsahem vody ve dřevě klesají mechanické vlastnosti do meze nasycení buněčných stěn. Vodu ve dřevě můžeme rozdělit do tří skupin:

- voda chemicky vázaná - tato složka vody je chemicky navázaná v jednotlivých sloučeninách dřeva. Není parametrem, který ovlivňuje fyzikální ani mechanické vlastnosti. Její celkový obsah v sušině dřeva se pohybuje okolo 2% a její jediné možné odstranění je spálením dřeva.

- voda vázaná - váže se primárně do buněčných stěn a na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva má nejzásadnější vliv. Dřevo přijímá vodu vázanou až do meze hygroskopicity (MH) v případě vody ve skupenství plynném nebo do meze nasycení buněčných stěn (MNBS) v případě vody se skupenství kapalném. Tato mez je v obou případech přibližně stejná a v závislosti na dřevině se pohybuje okolo 25 - 35 %. V případě dovršení této hranice dřevo další vodu přijímá pouze jako vodu volnou.

- voda volná - po nasycení buněčných stěn dřevo další vodu přijímá pouze jako vodu volnou. Ta se ukládá do mezibuněčných prostor a začíná vyplňovat veškeré volné místo ve dřevě. Dřevo s maximálním obsahem vody volné může dosahovat vlhkosti až 200%. Na fyzikální a mechanické vlastnosti má také vliv, ale menší, jako voda vázaná.

Jak bylo řečeno, na mechanické vlastnosti dřeva má největší vliv voda vázaná. Udává se, že při změně vlhkosti o 1 % se pevnost dřeva mění v průměru o 3 až 4 % současně se změnou objemu, která tvoří přibližně 0,5 %. Také je rozdílná míra poklesu mechanických vlastností, pokud dřevo přijímá vodu jako volnou, či jako vázanou. Nejlépe je to vidět při vzájemném porovnání diagramů napětí - deformace, viz graf č. 1 (Požgaj et al., 1993):



Graf 1 - Diagramy napětí - deformace dřeva v absolutně suchém stavu a nad mezi nasycení buněčných stěn při zatížení v tlaku a tahu podél vláken (Požgaj et al., 1993)

U zatížení v tlaku podél vláken pozorujeme výrazný rozdíl, při úrovni vlhkosti $w = 0 \%$ a nad mezí nasycení buněčných stěn (MNBS). Nad MNBS je pevnost dřeva nižší skoro 3,8krát, deformace na mezi úměrnosti více než dvakrát a celková deformační energie téměř 7krát. Z toho následně vyplývá, že při zatížení dřeva v tlaku ve směru vláken jsou namáhané i ty vazby, které byly vazbou vázané vody zeslabené. Naopak je tomu při zatěžování v tahu podél vláken. Tam se závislost napětí - deformace příliš neliší u dřeva při vlhkosti $w = 0 \%$ a při vlhkosti nad MNBS. To znamená, že vlivem změny vlhkosti nevzniká rozdíl mezi modulem pružnosti a mezi úměrnosti (Požgaj et al., 1993).

Při namáhání dřeva v ohybu má vázaná voda významný vliv na průběh napětí po výšce tělesa. V případě, že moduly pružnosti v tahu a tlaku jsou stejné, neutrální vrstva se nachází uprostřed výšky tělesa. Vlivem rostoucí vlhkosti se tyto moduly pružnosti ale výrazně odlišují a proto se neutrální vrstva posouvá směrem k tahové vrstvě. To plyne z faktu, že moduly pružnosti v tahu podél vláken jsou ve všech hladinách vlhkosti do MNBS větší, jako v tlaku. Posun neutrální vrstvy do tahové zóny má potom za následek, že dřevo se mnohem dříve poruší v tlakové zóně, přičemž napětí v zóně tahové se rovná přibližně jen 50 % meze pevnosti (Požgaj et al., 1993).

Moduly pružnosti dřeva se vlivem vázané vody mění lineárně. Změna vlhkosti o 1 % v rozsahu vody vázané znamená změnu modulu pružnosti při normálovém a smykovém namáhání E a G o 1,5 až 2 % (Požgaj et al., 1993).

Vlhkost dřeva definujeme jako poměr hmotnosti obsahu vody ve dřevě ku hmotnosti dřeva buď absolutně suchého, anebo vlhkého. Odtud tedy vlhkost absolutní a relativní. Pro výpočty mechanických vlastností se obecně počítá s vlhkostí absolutní, jež se počítá dle vzorce:

$$w_{\text{abs}} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde:

m_w – hmotnost vlhkého tělesa v g

m_0 – hmotnost absolutně suchého tělesa v g

3.3.2 Hustota

Hustota dřeva je veličina, která se vždy vztahuje k vlhkosti, při které je vzorek měřen podle vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

kde:

m_w - hmotnost vzorku v g

V_w – objem vzorku v m^3

Kromě této hustoty při určité vlhkosti, rozeznáváme hlavně ještě hustotu při 12 % vlhkosti (poměr hmotnosti a objemu dřeva při 12 % vlhkosti), která je nejdůležitějším údajem při porovnávání fyzikálních a mechanických vlastností různých dřevin. Dále také rozeznáváme hustotu dřevní substance, která je dána poměrem hmotnosti a objemu dřevní substance, hustotu dřeva v absolutně suchém stavu (poměr hmotnosti a objemu absolutně suchého dřeva), redukovanou hustotu (poměr hmotnosti absolutně suchého dřeva a objemu při určité vlhkosti w) a též konvenční (nebo také redukovanou v čerstvém stavu) hustotu, která je dána poměrem hmotností dřeva v absolutně suchém stavu a maximálním objemem, který dřevo nabude, pokud vlhkost překročí mez hygroscopicity. Tato veličina je velmi vhodná pro technologické výpočty v lesním a dřevozpracujícím průmyslu, zvláště při přejímkách dříví (Gandelová et al., 2012; Horáček, 2008).

3.3.3 Napětí ve dřevě

Napětí je veličina definující poměr síly vyvinuté na těleso v určitém směru vůči ploše, na kterou je síla vyvíjena. Rozlišujeme napětí normálová a tangenciální - normálová působí kolmo na plochu průřezu, tangenciální v rovině průřezu. Nejběžnějšími normálovými napětími jsou tahová a tlaková napětí, příkladem tangenciálního napětí je např. smykové napětí. Ohyb představuje kombinaci obou druhů napětí a můžeme jmenovat ještě krut, který je speciálním případem ohybového momentu. Obecně definujeme napětí takto:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}]$$

kde:

F - působící síla v N

S - průřez plochy, na kterou síla působí v mm²

(Gandelová et al., 2012)

3.3.4 Deformace ve dřevě

Deformace je bezrozměrná veličina, určující přeměnu tvaru a dimenzí dřeva při působení mechanických sil posouváním bodů uvnitř tělesa. Deformace dělíme na:

- deformace pružné - deformace vratné, které se po uvolnění napětí vrací okamžitě zpět na nulovou hodnotu. Dřevo v tomto rozmezí své vlastnosti nijak nemění.

- deformace pružné v čase - deformace vratné, které se do původního stavu vrací ale až po určitém čase. Po ukončení procesu vlastnosti dřeva zůstávají také stejné.

- deformace plastické - deformace nevratné. Po překročení meze úměrnosti se mění vlastnosti, rozměry i tvar vzorku. Dřevo těmito deformacemi degraduje a již se nehodí pro účely prvotně plánované.

K těmto deformacím dochází i během změn vlhkosti ve dřevě. Tyto změny jsou proječovány mírou napětí. Za podmínky, že příčinou těchto změn je sesychání a bobtnání dřeva, jedná se o deformace pružné. Vztahem mezi napětím a deformací se zabývá Hookův zákon, jež v základním tvaru zní:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [\text{MPa}]$$

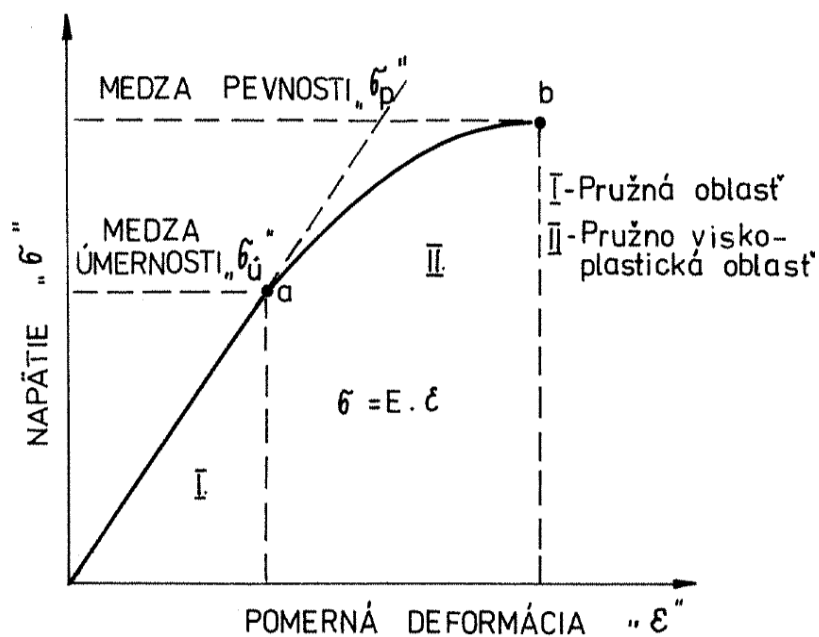
kde:

E - modul pružnosti v MPa

ε - poměrná deformace

Tento zákon je základním pilířem při výběru a dimenzování správných materiálů pro konkrétní použití, kdy z něho vychází všechny další odvozené vlastnosti a vzorce.

Vztah mezi napětím a deformací nám také popisuje tzv. pracovní diagram, kde můžeme vidět jednotlivé fáze deformací během zkoušek. První mezí je mez úměrnosti, do které dřevo nabývá deformací pouze pružných. Na této mezi je malá oblast deformací pružných v čase, za níž následuje již oblast deformací plastických. Po vyvinutí dostatečné síly se již dostáváme přes hranici meze pevnosti a nastává destrukce dřeva. (Gandelová et al., 2012; Horáček, 2008)



Graf 2 - Pracovní diagram napětí - deformace (Požgaj et al., 1993)

Dřevo jako přírodní materiál je složitý soubor makromolekulárních látek, u kterých se pružné deformace projevují namáháním vodíkových vazeb mezi jednotlivými řetězci polymerů. Následkem tohoto nastává jev rozlomení a následného přeskupení dílčích vazeb. Kovalentní vazby jsou deformovány uvnitř benzenového jádra, ve kterém nastává přesun fibrilární struktury, ale v jednotlivých vrstvách nedochází ke zlomu. Jsou-li hodnoty napětí příliš vysoké, vedou k překročení meze úměrnosti, nastává přerušení jak vazeb vodíkových, tak i kovalentních. Tento stav je nevratný a můžeme ho definovat jako deformace plastické (Zejda et al., 2007).

3.3.5 Pružnost dřeva

Pružnost dřeva je vlastnost materiálu navrátit se zpět do původního stavu po uvolnění sil na těleso působících. Je redukována určitým namáháním, při jehož překročení nastává plastická deformace či úplné porušení materiálu. Tato mez se nazývá mezí pružnosti. Jedná se o stav, kdy změna polohy mezi jednotlivými atomy je vratná, tzn., že po uvolnění působících sil se atomy vrací do původní polohy, kde mají své místo s nejnižší potencionální energií. Pružnost je definována těmito důležitými veličinami:

- modul pružnosti - E
- Poissonovo číslo - μ
- mez úměrnosti - $\sigma_{\text{ú}}$
- energie pružné deformace - w_p
- pružná deformace - ε_p

(Požgaj et al., 1993)

Moduly pružnosti

Modul pružnosti je definován jako vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím je modul pružnosti větší, tím větší musí být i napětí, které vyvolá případnou deformaci. Rozlišujeme dva typy modulů pružnosti: modul pružnosti E (také jako Youngův modul pružnosti) při normálovém namáhání (tah, tlak, ohyb) a modul pružnosti G při tangenciálním namáhání (smyk, krut). Moduly pružnosti také vyjadřují míru tuhosti dřeva. Základní vztah pro modul pružnosti můžeme definovat takto:

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad [\text{MPa}]$$

kde:

- $d\sigma$ je napětí v MPa

- $d\varepsilon$ je poměrná deformace

(Požgaj et al., 1993)

Modul pružnosti pro naše hospodářské dřeviny se pohybuje v rozmezí přibližně 10 000 - 15 000 MPa při absolutní vlhkosti 12 %. Ve směru napříč vláknů je tento modul zhruba pětadvacetkrát menší. Mezi radiálním a tangenciálním směrem je modul pružnosti vyšší o 20 - 50 % u radiálního směru. Poměry mezi moduly pružnosti v jednotlivých směrech jsou obecně stanoveny na 20:2:1 v pořadí podélný, radiální a tangenciální směr (Gandelová et al., 2012).

Poissonovo číslo

Poissonovo číslo se označuje jako koeficient příčné deformace a udává poměr deformací ve směru účinkující síly a deformací vykazujících vliv kolmo na působící sílu. Působením tlaku vznikají kladné příčné deformace (materiál se

rozšiřuje), působením tahu záporné (materiál se smršťuje). Pokud máme definovány tři roviny pružné symetrie, potřebujeme k tomu definovat šest Poissonových čísel. Tato čísla a moduly pružnosti jsou v pružné oblasti hlavní deformační charakteristiky (Zejsa et al., 2007, Požgaj et al., 1993).

3.3.6 Pevnost dřeva

Pevnost dřeva je vlastnost, která definuje odolnost dřeva vůči permanentnímu poškození. Definuje se maximálním napětím, při kterém dojde k poškození celistvosti materiálu, čili napětím přesahujícím mez pevnosti. Dle fyzikální povahy veličin definujeme tři druhy pevnosti:

- konvenční pevnost - udává se jako maximální napětí vztažené k průřezu dřeva. U dřeva tato pevnost není příliš brána v úvahu.

- skutečná pevnost - charakterizuje skutečné napětí, ve kterém opravdu dojde k destrukci dřeva.

- ideální (teoretická) pevnost - udává nejvyšší možnou teoretickou pevnost dřeva určující dosažitelné parametry u konkrétní dřeviny a v konkrétních případech zatížení. (Požgaj et al., 1993)

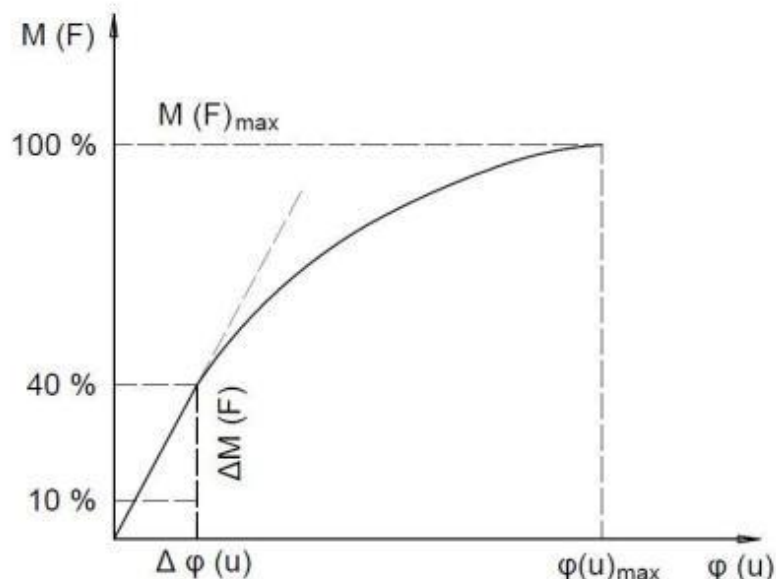
Dle dalších parametrů můžeme pevnost dřeva klasifikovat také podle:

- stavu napjatosti - jedno- či víceosé
- druhu zatížení - tahové, tlakové, ohybové, torzní a smykové
- časového sledu zatížení - statické nebo dynamické
- vlivu zatížení dřeva - destruktivní a nedestruktivní

(Zejsa et al., 2007)

3.3.7 Tuhost dřeva

Pevnostní charakteristiky spojů je možné dobře znázornit na jejich pracovním diagramu, kde jsou charakterizovány silou a posunutím, případně momentem a pootočením.



Graf 3 - Silově deformační diagram (Joščák, 2011)

Joščák (1999) používá interval mezi 10 a 40 % z maximální zatěžovací síly. Hodnoty síly (momentu) a posunutí (pootočení) používá pro výpočet koeficientu poddajnosti a tuhosti. Tyto koeficienty vyjadřují deformovatelnost spoje vlivem působící síly nebo ohybovým momentem a jsou si navzájem převrácenou hodnotou. Můžeme ho definovat jako model posunutí, který udává velikost síly potřebné k vyvolání jednotkového posunu, nebo o torzní tuhost poddajného spoje, která je definovaná jako moment, který ve spoji způsobuje pootočení o 1 radian. Vztahy pro poddajnost (z) a tuhost (t) můžeme tedy definovat takto:

$$t = \frac{1}{z} = \frac{\Delta F(\Delta M)}{\Delta u (\Delta \varphi)}$$

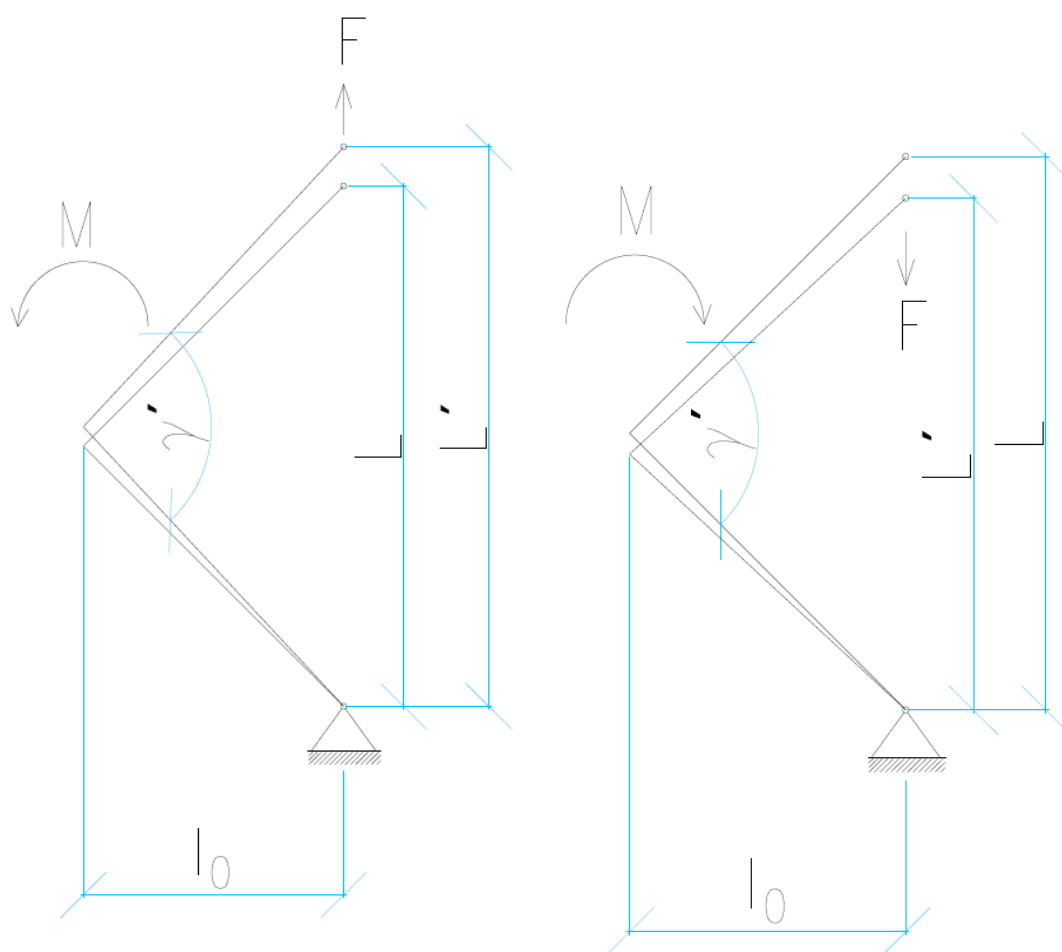
kde:

- ΔF je rozdíl síly při 10 a 40 % maximálního zatížení
- ΔM je rozdíl momentů při 10 a 40% maximálního zatížení
- Δu je posunutí ramen mezi 10 a 40% maximálního zatížení
- $\Delta \varphi$ je úhlová deformace spoje mezi 10 a 40% maximálního zatížení

Pro účely této práce je používán termín elastická tuhost, který je ekvivalentem k pojmu koeficient tuhosti. Tento pojem se používá v tuzemské literatuře, kde ho se svých výzkumech používají např. autoři Záborský et. al. (2017) nebo Podlena and Borůvka (2016). Termín koeficient tuhosti se používá více v zahraniční literatuře.

4 Metodika

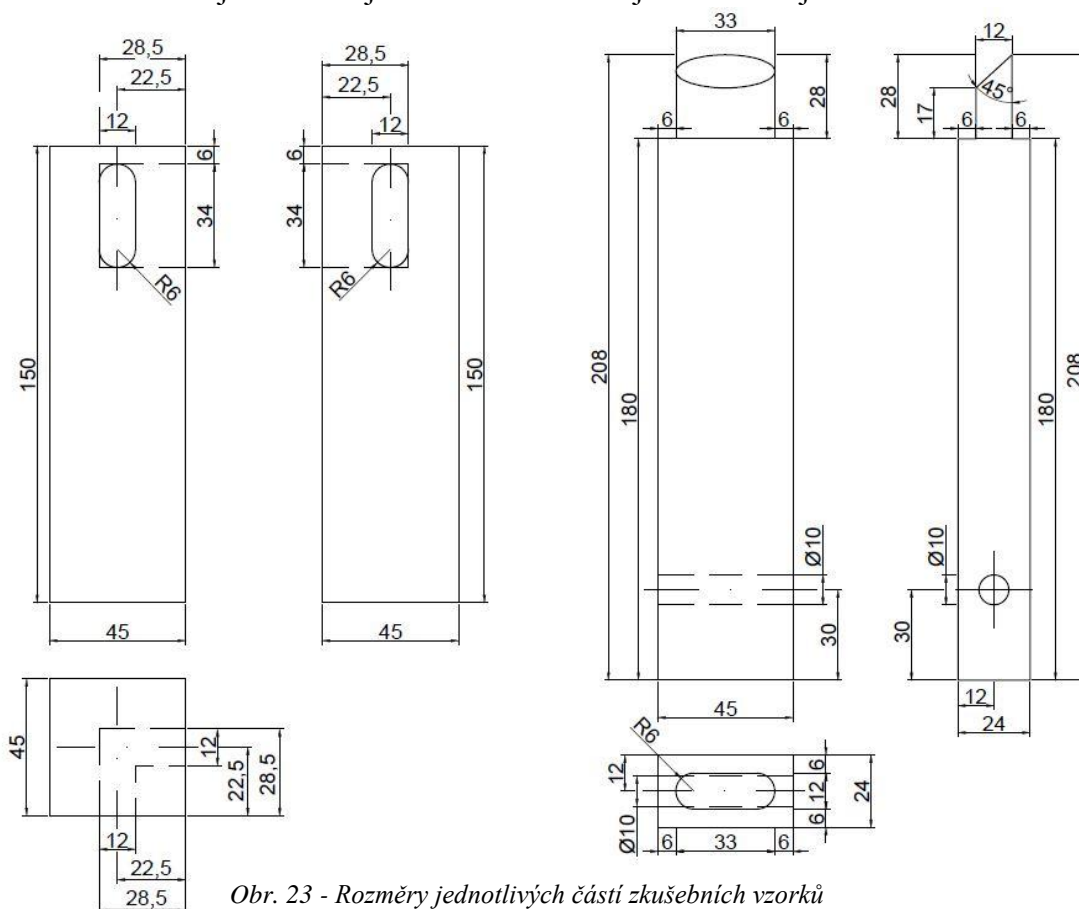
Cílem této práce je otestovat vcelku běžně užívaný nábytkový spoj na čep a dlab, kde budeme simulovat spoj nábytkové nohy s podélnými luby. Ten se využívá v nábytkářství nejčastěji u stolů či židlového nábytku. Tento spoj bude namáhán na tah a na tlak, kde síly působí ve směru kolmém na osu nohy, avšak bez toho, aniž by ji protnuly. Není to tedy klasické tlakové a tahové namáhání, ale na vzorky působí ohybový moment, důležitá je tedy i tuhost daného vzorku. Působení sil na vzorek v trhacím stroji ukazuje následující obrázek:



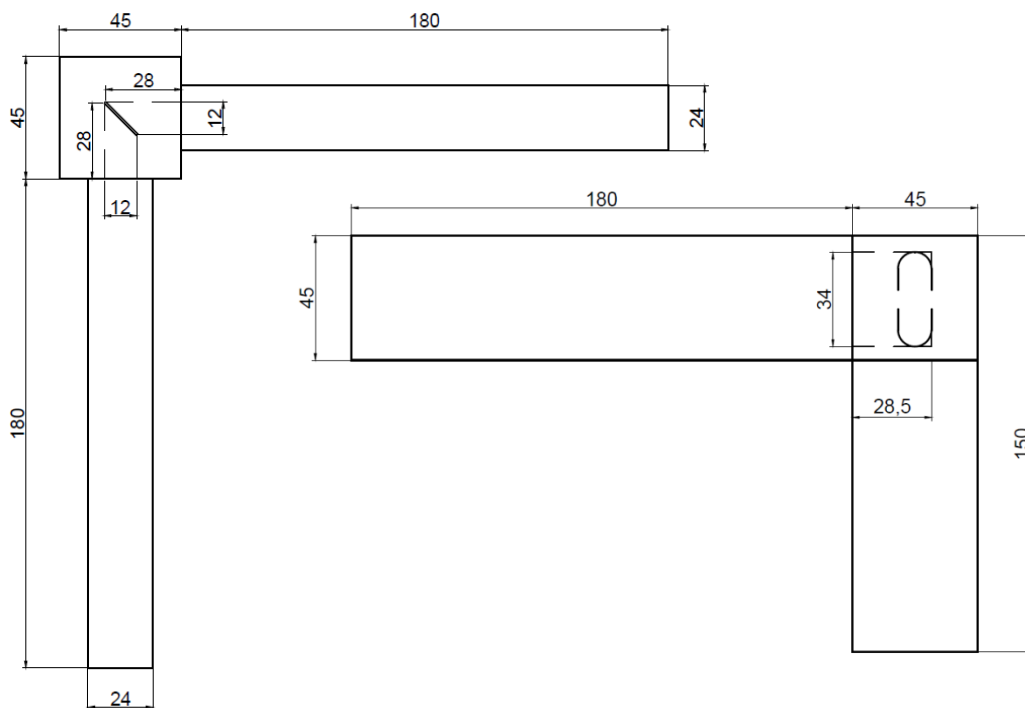
Obr. 22 - Působení sil na zkoušené vzorky

4.1 Zkušební vzorky a přístroje

Vzorky byly vyrobeny z výřezů dřeva buku lesního (*Fagus Sylvatica*) pocházejících ze školního arboreta v Kostelci nad Černými lesy. Následně se ve fakultní truhlárně rozřezaly na fošny, které se nechaly po dobu cca třiceti dní naklimatizovat na rovnovážný vlhkostní stav dle normy ČSN EN 942, která definuje obecné požadavky pro dřevo na truhlářské výrobky. Po uplynutí dané doby se fošny nařezaly na určené přířezy, které se pak opracovaly do finální podoby. Zkušební vzorek se skládá ze tří dílců. Středová svislá část o rozměrech 45x45x150 mm má v sobě dva dlab o rozměrech 34x12 mm do hloubky 28,5 mm. Tato středová část je spojená na čep a dlab se dvěma luby o rozměrech 45x23x180 mm (délka bez čepu). Čepy jsou seříznuty na 45° pro zvětšení lepené plochy. Jejich rozměr je také o něco menší, než je rozměr otvoru, aby byl zaručen styk na sebe přiléhajících ploch s dostatečným nánosem lepidla. Uvnitř spoje byla ponechána technologická mezera 1 mm jako prostor pro přebývající lepidlo. Luby mají v sobě ještě vyvrtaný otvor o průměru 10 mm pro uchycení do čelistí zkušebního stroje. Detailnější zobrazení vzorků je na následujícím obrázku:



Obr. 23 - Rozměry jednotlivých částí zkušebních vzorků



Obr. 24 - Celkové rozměry vzorku

Jako spojovací prvek bylo použito jednosložkové PVAC lepidlo třídy D3 AG-COLL 8761. Technické parametry tohoto lepidla ukazuje následující tabulka:

Tab. 4 - Technické údaje lepidla AG-COLL 8761 (exkalibr.cz)

| | |
|---|--------------------------|
| Hustota [kg.l⁻¹] | 0,9 - 1,1 |
| Obsah sušiny [%] | 49-51 |
| Viskozita [mPas] | 7 000 - 13 000 při 23 °C |
| pH | 3,8 - 4,5 |
| Barva | mléčná bílá |
| Množství nánosu [g.m⁻²] | 150 - 180 |
| Otevřený čas [min] | 15 |
| Lisovací tlak [MPa] | 0,2 - 0,5 |
| Lisovací čas [min] | 15 - 20 |

Lepidlo bylo nanášeno jak do vydlabaných otvorů, tak i na společné plochy. Vzorky byly staženy svěrkami po dobu 30 minut ve standardních laboratorních podmínkách a lepidlo se poté nechávalo vytvrdnout po dobu 24 hodin. Vzorky se následně nechávaly klimatizovat na daný vlhkostní stupeň potřebný pro zkoušku v klimatizační komoře.

Vzorky byly rozděleny do 4 skupin podle vlhkostních stavů, na které byly naklimatizovány, a to sice: 6, 10, 14 a 18% vlhkost. V každé skupině bylo dvacet vzorků, přičemž deset jich bylo zkoušeno na tah a deset na tlak. Celkem tedy 80 vzorků.

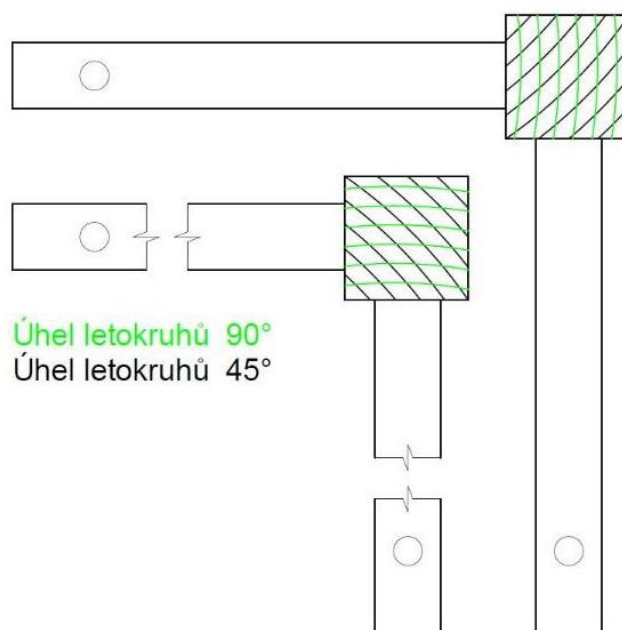
Vzorky se zkoušely na univerzálním testovacím stroji firmy UTS Testsysteme GmbH, konkrétně model UTS 50, který umožňuje maximální možné zatížení 50 kN, se softwarem TIRA. Vzorky byly do stroje upevněny do speciálních kleštín, které se na vzorky nasazovaly ocelovým čepem skrz otvory na vzorku. Tento způsob zkoušení použili ve svém výzkumu např. Podlena and Borůvka (2016) nebo Záborský et al. (2017).



Obr. 25 - Upevnění vzorků do zkoušecího stroje

Zkouška vždy probíhala až do úplného porušení vzorku, nebo pokud náhle nastal prudký pokles síly. Pokud nebyl pokles síly náhlý a síla vyvíjená na vzorek se po dovršení maxima začala postupně snižovat, avšak vzorek zůstával pořád vcelku, byla zkouška ukončena manuálně. Po skončení zkoušky software vyhodnotil maximální sílu, kterou byl vzorek zatížen a sílu a deformaci při 10 % a 40 % z maximálních hodnot, která byla poté zapsána do excelovské tabulky. Po každé zkoušce software TIRA také vygeneroval graf průběhu. Po ukončení zkoušky byl každý vzorek také zvážen pro výpočet hustoty. Váha vzorku byla brána jako celková, tedy i včetně lepidla.

Na vzorcích se bral v potaz i fakt, jak na středové noze probíhaly letokruhy. Vzorky se podle této vlastnosti dělily do tří skupin: úhel sklonu 45°, úhel sklonu 90° a úhel, který nebylo možné jasně zařadit do dvou předchozích skupin. Princip určení úhlu letokruhů ukazuje následující obrázek:



Obr. 26 - Znázornění určení úhlu probíhajících letokruhů (Šulc, 2017)

4.2 Výpočtové metody

Vzorky podléhaly zkoušení při daných absolutních vlhkostech. Tuto vlhkost vzorky získaly naklimatizováním ve fakultní klimatizační komoře, výslednou absolutní vlhkost jsme si poté mohli ověřit podle výpočtu:

$$w_{\text{abs}} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad [1]$$

kde:

m_w – hmotnost vlhkého tělesa v g

m_0 – hmotnost absolutně suchého tělesa v g

Po ukončení zkoušky byl vzorek zvážen a výsledný údaj byl použit ke stanovení hustoty:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad [2]$$

kde:

m_w - hmotnost vzorku v g

V_w – objem vzorku v m^3

Pro výpočet ohybového momentu M , působícího na vzorky, bylo nejdříve nutno vypočítat délku ramene síly l_0 podle rozměru vzorku a počátečního úhlu γ , jež se rovnal polovině úhlu, který spolu ramena vzorku svíraly. Odtud tedy tento vzorec:

$$l_0 = l \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \quad [\text{m}] \quad [3]$$

kde:

- l je vzdálenost osy sloupku od osy úchyty na lubu v m

- γ je úhel, který spolu svírají luby v rad

Potom tedy:

$$M = F \cdot l_0 \quad [\text{Nm}] \quad [4]$$

kde:

- F je zatěžující síla v N

- l_0 je rameno síly v m

Působení síly na vzorek, ať už při tlakovém nebo tahovém zatížení, způsobí jak změnu úhlu γ na γ' tak i změnu vzdálenosti ocelových úchyťů z L na L' . Pro výpočet elastické tuhosti je však potřeba změna úhlu $\Delta \gamma$, odtud tedy tento vzorec, převzatý z Podlena et al., (2015):

$$\gamma' = 2 \arcsin \frac{L'}{2 \cdot l} \quad [\text{rad}] \quad [5]$$

kde:

- L' je vzdálenost mezi ocelovými úchyty po ukončení zkoušky v m

- l je vzdálenost osy sloupku od osy úchyty na lubu v m

A následně:

$$\Delta \gamma = |90 - \gamma'| \quad [\text{rad}] \quad [6]$$

Tyto údaje už následně můžeme použít k výpočtu elastické tuhosti C_{elast} a tuhosti při maximálním zatížení C_{max} (Warmbier and Wilczyński, 2000):

$$C_{\text{elast}} = \frac{\Delta M}{\Delta \gamma} \quad [\text{Nm. rad}^{-1}] \quad [7]$$

kde:

- ΔM je rozdíl momentů mezi 10 a 40 % meze pevnosti v Nm

- $\Delta \gamma$ je rozdíl úhlů mezi 10 a 40 % meze pevnosti v rad

$$C_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{\gamma_{\text{max}}} \quad [\text{Nm. rad}^{-1}] \quad [8]$$

kde:

- M_{max} je ohybový moment při maximálním zatížení v Nm

- $\Delta \gamma$ je úhel při maximálním zatížení v rad

4.3 Statistické metody

Při statistickém zpracovávání dat byly hodnoty výsledků probíhajících zkoušek ze softwaru TIRA zaznamenávány do softwaru Microsoft Excel, kde se vykonaly výpočty, které byly následně exportovány do programu Statistica, kde proběhlo celkové vyhodnocení údajů a vytvoření grafů. První hodnotou, která se z výsledků zkoušek vyhodnocovala, byl aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [9]$$

kde:

- n je počet prvků v souboru

Další veličinou, která se vyhodnocovala, je směrodatná odchylka. Vypočítáme ji jako odmocninu z rozptylu a určuje nám, jak moc se hodnoty v daném souboru odchylojí od průměru. Jako první tedy vypočítáme rozptyl:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad [10]$$

kde:

- \bar{x} je aritmetický průměr souboru

- n je počet prvků v souboru

a následně dopočítáme směrodatnou odchylku:

$$s = \sqrt{s^2} \quad [11]$$

kde:

- s^2 je rozptyl

Všechny tři výše uvedené veličiny se uvádějí v jednotkách, v jakých se uvádějí jednotky příslušného souboru.

Dalším vyhodnocovaným parametrem je variační koeficient. Ten nám udává, jak velký podíl z aritmetického průměru tvoří směrodatná odchylka. Vyjadřuje tedy míru variability v daném souboru a udává se jako bezrozměrná veličina v %:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%] \quad [12]$$

kde:

- s je směrodatná odchylka

- \bar{x} je aritmetický průměr prvků souboru

Další statistické metody

Analýza rozptylu - často označována také zkratkou ANOVA (z anglického Analysis of variance). Porovnává střední hodnoty souboru a hodnotí vztahy mezi rozptyly porovnávaných souborů. Používá se pro zjištění vlivu jednoho nebo více faktorů na kvantitativní proměnnou. Předmětem zkoumání jsou střední hodnoty testovaných skupin, ze kterých se zjišťuje shoda nebo rozdíl. Podle testové hypotézy H_0 není sledovaná proměnná závislá na daném faktoru. Hypotézu H_0 potom na základě p-hodnoty potvrzujeme nebo zamítáme (Statsoft.cz, 2014).

P-hodnota - jedná se o parametr, který souvisí s testováním hypotéz a můžeme podle něj zjistit, zda je výsledek testu významný či nikoliv. Je možno ho definovat jako nejmenší možnou hladinu významnosti testu, při které se zadanými daty zamítáme nulovou hypotézu H_0 . Nejčastější hladinou významnosti je hladina alfa (α) s hodnotou 0,05, interval spolehlivosti je tedy 95%. Pokud je p-hodnota menší než α , můžeme nulovou hypotézu H_0 zamítnout. Pokud je větší, hypotézu H_0 na dané hladině významnosti α nemůžeme zamítnout. Obecně lze říci, že čím více se p-hodnota blíží nule, tím větší je pravděpodobnost na zamítnutí nulové hypotézy (Budíková et al., 2010).

Korelační koeficient - tento parametr popisuje lineární závislost mezi dvěma proměnnými, kdy nabývá hodnot od -1 do 1. Závislost nastává tehdy, kdy pro všechny statistické jednotky se hodnoty jedné proměnné přibližují určité lineární kombinaci hodnoty, respektive druhé proměnné. Pokud je koeficient roven nule, značí to lineární nezávislost. Pokud je větší než nula, koeficient signalizuje přímou lineární závislost (s rostoucími hodnotami jedné proměnné se zvyšuje i hodnota druhé), pokud menší než nula, nepřímou lineární závislost, tj. hodnoty jedné proměnné rostou, druhé proměnné klesají (Budíková et al., 2010). Čtverec korelačního koeficientu se nazývá koeficient determinace (spolehlivosti) r^2 a charakterizuje shodu modelu s daty. Je to bezrozměrná veličina a v procentech určuje, jaký podíl celkové variability je vysvětlen využitým modelem (Statsoft.cz, 2014).

5 Výsledky

5.1 Vyhodnocení výsledků

Tato kapitola prezentuje výsledky měření daného experimentu, kdy byly hodnoceny tyto faktory: typ namáhání, vlhkost vzorku, hustota vzorku a odklon letokruhů na středové noze. Údaje byly vyhodnocovány v programech Microsoft Excel a Statistica 12, grafy byly vygenerovány programem Statistica 12. Následující tabulka č. 5 ukazuje základní statistické parametry u sledovaných veličin:

| Typ namáhání | Vlhkost vzorku v % | Hustota v g/cm ³ | | | Elastická tuhost v Nm/rad | | |
|--------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| | | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient (%) | Průměr | Směrodatná odchylka | Variační koeficient (%) |
| Tlak | 18 | 0,735 | 0,023 | 3,1 | 671 | 147 | 21,9 |
| Tlak | 14 | 0,698 | 0,015 | 2,1 | 973 | 193 | 19,9 |
| Tlak | 10 | 0,686 | 0,034 | 5,0 | 1270 | 248 | 19,5 |
| Tlak | 6 | 0,663 | 0,013 | 2,0 | 1334 | 239 | 17,9 |
| Tah | 18 | 0,738 | 0,024 | 3,2 | 722 | 255 | 37,2 |
| Tah | 14 | 0,727 | 0,029 | 4,0 | 686 | 190 | 27,7 |
| Tah | 10 | 0,705 | 0,028 | 3,9 | 1041 | 388 | 37,3 |
| Tah | 6 | 0,670 | 0,022 | 3,3 | 1246 | 332 | 26,6 |

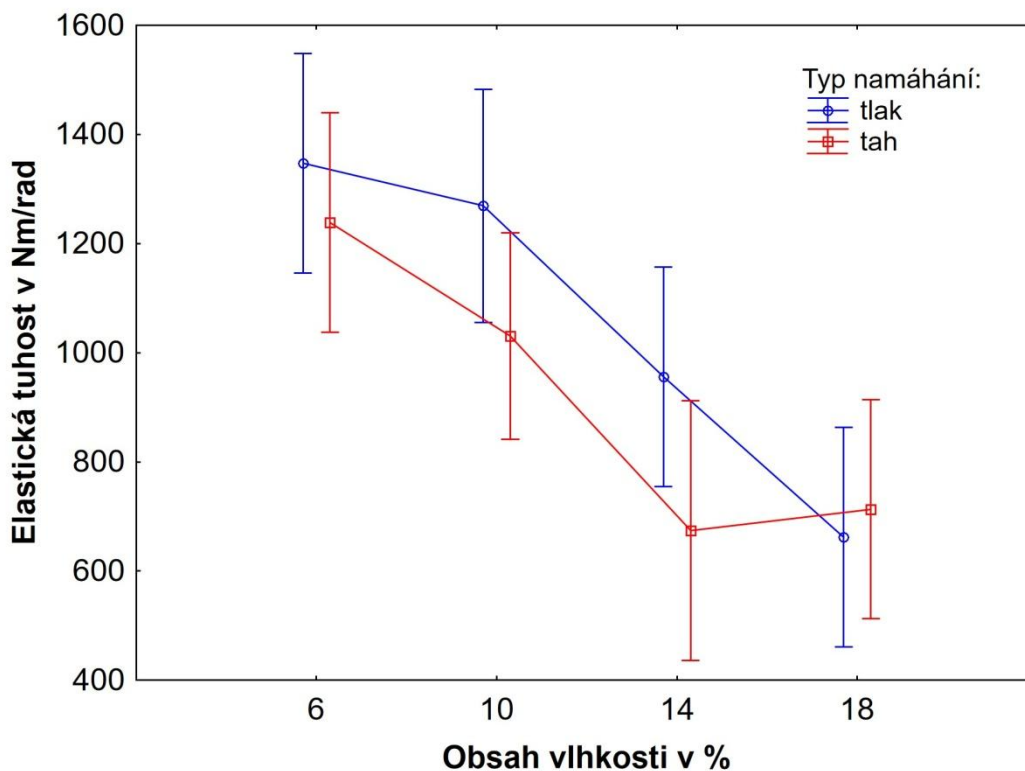
Tab. 5 - Výsledné hodnoty hustoty a elastické tuhosti

Jak je z dané tabulky patrné, se zvyšující vlhkostí se snižuje průměrná hodnota elastické tuhosti. To nám jen potvrzuje všeobecně daný úzus, že se zvyšující se vlhkostí klesají mechanické vlastnosti dřeva. Nejvyšší elastické tuhosti při namáhání v tlaku dosahovaly vzorky se 6% vlhkostí s průměrnou hodnotou 1334 Nm/rad. V tahu vzorky o vlhkosti 6 % dosáhly průměrné elastické tuhosti 1246 Nm/rad.

Hodnoty hustoty vzhledem k povaze experimentu a několika rozdílným vlhkostním stavům nebyly porovnávány s jinými autory, neboť hustota se při

porovnávání přepočítává na 12% vlhkost, což v našem případě je nevýznamný přepočet. Taktéž vliv hustoty na tuhost se ukázal jako statisticky nevýznamný.

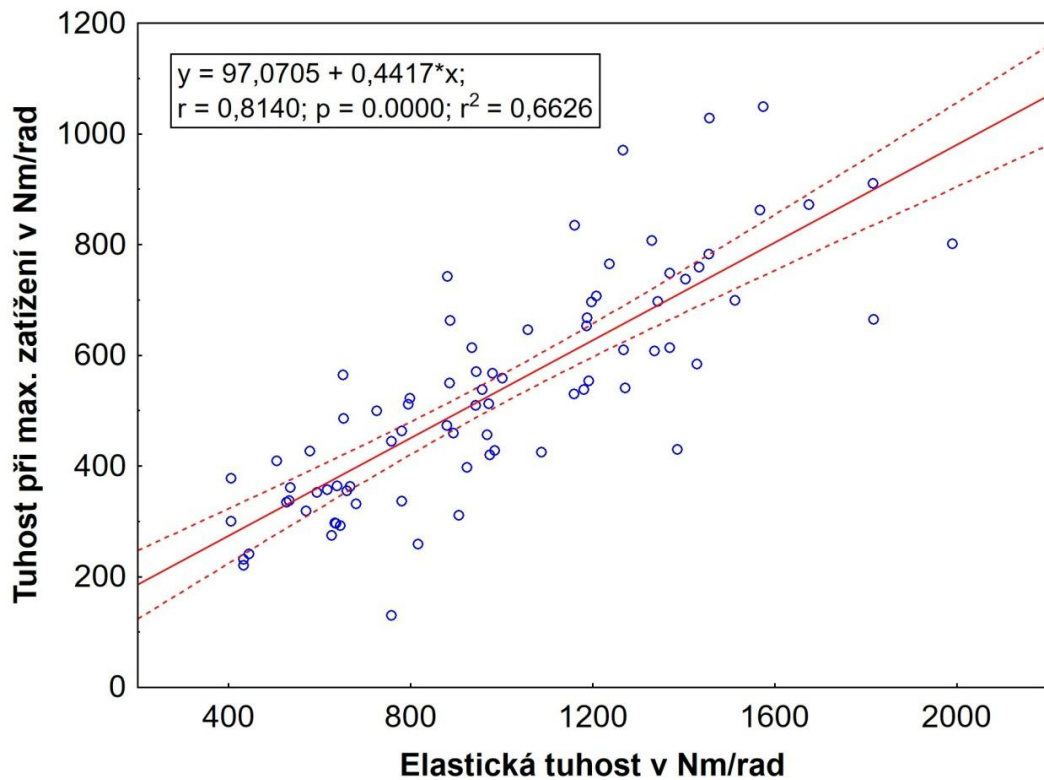
Následující graf č. 4 nám ukazuje závislost mezi vlhkostí a elastickou tuhostí vzorků:



Graf 4 - Vliv vlhkosti na elastickou tuhost

Z grafu můžeme vyčíst trend klesajících hodnot elastické pevnosti s rostoucí vlhkostí. Vliv typu namáhání na výslednou elastickou tuhost je na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný pouze u 14 % vlhkosti a "na hraně" u vlhkosti 10 %. U vlhkostí 6 a 18 % můžeme říct, že typ namáhání nemá na výslednou elastickou tuhost vliv. Můžeme také pozorovat zajímavý jev, kdy při namáhání v tahu dosahuje elastická tuhost větších hodnot při 18 % vlhkosti než při vlhkosti 14 % (avšak statisticky nevýznamný). Procentuální rozdíl mezi nejmenšími a největšími hodnotami činí u namáhání v tlaku 50 %, u namáhání v tahu až 55 %.

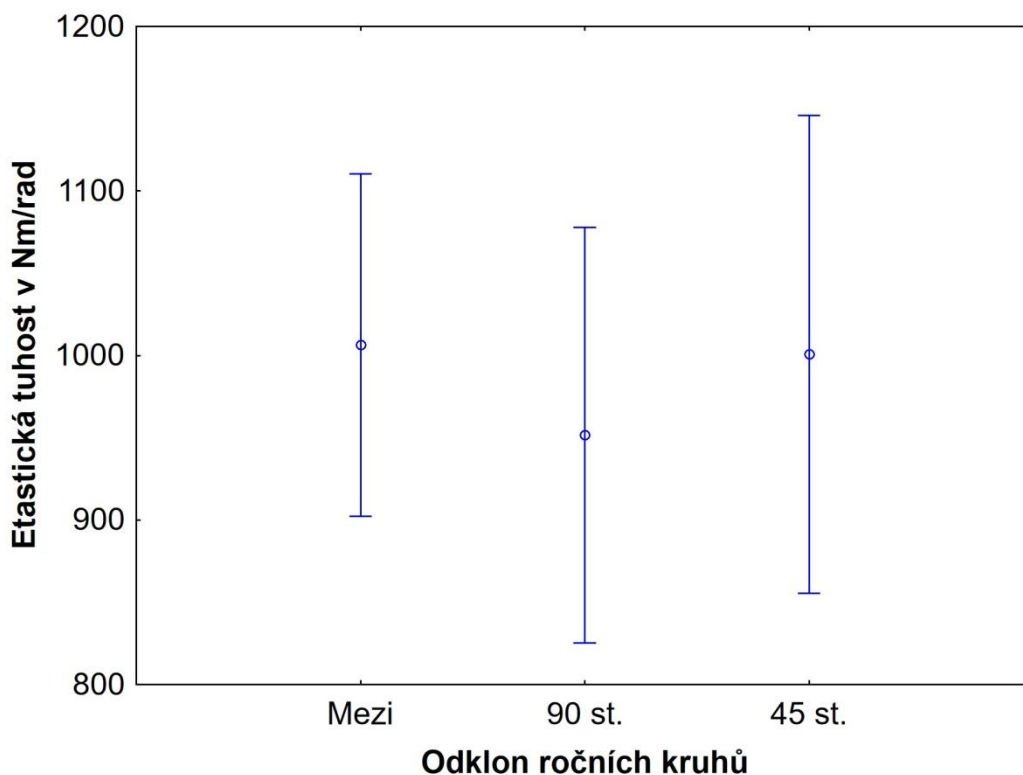
Další graf č. 5 nám demonstruje lineární závislost mezi elastickou tuhostí a tuhostí při maximálním zatížení:



Graf 5 - Lineární závislost mezi elastickou tuhostí a tuhostí při maximálním zatížení

Na grafu č. 5 můžeme vidět přímou lineární závislost mezi tuhostmi. Korelační koeficient dosahuje hodnoty 0,814, což značí vysokou míru závislosti. Toto nám potvrzuje i fakt, že na grafu nejsou vidět žádné extrémní hodnoty a pouze několik hodnot se více odchyluje od lineární křivky závislosti. Determinační koeficient o hodnotě 0,6626 nám udává, jak byla variabilita daných dat vysvětlena pomocí tohoto modelu. Daný determinační koeficient r^2 nám udává, že míra variability tedy byla vysvětlena ze 66,26 %. P-hodnota na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nám udává, že daná data jsou pro nás statisticky významná.

Jedním z parametrů, které se v této práci hodnotily, byl i vliv odklonu ročních kruhů na elastickou tuhost. Braly se v potaz tři varianty: odklon při 45°, odklon při 90° a odklon, jež nebylo možné jednoznačně zařadit ani do jedné z těchto skupin:



Graf 6 - Vliv odklonu ročních kruhů na elastickou pevnost

Jak je z grafu č. 6 patrné, vliv odklonu letokruhů je úplně minimální. Vzorky, na kterých roční kruhy probíhaly s 90° odklonem, vykazují lehce snížené hodnoty, avšak statisticky je pro nás tato informace nevýznamná. Tento fakt můžeme odečíst i z p-hodnoty, jež na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ činí 0,783.

Dalším výstupem vícefaktorové analýzy ANOVA, neboli též analýzy rozptylu, je následující tabulka č. 6. Tato tabulka má za úkol ukázat, jak moc mají jednotlivé faktory vliv na měřenou veličinu, tedy elastickou tuhost.

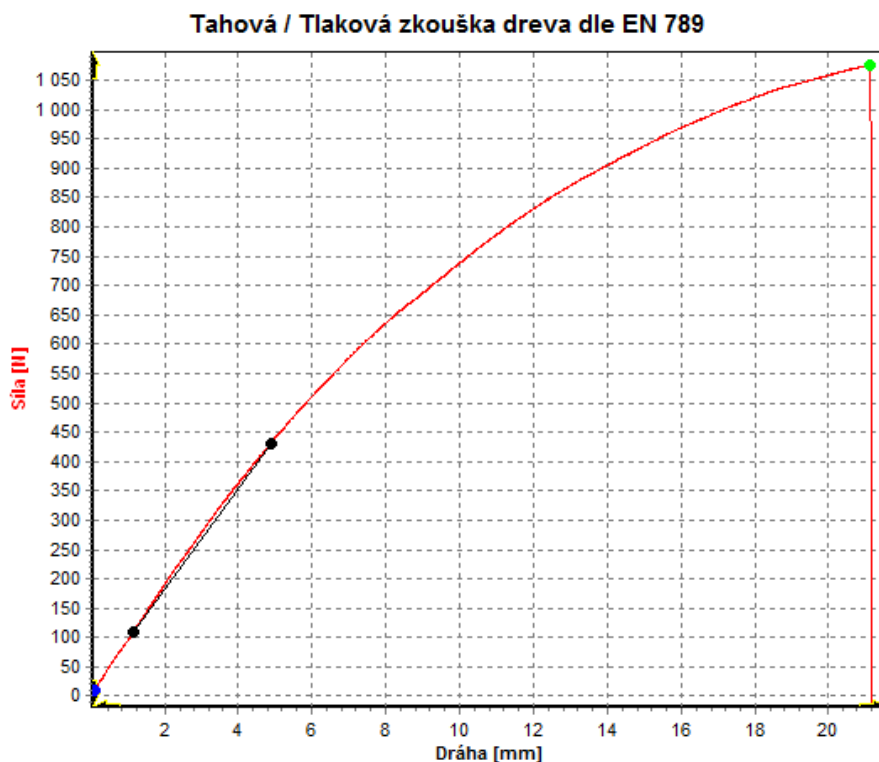
Tab. 6 - Výsledné hodnoty analýzy ANOVA - analýzy rozptylu

| | Součet čtverců | Stupně volnosti | Rozptyl | F - test | p |
|---|----------------|-----------------|----------|----------|----------|
| Absolutní člen | 64406886 | 1 | 64406886 | 734,6063 | 0,000000 |
| Typ namáhání | 345245 | 1 | 345245 | 3,9378 | 0,052122 |
| Vlhkost | 4073414 | 3 | 1357805 | 15,4867 | 0,000000 |
| Odklon letokruhů | 42963 | 2 | 21481 | 0,2450 | 0,783532 |
| Typ namáhání*Vlhkost | 278427 | 3 | 92809 | 1,0586 | 0,374064 |
| Typ namáhání*Odklon letokruhů | 43252 | 2 | 21626 | 0,2467 | 0,782251 |
| Vlhkost*Odklon letokruhů | 118559 | 6 | 19760 | 0,2254 | 0,966869 |
| Typ namáhání*Vlhkost *Odklon letokruhů | 288319 | 6 | 48053 | 0,5481 | 0,769338 |
| Chyba | 4909821 | 56 | 87675 | | |

Veškeré veličiny byly vyhodnocovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, a z uvedených p-hodnot můžeme tvrdit, že jediným opravdu statisticky významným faktorem je vliv vlhkosti ($p = 0$). Na hraně mezi statisticky významnou a nevýznamnou veličinou je typ namáhání (statisticky významným se typ namáhání stal pouze při 14 % vlhkosti). Zbylé faktory i jejich kombinace se, vzhledem k p-hodnotě, která převyšuje danou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$, jeví jako statisticky nevýznamné.

5.2 Průběhy zkoušek

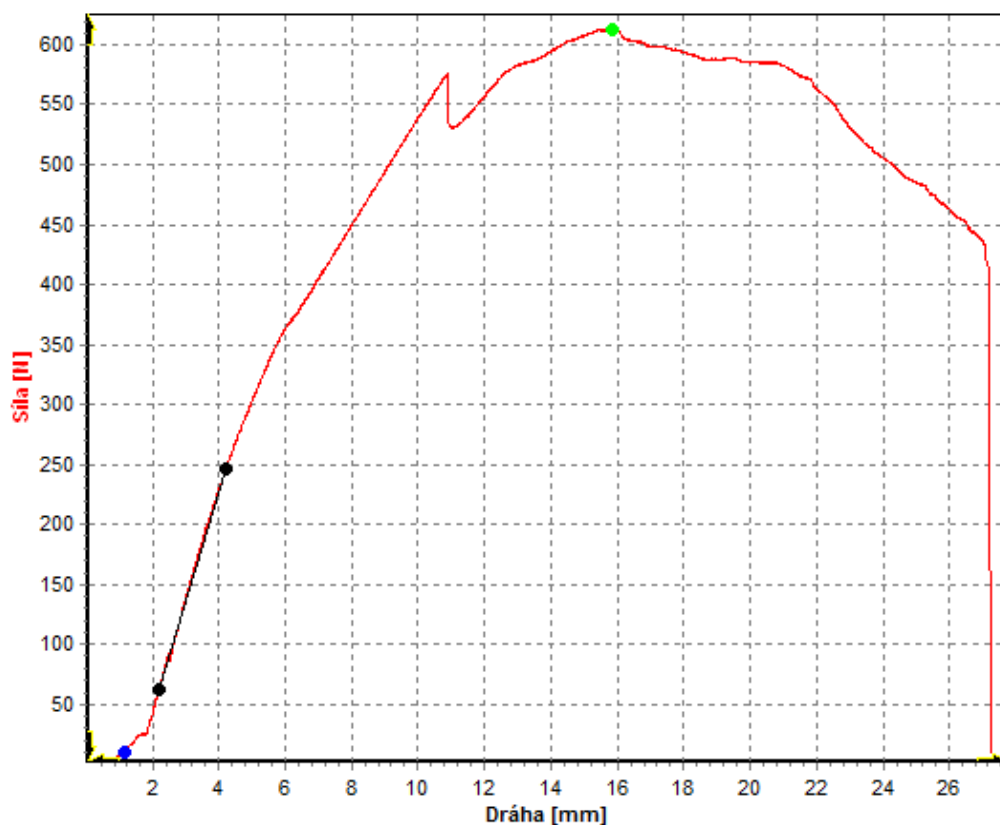
Průběh zkoušek byl dimenzován na podmínky, kdy posuv činil 10 mm/min a k přerušení zkoušky došlo v případě, že náhlý pokles síly byl větší než 15 %. Celá zkouška trvala tedy přibližně dvě až tři minuty. V grafech je zaznamenána i úroveň 10 a 40 % meze pevnosti.



Graf 7 - Ukázka průběhu zkoušky při porušení ve dřevě

Graf č. 7 je grafem zkoušky na tlak u vzorku se 6% vlhkostí a ukazuje nám ideální průběh zkoušky, kdy v průběhu celého experimentu se vzorek chová jako tuhé těleso až do dovršení meze pevnosti, kdy ve valné většině případů došlo k porušení ve dřevě. Porušení se ve valně většině případů projevilo jako prasklina na středovém sloupku. U několika málo případů takovýto průběh zkoušky nastal, i když porušení proběhlo ve spoji. Pokud však v ostatních případech nastalo porušení ve spoji, měla zkouška většinou průběh odlišný.

Tahová / Tlaková zkouška dřeva dle EN 789



Graf 8 - Ukázka průběhu zkoušky při porušení ve spoji

Z výše uvedeného grafu č. 8 je patrné, že pokles síly nebyl tak náhlý jako v prvním případě. To je způsobeno faktem, že k porušení vzorku docházelo ve spoji, kdy se postupně uvolňovaly adhezní vazby lepidla. To má za následek malé poklesy sil, které však až do určitého momentu nevedou k přerušení zkoušky. Graf také dokazuje, že tyto jevy se projevují jak před, tak i po dosažení maximální vynaložené síly. Porušení ve spoji se projevovalo spíše při tahových zkouškách, než při tlakových.

Pokles síly před dosažením možného maxima můžeme přičítat tomu, že sice nastane pokles adhezních sil lepidla, nicméně spoj sám dosahuje ještě vysoké samosvornosti, takže vydrží ještě další působení síly. Dalším možným důvodem pro tento jev může být fakt, že lepidlo bylo nanášeno nejen do prostoru dlabu a vnitřních prostor, ale také i na spolu doléhající plochy jednotlivých částí

vzorku. To má za následek lokální pokles síly, ale spoj jako takový si stále udržuje svoji pevnost. Pokles síly po dosažení možného maxima by mohlo mít příčinu v uvolnění volného místa ve spoji po poklesu adhezních sil, takže spoj už není samosvorný, nicméně pořád ještě klade dostatečný odpor vůči síle, takže zkušební software tento jev nevyhodnotil jako impuls pro ukončení zkoušky. Tyto jevy nebyly příliš časté a nebyly vyhodnoceny jako takové, aby nějak významněji ovlivnily výsledky zkoušek.

Na celkový průběh zkoušek měl velký vliv fakt, že spoj jako takový nebyl frézován na CNC stroji, ale ručně za pomoci strojových dlabáček a fréz. To mělo za následek nestejně rozměry čepů a dlabů (v rámci několika desetin milimetru), což vede k rozdílnému množství lepidla uvnitř spoje. Tato vlastnost mohla mít za následek to, zda k porušení vzorku došlo v materiálu, nebo ve spoji, což mohlo vést k lehkým anomáliím ve výsledcích.

6 Diskuze

Výsledky zkoušek a vliv faktorů

Z výsledků je patrné, že s rostoucím stupněm vlhkosti klesá elastická pružnost. To nám potvrzuje všeobecně daný trend, že s rostoucí vlhkostí klesají mechanické vlastnosti dřeva. Drobná anomálie nastala při testování v tahu, kdy vzorky s 18% vlhkostí dosáhly o přibližně 36 Nm/rad větších průměrných hodnot, než vzorky se 14% vlhkostí. Tato skutečnost by se mohla přičíst faktu, že vlivem vysoké vlhkosti dřevo nabobtnalo do té míry, že při tahovém namáhání způsobilo vzpříčení čepu uvnitř dlabu a čep tak byl méně náchylný na vytáhnutí z dlabu.

Závislost elastické tuhosti na tuhosti při maximálním zatížení se ukázala být vcelku pěknou lineární závislostí s korelačním koeficientem 0,814. Toto můžeme přičítat vlastnostem spoje, který je v porovnání s dalšími typy nábytkových spojů relativně homogenní (nefiguruje v něm prvek, který by byl z jiného materiálu, či prvek volně vložený, např. vložené pero). Z hlediska významnosti se jediná vlhkost ukázala být jako statisticky významná, typ namáhání byl na pomezí této hranice a veškeré ostatní faktory se ukázaly jako statisticky nevýznamné.

Průběhy zkoušek se povětšinou rozdělovaly na dvě skupiny - vzorky, u kterých nastalo porušení ve dřevě a vzorky, u kterých nastalo porušení ve spoji. Zkoušky u první skupiny měly většinou hladký, kontinuální průběh, až do dovršení meze pevnosti, kdy nastalo porušení v materiálu. U druhé skupiny docházelo k lehkým propadům v síle, zatímco prodloužení ΔL stále nabývalo na hodnotě. Toto bylo zapříčiněno postupným uvolňováním adhezních vazeb lepidla ve spoji, kdy některé lepené plochy povolily, ale ostatní stále držely celkovou pevnost spoje.

Porovnání s ostatními autory

Nábytkové konstrukční spoje jsou stále i v dnešní době hodně propírané téma, i když více prostoru a vývoje se věnuje spojům s externím mechanickým spojovacím prostředkem. Avšak i typ spoje, zkoumaný v této práci, se stále ještě hodně využívá, a to jak v ruční, tak i ve strojové výrobě. Nejčastěji se využívá při výrobě stolů, židlí, případně regálů nebo menšího bytového doplňkového nábytku.

Mezi autory, kteří provedli experiment na elastickou tuhost s nejpodobnějšími podmínkami, patří Jivkov et al. (2008), Podlena and Borůvka (2016), Záborský et al. (2017), Záborský et al. (2018), Šulc (2017) a Sahula (2018). Detailněji se budeme věnovat autorům Záborský et al. (2017), Záborský et al. (2018) a Šulc (2017), kteří ve svých pracích používali stejnou dřevinu (*Fagus Sylvatica*), stejný typ lepidla (PVAC) a vzorek obdobných rozměrů, pouze s odlišným typem spojovacího prvku. Pro představu budou uvedeny i údaje v práci Sahula (2018), kdy spoj ale nebyl lepený, ale spojený pomocí mechanického spojovacího elementu (šroubu a válcové matice). Vzhledem k charakteru klimatizování vzorků těchto autorů budou hodnoty z této práce uváděny pro 10 % vlhkost.

Tab. 7 - Porovnání hodnot elastické tuhosti s jinými autory

| Typ namáhání | Tloušťka spoje | Elastická tuhost naměřená | Elastická tuhost (Záborský et al., 2017) - čep a dlab | Elastická tuhost (Záborský et al., 2018) - DOMINO | Elastická tuhost (Šulc, 2017) - kolík | Elastická tuhost (Sahula, 2018) - šroub s válcovou maticí - 1/3 spoj! |
|--------------|----------------|---------------------------|---|---|---------------------------------------|---|
| Tlak | 1/2 | 1270 | 1477 | 502 | 1148 | 715 |
| Tah | 1/2 | 1041 | 1627 | 418 | 1287 | 351 |

Záborský et al. (2017) ve svém experimentu využíval na vzorku obdobných dimenzí i stejný typ spoje, kde kromě polovičního čepu zkoumal i čep třetinový. Jeho čep však nebyl totožný s naším, neboť čep byl na celou výšku lubu a obsahoval výkus o rozměrech 17 x 14 mm. Jeho kombinace zahrnovaly kromě bukového dřeva i dřevo smrkové a kromě PVAC lepidla i PUR lepidlo. Dosáhl vyšších hodnot elastické tuhosti, což můžeme přičítat faktu, že čep byl na celou výšku lubu, ale na vzorcích z této práce byl pouze ze 3/4 výšky lubu.

Záborský et al. (2018) ve své práci použil jako spojovacího elementu DOMINO kolík tloušťek 8 a 12 mm. Krom těchto dvou faktorů byly v této práci proměnnými i smrk jako druhá dřevina a PUR lepidlo jako druhý spojovací element. Hodnoty elastické tuhosti dosažené s DOMINO kolíkem jsou přibližně 2,5 krát menší, než hodnoty naměřené v této práci. To bychom mohli přičíst faktu, že jeden ze dvou DOMINO kolíků použitých ve spoji byl pouze 38 mm dlouhý, což nemuselo být dost pro dosažení vyšších hodnot.

V práci Šulc (2017) byly použity kolíky o průměru 12 mm (poloviční spoj), do každého spoje po dvou kusech. Kromě těchto byly použity ještě kolíky o průměru 8 mm, a kromě PVAC lepidla i PUR lepidlo. V tomto experimentu bylo dosaženo obdobných hodnot, což je zajímavé z hlediska toho, že ve spoji byly použity dva externí spojovací elementy (kolíky), narozdíl od spoje v této práci, kdy čep není rozdělen na dvě části a je součástí lubu. I přes to, bylo dosaženo podobných hodnot.

Hodnoty z práce Sahula (2018), jsou uvedeny spíše pro představu, neboť spojení vzorku bylo pomocí mechanického spojovacího prostředku, šroubu a válcové matice. Hodnoty elastické tuhosti jsou nižší, než při použití spoje na čep a dlab, což má příčinu v principu spojení, kdy dřevní materiál spojujeme kovovými prvky. Při použití takového prvku už se spoj potom nejeví jako tolik homogenní, jako při aplikování lepeného spoje s dřevními elementy. V tomto případě navíc byl použit spoj rozebíratelný, který ve valné většině případů nemá zdaleka takovou pevnost, jako spoj nerozebíratelný.

Předlohou pro všechny výše zmíněné práce je práce Podlena and Borůvka (2016), kde byl jako jedněmi z prvních použit termín "elastická tuhost" (viz kapitola 3.3.7). Tato práce se zabývala rohovými spoji smrkových okenních profilů. Experiment se odlišuje v typu spoje a v rovině namáhání. Je sice použit opět čep a dlab, nicméně vzorek se skládá pouze ze dvou kusů, takže místo styku je pouze jedno, čímž se mění lehce i princip namáhání:



Obr. 27 - Zkoušení rohového spoje (Podlena and Borůvka, 2016)

V závislosti na použitém profilu a typu namáhání se průměrné hodnoty elastické tuhosti pohybovaly od 5600 Nm/rad do 9600 Nm/rad, čili několikanásobně více, než experimenty uvedené výše.

Poslední prací, jež stojí za to uvést v souvislost, je Jivkov et al. (2008), kde autor podrobuje experimentům vzorek podle stejného principu jako Podlena and Borůvka (2016), avšak dřevo je bukové a spoj kolíkový, čili stejné vstupní materiály, jako v případě Šulce (2017). Průměrné hodnoty elastické tuhosti se však při zachování co nejpodobnějších podmínek pohybují v rozmezí od

12 600 Nm/rad do 12 850 Nm/rad, tedy také několika násobně výše, než bylo naměřeno při zkoušení odlišného principu spoje, viz Šulc (2017).

Porovnáním experimentů s jinými autory jsme zjistili, že výhodnější pro daný typ spojení je použít prvek, který je součástí jednoho nebo druhého dílce ve spoji (čep a dlab), nebo při použití externích spojovacích prvků použít daný prvek dle dimenzí spoje pokud možno dvakrát (dvojitý kolík). V rámci spojení na čep a dlab jsme porovnáním zjistili, že pevnějších charakteristik dosahuje spoj s čepem, který je ideálně přes celou výšku připojovaného dílce.

7 Závěr

Tato práce měla za cíl otestovat běžně užívaný nábytkový spoj na čep a dlab v úhlové rovině, který simuloval spojení nábytkové nohy s podélnými luby. Testovanými parametry byl typ namáhání (tah a tlak), vlhkost a odklon probíhajících letokruhů na středové noze. Následně se pomocí statistických ukazatelů prověřovalo, zda tyto parametry mají nějaký vliv na sledovanou veličinu, elastickou tuhost.

Bylo dokázáno, že vliv vlhkosti na elastickou tuhost je prokazatelný. Na hranici významnosti se ukázal být vliv typu namáhání. Statisticky nevýznamný se ukázal být vliv odklonu ročních kruhů, stejně tak jako kombinace jednotlivých faktorů dohromady. Taktéž vliv hustoty se ukázal jako statisticky nevýznamný. Procentuální rozdíl mezi nejnižšími a nejvyššími průměrnými hodnotami elastické tuhosti při různých vlhkostních stavech činil u tlakového namáhání 50 %, u tahového namáhání 55 %.

Porovnáním s údaji autorů jiných experimentů jsme zjistili, že tento spoj na čep a dlab má dobré pevnostní charakteristiky a stojí za to jej stále užívat v praxi. A to i přes lehce náročnější přípravu jednotlivých dílců, která je např. oproti kolíkovému spoji o něco složitější. Taktéž jsme zjistili, že do výsledných pevnostních charakteristik promlouvá i provedení daného spoje. Nestejnoměrné frézování ať už čepu nebo dlabu vykazuje zvýšené anomálie v naměřených výsledcích a snižuje výslednou pevnost spoje.

Tato práce by měla být přínosem pro budoucí testování pevnostních charakteristik nábytkových spojů, kdy bude možné porovnat i jiný typ spoje při rozličných vlhkostních stavech.

8 Zdroje

8.1 Literatura

BUDÍKOVÁ, M., KRÁLOVÁ, M., MAROŠ, B., *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada, 2010. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3243-5. 270 s.

DRÁPELA, J.; HUMPOLEC, J.; KAMENICKÝ, J.; KONEČNÝ, L.; PAVLICA, J.; RÁŽEK, V.; ZAPLETAL, J.. *Výroba nábytku: technologie*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 488 s.

EISNER, K.; OSTEN, M.; HAVLÍČEK, V., *Dřevo a plasty*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983. 384 s.

GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. 3. vydání. Brno: Ediční středisko, 2012. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

GANDELOVÁ, L.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva – cvičení*. 3. vydání. Brno: Ediční středisko MZLU, 2012. 132 s. ISBN 978-80-7375-168-5.

HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. *Květena České republiky 2*. 2. vydání. Praha: Academia, 2003. 540 s. ISBN 80-200-1089-0.

JOŠČÁK, P. *Pevnostne navrhovanie nábytku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 246 s. ISBN 80-228-0921-7.

JOŠČÁK, P.; DUDAS, J.; GÁBORÍK, J.; GAFF, M.; LANGOVÁ, N.; NAVRÁTIL, V.; SLABEJOVÁ, G., *Konštrukcia nábytku z dreva a drevných materiálov*. 1. vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 366 s. ISBN 978-80-228-2464-4.

JOŠČÁK, P.; GAFF, M.; LANGOVÁ, N.: *Nábytkové konštrukčné spoje*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 163 s. ISBN 978-80-228-2255-8

KOLLMANN, F., *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. 1. Auflage. Berlin: Springer-Verlag. 1951. 870 s.

LEXA, J. et al. *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava: Drevársky výzkumný ústav, 1952. 436 s.

MUZIKÁŘ, Z.; TESAŘOVÁ, D.; HOLOUŠ, Z.; JERGL, Z.; MELOUN, M. *Materiály II: pro Učební Obor Truhlář*. 1. vydání. Praha: Informatorium, 2008. 172 s. ISBN 978-80-7333-061-3.

NEMEC, Ľ.; ŠULÁN, E.; ZEMIAR, J.. *Technológia výroby nábytku*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1985. 520 s.

NOLL, T. *The encyclopedia of jointmaking*. 1. vydání. Cincinnati: Betterway Books, 1997. 144 s. ISBN 1-55870-449-3.

NOVÁK, V., et al., *Dřevařská technická příručka*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. 748 s.

NUTSCH, W. *Konstrukce nábytku: nábytek a zabudované skříně*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2003. 400 s. ISBN 80-247-0220-7

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1993. 485 s. ISBN 80-07-00960-4.

TRÁVNÍK, A., SVOBODA, J.. *Technologické procesy výroby nábytku*. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. 222 s. ISBN 978-80-7375-056-5.

ÚRADNÍČEK, L., et al. *Dřeviny České republiky*. 1. vydání. Písek: Matice Lesnická, spol. s.r.o., 2001. 333 s. ISBN 80-86271-09-9.

WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. 5. Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.

WALKER, A. *Dřevo: velká encyklopedie: 150 druhů dřeva: podrobný průvodce "strom za stromem": svět nejvšestrannějšího přírodního zdroje*. 1. vydání. Praha: Grada, 2009. 192 s. ISBN 978-80-247-2858-2.

ZEMIAR, J.; GÁBORÍK, J.; MUZIKÁŘ, Z.; NAVRÁTIL, V.; RUŽINSKÁ, E.; ŠEBO, N., *Technológia výroby nábytku*. 1. vydání. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 287 s. ISBN 978-80-228-2064-6.

8.2 Internetové zdroje

JIVKOV, V., MARINOVA, A., JOHANNES, A. *Influence of the temperature on the bending strength and stiffness characteristics of glued corner joints of frame structural elements made from solid beech wood*. University of Forestry v Sofii [online]. 2008, [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z [www: https://www.academia.edu/21755274/Influence_of_the_Temperature_on_the_Bending_Strength_and_Stiffness_Characteristics_of_Glued_Corner_Joints_of_Frame_Structural_Elements_Made_From_Solid_Beech_Wood](https://www.academia.edu/21755274/Influence_of_the_Temperature_on_the_Bending_Strength_and_Stiffness_Characteristics_of_Glued_Corner_Joints_of_Frame_Structural_Elements_Made_From_Solid_Beech_Wood)

PODLENA, M.; BORŮVKA, V. *Stiffness coefficients of mortise and tenon joints used on wooden window profiles*. BioResources [online]. 2016, [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z [www: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_2_4677_Podlena_Stiffness_Coefficients_Mortise_Tenon](http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_2_4677_Podlena_Stiffness_Coefficients_Mortise_Tenon)

PODLENA, M.; BORŮVKA, V.; BOMBA, J. *The strength determination of corner joints used for wooden windows*. ResearchGate [online]. 2015, [cit. 18. 4. 2020]. Dostupné z [www: https://www.researchgate.net/publication/301230186_The_Strength_Determination_of_Corner_joints_used_for_Wooden_Windows](https://www.researchgate.net/publication/301230186_The_Strength_Determination_of_Corner_joints_used_for_Wooden_Windows)

SAHULA, L. *Experimentální testování demontovatelných nábytkových spojů*. [online]. Praha, 2018 [cit. 18. 4. 2020]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Dostupné z [www: https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti_zp=227873;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=sahula;dohledat=Dohledat;kde=autor;stav_filtr=bez;typ=2;fakulta=40;obhajoba=2018;jazyk=1](https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti_zp=227873;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=sahula;dohledat=Dohledat;kde=autor;stav_filtr=bez;typ=2;fakulta=40;obhajoba=2018;jazyk=1)

STATSOFT.CZ. *Stručný manuál STATISTICA* [online]. 2014 [cit. 9.3.2020]. Dostupné z [WWW: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf)

ŠULC, J. *Experimentální testování nábytkových spojů z listnatého dřeva* [online]. Praha, 2017 [cit. 26. 4. 2020]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Dostupné z

www:
https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti_zp=222147;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_zp=%C5%A1ulc;dohledat=Dohledat;kde=autor;stav_filtr=bez;typ=2;fakulta=40;obhajoba=2017;jazyk=1

VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I. *Strenght of furniture joints constructed with biscuits*. Nábytok 2008 [online] [cit. 4.3.2018]. Dostupné z
www: <http://users.auth.gr/jbarb/Publications/ZVOLEN%2008%20STRENGTH%20OF%20FURNITURE%20JOINTS%20CONSTRUCTED%20WITH.pdf>

WARMBIER, K.; WILCZYŃSKI, A. *Strength and stiffness of dowel corner joints – effect of joint dimensions*. Folia Forestalia Polonica, 2000 [online]. [cit. 26. 4. 2020]. Dostupné z
www: <http://www.ffp.au.poznan.pl/pdf/31/Folia%20Forestalia%20Pol%2031-3%20Warmbier%20Wilczynski.pdf>

ZÁBORSKÝ, V.; BORŮVKA, V.; RUMAN, D.; GAFF, M. *Effects of geometric parameters of structural elements on joint stiffness*. BioResources [online]. 2017, [cit. 28. 3. 2020]. Dostupné z
www: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_12_1_932_Zaborsky_Geometric_Parameters_Structural_Elements

ZÁBORSKÝ, V.; BORŮVKA, V.; KAŠIČKOVÁ, V.; GAFF M. *The effect of selected factors on domino joint stiffness*. BioResources [online] 2018, [cit. 28.3.2018]. Dostupné z
www: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_2424_Zaborsky_Selected_Factors_Domino_Joint_Stiffness/5900

ZEIDLER, A. *Lexikon dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze: 2012 [online]. [cit. 23. 3. 2018]. Dostupné z www: http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/

ZEIDLER, A. *Mikroskopický atlas dřevin*. Česká zemědělská univerzita v Praze: 2007 [online] [cit. 23. 3. 2018]. Dostupné online na
http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas_drev/

ZEJDA, J.; TIPPNER, J.; SEBERA, V.; KOŇASOVÁ, E.; DÁNIEL, V. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva* 2007 [online] [cit. 16.3.2020]. Dostupné z [www: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?opora=554](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?opora=554)

8.3 Normy

ČSN 49 0108 - *Dřevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach*. Praha: Český normalizační institut, 1979 .

ČSN EN 204 - *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha: Český normalizační institut, 1979.

ČSN EN 942 - *Dřevo na truhlářské výrobky - Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1979.