

**Mendelova univerzita v Brně**

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Porovnání metod hodnocení pevnosti desek  
z masivního dřeva**

Diplomová práce



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Porovnání metod hodnocení pevnosti desek z masivního dřeva** zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: ..... podpis studenta: .....

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Dr. Ing. Pavlu Královi, za jeho ochotu, odborný dohled a poskytnutí cenných rad při řešení práce. Díky patří taktéž konzultantovi Ing. Davidu Děckému, za užitečné rady a hlavně pomoc při experimentálních měřeních. Poděkovat bych chtěl také společností MADERO, s. r. o. a 2MAX, s. r. o. za poskytnutý materiál pro diplomovou práci.

V neposlední řadě děkuji své přítelkyni, rodičům, příbuzným a známým za podporu a trpělivost během celého studia.

# ABSTRAKT

**Autor:** Bc. Tomáš Drga

**Název práce:** Porovnání metod hodnocení pevnosti desek z masivního dřeva

Cílem práce je porovnat metody hodnocení pevnosti desek z masivního dřeva. Pevnost desek bude posuzována podle normativních metod, které se problematikou pevností lepeného spoje u masivních desek zabývají. Pevnost se bude stanovovat u bukové a dubové průmyslově vyráběné spárovky s použitím PVAC disperzních lepidel.

Práce se skládá ze dvou částí. Teoretická část se zaměřuje na materiály z masivního dřeva, lepení dřeva, technologické faktory a podmínky ovlivňující kvalitu lepeného spojení. Dále pak jsou popsány základní druhy lepidel používaných v nábytkářském a dřevařském průmyslu a je zpracován přehled norem zabývajících se kvalitou lepeného spojení u dřevěných materiálů. V praktické části je vytvořena metodika, podle níž se zjišťuje hustota, smyková pevnost lepeného spojení a procentuální porušení lepené spáry u zkušebních vzorků spárovky. Výsledky jsou staticky vyhodnoceny, dojde ke vzájemnému srovnání výsledků mezi sebou a jejich porovnání s odbornou literaturou.

**Klíčová slova:** hustota, smyková pevnost lepeného spojení, kvalita lepení, lepená spára, PVAC disperzní lepidlo, porušení ve dřevě

# ABSTRACT

**Author:** Bc. Tomáš Drga

**Title:** Comparison of Assessment Methods of Solid Wood Boards' Strength

The main aim of the thesis is the comparison of methods that are focused on assessment of solid woods boards' strength. The assessment is considered from a point of view of normative methods and it is determined at industrial oak and beech solid wood panels with PVAC dispersion glue.

The thesis consists of two main parts. The first part is theoretical and it is focused on solid wood materials, wood bonding, technological factors and circumstances that influence the quality of adhesive joints. There are also mentioned basic types of adhesives used in furniture and wood industry as well as overview of standards dealing with quality of adhesive joints of wood materials in the theoretical part. The theoretical knowledge is used in the second part where is the methodology created. The methodology helps to find out the density, shear bond strength and percentage violation of adhesive joints of test samples. Finally, the results of analytical part are statistically evaluated and mutually compared and also compared with specialized literature.

**Key words:** density, shear bond strength, quality of bonding, adhesive joint, PVAC dispersion glue, wood violation



3.10.1. Technologické podmínky při lepení .....	40
3.10.2. Technologické faktory při lepení.....	42
3.11. Lepidla používaná v dřevařském průmyslu .....	45
3.12. Charakteristika běžně zpracovávaných lepidel v nábytkářském průmyslu.....	46
3.12.1. Termoreaktivní lepidla .....	46
3.12.2. Termoplastická lepidla .....	50
3.13. Pevnost lepených dřevěných spojů .....	55
3.13.1. ČSN EN 302-1 – Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání .....	55
3.13.2. ČSN EN 392 – Lepené lamelové dřevo – Smyková zkouška lepených spojů .....	56
3.13.3. Standardní testovací předpis pro stanovení pevnostních vlastností lepených spojů při zatížení smykem podle ASTM D 905 .....	56
3.13.4. ČSN EN 205 Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání .....	57
3.13.5. ČSN EN 13354 Desky z rostlého dřeva (SWP) – Kvalita lepení – Metoda zkoušení.....	58
<b>4. Materiál a metodika.....</b>	<b>59</b>
4.1. Zkušební materiál.....	59
4.1.1. Charakteristika dřeva dubu – <i>Quercus sp.</i> .....	60
4.1.2. Charakteristika dřeva buku lesního – <i>Fagus sylvatica L.</i> .....	61
4.1.3. Souhrn zkušebních těles pro diplomovou práci.....	62
4.2. Stanovení hustoty spárovky .....	64
4.3. Stanovení kvality lepení u spárovky .....	65
4.4. Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání u spárovky .....	67
4.5. Stanovení podílu porušení ve dřevě pomocí obrazové analýzy a programu ImageJ .....	70
4.5.1. ImageJ.....	70
4.5.2. Měření podílu porušení ve dřevě pomocí obrazové analýzy v programu ImageJ.....	71
4.6. Zkušební zařízení .....	73
<b>5. Výsledky.....</b>	<b>74</b>
5.1. Hustota spárovky výrobce 1 a 2 .....	74
5.2. Kvalita lepení ČSN EN 13354.....	77
5.2.1. Kvalita lepení ČSN EN 13354 – výrobce 1.....	77



5.2.2. Kvalita lepení ČSN EN 13354 – výrobce 2.....	78
5.2.3. Porovnání kvality lepení ČSN EN 13354 – výrobce 1 a 2 .....	79
5.3. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205 .....	81
5.3.1. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205 – výrobce 1 .....	81
5.3.2. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205 - výrobce 2 .....	82
5.3.3. Porovnání pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 – výrobce 1 a 2 .....	84
5.3.4. Porovnání obou metod ČSN EN 13354 a ČSN EN 205.....	86
5.4. Podíl porušení ve dřevě .....	88
5.4.1. Podíl porušení ve dřevě u ČSN EN 13354 – výrobce 1 a 2 .....	88
5.4.2. Podíl porušení ve dřevě u ČSN EN 205 – výrobce 1 a 2 .....	90
<b>6. Diskuze .....</b>	<b>92</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>98</b>
<b>Summary.....</b>	<b>99</b>
<b>Přehled použitých zdrojů .....</b>	<b>100</b>
Literární zdroje.....	100
Online zdroje.....	101
Normy .....	102
<b>Seznam grafů.....</b>	<b>104</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>104</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>105</b>
<b>Přílohy.....</b>	<b>107</b>
A) Technický list RAKOLL® – ECO D3.....	107
B) Technický list RAKOLL® EXPRESS D3.....	109

# 1. ÚVOD

Již po dlouhá tisíciletí se dřevo řadí a také se nejspíš ještě dlouho bude řadit k nejstarším a také nejoblíbenějším materiálům, které kdy lidstvo používalo pro uspokojení svých potřeb.

Dřevo bylo zpočátku využíváno jako zdroj tepla, později plnilo funkci jednoduchých nástrojů, násad a dalších jednoduchých předmětů. Postupně se tento materiál stával surovinou, bez níž by si člověk život nedokázal představit. Jinak tomu není ani dnes. V konkurenci tisíce různých druhů materiálů má dřevo stále své místo. V současnosti své uplatnění nachází ve výrobě nábytku, ve stavebně truhlářských výrobcích, při realizaci dřevostaveb či jiných staveb (dřevěné mosty, krovy budov a jiné). Dřevo dále slouží k výrobě sportovního náčiní, dopravních prostředků, zbraní, hudebních nástrojů, uměleckých předmětů či k produkci obalového materiálu.

Obliba tohoto materiálu je zcela namístě. Mohou za to především jeho dobré fyzikální a mechanické vlastnosti. Nízká hmotnost v kombinaci s relativně vysokou pevností, dobré tepelně izolační vlastnosti a poměrně jednoduché opracování dodává tomuto materiálu konkurenční výhodu v porovnání s ostatními materiály. Vše je navíc podpořeno obnovitelností této suroviny. Naproti tomu je nutné zmínit nedostatky dřeva. A to jeho anizotropní charakter, malou odolnost vůči působení vysokých teplot, ohni a vodě. Nízká je i odolnost vůči vlivu biologických a povětrnostních činitelů.

S rozvojem dřevozpracovatelského průmyslu se začaly objevovat požadavky na spojení tohoto materiálu, aniž by spojovací prvek narušoval texturu dřeva. Pro tyto účely vznikla lepidla. Původně se jednalo o lepidla založená na přírodní bázi, které ve 20. století z větší části nahradila lepidla syntetická. Prudký rozvoj vědy a techniky si dnes žádá taková lepidla, která dokážou spojovat různé druhy materiálů. Lepidla nejen v nábytkářství, ale i v jiných oborech, jsou dnes důležitým pomocným materiálem, který přispívá ke zdokonalení kvality výrobků nebo tvoří základ nových produktů. Nové materiály, z nichž velkou část tvoří lepidlová složka, vytváří vyšší ekonomickou efektivitu díky zpracování podřadného nebo podrozměrného dřevního materiálu. Tyto nové materiály plně využívají předností dřeva a částečně eliminují jeho nevýhody. V některých případech tyto materiály dokonce dřevo předčí svou stejnorodostí, velkoplošností, izotropní povahou a vysokou výtěžností.

I přes existenci mnoha různých kompozitních materiálů na bázi dřeva mají své místo v nábytkářské výrobě jednovrstevné masivní desky neboli spárovky. Je to dáno

především přírodním charakterem a vysokou mechanickou odolností. Jde o užší přířezy z masivního dřeva spojené pomocí lepidel od šířky, ale i od délky. Následný materiál se pak uplatňuje v nábytkářské nebo stavebně truhlářské výrobě (výroba dveří, schodů atd.). Spárovka nepatří mezi levné materiály, proto musí vstupní dřevní surovina odpovídat určitým kvalitám. Také spojovací materiál, tedy lepidlo, má splňovat určité požadavky a při výrobě je nutné dodržovat stanovený technologický postup. Jak je patrné, důležitým pomocným materiálem jsou u spárovky lepidla, která zajistí pevné spojení přířezů. Kvalita lepeného spoje má pak podstatný vliv na kvalitu celé spárovky a určuje možnosti jejího použití.

Metodami hodnotícími kvalitu lepení masivních desek a vším, co může mít vliv na pevnost lepeného spoje, se bude zabývat tato diplomová práce.

## 2. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je porovnat metody hodnocení pevnosti desek z masivního dřeva se zaměřením na kvalitu lepeného spoje u spárovek a stanovit také hustotu těchto masivních desek. Základním úkolem bude vyhledat normativní metody řešící problematiku lepeného spoje u masivních desek a následně podle těchto norem zpracovat metodiku, dle které se bude zkoumat pevnost lepeného spoje. Zjištěné hodnoty pevnosti budou statisticky vyhodnoceny a vzájemně porovnány mezi sebou a dostupnou literaturou zabývající se danou tematikou.

V teoretické části budou popsány základní deskové materiály z masivního dřeva, jejich vlastnosti, výroba a použití. Bude zde popsána problematika lepení dřeva, skladba lepidel, faktory a podmínky mající vliv na lepení dřeva a také základní druhy lepidel používaných jak v nábytkářském, tak i v dřevařském průmyslu. Také se tato část zaměří na metody zkoušení lepeného spoje.

Praktická část se bude věnovat zjišťování hustoty spárovky a hlavně se zaměří na stanovení pevnosti lepeného spoje. Získané výsledky budou statisticky zpracovány a porovnávány jednak mezi sebou, ale také s normami a odbornou literaturou.

## 3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1. Klasifikace desek z rostlého dřeva

Na základě ČSN EN 12775 se desky z rostlého dřeva rozdělují podle následujících kritérií:

- podle konstrukce (jednovrstevné a vícevrstevné desky),
- podle prostředí, kde budou použity (suché, vlhké, venkovní prostředí),
- podle mechanických vlastností (všeobecné použití, nosné účely),
- podle dřeviny ve vnější vrstvě (desky z jehličnatého nebo listnatého dřeva),
- podle délky lamel ve vnější vrstvě (desky se zkrácenými nebo nezkrácenými lamelami),
- podle povrchové úpravy (desky surové, broušené, se strukturálním povrchem nebo povrchově dokončené – opláštěvané, natřené, lakované, olejované).

#### 3.1.1. Požadavky na desky z rostlého dřeva

Norma ČSN EN 12755 dále dělí desky z masivního dřeva na jednovrstevné a vícevrstevné.

##### a) Jednovrstevné desky

- všechny lepené spáry musí být dobře slepeny, nejsou dovoleny otevřené spáry,
- desky z kratších přířezů se mohou spojovat na délku zubovitým, tupým nebo jiným délkovým spojením,
- desky se zkrácenými lamelami musí mít minimální délku lamely 150 mm (platí pro vizuální třídu A a B),
- není dovoleno míchání dřevin v jedné desce,
- povrch desky musí být jemně frézovaný nebo broušený, vlnky po frézování nejsou přípustné.

##### b) Vícevrstevné desky

- ve směru tloušťky musí mít desky symetrickou konstrukci,
- veškeré části vnějších vrstev musí být vyrobeny ze stejné dřeviny,
- u desek pro nosné účely musí mít vnější vrstva minimální tloušťku 5 mm,
- vnitřní vrstvy nesmí obsahovat otevřené spáry,
- povrchová úprava musí odpovídat budoucímu užití desky.

V ČSN EN 13353+A1 jsou desky z rostlého dřeva dále rozčleněny podle účelu použití, jak je uvedeno níže.

- a) **Desky z rostlého dřeva pro použití v suchém prostředí** (*solid wood panel for use in dry conditions*) označovány jako SWP/1 – provozní třída 1 je charakterizována vlhkostí materiálu odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %, která je překročena jen několik týdnů za rok.
- b) **Desky z rostlého dřeva pro použití ve vlhkém prostředí** (*solid wood panel for use in humid conditions*) označovány jako SWP/2 – provozní třída 2 je charakterizována vlhkostí materiálu odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 85 %, která je překročena jen několik týdnů za rok.
- c) **Desky z rostlého dřeva pro použití ve venkovním prostředí** (*solid wood panel for use in exterior conditions*) označovány jako SWP/3 – provozní třída 3 je charakterizována vlhkostí materiálu větší než v provozní třídě 2.

Tato norma dále stanovuje rozměrové tolerance desek, odpovídají vlhkosti v době dodávání pro velké a střední formáty desek. Rozměrové tolerance jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Rozměrové tolerance velkých a středních formátů desek podle ČSN EN 13353+A1

Tolerance jmenovité délky a šířky	Tloušťka		Tolerance pro	
	Tolerance uvnitř jednotlivé desky	Tolerance jmenovité tloušťky	Přímost boků	Pravouhlost
± 2,0 mm	0,5 mm	± 1,0 mm	1,0 mm/m	1,0 mm/m

Vlhkost v době dodání se stanovuje podle ČSN EN 322 a je odlišná podle účelu použití desky následovně:

- 8±2 % pro desky do suchého prostředí,
- 10±3 % pro desky do vlhkého prostředí,
- 12±3 % pro desky do venkovního prostředí,

Ve zvláštních případech (např. z důvodu zvláštních regionálních podmínek) se může stanovit jiná vlhkost.

Kvalita lepení u desek z masivního dřeva se hodnotí podle ČSN EN 13354 po předepsané přípravě pro použití v suchém, vlhkém nebo venkovním prostředí. Hodnoty kvality lepení jsou odlišné pro jednovrstevné a vícevrstevné desky.

- **Jednovrstevné desky z rostlého dřeva** – dolní 5% kvantil pevnosti ve smyku nesmí být menší než  $2,5 \text{ N/mm}^2$ . Průměrný podíl porušení ve dřevě každé desky musí být větší než 40 % s výjimkou, pokud je hustota desky větší než  $600 \text{ kg/m}^3$ .
- **Vícevrstevné desky z rostlého dřeva** - dolní 5% kvantil pevnosti ve smyku nesmí být menší než  $0,8 \text{ N/mm}^2$ . Průměrný podíl porušení ve dřevě každé desky musí být větší než 40 %.

Jestliže jsou desky určeny k nosným účelům, musí být pro vzájemné lepení vrstev použito termosetického lepidla.

## **3.2. Spárovky - jednovrstvé desky z rostlého dřeva**

Jedná se o materiál vytvářený vzájemným klížením nebo slepováním užších přířezů jehličnatého nebo listnatého řeziva do šířky (průběžná spárovka, označována fix) nebo spojováním přířezů do šířky i do délky (napojovaná spárovka, označována jako cink).

Spárovka se řadí k nejstarším materiálům, které byly používány k výrobě plošných nábytkových dílců. Výroba spárovky byla známá již ve starověkém Egyptě, zde se však pro výrobu používaly pouze délkově nenastavované přířezy. Teprve v druhé polovině minulého století se při její výrobě začaly užívat i přířezy délkově nastavované. (Böhm et al., 2012; Trávník a Svoboda, 2007)

### **3.2.1. Základní suroviny pro výrobu spárovky**

Na výrobu spárovek se zpracovává jehličnaté a listnaté řezivo, které má vstupní vlhkost mezi 7–9 %. Pokud by řezivo nesplňovalo předepsanou vlhkost, může dojít ke zborcení přířezů ještě před slepením nebo může následně dojít ke zborcení celého formátu desky spárovky po sklížení. Vyšší vlhkost také způsobuje problémy při tloušťkové egalizaci. Další problémy nastávají při používání bočního řeziva, u řeziva s přerýzanými vlákny, s kamenitostí, točitostí a odlupčivostí. Pokud je řezivo zbarveno houbami nebo vykazuje jiné podobné vady, které ovšem nesnižují mechanické vlastnosti dřeva, jsou tyto vady vymanipulovány pouze v případě, že bude spárovka dokončena transparentními laky. Je-li spárovka určena k výrobě součástí, které se budou dále dýhovat, není nutné tyto vady odstraňovat. (Trávník a Svoboda, 2007; Uhlíř, 1997)

Až donedávna byly nejpoužívanějšími klihy pro lepení spárovky glutinová lepidla (kostní a kožní klihy). Dnes je ke spojování přířezů spárovky nejhojněji používáno PVAC lepidlo. Vyznačuje se relativně snadnou přípravou, malou náročností na těsnost lepených spár a vysokou pevností lepené spáry v poměrně krátké době. Dalším pozitivem je poměrně neomezená životnost a minimální otupení obráběcích nástrojů. Jelikož k vytvrzování PVAC lepidel dochází postupným odpařováním vody, můžeme zkrátit lisovací dobu zvýšením akumulovaného tepla ve spáře nebo použitím vysokofrekvenčního ohřevu. (Trávník a Svoboda, 2007; Uhlíř, 1997)

Méně častým typem lepidla, které se pro výrobu spárovky používá, je močovinoformaldehydové lepidlo. To je velmi citlivé na těsnost lepených spár, může být však použito za studena (přidáváme tužidlo) i za tepla (vytvrzování při teplotě okolo 100 °C). (Trávník a Svoboda, 2007)



### 3.2.2. Postup výroby spárovky

1) **Příčné řezání (krácení) řeziva** – řezivo se krátí na spodních nebo horních kotoučových pilách. Získávají se přířezy požadovaných délek s nadmírou na další opracování. Zároveň se odstraňují nepřijatelné vady podle požadavků na pevnost a vzhled dílců, které se budou následně ze spárovky vyrábět.

2) **Podélné řezání (rozmitání) řeziva a frézování přířezů** – délkové přířezy jsou podélně rozřezány na jednolistých či vícelistých kotoučových pilách. Platí zde zásada, že čím jsou přířezy užší, tím je vyšší tvarová stálost spárovky. Každý délkový přířez je zpravidla podélně rozřezán středem a u obou podélních okrajů. Jedná-li se o přířez ze středového řeziva, musí být odstraněna dřev.

Přířez je pak opracován na čtyřstranné frézce. Obsluha stoje opracované přířezy třídí a špatné přířezy vyřazuje. V některých případech jsou přířezy lepeny po podélném řezání. Zpravidla je to jen tehdy, když je spárovka dále dýchována nebo bude použita tam, kde to nebude viditelné (zadní vlysy soklů, vlysy čalouněných rámu apod.). (Uhlíř, 1997)

3) **Spárování přířezů** – spárovky pro výrobu nábytkových dílců nebo součástí jsou běžně spojovány dvěma druhy spojů (klišných spár). Jedná se o spoj na tupou a profilovanou spáru. Profilovaná spára se vyskytuje jen ojediněle u výroby více namáhaných plošných dílců nebo u výroby spárovky větší tloušťky.

Profilovaná spára zvětšuje povrch lepené plochy, a tím pádem má toto spojení větší

#### Legenda

1 – pravá strana

2 – levá strana

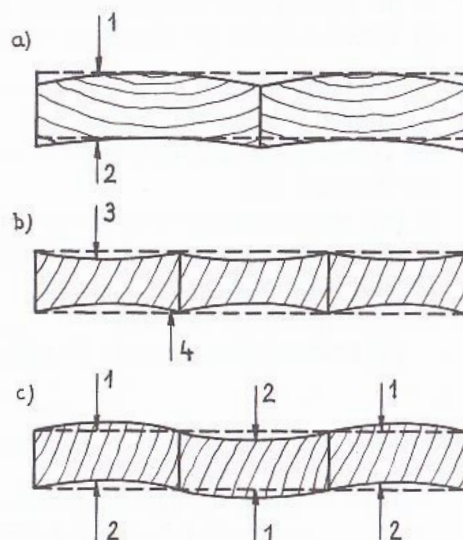
3 – středová plocha

4 – boční okrajová plocha

a) nesprávný způsob sesazování středem nerozříznutých přířezů

b) nesprávný způsob sesazování středových a okrajových bočních ploch (jádra k běli)

c) osvědčený způsob střídavého obrácení pravou a levou stranou nahoru a přikládání středových a bočních ploch ke středovým a bočním plochám



Obr. 1 Různé způsoby sesazování přířezů do spárovky (Uhlíř, 1997)

pevnost. Tvary profilovaných spár můžou mít různé tvary a různý počet ozubů. Vždy by však měly nabízet střídavé obrácení jednotlivých přířezů pravou a levou stranou nahoru.

Po opracování bočních ploch jsou přířezy skládány na palety tak, aby jednotlivé vrstvy přířezů tvořily přibližnou šířku spárovky. Správnou skladbou (obr. 1) by se mělo dosáhnout toho, že na čelech přířezů má průběh letokruhů zhruba stejný směr, což výrazně zvyšuje tvarovou stálost spárovky a eliminuje případné borcení. Sesazená spárovka se označí tužkou několika čarami, které probíhají přes všechny přířezy tak, aby se snadno a rychle mohla opět sestavit do lisovacího zařízení po nanesení lepidla. (Trávník a Svoboda, 2007)

**4) Spojování přířezů lepením** – přířezy spárovek můžou být navzájem spojovány pomocí ručních kleštin, turniketových lisů nebo kontinuálních průběžných zařízení. Vše se odvíjí od velikosti výroby (malosériová, sériová, hromadná).

Jak již bylo řečeno výše, nejčastějším typem lepidla je dnes PVAC lepidlo, které je na boční plochu připravených přířezů nanášeno za pomoci válečkové nanášečky. Množství lepidla se pohybuje mezi 120–200 g/m<sup>2</sup>. Pokud je spára profilovaná, používá se váleček opatřený shodným profilem.

V případě sériové výroby se po nanesení lepidla přířezy vyskládají na ramena lisu. Sestavení si obsluha lisu kontroluje pomocí značek, které jsou vyznačeny tužkou na přířezech. Přířezy jsou nejprve stlačeny mírným tlakem, poté poklepáním gumovou paličkou nebo kladivem se srovnají do roviny. Po vyrovnání se spárovka utáhne požadovaným tlakem. Ideálním stavem je, když se lepidlo rovnoměrně vytlačí ze spár. Spárovka se nechává v turniketu pod lisovacím tlakem tak dlouho, dokud nedojde k dostatečně pevnému spojení (20–30 minut). U otočné turniketové lisy jsou většinou konstruovány tak, aby za jedno otočení došlo k vytvrzení lepidla a spárovka se mohla z turniketu po jednom otočení vyjmout.

Pro zrychlení vytvrzení lepidla popřípadě klihu může být turniketové lisy opatřeny krytem, jehož vnitřní prostor je vyhříván na vyšší teplotu. Nejnovější lisovací zařízení využívají pro urychlení vysokofrekvenční ohřev.

**5) Vyspravení vad** – v této části se vyspravují případné nežádoucí vady (např. suky, otvory po dřevokazném hmyzu, smolníky apod.). Vadná místa se odvrtají nebo odfrézují. Poté se na dno i boky vzniklých otvorů nanáší lepidlo a vkládá se dřevěná zátka. Zátka musí být nejen ze stejné dřeviny, zároveň však musí mít stejnou vlhkost jako vyspravovaná spárovka a také shodný průběh vláken.

**6) Klimatizace spárovky** – probíhá v dílenských podmínkách minimálně po dobu 48 hodin. Hlavním cílem klimatizace je dosažení rovnovážné vlhkosti v okolí lepených spár a vyspravovaných vad, aby po následné egalizaci nedocházelo ke zvlnění povrchu.

**7) Opracování spárovky na jmenovitou tloušťku** – Proces spočívá v tloušťkování na přesný tloušťkový rozměr na egalizačních bruskách a následně ve formátování na jmenovité rozměry na formátovací pile. Pokud na spárovce probíhají další operace, jako je např. dýchování, formátuje se až po zadýchování. (Trávník a Svoboda, 2007; Uhlíř, 1997)

### **3.2.3. Vlastnosti spárovky**

Spárovka si ponechává nejen vzhled rostlého dřeva, ale také jeho dobré mechanické vlastnosti. Navíc je možné ji vyrábět ve větších formátech

Nevýhodou však zůstává její anizotropní charakter, který způsobuje rozdílné fyzikální a mechanické vlastnosti v různých směrech. Jelikož se jedná o desku slepenou z dřevěných přířezů, tak i u spárovky nastává velké sesychání (bobtnání) při změně vlhkosti a může dojít k borcení desky. Tvarové stálosti můžeme docílit, pomocí speciálních konstrukčních řešení jako je např. užití svlaku. (Böhm et al., 2012)

### **3.2.4. Možnosti použití spárovky**

Podle Böhma et al. (2012) se spárovka již v minulosti řadila k materiálům, které se ve výrobě nábytku používaly na výrobu desek stolů, postelí, skříní, truhel atd. Tradičně je spárovka užívána na pevné obaly (bedny na municí), na police s vysokou nosností (police knihoven), na výrobu dřevěných schodů nebo dveří.

### 3.3. Vrstvené jádrové desky

Vrstvené jádrové desky jsou překližovaným materiálem, jehož střed má v porovnání s ostatními vrstvami razantně větší tloušťku. Do této kategorie desek se řadí laťovky, dýhovky, tří a vícevrstvé masivní desky tzv. biodesky. (Král a Hrázský, 2005)

#### 3.3.1. Laťovky a dýhovky

Jde o velkoplošné překližované materiály, které se vyrábí oboustranným překližením tlustšího středu jednou nebo více vrstvami dýh. (Král a Hrázský, 2005; Muzikář, 2008)

Podobně jako překližky mají laťovky a dýhovky částečně eliminovaný anizotropní charakter. (Böhm et al., 2012)

##### 3.3.1.1. Rozdělení laťovek

- a) **Podle konstrukce** – třívrstvé, pětivrstvé, zdvojené.
- b) **Podle směru vláken překližovačky** – podélné, příčné.
- c) **Podle odolnosti lepené spáry** – na laťovky pro nábytkářské použití a na vodovzdorné laťovky s použitím ve stavebnictví.
- d) **Podle konstrukce laťovkového středu** – laťovky se středem motouzovým, lepeným, se středem spojeným umělým vláknem a se středem z dýh. (Král, 2011)

##### 3.3.1.2. Základní surovina pro výrobu laťovek a dýhovek

Jádro laťovkové desky tvoří jehličnaté řezivo smrku nebo jedle. Středové laťky musí být vysušeny a mohou nebo nemusí být spojeny lepidlem. U dýhovky je na laťovkový střed použito slepených pásků smrkových dýh.

Překližovací dýha (překližovačka) se vyrábí z loupáných dýh jehličnanů (smrk), měkkých listnáčů (topol), tvrdých listnáčů (bříza, buk) nebo také tropických druhů dřev (okoume).

Lepení laťovek nebo dýhovek zajišťují stejná lepidla jako při výrobě překližek (močovinoformaldehydová a fenolformaldehydová lepidla). (Král, 2011; Muzikář, 2008)

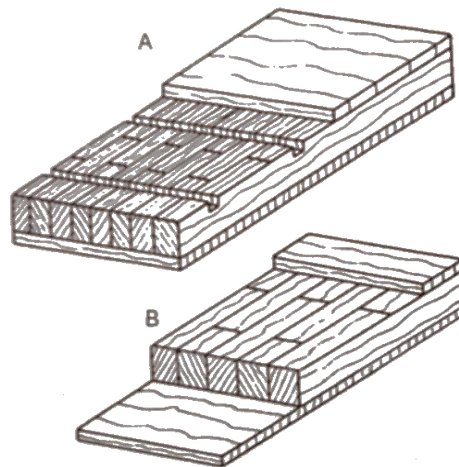
##### 3.3.1.3. Postup výroby laťovek

Výroba laťovek se skládá z několika dílčích kroků jako je výroba dýh, výroba laťovkových středů, nanášení lepidel, lisování a dokončovacích prací.

## 1) Postup výroby laťkových středů

a) Výroba středů spojených motouzem – tyto středy jsou vyráběné z vysušeného bočního řeziva o vlhkosti  $6\pm 1\%$  a zpravidla tloušťky 24 mm. To se poté hobluje a dělí na laťky. Šířka laťky pak určuje tloušťku laťkového středu desky.

Laťky se třídí a vyskytnuté vady jsou vymanipulovány. Zkontrolované laťky jsou přesunuty na stůl motouzové sesazovačky, kde jsou pootočený o  $90^\circ$  tak, aby plochy řezu tvořily plochu středu. Krátké laťky jsou skládány tím způsobem, aby se čelní spoje v sousedních řadách střídaly. Střídat se musí i směr letokruhů sousedních laťek. Takto složené laťky se z čelní strany vyrovnají podle pravítka a jsou podávány před motouzový sesazovací stroj.



Obr. 2 Konstrukce laťkových středů; A – motouzový střed, B – lepený střed (Král, 2011)

Sesazovací stroj je osazen 6 pilovými kotouči s roztečí 50 cm. Krajní pilový kotouč řeže laťkový střed na potřebnou délku, zbylé kotouče vyřezávají do plochy středu drážky. Do těch je pak vtláčován motouz. Ze stroje tak vychází nekonečný laťkový pás, který se dělí odříznutím motouzu v požadované šířce. (Král, 2011)

b) Výroba lepených laťkových středů blokovým způsobem – používá se jehličnaté řezivo s vlhkostí 6–8 %. Ohoblované deskové řezivo se skládá a lepí do bloku, kde sousední desky mají opačné uložení letokruhů z důvodu stálosti budoucích desek. Letokruhy na čelech jednotlivých laťek by měly v konečné fázi svírat s plochou desky úhel mezi  $60\text{--}90^\circ$ . Lepicí směs se nanáší oboustranně na každou druhou desku v bloku. Bloky jsou poté lisovány (tlak 0,9–1,0 MPa) a po 6–10 hodinovém vytvrzení se bloky rozřežou na laťkové středy. Tyto středy jsou následně oboustranně hoblovány. (Král, 2011)

c) Výroba laťkových středů ze slepených laťek – používá se stejný materiál jako u blokového způsobu. Deskové řezivo je frézováno a rozřezáno na laťky požadované šířky a tloušťky. Laťky jsou poté opět roztříděny a vadná místa odstraněna. Na boční hrany laťek je pak nanášeno polyvinylacetátové lepidlo. Laťky jsou vkládány do sesazovacího stroje kolmo ke směru pohybu lepeného pásu. Při ukládání laťek dbáme na

to, aby směr letokruhů na čelech sousedních latěk byl obrácený a sklon letokruhů na čelech byl větší než 45°. Latky jsou pak k sobě přitlačovány a posunovány do pásma vyhřívaného horkými deskami, kde dochází k polymeraci lepidla. Ze stroje následně vychází nekonečný pás slepených latěk, který se v daných spárách dělí na požadované formáty. (Král, 2011)

d) Výroba středů “S” – zmíněné laťkové středy jsou vyráběné ze středového řeziva nebo řeziva speciálně řezaného (tzv. segmentový řez). Účelem je získat řezivo, které má průběh letokruhů na čelech latěk co nejvíce kolmý k ploše vyráběné laťovky. Další postup je pak shodný jako u výroby laťkových středů ze slepených latěk. (Král, 2011)

e) Výroba laťkových středů spojených vláknem – střed vzniká podobným způsobem jako nelepený střed spojovaný motouzem. Latky jsou zkráceny na délku 105 cm a do laťkového středu jsou sesazovány ve směru posuvu stroje. Na konci linky jsou středy automaticky převázány nylonovým vláknem, které se v lisu působením vysoké teploty rozpustí. (Král, 2011)

f) Výroba tyčinkových středů pro dýhovku – pro výrobu tyčinkových středů se používají loupané jehličnaté dýhy o tloušťce 3,0 mm nebo 3,6 mm. Výhoda středu vytvořeného pomocí dýh spočívá v tom, že po celém příčném řezu jsou letokruhy uloženy pod úhlem 90°. Desky s takovýmto středem jsou vhodné pro náročné nábytkové dílce.

Výroba tyčinkových středů začíná slepením 5 listů dýh se stejným průběhem vláken. Vznikne deska o tloušťce 17,2 nebo 20 mm. Slepování probíhá ve studených nebo horkých lisech. Vzniklé desky se vysuší a podélně rozřežou na pásy široké 50 mm. Tyto pásy se slepují do bloků, které se zpracovávají stejně jako laťkové středy vyrobené blokovým způsobem. (Král, 2011)

## **2) Nanášení lepicí směsi**

Při nanášení lepicí směsi je nutné, aby laťkové středy i překližovací dýhy měly požadovanou vstupní vlhkost. V případě středů je to vlhkost 6–8 %, dýhy musí mít vlhkost 8–12 %. U třívrstvé konstrukce laťovek se lepidlo nanáší z obou stran na střed. Jedná-li se o pětivrstvé laťovky, nanáší se lepidlo oboustranně na vnitřní dýhy. K nanášení lepidlové směsi ať už na střed či na dýhu slouží válcové nanašečky.

Množství nánosu lepicí směsi na plochu se pohybuje v rozmezí 170–220 g/m<sup>2</sup>. (Král, 2011)

### **3) Lisování laťovek**

Průběh lisování laťovek je dán dobou lisování, teplotou lisování, lisovacím tlakem, vlhkostí dřeva a jakostí lepidla. U močovinoformaldehydových lepicích směsí se laťovky lisují při teplotě v rozmezí 105–110 °C, tlaku 0,8–1 MPa a doba lisování je 8–12 min.

Zalisované laťovky se prokládají do hrání z důvodu vyrovnání vlhkosti. Ustálení k vyrovnání vnitřního pnutí musí trvat minimálně 8 hodin. (Král, 2011)

### **4) Dokončovací práce při výrobě laťovek**

Po ukončení klimatizace se jednotlivé desky formátují na přesný rozměr a opravují se vzniklé vady. Následuje oboustranné broušení, po kterém se desky roztřídí a označí. (Král, 2011)

#### **3.3.1.4. Vlastnosti laťovek a dýhovek**

Velmi příznivě je u laťovek hodnocena vysoká pevnost zejména v ohybu ve směru orientace vláken. Pozitivně je hodnocena nižší hmotnost těchto desek ve srovnání s aglomerovanými materiály. Kladnými vlastnostmi jsou ještě relativně vysoká pevnost vrutových spojů a upevnění kování.

K nevýhodám patří, že při rozřezávání desek na dílce musíme brát v úvahu směr středových latek a v případě olepování bočních ploch je nutné použít masiv nebo dýhu. (Böhm et al., 2012)

#### **3.3.1.5. Možnosti použití laťovek a dýhovek**

Je to materiál používaný zejména v nábytkářském průmyslu a stavebnictví. V nábytkářské výrobě se laťovky používají pro výrobu korpusů skříní, dveří a zásuvek. Dále pro výrobu vestavěného nábytku, dveří a obkladů.

Pro stavebnictví jsou laťovky vyráběné se silnějšími překližovacími dýhami. Tyto desky poté nacházejí uplatnění při výrobě betonářského bednění, montovaných domků nebo při stavbě kontejnerů. Desky určené k betonářskému bednění jsou lepeny vodovzdornými lepidly a jejich povrch je opatřen voděodolnými povrchy, jako je např. fenolická fólie. (Muzikář, 2008)

### 3.3.2. Třívrstvé masivní desky (biodesky)

Biodeska je překližovaným materiálem podobajícím se laťovce. Na laťovkovém středu jsou však místo tenkých dýh křížem nalepeny tenké lamely standardně o tloušťce 5–8 mm a šířce 80–140 mm. Výroba tohoto konstrukčního materiálu začala v osmdesátých letech 20. století. Vzniklý deskový materiál si ponechává všechny pozitivní vlastnosti dřeva podobně jako spárovka, ale zároveň překližení tří vrstev dodává tomuto materiálu relativně vysokou tvarovou a rozměrovou stálost. (Böhm et al., 2012; Král a Hrázský, 2005)



Obr. 3 Třívrstvá deska z masivního dřeva – biodeska (Böhm et al., 2012)

#### 3.3.2.1. Základní suroviny pro výrobu biodesky

Základním materiálem pro výrobu biodesek je jehličnaté (smrk, borovice) ale i listnaté (buk, bříza, dub, jasan) řezivo o vlhkosti 8-10 %. Dříve se k výrobě středové vrstvy nejčastěji používalo zejména jehličnaté řezivo smrku. Dnes se však výrobci snaží, aby středové i krycí vrstvy byly z jednoho druhu dřeviny. Středová vrstva je lepena PVAC lepidlem, kdežto krycí vrstvy jsou k laťovkovému středu lepeny pomocí močovinoformaldehydového lepidla s nízkým obsahem volného formaldehydu. (Král a Hrázský, 2005)

#### 3.3.2.2. Postup výroby biodesky

##### 1) Výroba středů a povrchových vrstev

Krycí vrstvy jsou standardně slepeny z užších přířezů tlustých 5–8 mm a širokých 80–140 mm. Ty vzniknou z deskového řeziva po čtyřstranném ofrézování a po rozřezání soustavou horizontálních kotoučových pil. Přířezy středové vrstvy jsou nařezány na vertikálních pilách. Poté se z nich vyřezávají vady a jsou tříděny podle kvality do několika tříd. Tloušťka středové vrstvy je závislá na požadované tloušťce desky. Šířka přířezů středové vrstvy je buď 30-40 mm nebo jsou přířezy stejně široké jako lamely krycí vrstvy.

##### 2) Lepení středů

Středová vrstva je slepena do velkoplošné spárovky podobně jako u laťovek.



### **3) Lisování**

Lamely jsou před lisováním rozříděny a poté je na ně v bloku jednostranně nanášeno lepidlo. Následuje rozložení a přemístění vakuovým překladačem na transportní plechy. Na lamely jsou následně umístěny lepidlem nanášené laťovkové středy. Ty jsou opět překryty lamelami, které tvoří horní vrstvu. Na takto připravený soubor se ještě umístí lisovací plech. Lisování se uskutečňuje v lisu se simultánním uzavíráním a bočním tlakem z obou stran, který je vyvozen pomocí hydraulických válců. Lisování probíhá při teplotě 120–125 °C po dobu 8–12 minut podle typu desky.

### **4) Vyspravení biodesek**

Desky jsou po zalisování po dobu 24 hodin klimatizovány a poté se dochází k případným opravám vad. Výsrava se provádí tmelem, dřevěnými zátkami nebo lodičkami. Pracoviště je vybaveno otáčecím karuselovým zařízením a manipulaci s deskami zabezpečuje přísavkový překladač.

### **5) Formátování, broušení a balení biodesek**

K dělení desek se používá horizontální formátovací pila. Broušení a kalibrace probíhá na dvouhlavé širokopásové brusce, následuje zabalení desek do balíku cyklopáskou. (Böhm et al., 2012; Král a Hrázský, 2005)

#### **3.3.2.3. Vlastnosti biodesky**

Jedná se o přírodní materiál bez zdraví škodlivých účinků s poměrně vysokou stabilitou tvaru a rozměru. Desku lze opracovávat v ploše do tloušťky krycí vrstvy. Dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti předurčují desku ke konstrukčním účelům. V neposlední řadě výrobce nebo i zákazník ocení kvalitní povrch, který nemusí být dále nikterak složitě dokončován a ponechává si texturu dřeva. (Král a Hrázský, 2005)

#### **3.3.2.4. Možnosti použití biodesky**

Zmíněný materiál je vhodný pro nábytkářskou výrobu. Díky své dobré mechanické odolnosti a zdravotní nezávadnosti se hojně používá pro dětský nábytek. Bez problémů se dá využít jako obkladový materiál nebo ve formě prefabrikovaných dílců v podobě parket. Dále se s ním můžeme setkat ve stavebnictví při výstavbě dřevostaveb nebo jako konstrukční či bednicí materiál. Pro tyto účely jsou však biodesky lepeny pomocí lepidel, které lépe snášejí vlhkost např. melamin-formaldehydové lepidla. (Böhm et al., 2012; Král a Hrázský, 2005)

### 3.4. Překližky

Překližky jsou vrstveným materiálem, který vzniká slepením dýhových listů na sebe. Skládají se z lichého počtu vrstev, přičemž sousední vrstvy by měly vůči sobě mít kolmý průběh dřevních vláken. Výroba tohoto typu desek se řídí pravidlem symetrie:

- na obě strany od centrální osy překližky, musí být stejný počet vrstev dých,
- osa středové vrstvy musí být zároveň centrální osou symetrie (počet vrstev překližky je tedy lichý),
- vrstvy ve shodné vzdálenosti od centrální osy symetrie musí být z totožné dřeviny a jejich tloušťka musí být shodná a
- osově souměrné vrstvy dých se musí přibližně shodovat v průběhu vláken, v mechanických a fyzikálních vlastnostech a musí být vyrobeny stejnou technologií.

Porušením pravidla symetrie vznikají různé vady jako např. kroucení nebo porušení překližky. (Král, 2011)

Překližky lze vyrábět v různých estetických variantách, s rozlišnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi a můžeme docílit vysoké odolnosti proti působení vlhkosti. Uvedené vlastnosti se upravují použitím různých dřevin, tloušťkou jednotlivých dých, volbou počtu vrstev překližky, zvolením vhodného lepidla a optimální úpravou povrchu. Jedná se tedy o velmi široký sortiment, který je na trhu běžně dostupný a můžeme se zde setkat s překližkami do suchého prostředí až po překližky pro přímý styk s vlhkostí. (Böhm et al., 2012)

#### 3.4.1. Základní surovina pro výrobu překližek

Překližky se vyrábí z loupáných nebo krájených dých. Z jehličnatých dřev se jedná hlavně o dýhy ze smrku, jedle a borovice v tloušťkách 1,8–4,0 mm. Listnaté dřeviny jsou ve výrobě překližek nejčastěji zastoupeny dýhami buku, břízy, olše a topolu v tloušťkách 1,2–3,0 mm. Samozřejmě se využívají i tropické druhy dřev jako je např. ceiba, okoume, koto, limba apod. (Böhm et al., 2012; Král, 2011)

#### 3.4.2. Postup výroby překližek

Nejčastěji se na loupané dýhy vyspravené od vad nanáší pomocí válcové nanašečky lepicí směs. Ta se skládá z lepicí složky a dalších přísad (technická mouka, tvrdidlo, voda). Druh lepicí složky se volí v závislosti na druhu překližky. Nejběžněji se

zpracovává močovinoformaldehydové lepidlo vhodné do suchého prostředí a fenolformaldehydové lepidlo vhodné do vlhkého prostředí.

Lepidlovou směsí nanesené dýhy se následně ručně nebo pomocí strojního zařízení skládají do souborů. Při skládání souboru musí být zachováno pravidlo symetrie. Po složení souboru dochází k předlisování za studena, přičemž se stlačí soubor dých, nedojde však k vytvrnutí lepidla. Tato operace usnadňuje manipulaci se souborem a také zkracuje lisovací čas.

Předlisovaný soubor se vkládá do jednoetážového nebo víceetážového lisu. Lisovací teplota se pohybuje mezi 105–150 °C podle druhu lepidla a typu lisu. Lisovací tlak je v rozmezí 1–2 MPa v závislosti na druhu dřeviny. Lisovací čas se stanovuje podle doby vytvrzení lepidla a dle tloušťky souboru.

Desky se po vytažení z lisu nechají minimálně 24 hodin klimatizovat, aby se dosáhlo konečné vlhkosti. Následně jsou překližky formátovány na jmenovitý rozměr, případně jsou formátovány na stanovené přířezy. Další operací je vyspravení vad, které jsou způsobeny lisováním, formátováním nebo vadami dřeva. Menší vady jsou vyspraveny tmelením. Vady většího rozsahu se vyspravují záplatami ze zdravého dřeva nebo záplatami z plastické hmoty. Po vyspravení vad dochází k broušení, při kterém dojde k egalizaci desek, k odstranění nerovností povrchu a odstranění výrobních vad. Poslední fází ve výrobě je třídění a skladování překližek. (Král, 2011)

### **3.4.3. Vlastnosti překližek**

Důležitou výhodou překližek je odstranění anizotropní povahy masivního dřeva. S tím souvisí i dobrá pevnost ve všech směrech i v případě relativně tenkého materiálu. Dále jsou u překližované desky eliminovány rozměrové změny při změně vlhkosti. Vhodně zvolené lepidlo vytvoří kvalitní lepený spoj, jehož účinnost lze podpořit vhodnou povrchovou úpravou nebo nalisováním papírové fólie s voděvzdornou pryskyřicí.

Nevýhodou je vysoká cena překližek, která se odvíjí od kvalitní vstupní suroviny a od náročné výroby. Problém také nastává u některých tvrdých dřevin, u kterých při procesu loupání dochází k tvorbě drobných trhlin. Ty se pak mohou objevit až po konstrukci hotového nábytku popraskáním povrchové úpravy. (Böhm et al., 2012)

#### **3.4.4. Možnosti použití překližek**

Díky zmíněné kombinaci dřevin, lepidel, počtu vrstev a dalších faktorů je patrné, že mají překližky velmi pestrou škálu použití. Vhodným lepidlem a adekvátní povrchovou úpravou (nátěry, papírová fólie s voděvzdornou pryskyřicí) získáme překližky vhodné k bednicím účelům, které velmi dobře odolávají vlhkosti. Dalšími možnostmi využití ve stavebnictví mohou být např. střešní vazníky, stavební dílce dřevostaveb, lešeňové podlahy atd. Pokud se na povrch desky nalisuje protiskluzová fenolická fólie, je to ideální materiál pro stěny a podlahy železničních vagónů, automobilů hromadné nebo nákladní dopravy. Určitě má tento materiál své místo i ve výrobě sportovních potřeb a zařízení, jako jsou třeba mantinely, lodě či odrazové můstky pro košíkovou. Překližky jsou samozřejmě uplatňované i v nábytkářském průmyslu, hlavně z důvodu své mechanické, ale také vlhkostní odolnosti. V neposlední řadě se překližky hojně využívají při výrobě nejrůznějších typů obalů. (Böhm et al., 2012)

### 3.5. Historie lepení

Rychlý rozvoj vědy a techniky téměř ve všech průmyslových odvětvích s sebou přináší systémy spojování různých materiálů za pomoci lepidel. Lepidla mají tu vlastnost, že dokážou spojovat tuhá tělesa, díky dobré přilnavosti k těmto povrchům a jejich dobré vnitřní soudržnosti. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Eisner et al. (1966) ve své publikaci uvádí, že již staří Egypťané znali a používali lepidlo při zdobení svých dřevěných výrobků. Odtud také pochází nejstarší dochovaný záznam o používání lepidel. Jedná se o nástěnný reliéf z období 1500 př. n. l., který znázorňuje postup při dýchování s přípravou a aplikací lepidla. Další zmínky o lepení pochází z Babylonie nebo od Římanů, kteří části svých lodí lepili směsí dehtu a včelího vosku.

V období středověku se rozvíjí výroba klihu na lepení dřeva. Nejpoužívanějším materiálem byly zvířecí kosti, ale postupně se k nim přidaly další přírodní materiály jako kalafuna, kaučuk, vaječný bílek škrob nebo tvaroh. Bohužel však omezené technické podmínky, malá možnost výměny informací a zkušeností bránily většímu pokroku v použití lepidel. Roku 1690 začíná v Holandsku první továrenská výroba klihu. Významným mezníkem byl vznik syntetických lepidel fenolformaldehydových, močovinoformaldehydových, epoxidových a jiných různých typů modifikovaných lepidel jako jsou kaučukové roztokové lepidla na bázi speciálních syntetických elastomerů.

V posledních letech výrazně vzrostlo množství lepených spojů ve strojírenství, v automobilovém a leteckém průmyslu, ve stavebnictví, v dřevařském průmyslu a v dalších průmyslových odvětvích. Lepidla s sebou nesou nejen určité technologické výhody, ale v odvětvích, kde spotřeba lepidel dlouhodobě roste, znamenají relativně výrazný ekonomický efekt.

Pro dřevařský průmysl jsou lepidla základním pomocným materiálem, díky němuž se zkvalitňuje výroba, a zároveň mohou vznikat nové progresivní produkty. Jedním z těchto materiálů jsou lepené dřevěné konstrukce, které nahrazují kulatinu velkých rozměrů. Stejně tak je tomu v případě velkoplošných desek (překližky, laťovky, třískové desky vláknité desky), díky nimž je potlačena anizotropie rostlého dřeva a zároveň se ekonomicky zhodnotí sekundární zdroje dřevní hmoty. V neposlední řadě lepidla pomohla využít nedřevěný odpad přírodního charakteru, jako je např. len, konopí, bambus apod. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### 3.6. Základní teorie lepení

Lepení neboli adheze je síla, která spojuje dva předměty na rozhraní jejich povrchů. Kvalitní adheze není důležitá jenom při spojování dvou tuhých těles, ale také u nátěrových hmot, u prostředků pro utěšňování a u dalších technologických procesů.

Spojovaný materiál se označuje jako adherend nebo substrát. Naproti tomu lepidlo je nazýváno jako adhezivum a zpravidla spolu s adherendem se jedná o materiály dvou odlišných složení. Pokud však nastane ten případ, že se spojují materiály stejného složení, hovoříme o tzv. autoadhezi.

Většina lepidel jsou kapaliny nebo minimálně v době nanášení na povrch adherendu se nachází v kapalném skupenství, ať už v roztopeném či plastickém stavu. Důležitou roli stejně jako přilnavost zastává i vnitřní soudržnost lepidla po vytvrzení tzv. koheze. Na obou těchto faktorech, tj. adhezi a kohezi lepidla, závisí pevnost lepeného spoje. Jelikož lepení představuje velmi starý a dosti oblíbený technický proces spojování různých materiálů využíváný v celé řadě odvětví, je jevům vznikajících při spojování dvou materiálů věnováno tolik pozornosti a bylo vytvořeno několik teorií o vzniku lepeného spoje. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

#### 3.6.1. Mechanická teorie

Na začátku 20. století vyslovili pánové McBain a D. G. Hopkins poměrně jednoduché vysvětlení o teorii lepení. Jednalo se o tzv. mechanickou teorii adheze, podle které je soudržnost lepeného spoje dosáhnuta vniknutím tekutého lepidla do nerovností a pórů spojovaného materiálu. Po následném vytvrzení dochází k vytvoření velkého počtu mikrokolíkových spojů. Mechanická adheze je více rezistentní vůči působení smykové síly. (Rowell, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Postupem času se však ukázalo, že tato teorie nevysvětluje spojování nepórových substrátů a navíc neobjasňuje lepší lepivost dřeva na podélném než na čelním řezu, i přestože lepidlo na čelním řezu proniká do kapilár mnohem hlouběji a intenzivněji, než je tomu na podélných řezech. Od toho se usoudilo, že lepení souvisí s jinými faktory, které se hledaly hlavně mezi vzájemným působením chemické a molekulové struktury lepidla a spojovaného materiálu. To dalo vzniku dalším názorům, které patří do specifické teorie adheze. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

## 3.6.2. Specifické teorie adheze

### 3.6.2.1. Polarizační teorie

Teorii uveřejnil de Bruyn v roce 1935. De Bruyn vychází ze známých představ o stavbě hmoty a složení atomů a molekul. Jak víme, atomy prvků jsou v molekule spojeny pevnými chemickými vazbami, jež jsou nazývány jako vazby primární. Tento druh vazby se objevuje ve třech podobách. Jedná se o vazby elektrokovalentní (iontové), kovalentní a kovové. Iontová vazba je velmi silná, typická pro anorganické sloučeniny, a proto se uplatňuje při spojování kovových a nekovových prvků. Velmi silná a mechanickými prostředky špatně narušitelná je i vazba kovalentní, která vzniká mezi atomy při sdílení elektronového páru ve valenční elektronové vrstvě. Ve hmotě mezi atomy se však vyskytují i další přitažlivé síly, které jsou fyzikálního charakteru a označujeme je jako sekundární vazby nebo také jako Van der Waalsovy síly. Obvykle se dělí do tří kategorií na elektrostatické síly Keesomovy, indukční síly Debyeovy a disperzní síly Londovy.

Další vazby představují tzv. vodíkové můstky. Jedná se o speciální případ interakce mezi dipóly, kdy je vodík vázán na elektronegativní atomy, nejčastěji se tedy jedná o kyslík, a to buď intermolekulárně nebo intramolekulárně. (Kráal a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Norman Adrien De Bruyne ve své práci upozornil na nutnou kompatibilitu adherendu a adheziva a vytvořil tzv. De Bruynův zákon. Ten říká, že silné vazby vznikají pouze mezi polárními povrchy a polárními adhezivy a mezi nepolárními povrchy a nepolárními adhezivy. Většina autorů se shoduje na názoru, že pro vznik specifické adheze mezi substrátem a lepidlem je důležitý průběh dvou na sebe navazujících fází. První podmínkou je absolutní kontakt molekul lepidla s molekulami adherendu. Ve druhé fázi dojde za příhodných podmínek k absorpci, tj. k zachycení molekul lepidla na lepeném povrchu díky vlivu sekundárních přitažlivých sil.

Ovšem i tato teorie nepodává všechny poznatky v oblasti teorie lepení. Zůstávají nepotvrzené jevy mezi nepolárními látkami a nepotvrdil se ani De Bruynův zákon. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Hřebáčková, 2013)

### 3.6.2.2. Elektrostatická teorie

Teorie říká, že adheze je způsobena elektrostatickými přitažlivými silami. Teorii publikovali v letech 1948-1950 Derjagin a Krotová. Podle nich je lepený spoj

kondenzátor – lepidlový film a adherend tvoří dvouvrstvý systém rozdílně nabitých desek, které se vzájemně přitahují. Vliv elektrostatických nábojů na adhezi však nebyl dostatečně prokázán. Je možné, že náboj vzniká díky tření až v momentě odtrhnutí. Fakt je ten, že hodnoty energie získané při odtrhnutí jsou řádově vyšší, než by se dalo očekávat u molekulárních sil. Elektrostatická teorie nepodává vysvětlení o adhezi mezi nepolárními polymery. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### **3.6.2.3. Difuzní teorie**

Zakladatelem difuzní teorie je Vojuckij a spolupracovníci, kteří vychází z mechanické teorie, s tím rozdílem, že neuvažuje úroveň mikroskopickou, ale molekulární. Vojuckij adhezi mezi dvěma materiály vysvětluje mikro-Brownovým molekulovým pohybem, při němž se přesouvají molekuly z pojiva do adherend a naopak. Teorie je však aplikovatelná za předpokladu, že:

- a) polymerní látky v lepidlové směsi a substrátu jsou vzájemně rozpustné a
- b) makromolekuly nebo jejich částice mají dostatečnou pohyblivost. (Král a Hrázský, 2005; Rowell, 2005)

Platnost difuzní teorie byla s určitými výhradami ověřena v mnohých experimentech a navíc při nich byly zjištěny určité vztahy mezi pevností adheze a dobou, tlakem a teplotou kontaktu jako např., že s delší dobou kontaktu roste pevnost adheze, vyšší tlak zvětšuje dotykovou plochu, a tím i množství difúzních molekul atd.

Difuzní teorie se může uplatnit jen v těch případech, kdy jsou podmínky pro vytvoření kaučuko-elastického stavu alespoň na povrchu lepeného substrátu. Nelze ji uplatňovat při spojování materiálů vzájemně nedifundujících (např. sklo-kov). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### **3.6.2.4. Adsorpční (molekulová) teorie**

Adsorpce je jevem, při němž dochází ke zvýšení koncentrace molekul na fázovém rozhraní z důvodu nevyvážených povrchových sil. Tzv. fázové rozhraní s volnou energií tvoří dotyková plocha mezi dvěma fázemi. Volná energie vzniká díky přitažlivým silám mezi molekulami hmoty. Uvnitř látky se síly vzájemně vyrovnávají, zatímco na povrchu zůstávají částečně volné. U kapalin se jedná o tzv. povrchové napětí, jež působí na zmenšení povrchu. V případě pevných látek brání podobnému chování jejich tuhost a odolnost vůči přetváření. Zmíněná volná energie u pevných látek podporuje smáčení povrchu tekutým adhezivem. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)



Hydrofilní a hydrofobní chování kapaliny bývá často označováno jako smáčivost a nesmáčivost povrchu materiálu. Zbývá volná energie na povrchu pevných látek ovlivňuje adhezi tím, že podporuje roztečení kapalného adheziva na povrchu pevného adherendu, tedy podporuje jeho smáčení. Roztečení kapaliny na povrchu pevného substrátu až do dosažení rovnovážného stavu závisí na hodnotě volné energie ve fázovém rozhraní a také na povrchovém napětí kapaliny. Míru smáčení vyjadřuje kontaktní úhel  $\theta$  (théta). Pokud je hodnota úhlu  $\theta$  menší než  $90^\circ$ , kapalina smáčí povrch. Je-li větší než  $90^\circ$ , smáčivost je špatná a hovoříme o odpudivosti. Dobrá smáčivost je hlavní podmínkou pro dosažení kvalitní lepidlosti adheziva (lepidla). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

#### **3.6.2.5. Teorie chemické vazby**

Jedná se o teorii, která zvažuje možnost vzniku chemických vazeb mezi lepeným podkladem a lepidlem. Jedním z příznivců této teorie byl např. Brockmann (1970). Jde o reakci nízkomolekulárních meziproductů močovinových a melaminových lepidel, jež reagují s OH skupinami polysacharidů dřeva. Přibližně stejný průběh reakce mají např. polyizokyanátová lepidla. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

#### **3.6.2.6. Sférická adheze**

Teorie, kterou Treiber (1961) popisuje adhezi mezi povrchy polárních a nepolárních látek, jako je např. dřevo a polyethylen. Základ teorie tvoří dřívější poznatky, podle kterých rozpuštěný polyethylen lisováním za tepla vniká do submikroskopických prostorů buněčné stěny dřeva. Po ochlazení polyethylenu vzniká tzv. inkluzní spojení (bez vlivu primárních nebo sekundárních vazeb). Rozdíl mezi mechanickou a sférickou adhezí je v tom, že při sférické adhezí dochází ke stereochemickým procesům mezi skupinami molekul v submikroskopických kapilárách. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

#### **3.6.2.7. Reologická teorie**

Reologická teorie je nejnovější teorií, která řeší problém adheze. V tomto případě je pevnost dána fyzikálně mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů tvořících lepený systém. Při podrobném zkoumání lomu bylo zjištěno, že se jedná o tzv. kohezní lom, kdy roztrhnutí pravého spoje neprobíhá na jeho rozhraní, ale v jednom z materiálů.

Což vede k závěru, že pevnost mechanického spojení je daná mechanickými vlastnostmi materiálů a místními napětími ve spoji, nikoliv však mezifázovými silami.

Teorie nepodává závěry o vzniku spojení, ale řeší realistické výpočty pevnosti spoje. Z tohoto důvodu byl zaveden pojem „použitelnost spoje“ charakterizovaný poměrem  $f_m/f_M$ , kde  $f_m$  značí sílu potřebnou k roztržení spoje a  $f_M$  je pevnost lepidla v tahu. Čím větší hodnota poměru je, tím lepší vlastnosti lepidlo má. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### 3.6.3. Souhrn adhezních teorií

Dle zmíněného přehledu o adhezních teoriích je patrné, že žádná z teorií nepodává komplexní objasnění problematiky adheze. Naopak to svědčí o tom, jak složitý fyzikálně-chemický jev adheze je. Jednotlivé teorie se můžou vždy potvrdit u určitých specifických případech lepení (lepidla). Nelze tedy mechanické a chemické teorie od sebe oddělovat, jelikož jsou jednotlivé teorie vzájemně propletené. (Rowell, 2005)

Těžkosti vzniklé s prokazováním jednotlivých teorií, daly podnět k vyvození předpokladů a vlastností, které by měly lepidla splňovat a podmínky, které by se při procesu spojování neměly porušovat.

Jednotlivé teorie se shodují:

- molekuly lepidla a adherendu se musí dostatečně přiblížit, aby mohla nastat adheze,
- lepidlo musí být v době lepení v kapalném nebo alespoň plastickém stavu, aby měly molekuly dostatek času se zorientovat,
- lepidlo musí mít dobrou smáčivost tuhého povrchu.

Kvalitu lepeného spojení však ovlivňuje i povrchová (venkovní) vrstva adherendu. U nepórových povrchů můžeme zvýšit kvalitu lepeného spojení mechanickým zdrsněním nebo chemickým naleptáním adherendu. Vliv má i velikost molekul lepidla (s menšími molekulami klesá kvalita lepení). V neposlední řadě má na adhezi příznivý účinek zvýšený tlak, teplota a lisovací čas, jelikož vzroste počet orientovaných molekul lepidla. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### 3.7. Složky lepidel

Základní složku lepidel tvoří makromolekulární látky. Jestliže nejsou rozpustné, musíme je dispergovat do koloidního stavu. Pro tyto účely se využívá vody nebo jiné polární, snadno se vypařující kapaliny jako např. alkohol, aceton apod.

Optimálních vlastností lepidel dosahujeme používáním různých přísad. Jedná se o tvrdidla, plniva a nastavovadla a další zušlechťující přísady, které jsou do lepících směsí přidávány z technických a ekonomických důvodů. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

**Pojiva** – představují hlavní funkční složku lepidel. Jsou adhezními základy zajišťující pevnost a odolnost spoje. Zpravidla jsou na bázi makromolekulárních látek v kapalném stavu (tavenina, roztok, disperze). Pojiva jsou zodpovědná za přilnavost (adhezi) vrstev lepidel k podkladu a vnitřní soudržnost vrstev lepidel. (Muzikář, 2008)

**Rozpouštědla** – jedná se o kapaliny nebo směsi kapalin, užívané při výrobě lepidel rozpouštěním nebo zředěním pojiva. Upravují tokové vlastnosti lepidlových směsí. (Muzikář, 2008)

**Plniva** – jsou to jemné mleté látky bez vlastní lepivosti, jako je: křída, fenoplasty, dřevní mastek, nerostná a hovězí moučka. Plniva zvyšují viskozitu lepidel, čímž zamezují vsakování lepidla do dřeva a tím vzniku chudého spoje. Pomáhají lépe vyplnit nerovnosti lepeného povrchu a omezují vznik pnutí v lepidlové spáře. Plniva působí tak, že silnou vrstvu lepidla rozdělí mezi jednotlivé tenké vrstvy plniva. (Nutsch et al., 2006; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

**Nastavovadla** – můžeme je charakterizovat, jako jemně mleté, bobtnavé organické látky s lepíci účinky. Jako nastavovadla se používají: obilná mouka, škrob nebo celulóza rozpuštěná ve vodě. Jejich aplikace snižuje náklady na lepidlo, reguluje viskozitu lepidlové směsi, zlepšuje elasticitu lepených spojů, zvyšuje plnicí schopnost lepidla a snižuje nebezpečí popraskání lepidla. (Nutsch et al., 2006; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Z ekonomického pohledu je použití plnidel a nastavovadel velmi výhodné. Na druhou stranu pokud tyto přísady přidáme do lepící směsi ve větším množství, snižujeme tak pevnost a odolnost lepené spáry vůči působení vlhkosti. Za optimální se považuje množství do 20 %. Nejlacinějším nastavovadlem je vzduch, kterým se lepidlová směs zpění. Takto připravená směs vytváří podstatně tenčí vrstvu a má jisté

výhody (nižší nános, neproniká skrz póry na povrch dých, lepidlová spára obsahuje méně vody). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Trávník, 2008)

***Tvrdidla*** – jedná se o sloučeniny kyselin nebo solí, díky nimž se urychlí chemická reakce tuhnutí lepidla. Jsou obsaženy v lepidle nebo jsou ve formě prášku či roztoku přimíchávány do lepidlové směsi před nanášením. Mohou být ale i před lepením natřena na jednu lepenou plochu. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

***Ředidla*** – využívají se pro úpravu tekutosti a rozlivu lepidla při jeho nanášení. (Muzikář, 2008)

***Zušlechťující přísady*** – jsou látky zlepšující vlastnosti lepené spáry. Můžou to být látky s hydrofobizačními účinky jako je např. parafín, vosky nebo třeba asfalty. V případě rostlinných či živočišných typů lepidel to můžou být ochranné prostředky proti biologickým činitelům na bázi chlorovaných fenolů, anorganických fungicidů apod. Nebo se může jednat o přísady močovinoformaldehydových lepidel, jež zvyšují odolnost proti teplé vodě, a zároveň vážou volný formaldehyd (melamin, fenol, rezorcinol). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Trávník, 2008)

### **3.8. Vytvrzování lepidel**

Průběh tvorby lepidlového spoje začíná smáčením povrchu nosného materiálu adhezivem a končí vytvořením pevného lepeného spojení. Způsob tvorby lepeného spoje se liší v závislosti na typu lepidla. Hlavním rozdílem je, zda v procesu vytvrzování dochází k pouze k fyzikálním reakcím (odpařování, difuze) nebo jsou zapojeny i chemické reakce. Odlišně vzniká film lepidel rozpuštěných ve vodě, u lepidel rozpustných v rozpouštědlech, u lepidel bez obsahu vody a rozpouštědel a jinak u tavných lepidel. Speciální typem jsou pak tlakocitlivá lepidla aplikovaná na různých nosičích.

Vytvrzení lze pak urychlit teplem (odpaření vody, rozpouštědla a zahájení chemické reakce) a tlakem (vzájemné přiblížení lepidla a lepených ploch). Pevnost lepeného spojení také určuje koheze lepidla a adheze ke spojovanému substrátu. V případě porézních materiálů pevnost závisí na mechanickém zajištění lepidla v materiálu. Obecně až na několik výjimek platí, že v průběhu vytvrzování lepidel dochází ke změně viskozity. (Muzikář, 2008)

#### **3.8.1. Tvorba filmu roztokových lepidel**

Roztoková lepidla vznikají rozpuštěním tuhého syntetického lepidla v kapalném organickém rozpouštědle. Lepidlo se pak aplikuje současně na obě spojované plochy, které se po nanesení nechají chvíli odvětrat, aby došlo k odpaření rozpouštědla.

Odpařením rozpouštědel přechází lepidlo do želatinového stavu a obě lepené plochy se musí spojit těsným přiblížením k sobě. Ihned po spojení je nutné na spojované plochy vyvinout lisovací tlak, který způsobí zvýšení sil soudržnosti ve vrstvě lepidla a vyvolá síly přilnavosti mezi lepidlem a lepeným materiálem.

Podmínkou při používání roztokových lepidel je, aby se po nanesení lepidel na obě lepené plochy, dodržela požadovaná otevřená doba lepidla před přiložením lepených ploch na sebe a tím se zajistilo odpaření většiny rozpouštědla z lepidla. Otevřená doba je časové rozmezí od momentu nanesení lepidla na povrch lepených dílců do chvíle, kdy je nanesené lepidlo ještě schopné dobrého zakotvení do druhého podkladu tak, aby se vytvořil kvalitní spoj. Otevřená doba se mění v závislosti na množství nánosu, teplotě, savosti a absolutní vlhkosti lepeného materiálu.

Obecně platí, že roztoková lepidla se aplikují v co nejmenších nánosech. Klasickým zástupcem roztokových lepidel je Chemopren. (Muzikář, 2008)

### **3.8.2. Tvorba filmu vodou ředitelných disperzních lepidel**

U vodou ředitelných disperzních lepidel se lepený spoj vytváří vlivem koalescence. V případě těchto lepidlových systémů jsou molekuly pojiva volně rozptýleny v disperzním prostředí, tedy ve vodě. Disperze se nanese na jednu lepenou plochu. Po nanesení lepidla se voda z místa lepeného spoje odpařuje nebo oddifundovává do lepeného porézního materiálu. Poté, co se z vrstvy lepidla vytratí do okolního savého materiálu voda, se částičky polymeru k sobě natolik přiblíží, že dochází k jejich prolnutí, lepidlo začíná gelovatět a vytváří se souvislý lepidlový film. Vznikají kohezní síly ve vrstvě lepidlového filmu, a zároveň adhezní síly mezi povrchem lepeného podkladu a lepidlem. Současně narůstá i mechanická síla zatečením a vytvrdnutím lepidla v pórech adherendu.

Podmínkou pro používání vodou ředitelných disperzních lepidel je poréznost minimálně jednoho spojovaného materiálu. Dále by měl mít lepený podklad v době spojování vlhkost  $10 \pm 2$  %. Zvýšená vlhkost způsobuje bobtnání lepeného spoje, což způsobuje nižší pevnost. Rovněž není žádoucí spojovat materiály s rozdílným obsahem vlhkosti. Problém také nastává při nízké teplotě lepidla či lepených materiálů, přičemž nedochází ke spojení molekul pojiva a lepený spoj se po vyschnutí lepidla rozpadá. Minimální teplota, při níž dochází ke vzniku spojitého filmu polymeru je označována jako minimální filmotvorná teplota (MFT) a zpravidla se pohybuje na úrovni 13 °C. (Muzikář, 2008)

### **3.8.3. Tvorba lepidlového filmu chemickou reakcí (zesíťování polymeru a tvrdidla)**

K vytvrzení chemickou reakcí dochází u dvousložkových lepidel, tedy mezi složkami polymeru a tvrdidlem. Lepidlo v kapalném stavu se dobře roztéká po ploše, čímž vyrovnává nerovnosti povrchu.

Složka tvrdidla se přidává do polymeru lepidla těsně před aplikací a po promíchání obou složek dochází ve vrstvách lepidla k chemické reakci. Nastává spojování molekul lepidla a vytváření prostorové sítě. Lepidlo se po vytvoření sítě přemění z tekuté kapaliny na kohezní pevnou látku. (Muzikář, 2008)

### **3.8.4. Tvorba lepidlového filmu tavných lepidel**

Tavná lepidla jsou směsi polymerů a přísad za normálních podmínek nelepivých. Aplikují se na jeden lepený podklad v roztaveném stavu tak, že se zahřejí nad teplotu tání, kdy mají ideální lepivost, tekutost a adhezi k lepeným materiálům. Teplota taveniny se zpravidla pohybuje v rozmezí teplot 180–240 °C. Roztavené lepidlo se nanáší na jeden z lepených povrchů, druhý se k němu okamžitě přitlačí a tlakem trvajícím několik sekund se zalisuje. Pokles teploty taveniny znamená okamžité ztuhnutí lepidla.

Tvorba lepidlového filmu u tavných lepidel nezatěžuje nijak ovzduší, jelikož se neodpařují ani neunikají žádné látky, protože tavná lepidla obsahují 100 % sušiny a tudíž neobsahují rozpouštědla ani vodu. Lepidlový film nevzniká žádnou chemickou reakcí a nespotebovaná lepidla se mohou znovu používat. (Muzikář, 2008)

### **3.8.5. Tlakově citlivá lepidla**

Tlakově citlivá lepidla (trvale lepivá lepidla) tvoří speciální skupinu lepidel nanesených na nosičích, které převážně tvoří plastové fólie. Tento typ lepidel se využívá při výrobě lepicích pásek či samolepicích etiket. Ty jsou lepivá i v suchém stavu. K vytvoření lepeného spoje postačí pouhé přitlačení lepicí pásky k lepenému povrchu tlakem prstů. Tento tlak uskupí řetězce molekul tlakově citlivého lepidla do takové polohy, při níž je dosaženo nejlepší adheze k lepenému podkladu. Nejčastěji jsou tato lepidla vyráběna na bázi akrylátových polymerů ve směsi se speciálními pryskyřicemi. Jako nosný materiál je používán plast, tkanina, papír či pěna. (Muzikář, 2008)

## **3.10. Technologické faktory a podmínky ovlivňující pevnost lepených spojů**

Pevnost lepených spojů ovlivňují technologické podmínky a technologické faktory. Při správném dodržení technických podmínek a faktorů docílíme kvalitního lepeného spojení. Ideální lepený spoj se vyznačuje tím, že lepené plochy na sebe těsně doléhají, vytvrzené lepidlo vytváří tenký film. Typickým znakem je, že k porušení je zapotřebí velká síla. Násilné odtrhnutí lepených částí má za následek destrukci lepeného spojení, které vzniká mimo lepený spoj, nejčastěji tedy ve dřevě. (Trávník, 2008)

### **3.10.1. Technologické podmínky při lepení**

#### **3.10.1.1. Druh materiálu**

Pro správné pochopení vzájemných vlivů dřeva a lepidla je nutné znát nejenom vlastnosti lepidla, ale také všeobecné vlastnosti dřeva. Mimo základní složky (celulóza, hemicelulóza a lignin) najdeme ve dřevě i menší množství dalších látek (bílkoviny, cukry, anorganické soli a tuky), které mohou do jisté míry ovlivnit kvalitu lepení. V případě některých jehličnanů jsou to pryskyřice či éterické oleje a u některých listnatých dřevin se může jednat o třísloviny. Silně kyselá nebo silně alkalická lepidla mohou negativně působit na dřevo tím, že zdepolymerizuje lehce hydrolyzovatelná hemicelulóza, mírně i celulóza a vše se projeví snížením mechanické pevnosti v okolí lepené spáry.

Z fyzikálních vlastností dřeva má na pevnost lepeného spoje vliv hustota dřeva. S vyšší hustotou dřeva je vyžadován zvýšený tlak.

Pro kvalitu lepení je důležitý charakter povrchu materiálu. Povrch dřeva dělíme na vnější, který vytváří anatomická stavba, technologie opracování povrchu, šířka letokruhů nebo přítomnost pryskyřic. Zásadní význam je u dřeva přisuzován vnitřnímu povrchu, tvořeného systémem kapilárních dutin. Na rozdíl od ostatních materiálů hrají u dřeva důležitou roli morfologické vlastnosti a spolu s chemickým složením dělají ze dřeva pórovitě kapilární, omezeně bobtnající látku. (Trávník, 2008)

#### **3.10.1.2. Vlhkost materiálu**

Přílišná vlhkost lepeného dřevěného materiálu brání unikání vodního podílu lepidla do dřeva, což se projevuje zpomalením nebo dokonce znemožněním vytvrzování.



Vysoká vlhkost může zapříčinit, že chemická reakce vytvrzení pryskyřice nastane dříve, než proběhne fyzikální proces oddifundování rozpouštědla.

Druhým extrémem je nízká vlhkost, která snižuje kvalitu lepeného spoje tím, že intenzivní difuzí se zvyšuje konzistence lepidla a snižuje se smáčivost. Při jednostranném nánosu tak nastává nedostatečný přenos lepidla na druhý povrch.

Nejvhodnější vlhkostí dřeva pro lepení je  $8\pm 2\%$ , maximálně však  $12\%$ . (Trávník, 2008)

### **3.10.1.3. Hladkost povrchu**

Předpokladem dobré adheze je dokonalý styk lepených materiálů. Ten je dán hladkostí povrchu a vzájemnou přilnavostí lepených ploch. Mechanická teorie adheze tvrdí, že lepicí směs mechanicky zakotví v pórech a nerovnostech lepených ploch. Vytvrnutí lepidla následně způsobí vznik mechanických spojovacích můstků.

U dřevěných materiálů je hladkost povrchu dána anatomickou stavbou dřeva a jeho opracováním. Za nejideálnější úpravu povrchu před slepováním jednovrstevných masivních desek (spárovky) se považuje frézování. Vždy je však nutné povrch před nanesením důkladně očistit, aby se odstranil prach, který se usadil v nerovnostech povrchu.

Vztah mezi hladkostí (drsností) a pevností lepeného spoje lze vysvětlit tak, že se zvětšováním drsnosti do určité míry pevnost spoje roste. Pro vysokou pevnost spoje je zásadní, aby lepené plochy k sobě co nejvíce přiléhaly. V opačných případech je možné nerovnost povrchu lepených materiálů odstranit zvýšením lisovacího tlaku. (Trávník, 2008)

### **3.10.1.4. Druh lepidla, obsah sušiny, konzistence**

Lepidla se dodávají buď přímo v aplikovatelném stavu, kdy je můžeme používat ihned bez další přípravy v technologickém procesu. V opačném případě se jedná o lepidla, která se musí před aplikací ještě upravovat rozpouštědly, ředidly, plnidly atd.

Důležitými vlastnostmi připravené směsi ve vztahu k době vytvrzování je reaktivita k nanášenému množství a k reaktivitě – konzistence a obsah sušiny. Z praktického hlediska by lepidla měla splňovat tyto vlastnosti:

- vysoký obsah sušiny,
- dlouhá doba skladovatelnosti,
- snadná příprava a dlouhá životnost lepicí směsi,

- jednoduchá aplikace,
- krátký, regulovatelný čas vytvrzování,
- nepatrná tvarová změna po vytvrzení,
- minimální obsah látek, které mohou zabarvit lepený materiál nebo se mohou po vytvrzení uvolňovat z materiálu resp. výrobku (formaldehyd),
- dobou pevnost a pružnost tak, aby byla rezistentní vůči napětí vznikajícím v důsledku objemových lepidla i dřeva.

Významnou roli zastupují také ekonomické požadavky, jako jsou např. nízké výrobní náklady, malá náročnost na teplotu a tlak po zpracování a minimální vliv na opotřebení řezných nástrojů. Zmíněná fakta jsou závislá na konzistenci lepidla, kterou je nutné v některých případech pozměnit přidáním rozpouštědel, ředěním nebo zahušťováním, přidáním plničů a nastavovadel. (Trávník, 2008)

#### **3.10.1.5. Velikost nánosu**

Lepidla nebo lepicí směsi se na povrch lepených materiálů nanáší různými způsoby a různými technologickými prostředky. Množství naneseného lepidla má vliv na tloušťku lepidlového filmu a ten se výrazně podílí na pevnosti spoje. V zásadě platí, čím menší tloušťka filmu, tím pevnější spojení. Nejčastěji se tloušťka nánosu u lepidel pohybuje mezi 1–400  $\mu\text{m}$ . Při porušení této zásady, nastává tzv. chudý spoj, při malých nánosech, kdy malé množství lepidla nestačí k vytvoření souvislého filmu. Na druhou stranu při nadměrném nánosu vzniká silný film, u kterého adhezní síly převyšují síly kohezní, a dochází k destrukci spoje.

Množství nánosu se musí úměrně stanovovat v závislosti na hladkosti povrchu spojovaného materiálu, na schopnosti absorbovat lepidlo, konzistenci a obsahu sušiny. Nezanedbatelnou úlohu má i otevřená doba lepidla, která se dá s větším nánosem prodloužit nebo naopak s menším nánosem zkrátit. (Trávník, 2008)

### **3.10.2. Technologické faktory při lepení**

#### **3.10.2.1. Lisovací tlak**

Lisovacím tlakem docílíme těsného spojení ploch lepených dílců a dochází k rovnoměrnému rozvrstvení lepidla na povrchu lepených dílců. Tlak způsobuje pronikání lepidla do pórů dřeva a drobných povrchových nerovností materiálů, čímž se

zvětšuje plocha lepení. Tlakem se do určité míry vyrovnají povrchové nerovnosti lepených materiálů.

Hodnotu lisovacího tlaku určíme podle druhu dřeviny, druhu lepidla, lisovací teploty a již zmíněné nerovnosti povrchu. Jednotlivé druhy dřevěných materiálů mají stanoveny maximálně přípustné lisovací tlaky, při kterých by nemělo dojít k deformaci materiálu. U velmi měkkých dřevin (např. topol) nesmí lisovací tlak překročit hodnotu 0,6 MPa, pro smrk je to pak 0,8 MPa, u tvrdých dřevin jako je buk, dub volíme tlak do 2,5 MPa. Obecně platí, že s rostoucí objemovou hustotou je zapotřebí vyšší lisovací tlak. Je vhodné mít toto na paměti, neboť nadměrným tlakem se dřevo zhušťuje a lepidlo se zatlačuje do dřeva a nevytváří se potřebný souvislý film. (Trávník, 2008)

### **3.10.2.2. Teplota lisování**

Teplota patří k hlavním faktorům urychlujícím vytvrzení lepidla. V dřevařském průmyslu se používají lepidla vytvrzující snížením, ochlazením nebo zvýšením teploty. Tímto krokem se doba lisování zkracuje na několik minut či vteřin. Dle teploty používané při lisování rozdělujeme lepení:

- za studena (teplota v lepené spáře je v rozmezí 15–25 °C),
- za tepla (do 100 °C),
- za zvýšené teploty (nad 100 °C).

Ohřev lepené spáry při lepení je založen na následujících principech:

- a) přenos tepla přes dekorační materiál funguje na principu vedení tepla,
- b) předehřevem lepených ploch,
- c) přímým přívodem tepla do lepené spáry a to díky vysokofrekvenčnímu ohřevu,
- d) ohřevem naneseného lepidla, který se provádí konvekčně nebo infračerveným zářením před složením materiálů.

U všech způsobů však platí, že horní hranice teploty a doba jejího působení je omezená, jinak se snižuje kvalita spoje. Vyšší teplota ve spojení s delším časovým úsekem způsobuje akumulaci tepla v lepeném materiálu a může zapříčinit tvarové, popřípadě barevné změny lepeného souboru. (Trávník, 2008)

### **3.10.2.3. Čas lisování**

Lisovací čas je interval, při kterém je lepený dílec od dosažení tlaku až po jeho uvolnění vystaven působení tlaku a případně i teploty. Je závislý na času vytvrzení

lepidla a v některých případech na době přestupu tepla přes dekorační materiál (u dýhování, laminování). Během lisovacího času mají proběhnout fyzikálně-chemické děje, aby bylo dosaženo požadované jakosti lepení. Lisovací čas je závislý na těchto veličinách technologického procesu lepení:

- druhu dřeviny,
- vlhkosti dřeva,
- druhu lepidla,
- velikosti nánosu a
- rozměru lepené plochy. (Trávník, 2008)

### 3.11. Lepidla používaná v dřevařském průmyslu

V dřevařském průmyslu se používá široké množství lepidel, která se klasifikují podle různých aspektů. Pro přehlednost je rozdělení lepidel uvedeno v tab. 2.

Tab. 2 Rozdělení lepidel používaných v dřevařském průmyslu (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Lepidla podle původu	
<i>organická přírodní lepidla</i>	škrobové, glutinové, kaseinové, albuminové, včelí vosk, arabská guma, tragant atd.
<i>organická syntetická lepidla</i>	polykondenzační, polymerizační, polyadiční
<i>anorganická lepidla</i>	vodní sklo, cementy, keramické, metalické atd.
<i>smíšená lepidla</i>	albumin-cement, albumin-síra, močovinoformaldehydové-vodní sklo
Lepidla podle konzistence	
<i>tuhá lepidla</i>	lepící fólie, lepidla v prášku nebo v granulích
<i>polotuhá lepidla</i>	lepící pásy, pasty a tmely
<i>tekutá lepidla</i>	roztoková lepidla, disperzní lepidla
Lepidla podle způsobu vytvrzování	
<i>reaktivní lepidla – jednosložková</i>	tuhnoucí účinkem zvýšené teploty nebo vzdušné vlhkosti
<i>reaktivní lepidla – dvousložková a vícesložková</i>	vytvrzující vlivem tvrdících katalyzátorů při normální nebo zvýšené teplotě
<i>nereaktivní lepidla – roztoková</i>	tuhnoucí v důsledku odpařování vody nebo organického rozpouštědla
<i>nereaktivní lepidla – disperzní</i>	vytvrzující vlivem oddifundování vody do podkladu
<i>nereaktivní lepidla – tavná</i>	tuhnoucí vlivem ochlazení lepené spáry na normální teplotu
<i>nereaktivní lepidla – stále lepivá</i>	
Lepidla podle tepelných vlastností filmu lepidla	
<i>termosetická lepidla</i>	močovinoformaldehydové, melaminformaldehydové, polyuretanové fenolformaldehydové, rezorcinolformaldehydové, epoxidové atd.
<i>termoplastická lepidla</i>	polyvinylacetátové, polyvinylchloridové, polymetakrylátové, polystyrénové, polyamidové, lepidla z derivátů celulózy atd.
<i>kaučuková lepidla</i>	chlorkaučukové, polychloroprénové, polybutadienakrylonitrilové
Lepidla podle odolnosti lepidlového filmu vůči vodě	
<i>neodolná lepidla</i>	škrobové, glutinové, albuminové, polyvinylalkoholové, metylcelulózy, karboxymethylcelulózy
<i>krátkodobě odolná lepidla</i>	močovinoformaldehydové, kaseinové, polyvinylacetátové, nitrátcelulózy, polyvinyléterové
<i>trvale odolná lepidla</i>	melaminové, fenolformaldehydové, rezorcinolformaldehydové, epoxidové, polyuretanové, polyesterové, polymetakrylátové

## 3.12. Charakteristika běžně zpracovávaných lepidel v nábytkářském průmyslu

Dříve se pro lepení využívalo lepidel rostlinného a živočišného původu. Hojně byl používán kostní klič, což je vlastně tavné glutinové lepidlo vyrobené z kostí, kůží a chrupavek. V dnešní době je používání kostního kliču výhradou uměleckých řemesel nebo restaurátorských dílen, kde je nutné zachovat původní technologii spojování dřevěných dílů. (Eisner, 1966)

Dnes je pro lepení dřeva využíváno výhradně syntetických lepidel, ať už fyzikálně tuhoucích (rozpuštědlová, disperzní, tavná) nebo reaktivně vytvrzujících (epoxidová, polyuretanová, fenolická).

### 3.12.1. Termoreaktivní lepidla

Termoreaktivní lepidla nejčastěji vznikají polykondenzací a polyadicí. Při polykondenzaci vzniká makromolekula se současným uvolněním jednoduché látky jako je např. voda, kyselina chlorovodíková, amoniak apod. Do polykondenzačních lepidel užívaných v dřevařském průmyslu patří hlavně:

- a) **aminoplasty** (močovinoformaldehydové a melaminformaldehydové lepidla),
- b) **fenoplasty** (fenolformaldehydové a rezorcinolformaldehydové lepidla).

U polyadice dochází ke spojení jednoduchých molekul do makromolekuly zpravidla otevřením nasyceného cyklu nebo zaniknutím násobné vazby, bez vzniku vedlejších zplodin. Reakce je typická přesunem vodíku z jedné molekuly na druhou. Polyadiční reakce využívají např. epoxidová a polyuretanová lepidla (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

#### 3.12.1.1. Močovinoformaldehydová lepidla (UF)

V současné době jsou močovinoformaldehydová lepidla (UF) nejpoužívanějším a nejrozšířenějším lepidlem na dřevo. Je to hlavně z důvodu jejich cenové dostupnosti, vhodné barvy a díky tomu, že lepidla vytvrzují v širokém rozmezí teplot. Lepidlo vytvrzuje polykondenzační reakcí, patří a po vytvrzení je netavitelné.

Základními složkami lepidla jsou močovina a formaldehyd. Močovina je bílá, krystalická látka, ve vodě dobře rozpustná. Způsobuje slabou alkalickou reakci. Získává se z oxidu uhličitého a z amoniaku. Formaldehyd je za normální teploty zdraví škodlivý, bezbarvý plyn štiplavého zápachu, který se získává dehydrogenací methanu.

Lepidlo se dodává jako hotový roztok (skladovatelnost 2–3 měsíce) nebo v práškové formě, která má při dobrém uskladnění neomezenou trvanlivost.

UF lepidla nachází svá uplatnění hlavně v dřevařském a nábytkářském průmyslu. Lepí se s ním nejrůznější aglomerované materiály, jako jsou překližky, laťovky, třískové desky, pazdeřové desky a jiné. Lepidla jsou vhodná také pro dýchování nebo lepení spárovek.

Přednosti močovinoformaldehydových lepidel jsou v bezbarevnosti lepené spáry, výborné smykové pevnosti, vytvrzování za různých teplot (10–150°C), částečné odolnosti vůči vodě a nízké ceně.

Zásadním nedostatkem těchto lepidel je uvolňování zbytkového formaldehydu při výrobě, skladování a částečně i při používání desek. Dále je to také nedostatečná odolnost vůči vodě. (Rowell, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Tyto problémy se řeší přidáváním dalších komponentů, jako je např. melamin. V posledních několika desetiletích se také u UF lepidel výrazně snížil obsah formaldehydu. (Dunky, 1998)

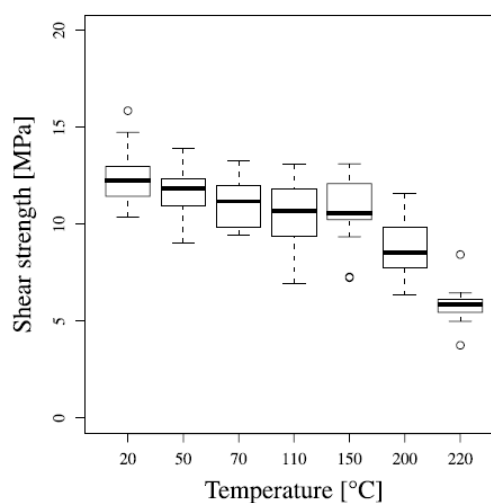
### 3.12.1.2. Melaminformaldehydová lepidla (MEF)

Struktura melaminformaldehydových lepidel se podobá UF pryskyřicím. Vytvrzení MEF lepidla probíhá v neutrálním nebo kyselém prostředí při teplotách 130–140 °C.

Hlavními složkami lepidel jsou formaldehyd a melamin. Jedná se o bílou krystalickou látku s teplotou tání 354 °C, která je jen málo rozpustná ve vodě. Průmyslově se melamin získává z dusíkatého vápna reakcí s vodou za studena. MEF lepidla se svými vlastnostmi blíží fenolickým lepidlům. (Kráal a Hrázský, 2005)

Aplikace MEF lepidel je z důvodu vysoké ceny méně rozšířená, a tak se používá zejména při výrobě dřevotřískových a překližkových desek na kuchyňský a koupelnový nábytek.

MEF lepidlo nemá zdraví škodlivé účinky, navíc je odolné vůči působení studené a horké vody a částečně i vůči



Obr. 4 Smyková pevnost MEF lepidel při různé teplotě (Clauß et al., 2011)

povětrnostním vlivům. Lepený spoj dosahuje vysoké pevnosti. (Rowell, 2005)

Na vynikající tepelnou odolnost MEF lepidel poukázali také svou prací Clauß et al. (2011). Smyková pevnost MEF lepidel při různých teplotách je znázorněna na obr. 5.

Jak již bylo řečeno, použití těchto lepidel je značně omezené. Může za to vysoká cena v porovnání s ostatními lepidly (asi 3krát dražší než UF) a také problém se stabilitou lepidlových roztoků. Tyto problémy částečně řeší smíchání MEF lepidel s UF lepidly. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### **3.12.1.3. Fenolformaldehydová lepidla (PF)**

Fenoplasty jsou látky polykondenzačního charakteru, které jsou připraveny z fenolu a formaldehydu. Pro lepení dřeva se používají již od roku 1935, zejména pro lepení překližek. Vytvrzují se zesíťováním působením kyselého katalyzátoru a odpařením vody. Tvoří polykondenzační produkty vzniklé reakcí fenolu nebo jeho homologů (resolů a xylenolů) s formaldehydem v alkalickém prostředí. Pro přípravu tvrditelných fenolických pryskyřic jsou nejvýznamnější trojfunkční fenoly, které mohou vytvořit trojrozměrnou, prostorově zesíťovanou makromolekulu pryskyřice po vytvrzení.

PF lepidla se podle způsobu vytvrzování dělí na jednosložková a dvousložková. Jednosložková PF lepidla jsou v zásadě alkalická a vytvrzují působením tepla. Naproti tomu dvousložková PF lepidla se získávají z roztoků reaktivních resolů s minimálním množstvím alkálií a vytvrzení probíhá díky přidání kyselých katalyzátorů. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Jedná se o lepidla vhodná pro venkovní prostředí. Fenolformaldehydová lepidla se hodí k výrobě nosných stavebních konstrukcí.

PF lepidla vytváří pevné a pružné spoje, které odolávají vyšším teplotám a vlhkosti, vroucí vodě, povětrnostním vlivům, působení některých rozpouštědel, mikroorganismům a stárnutí.

Největším negativem PF lepidla je toxicita nezreagovaného zbytkového fenolu. Ten může vytékat na povrch dřeva v podobě alkalické soli a zbarvovat lepidlovou spáru (červenohnědá barva). Navíc jsou lepidla zdraví škodlivé. (Král a Hrázský, 2005)

### **3.12.1.4. Epoxidová lepidla (EP)**

Epoxidová lepidla byla vytvořena v období druhé světové války na lepení různých typů materiálů (sklo, kov, dřevo, keramika). Jsou to dvousložková lepidla vytvrzovaná polyadiční reakcí. Základní složky lepidla tvoří pryskyřice a tvrdidlo. Nevytvrzené se



vyskytují v podobě kapalných nebo tuhých látek. Tuhá lepidla se zpracovávají za vyšší teploty, přičemž dojde k jejich roztavení. Nevytvrzená lepidla můžeme rozpouštět v aromatických a chlorovaných uhlovodících, v esterech, v ketonech a vyšších alkoholech.

Vytvrzení epoxidového lepidla probíhá buď za tepla, nebo také za studena přidáním plniv. Vlastnosti lepeného spoje jsou značně ovlivněny přesným poměrem tvrdidla a pryskyřice. Lepidlo tuhne chemickou cestou. Při tomto procesu nevznikají velké objemové změny, nedochází k uvolňování prchavých látek a díky tomu není vyžadován vysoký lisovací tlak (postačí 0,02 MPa). Někdy stačí vlastní hmotnost lepeného materiálu. Kvůli tomu se epoxidová lepidla řadí do tzv. beztlakových lepidel. Důležitou pozici v epoxidových lepidlech zastávají také plniva (rovnoměrnost filmu, lepší tepelná vodivost, zlevnění lepidla).

Skupinu epoxidových lepidel můžeme rozdělit do tří podskupin:

- kapalná epoxidová lepidla vytvrzující při normální teplotě,
- epoxidová lepidla pro náročné konstrukční spoje (zejména na lepení kovů) tvrditelné při teplotách 160-180 °C,
- epoxidové lepidlové tmely odstraňující pórovitost a nerovnosti povrchu. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Díky schopnosti spojovat různé druhy materiálů, se tyto lepidla využívají při výrobě různých laminátů, lyží, ale také ve strojírenství nebo elektrotechnických oborech.

Jsou to lepidla, která jsou po vytvrzení vysoce rezistentní vůči působení organickým rozpouštědlům, alkáliím a minerálními kyselinám. Dále se spoje vyznačují dobrou odolností proti povětrnostním vlivům a stárnutí, přičemž není požadováno vysokých lisovacích tlaků.

Při přípravě a nanášení je nutné dodržovat bezpečnostní podmínky, jelikož tvrdidla patří mezi žiraviny. Většímu rozšíření epoxidových lepidel brání hlavně jejich vysoká cena a náročnost při zpracování. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### **3.12.1.5. Polyuretanová lepidla (PUR)**

Lepidla na polyuretanové bázi patří mezi lepidla vytvrzující polyadiční reakcí. Konkrétně se jedná o adiční polymeraci polyizokyanátových skupin s vícevaznými alkoholy nebo polyestery s dostatkem hydroxylových skupin. Jde o exotermickou reakci s velmi rychlým průběhem.

Lepidla vytvrzují v široké škále teplot, problémy jim nečiní ani vytvrzování okolo 0 °C. V případě polyizokyanátu se jako rozpouštědla nesmí používat alkoholy nebo sloučeniny obsahující alkoholové skupiny, jelikož ty reagují s izokyanáty za vzniku derivátů močoviny. Podobný problém nastává v případě některých typů polyuretanových lepidel, pokud je v rozpouštědle obsažena voda. Naopak u lepidel na bázi polyester-polyizokyanátů se citlivosti na vodu využívá k vytvrnutí spoje. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Polyuretanová lepidla si v dřevařském průmyslu našla své uplatnění hlavně v produktech, které jsou určeny do exteriéru, kde se plně uplatní jejich dobré vlastnosti. V interiéru jsou opět využívána tam, kde dochází k namáhání (vlhkost, teplota atd.). Také jsou využívána pro lepení dvou různých materiálů, jako je dřevo a pryž, plast a kov nebo tepelně upravené dřevo a dřevo. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Boonstra et al., 2008)

Jsou to lepidla, mezi jejichž kladné vlastnosti patří zejména pevné a pružné spojení, které velmi dobře snáší dynamické namáhání. Důležitým aspektem při používání tohoto lepidla je i výborná odolnost lepidla vůči studené či vroucí vodě a vůči vysokým teplotám okolo 200 °C. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Bomba et al., 2014; Clauß et al., 2011)

Záporem tohoto typu lepidla, které odrazuje od používání mnoho potenciálních uživatelů, je poměrně vysoká cena, poměrně náročné čištění nanášecího a lisovacího zařízení a v některých případech složitější aplikace. Díky rychlé reakci lepidla s kůží, může docházet k podráždění, či k jiným zdravotním problémům. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998; Littorin et al., 2000)

### **3.12.2. Termoplastická lepidla**

Jsou to lepidla typická svou trvalou plastifikovatelností. To způsobuje, že lepidlo je po zahřátí možné převést do plastického stavu. Pokud zmíněná lepidla porovnáme s lepidly termoreaktivními, zjistíme, že termoplastická lepidla mají menší tepelnou odolnost a jsou rozpustné v některých organických rozpouštědlech. Aplikují se ve formě roztoků v organických rozpouštědlech nebo ve formě vodních emulzí. K termoplastickým lepidlům se řadí také tavná lepidla, která se nanáší v podobě taveniny. (Clauß et al., 2011; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Lepidla vznikají polymerační reakcí, při níž dochází k vytvoření makromolekul (polymerů) z molekul jednoduchých (monomerů). Tyto monomery obsahují dvojnou

vazbu a díky ní dochází k jejich spojení. Při reakci se neuvolňují žádné jednoduché látky a průběh reakce se skládá z iniciace (aktivace monomeru), propagace (spojení radikálů) a terminace (ukončení růstu řetězce). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### 3.12.2.1. Polyvinylacetátová lepidla (PVAC)

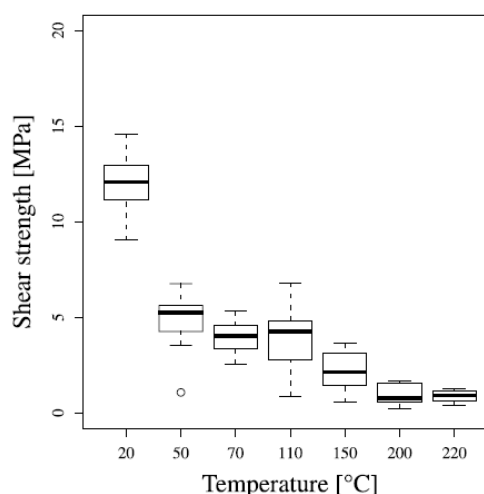
Polyvinylacetátová lepidla jsou vyráběna z acetyleny a kyseliny octové za spolupůsobení rtuťnatých solí. Vinylacetát je za normálního stavu bezbarvá kapalina štiplavého zápachu s teplotou varu 73 °C. Z jeho monomeru se následně disperzním způsobem připravuje polymer PVAC. Jedná se tedy o směs vody s polymerem, který není ve vodě rozpuštěný ale rozptýlený. Částice jsou díky soustavě povrchově aktivních látek udržovány stále ve vznosu.

Tento typ lepidla je typický dobrou přilnavostí ke dřevu a poměrně velmi pevným spojem. Ve srovnání s polykondenzačními lepidly jsou spoje velmi pružné a navíc lze tuto vlastnost upravovat přidáváním plastifikátorů. Přidáním plastifikátorů však odebíráme PVAC lepidlům jejich zdravotní nezávadnost.

Proces vytvrzování PVAC disperzí nedoprovází žádná chemická reakce nebo změna, ale dochází zde k fyzikálnímu procesu, kdy dřevo postupně odebírá vodu obsaženou v disperzi lepidla. Minimální filmotvorná teplota (MFT) je 13 °C a vyšší. V lepidlové spáře se pak utváří souvislý film lepidla. Je třeba mít na paměti, že PVAC lepidla mají slabou kyselou reakci (pH 4–6). Lepidla na této bázi jsou nehořlavá, odolná proti mikroorganismům a jejich spoj je průsvitný. Problém u těchto lepidel nastává, je-li lepený spoj vystaven vlhkosti nebo vodě, podobně je tomu i při působení teplotního zatížení, kdy při teplotách mezi 50–70 °C pevnost lepidla značně klesá. (Clauß et al., 2011; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

K zajímavým typům PVAC lepidel patří tvrditelné PVAC disperze, jež jsou typické větší rezistencí vůči vlhkosti. V zásadě rozlišujeme dvě skupiny těchto lepidel:

- **jednokomponentní lepidla** (směs už má v sobě obsaženou reaktivní přísadu),
- **dvoukomponentní lepidla** (tvrdidlo se do směsi přidává až před použitím).



Obr. 5 Smyková pevnost PVAC lepidel při různých teplotách (Clauß et al., 2011)

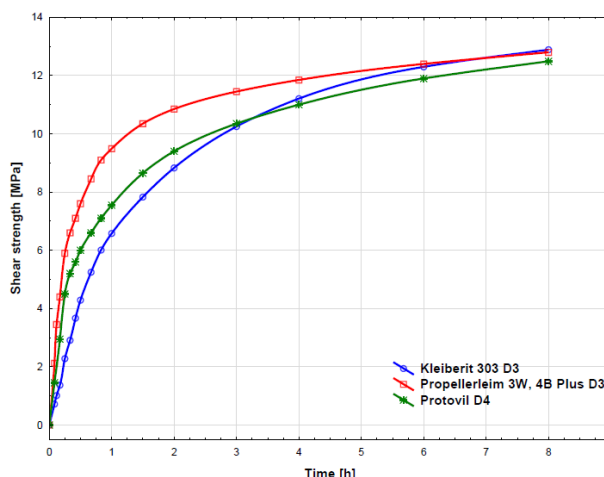
U těchto typů lepidel je často uváděno, že jsou odolná vůči vroucí vodě. I přesto však lepidla nedosahují takového stupně odolnosti, jako např. fenolformaldehydová či rezorcinolformaldehydové lepidla. Je to optimální lepidlo pro lepení nábytku do koupelen či kuchyní, nábytku vystaveného vyšší vlhkosti a také pro výrobu dveří či oken.

V případě klasických PVAC disperzí se odolnost vůči vodě zvýší kombinací s disperzními lepidly na bázi kopolymeru např. vinylacetátu s estery kyseliny akrylové nebo přidáním esterifikovaného kondenzačního produktu melaminu s formaldehydem. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Použití disperzních PVAC lepidel s sebou nese příliš vysoké nároky na přesnost opracování lepených ploch. V závislosti na hladkosti povrchu se pak odvozuje velikost nánosu, která je v rozmezí 100–400 g/m<sup>2</sup>. Nadbytek lepidla má za následek snížení pevnosti lepeného spoje. Doporučená tloušťka lepené spáry je do 0,2 mm. Sušina u těchto lepidel dosahuje 50–60%.

Při lepení PVAC disperzemi je velmi podstatná i vlhkost dřeva, která by měla být stejná u obou lepených adherendů a optimálně by se měla pohybovat okolo 8±2 %. Zvýšená vlhkost prodlužuje dobu vytvrzení a zároveň snižuje pevnost spoje. Nízká vlhkost způsobuje rychlé vsakování rozpouštědla do podkladu, což s sebou nese špatné rozlévání lepidla po podkladu a netvoří se souvislý lepidlový film.

Otevřená doba, která se u PVAC disperzí pohybuje mezi 3–5 minutami, je limitována vytvořením zaschlého filmu lepidla na povrchu adherendu. Doba lisování je za normální teploty 5–30 minut podle použitého typu. Také konečné pevnosti lepeného spojení je u PVAC lepidel dosaženo v relativně krátké době (60–90 minut). Při ohřívání lepené spáry bude lisovací čas i doba celkového vytvrzení lepidla podstatně zkrácena. (Bomba et al., 2014; Muzikář, 2008; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)



Obr. 6 Nárůst pevnosti různých značek PVAC lepidel v čase (Bomba et al., 2014)

PVAC lepidla se používají k montážním účelům při výrobě nábytku, při montáži kolíkových spojů, pro lepení spárovek, pro lepení dřevotřískových desek, na tupou

spáru, při lepení papíru a polyuretanové pěny na dřevo a díky své zdravotní nezávadnosti i k výrobě hraček. (Nutsch et al. 2006; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Lepené spoje dosahují vysoké smykové pevnosti, která převyšuje pevnost dřeva. Lepený podklad nemusí mít příliš přesné opracování. PVAC lepidla jsou typická krátkou dobou lisování a lepený spoj dosahuje konečné pevnosti v relativně krátkém časovém intervalu.

Jak již bylo popsáno výše, díky termoplastickému charakteru PVAC lepidel nejsou spoje vhodné do míst s vyšším teplotním a vlhkostním zatížením. Rovněž trvalé zatížení těchto spojů napomáhá ke snižování pevnosti lepeného spoje. (Bomba et al., 2014; Clauß et al., 2011; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### **3.12.2.2. Tavná lepidla**

Tavná lepidla jsou tuhé směsi termoplastických látek a přísad typické tím, že za normální teploty jsou nelepivá a neobsahují žádná organická rozpouštědla. Lepidla se rozpouští v rozmezí teplot 100–280 °C. Teplota tání je závislá na druhu lepidla. V momentě, kdy klesne teplota pod teplotu tání, dochází k vytvrzování lepidla. Spoj tak rychle získává tíženou pevnost. Během několika desítek vteřin je zcela ztuhlý a může být dále opracováván. Otevřená doba těchto lepidel je 1–5 sekund. V tomto časovém intervalu musí být lepidlo nanášeno a lepený soubor složen. Mimo lepidla vytvrzující fyzikální cestou patří k tavným lepidlům i reaktivní tavná lepidla např. polyuretanová, u kterých po fyzikálním ztuhnutí dochází ještě k chemickému procesu zesítnění. (Nutsch et al., 2006; Trávník 2008)

Základní složky tvořící tavná lepidla, teploty zpracování jednotlivých tavných lepidel a další jejich vlastnosti jsou zpracovány v tab. 3.

V nábytkářském průmyslu se tavná lepidla používají při olepování bočních ploch (hran) dýhovými nebo termoreaktivními páskami, nebo také k olepování profilů. Také v omezeném rozsahu slouží k lepení rohových spojů skříňových korpusů na pokos. Dále jsou tyto lepidla hojně užívána v obalovém, polygrafickém a obuvnickém průmyslu.

Jsou to lepidla, která spojují různé druhy substrátů. Pevnost lepeného spoje se vytváří během krátkého času. Díky 100% sušině tavné lepidla nezatěžují životní prostředí emisemi VOC.

Velmi rychlé tuhnutí tavných lepidel vyžaduje použití speciálních přístrojů a strojů jako např. montážní pistole či olepovací stroje, což je finančně velmi nákladné. Problém může také nastávat, při spojování materiálů, které jsou dobrými vodiči tepla. Při

kontaktu taveniny s takovým materiálem dochází k rychlému odebrání tepla tavenině a její povrchová vrstva je značně ochlazená. Tavenina pak nesmáčí dobře povrch a vzniká nekvalitní lepený spoj. (Nutsch et al., 2006; Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Tab. 3 Rozdělení tavných lepidel (Nutsch et al., 2006)

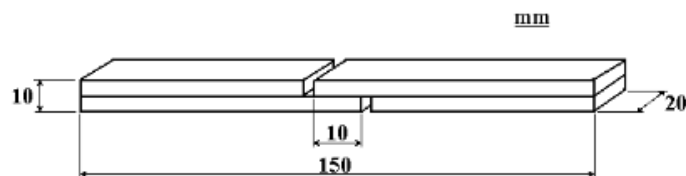
<b>Tavná lepidla (EVA)</b>	
<i>základní složka</i>	kopolymer z etylenu a vinylacetátu; přidávají se změkčovadla a pigmenty
<i>teplota při nanášení; způsob ztuhnutí</i>	180-220 °C; ztuhnutí ochlazením
<i>teplotní odolnost</i>	od -10 °C do +75 °C
<i>odolnost vůči vlhkosti</i>	vlhkost nad 10 % a dodatečné působení vlhkosti oslabuje pevnost spár, spáry jsou odolné jen proti vlhkosti
<i>rozsah použití</i>	suché vnitřní prostory
<b>Polyamidová tavná lepidla (PA)</b>	
<i>základní složka</i>	polykondenzační výrobek z diaminů a dikarbonových kyselin; přísady např. změkčovadla a pigmenty
<i>teplota při nanášení; způsob ztuhnutí</i>	170-190 °C, někdy až 220 °C; ztuhnutí ochlazením
<i>teplotní odolnost</i>	od -20 °C do +130 °C
<i>odolnost vůči vlhkosti</i>	podobně jako tavná lepidla EVAC
<i>rozsah použití</i>	lepší tepelná a chemická odolnost než u lepidel EVAC při stejné přilnavosti, olepování plastů na úzkých plochách v suchém prostředí
<b>Polyolefinová tavná lepidla (PO)</b>	
<i>základní složka</i>	polymerační produkt různých termoplastů jako např. polyethylen a polypropylen
<i>teplota při nanášení; způsob ztuhnutí</i>	170-190 °C, někdy až 220 °C; ztuhnutí ochlazením
<i>teplotní odolnost</i>	podobně jako polyamidová tavná lepidla
<i>odolnost vůči vlhkosti</i>	podobně jako tavná lepidla EVAC
<i>rozsah použití</i>	vzhledem k širokému spektru materiálů jsou možné různé vlastnosti; opět ideální tavné lepidlo pro suché vnitřní prostory
<b>Polyuretanová tavná lepidla (PUR)</b>	
<i>základní složka</i>	polyadiční produkt z alkoholu a isokyanátu
<i>teplota při nanášení; způsob ztuhnutí</i>	120-150 °C; ztuhnutí ochlazením a následně zesítním odebráním okolní vlhkosti
<i>teplotní odolnost</i>	od -40 °C do +140 °C, při vytvrzení pomocí UV až do 200 °C
<i>odolnost vůči vlhkosti</i>	vlhkostní odolnost vyšší než u termoplastických tavných lepidel
<i>rozsah použití</i>	vysoká odolnost proti chemikáliím, ředidlům, teplotě a vlhkosti; koupelnový a kuchyňský nábytek

### 3.13. Pevnost lepených dřevěných spojů

Pevnost lepených dřevěných spojů se obvykle stanovuje normovými postupy, které jsou v zásadě složeny z expozic, dřevěných lepených spojů vlhkostním změnám. Vzniklé objemové změny dřeva vyvolané změnou vlhkosti způsobují napětí v lepené spáře. Toto napětí vyvolává delaminaci spáry (ztráta adhezních sil), případně pak dochází k celkovému snížení pevnosti lepeného spoje.

#### 3.13.1. ČSN EN 302-1 – Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání

Metoda je vhodná pro lepidla pro nosné dřevěné konstrukce. Není vhodná k získávání konstrukčních dat a nelze ji použít ke stanovení vhodnosti lepidel pro výrobu dílců ze dřeva. Smyková pevnost slepů je stanovena vložením podélné tahové síly na jednoduchý přeplátovaný spoj s tenkou (okolo 0,1 mm) a silnou vrstvou lepidla  $1,0 \pm 0,1$  mm. Délka zkušebních vzorků by měla být  $150 \pm 5$  mm, tloušťka  $10 \pm 0,2$  mm, šířka  $20 \pm 0,1$  mm a délka zkušební plochy činí  $10 \pm 0,1$  mm, jak je tomu patrné na obr. 8. Pro zajištění správnosti měření je vhodné lepený spoj proříznout co nejpřesněji ( $\pm 0,5$  mm).



Obr. 7 Schéma zkušebního vzorku pro stanovení podélné smykové pevnosti podle ČSN EN 302-1

Průběh zkoušky se skládá z následujících etap:

- slepení desek, kondicionování ve standardním prostředí a následné nařezání zkušebních vzorků
- exponování zkušebních vzorků v 8 různých prostředích daných normou
- vlastní zkouška testovaných zkušebních tělísek podle postupu daného normou
- stanovení smykové pevnosti podle výpočetního vzorce v  $\text{N}/\text{mm}^2$  a procenta porušení dřeva na smykové ploše (Karlsson a Wong, 2004)

### **3.13.2. ČSN EN 392 – Lepené lamelové dřevo – Smyková zkouška lepených spojů**

Norma stanovuje metodu zjišťování smykové pevnosti lepeného spoje rovnoběžně s vlákny. Obecně je tato norma určena pro průběžnou kontrolu jakosti lepených spojů. Smyslem této zkoušky je namáhání lepeného spojení až do porušení. Testovaným tělesem může být hranol šířky 40–50 mm a tloušťky 40–50 mm nebo válec s opracovanými plochami délky 70–80 mm s průměrem přibližně 35 mm, rovinné straně 230 mm a tloušťce cca 26 mm.

Zkušební cyklus této metody tvoří následující kroky:

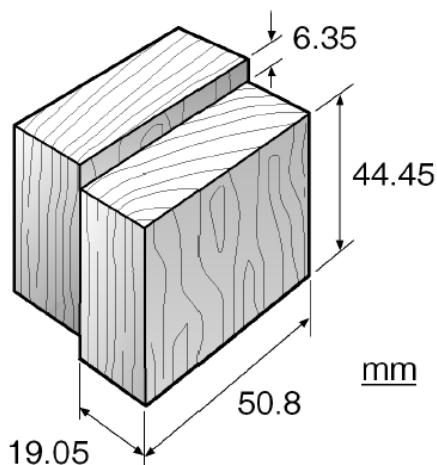
- kondicionování zkušebních vzorků ve standardním prostředí (20 °C; 65% relativní vlhkost vzduchu) až po dosažení 8–13% vlhkosti
- změření testovaných vzorků před umístěním do zkušebního zařízení
- namáhání zkušebního vzorku, tak aby k porušení nedošlo dříve než za 20 sekund od začátku zatížení a
- vypočtení pevnosti smyku lepeného spojení se zaokrouhlením na 2 desetinná místa v N/mm<sup>2</sup> a vizuální vyhodnocení procentuálního porušení spoje

Norma však byla na konci roku 2013 zrušena, a tudíž se podle ní již neřídí.

### **3.13.3. Standardní testovací předpis pro stanovení pevnostních vlastností lepených spojů při zatížení smykem podle ASTM D 905**

Americký zkušební předpis ASTM D 905 – Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading zahrnuje stanovení srovnání smykových pevností lepidel používaných pro lepení dřeva a podobných materiálů. Zkoušení zkušebních vzorků probíhá za stanovených podmínek a daná tělíska jsou poté zatěžována v tlaku. Metoda je určena především k hodnocení lepidel na dřevo a je ideální pro výzkum a vývoj lepených dřevěných výrobků. Zkušební těleso se skládá ze dvou dřevěných kvádrů o šířce 50,8 mm, délce 44,5 mm a tloušťce 19,05 mm. Tyto kvádry jsou od sebe vzájemně posunuty o 6,35 mm, což dává lepenou plochu 38,1 × 50,8 mm. Směr vláken testovaných vzorků by měl být rovnoběžný se směrem zatížení. (Karlsson a Wong, 2004)





Obr. 8 Zkušební těleso pro ASTM D905 (Karlsson a Wong, 2004)



Obr. 9 Zkušební zařízení pro ASTM D905 (Karlsson a Wong, 2004)

### 3.13.4. ČSN EN 205 Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání

Jedná se o normu popisující hodnocení lepidel na dřevo a dřevité materiály vzhledem k jejich odolnosti vůči horké a studené vodě. Není vhodná pro lepidla na konstrukční použití a při výrobě dřevotřísek a vláknitých desek. Metody této zkoušky jsou vhodné k následujícímu použití:

- pro stanovení použitelnosti a kvality lepidel na dřevo a dřevité materiály
- k zatřídění těchto lepidel do tříd trvanlivosti D1 až D4 podle ČSN EN 204 (lepidla z termoplastů) a C1 až C4 dle ČSN EN 12765 (lepidla z reaktoplastů)
- k vyhodnocení vlivů na lepivost vyplývajících z výběru podmínek při lepení, z různého kondicionování a z manipulace se zkušebními tělesy před a po slepení (různé způsoby kondicionování, manipulace se vzorky atd.) a
- ke zjištění pevnosti lepených spojů u tenkých nebo silných vrstev lepidla.

Postup zkoušky podle této normy a vyjádření výsledků je dále zpracováno v kapitole 4.4.

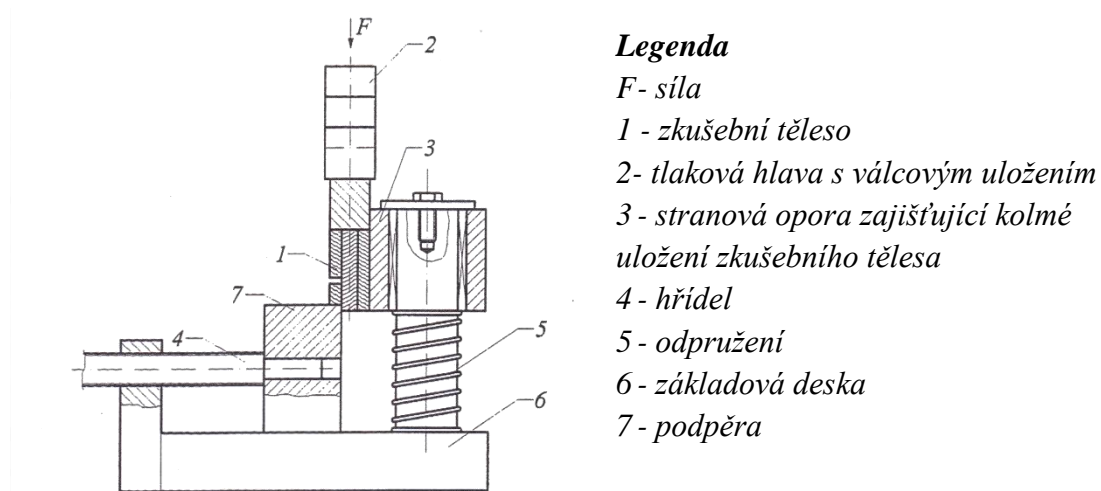
### 3.13.5. ČSN EN 13354 Desky z rostlého dřeva (SWP) – Kvalita lepení – Metoda zkoušení

Jde o normu, která stanovuje metodu zkoušení kvality lepení jednovrstvých a vícevrstevných desek z rostlého dřeva smykovou zkouškou. Podstatou jsou zkušební vzorky jednovrstvých a vícevrstevných desek z rostlého dřeva, která jsou podrobena přípravě podle provozních tříd a namáhána smykem v tlaku do destrukce. Poté je vypočítána pevnost ve smyku a stanovuje se podíl porušení ve dřevě.

Odběr vzorků u vícevrstevných desek by měl být proveden tak, že z každé zkoušené desky se vyhotoví zkušební pruh, který vede od okraje desky až ke středu a z tohoto zkušebního pruhu je následně nařezáno nejméně 10 zkušebních těles. V případě desek jednovrstevných se zkouší alespoň 10 lepených spár. Rozměry zkušebních vzorků jednovrstevných desek jsou znázorněny na obr. 12 v kapitole 4.3.

Připravené zkušební vzorky musí být následně podrobena přípravě odpovídající použití v suchém, vlhkém nebo venkovním prostředí dle tabulky 1 v ČSN EN 13354.

Průběhem zkoušky a vyjádřením výsledků se zabývá kapitola 4.3.



Obr. 10 Přestavitelný smykový přípravek pro ČSN EN 13354

## 4. MATERIÁL A METODIKA

### 4.1. Zkušební materiál

Pro tuto práci byla vybrána buková a dubová spárovka s průběžnými lamelami. Materiál poskytly společnosti 2MAX, s. r. o. a MADERO, s. r. o. Vzhledem k tomu, že si společnosti nepřejí zveřejnění výsledků pod jejich jmény, budou dále označeny jako výrobce 1 a výrobce 2. Technologický postup výroby spárovky se v obou firmách neliší. Rozdíl je pouze v použitém lepidle a v tom, že jedna společnost nakupuje vysušené řezivo z Německa a Rakouska a druhá nakupuje kulatinu z České republiky a Slovenska a na vlastní pile si připravuje řezivo, následně ho vysušuje a pak zpracovává. Stručný popis materiálu je uveden níže.

#### Výrobce 1

*Poskytnutý materiál:* .....DB, BK průběžná spárovka

*Použité lepidlo:* ..... RAKOLL® EXPRESS D3 PVAC lepidlo

*Lisovací tlak:* .....0,15–0,3 N/mm<sup>2</sup>

*Lisovací čas:* ..... cca 20 minut

*Lisovací teplota:* ..... 20±2 °C

*Množství nánosu:* ..... podle hodnot stanovených výrobcem lepidla

*Opracování bočních ploch:* .....frézováním

*Lisovací zařízení:* ..... otočný turniketový lis

*Vlhkost materiálu v době lepení:* ..... 8±2 %

#### Výrobce 2

*Poskytnutý materiál:* .....DB, BK průběžná spárovka

*Použité lepidlo:* ..... RAKOLL® - ECO D3 PVAC lepidlo

*Lisovací tlak:* .....0,15–0,3 N/mm<sup>2</sup>

*Lisovací čas:* ..... cca 20 minut

*Lisovací teplota:* ..... 20±2 °C

*Množství nánosu:* ..... podle hodnot stanovených výrobcem lepidla

*Opracování bočních ploch:* .....frézováním

*Lisovací zařízení:* ..... otočný turniketový lis

*Vlhkost materiálu v době lepení:* ..... 8±2 %

### 4.1.1. Charakteristika dřeva dubu – *Quercus sp.*

#### 4.1.1.1. Makroskopická stavba dřeva dubu

Dubové dřevo se řadí do skupiny dřev listnatých s kruhovitě pórovitou stavbou dřeva. Je u něj vylišeno jádro a běl. Jádro má světle až tmavě hnědou barvu, běl je úzká, nažloutlá až světlehnědá. Dřevo má typickou kruhovitě pórovitou stavbu s jasnou hranicí mezi letokruhy a hranicí mezi jarním a letním dřevem. Makropóry (široké jarní cévy) na příčném řezu vytváří v zóně jarního dřeva viditelné póry, které se na podélných řezech vyskytují v podobě zřetelných rýh. Mikropóry (úzké letní cévy) se na příčném řezu v zóně letního dřeva vyskytují v podobě světlých radiálních pásků (radiální seskupení cév). Dřeňové paprsky jsou patrné na všech řezech. V případě příčného řezu jsou vidět jako pásy kolmé k letokruhům, na radiálním v podobě křivolakých lesklých zrcadel a na tangenciálním řezu jako tmavší pásy vysoké několik centimetrů. Dub má středně těžké (hustota dubu letního  $\rho_0$  680 kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_{12}$  725 kg/m<sup>3</sup>) a středně tvrdé dřevo (67,5 MPa). (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

#### 4.1.1.2. Mikroskopická stavba dřeva dubu

U dřeva dubu je možné v jarním dřevě pozorovat velké makrocévy (průměr 150–270–350  $\mu\text{m}$ ) převážně jednotlivě, v letním dřevě jsou zase přítomny mikrocévy (průměr 30–70–140  $\mu\text{m}$ ), které lze na příčném řezu vysledovat v radiálních seskupeních (V). V lumenech cév se často vyskytují thyly. (Wagenführ, 2002)

Ve dřevě se vyskytuje axiální dřevní parenchym apotracheální (typ – rozptýleně nakupený, žebříčkovitý až tg. síťovaný). Dřeňové paprsky jsou jednovrstvé nebo mnohovrstvé a jsou homogenní. (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

#### 4.1.1.3. Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva dubu

Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti pro dřevo dubu jsou zpracovány v tab. 4. Kromě koeficientu sesychání odpovídají uvedené hodnoty vlhkosti dřeva při  $w = 12 \%$ .

Tab. 4 Vybrané vlastnosti dřeva dubu (Zejda et al., 2007)

Vlastnost		Hodnota
<i>hustota</i>		725 kg·m <sup>3</sup>
<i>koeficient sesychání</i>	<i>radiální</i>	0,18
	<i>tangenciální</i>	0,27
	<i>objemové</i>	0,43

<i>mez pevnosti v tlaku ve směru vláken</i>		57,5 MPa
<i>konvenční mez pevnosti v tlaku napříč vláken ve směru</i>	<i>radiálním</i>	11,0 MPa
	<i>tangenciálním</i>	8,5 MPa
<i>mez pevnosti v tahu ve směru vláken</i>		132 MPa
<i>mez pevnosti v tahu napříč vláken ve směru</i>	<i>radiálním</i>	5,8 MPa
	<i>tangenciálním</i>	- MPa
<i>mez pevnosti v ohybu</i>		108 MPa
<i>modul pružnosti v ohybu</i>		13 000 MPa
<i>mez pevnosti ve smyku ve směru vláken v rovině</i>	<i>radiální</i>	10,2 MPa
	<i>tangenciální</i>	12,2 MPa
<i>mez pevnosti ve smyku napříč vláken v rovině</i>	<i>radiální</i>	7,9 MPa
	<i>tangenciální</i>	7,5 MPa

#### **4.1.2. Charakteristika dřeva buku lesního – *Fagus sylvatica L.***

##### **4.1.2.1. Makroskopická stavba dřeva buku lesního**

Buk patří mezi listnaté dřeviny s roztroušeně pórovitou stavbou dřeva. Jádru buku se barevností neliší od běle, pouze od ostatních anatomických částí se liší fyzikálními a fyziologickými vlastnostmi. Takovéto jádro je označováno jako za vyztřelé. U starších stromů se lze často setkat s výskytem nepravého jádra. Jednotlivé letokruhy jsou mezi sebou poměrně rozlišitelné. Dřeňové paprsky je možné vidět na všech řezech. Na příčném řezu vytváří husté pásy probíhající kolmo na letokruhy, na radiálním řezu jsou patrné jako zrcadla a na tangenciálním řezu vytváří tmavší svislé pásy (vřetena) vysoké 1–5 mm. S hustotou  $\rho_0 = 685 \text{ kg/m}^3$  a  $\rho_{12} = 720 \text{ kg/m}^3$  se buk řadí mezi středně těžká a s tvrdostí 61 MPa mezi středně tvrdá dřeva. Barva dřeva je narůžovělá, nahnědlá až červenohnědá. (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

##### **4.1.2.2. Mikroskopická stavba dřeva buku lesního**

U roztroušeně pórovitého dřeva buku je možné po celém letokruhu pozorovat cévy, které směrem k letnímu dřevu pozvolna ubývají a zmenšují se. Jsou rozmístěny jednotlivě nebo v malých skupinkách. Jejich tvar je kruhovitý až oválný. Průměr cév je 8–45–85  $\mu\text{m}$  a počet cév na 1  $\text{mm}^2$  se pohybuje mezi 80–160. Thyly se vyskytují u nepravého jádra (Wagenführ, 2002)

Dřevní parenchym je apotracheální rozptýlený a rozptýleně nakupený. Dřeňové paprsky jsou homogenní, jednovrstevné nebo 2–25vrstevné. (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

#### 4.1.2.3. Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva buku lesního

Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti pro dřevo buku jsou zpracovány v tab. 5. Kromě koeficientu sesychání odpovídají uvedené hodnoty vlhkosti dřeva při  $w = 12 \%$ .

Tab. 5 Vybrané vlastnosti dřeva buku lesního (Zejda et al., 2007)

Vlastnost		Hodnota
hustota		720 kg·m <sup>3</sup>
koeficient sesychání	radiální	0,17
	tangenciální	0,32
	objemové	0,47
mez pevnosti v tlaku ve směru vláken		55,5 MPa
konvenční mez pevnosti v tlaku napříč vláken ve směru	radiálním	12,9 MPa
	tangenciálním	8,5 MPa
mez pevnosti v tahu ve směru vláken		123 MPa
mez pevnosti v tahu napříč vláken ve směru	radiálním	4,4 MPa
	tangenciálním	3,4 MPa
mez pevnosti v ohybu		109 MPa
modul pružnosti v ohybu		13 100 MPa
mez pevnosti ve smyku ve směru vláken v rovině	radiální	11,6 MPa
	tangenciální	14,5 MPa
mez pevnosti ve smyku napříč vláken v rovině	radiální	7,7 MPa
	tangenciální	7,6 MPa

#### 4.1.3. Souhrn zkušebních těles pro diplomovou práci

Z poskytnutého materiálu byly následně nařezány zkušební vzorky na zkoušku na stanovení hustoty podle ČSN EN 318, na stanovení pevnosti lepeného spojení při tahovém namáhání dle ČSN EN 205 a zkušební vzorky na kvalitu lepení desek z rostlého dřeva, kterou stanovuje norma ČSN EN 13354. Souhrn připravených vzorků je v tab. 6 níže.

Tab. 6 Přehled zkušebních vzorků pro diplomovou práci

Druh zkoušky	Výrobce	Dřevina	Lepidlo	Kondicionování vzorků	Rozměry [mm]	Počet [ks]
<b>ČSN EN 323</b>	Výrobce 1	BK	EXP	podle ČSN EN 323	50×50×18	16
	Výrobce 1	DB	EXP	podle ČSN EN 323		16
	Výrobce 2	BK	ECO	podle ČSN EN 323		16
	Výrobce 2	DB	ECO	podle ČSN EN 323		16
<b>ČSN EN 205</b>	Výrobce 1	BK	EXP	Tah 1 - ČSN EN 204	150×18×10	15
		BK	EXP	Tah 3 - ČSN EN 204		15
		BK	EXP	Tah 4 - ČSN EN 204		15
	Výrobce 1	DB	EXP	Tah 1 - ČSN EN 204		15
		DB	EXP	Tah 3 - ČSN EN 204		16
		DB	EXP	Tah 4 - ČSN EN 204		16
	Výrobce 2	BK	ECO	Tah 1 - ČSN EN 204		15
		BK	ECO	Tah 3 - ČSN EN 204		16
		BK	ECO	Tah 4 - ČSN EN 204		16
	Výrobce 2	DB	ECO	Tah 1 - ČSN EN 204		11
		DB	ECO	Tah 3 - ČSN EN 204		12
		DB	ECO	Tah 4 - ČSN EN 204		12
<b>ČSN EN 13354</b>	Výrobce 1	BK	EXP	příprava 7S	50×40×18	10
		BK	EXP	příprava 1V – ČSN EN 13354		10
		BK	EXP	příprava 1V7S		10
	Výrobce 1	DB	EXP	příprava 7S		10
		DB	EXP	příprava 1V – ČSN EN 13354		10
		DB	EXP	příprava 1V7S		10
	Výrobce 2	BK	ECO	příprava 7S		10
		BK	ECO	příprava 1V – ČSN EN 13354		10
		BK	ECO	příprava 1V7S		10
	Výrobce 2	DB	ECO	příprava 7S		10
		DB	ECO	příprava 1V – ČSN EN 13354		9
		DB	ECO	příprava 1V7S		10
<p>1 – ČSN EN 204 = 7 dní, normální                  2 – ČSN EN 204 = 7 dní, normální; 4 dny, ve vodě 20±5 °C                  3 – ČSN EN 204 = 7 dní, normální; 4 dny, ve vodě 20±5 °C; 7 dní, normální                  příprava 1V – ČSN EN 13354 = 24 hodin ve vodě 20±3 °C                  příprava 7S= zkušební vzorky po 7 dnech při 20±2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65±5 %                  příprava 1V7S= 24 hodin ve vodě 20±3 °C; 7 dní při 20±2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65±5 %</p>						

## 4.2. Stanovení hustoty spárovky

Hustota spárovky byla stanovena na základě ČSN EN 323 Desky ze dřeva – Zjišťování hustoty. Tato metoda stanovuje metodu na stanovení hustoty zkušebních vzorků z dřevěných materiálů. Pro stanovení hustoty je potřeba posuvné měřítko nebo jiný vhodný měřicí přístroj s přesností 0,05 mm a váhy na zjištění hmotnosti zkušebních těles s přesností 0,01 g. Odběr vzorků a nařezání zkušebních vzorků bude provedeno dle ČSN EN 326-1.

Z poskytnutého materiálu byly nařezány zkušební vzorky čtvercového tvaru s délkou strany 50 mm a tloušťkou 18 mm, což byla tloušťka námi zkoumané spárovky. Množství zkušebních vzorků pro stanovení hustoty spárovky je uvedené v tab. 6. Pokud je to nutné, nechávají se zkušební tělesa klimatizovat v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu  $65\pm 5\%$  a teplotou  $20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hmotnost je ustálená v momentě, kdy se výsledky mezi dvěma měřeními konanými po sobě v intervalu 24 hodin vzájemně nerozcházejí o více než 0,1 % hmotnosti zkušebního tělesa.

Postup zkoušky byl následující:

- jednotlivá zkušební tělesa byla zvážena na digitální váze Radwag WPX 650 s přesností na 0,001 g,
- změřila se tloušťka v průsečíku úhlopříček zkušebního tělesa pomocí digitálního posuvného měřítka Kinex s přesností na 0,05 mm,
- změřila se délka a šířka zkušebního tělesa rovnoběžně s hranami v místě nad průsečíkem úhlopříček s přesností na 0,1 mm.

Hustota  $\rho$  jednotlivého zkušebního tělesa ( $\text{kg/m}^3$ ) byla následně vypočítána podle vztahu

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6 \quad [\text{kg/m}^3],$$

kde

$m$  - hmotnost zkušebního tělesa v [g],

$b_1, b_2, t$  - rozměry zkušebních těles [mm].

Hustota desky se vypočte jako aritmetický průměr všech zkušebních těles odebraných ze stejné desky. Hodnota se vyjádří v  $\text{kg/m}^3$  s přesností na 2 desetinná místa.



### 4.3. Stanovení kvality lepení u spárovky

Kvalita lepení u materiálu spárovky byla zjišťována podle ČSN EN 13354 Desky z rostlého dřeva (SWP) – Kvalita lepení – Metoda zkoušení. Jelikož je spárovka jednovrstevnou deskou z rostlého dřeva, zkouší se nejméně 10 lepených spár u každé desky. Rozměry a tvar zkušebních vzorků jsou patrné z obr. 11.

#### Legenda

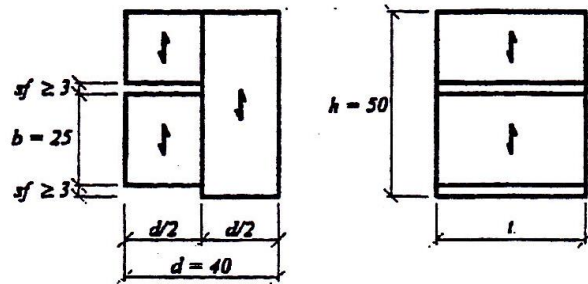
*h* (výška zkušebního tělesa).....50 mm

*d* (šířka zkušebního tělesa).....40 mm

*t* (tloušťka desky).....18 mm

*b* (šířka smykové plochy).....25 mm

*sf* (šířka řezné spáry).....  $\geq 3$  mm



Obr. 11 Zkušební těleso pro ČSN EN 13354

Pro tuto diplomovou práci bylo vytvořeno celkem 119 zkušebních vzorků, které byly rozděleny podle tab. 6. Po nařezání byla část zkušebních vzorků podrobena přípravě odpovídající použití v suchém prostředí dle tab. 7, jak udává ČSN EN 13354. Tato část vzorků bude dále označována jako 1V. Zbýlá část vzorků byla rozdělena na dvě poloviny, kdy jedna polovina vzorků byla zkoušena po 7 dnech při  $20\pm 2$  °C a  $65\pm 5$  % relativní vlhkosti vzduchu. Tato příprava bude dále v diplomové práci označována jako příprava 7S. Druhá polovina zbylých vzorků byla vystavena přípravě 1 podle ČSN EN 13354, ale následně byla ponechána 7 dní při  $20\pm 2$  °C a  $65\pm 5$  % relativní vlhkosti vzduchu. V této práci se bude tato příprava dále označovat jako příprava 1V7S. Smysl tohoto rozčlenění je v tom, že bude možné pozorovat, jak se kvalita lepení bude měnit vlivem působení vlhkosti.

Postup zkoušky probíhal v následujících krocích:

- pomocí posuvného měřítka se změří délka a šířka smykové plochy s přesností na 0,1 mm,
- zkušební vzorek se usadí do smykového přípravku, tak aby smyková síla působila rovnoběžně se zkoušenou lepenou spárou,
- těleso se začne zatěžovat konstantní rychlostí posuvu nebo konstantním nárůstem zatížení tak, aby došlo k destrukci v intervalu  $60\pm 30$  s,
- zaznamená se síla při porušení zaokrouhlená na 10 N,
- stanoví se podíl porušení ve dřevě v procentech smykové plochy dle EN 314-1.

Tab. 7 Příprava jednovrstvé a vícevrstvé desky z rostlého dřeva podle ČSN EN 13354

Značka podle EN 13353	Příprava		
	1	2	3
Určené použití			
<i>SWP/1 suché prostředí</i>	24 h ve vodě 20±3 °C	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
<i>SWP/2 vlhké prostředí</i>	- <sup>a</sup>	6 h vaření ve vodě - min. 1 h chlazení ve vodě 20±3 °C	- <sup>a</sup>
<i>SWP/3 venkovní prostředí</i>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	4 h vaření ve vodě – (16 až 20) h sušení při 60±3 °C – 4 h vaření ve vodě – 1 h chlazení ve vodě 20±3 °C
- <sup>a</sup> nelze použít			

Výsledná pevnost ve smyku  $f_v$  (v N/mm<sup>2</sup>) u každého zkušebního tělesa se zjistí podle vzorce:

$$f_v = \frac{F}{(l \times b)} \text{ [N/mm}^2\text{]},$$

kde

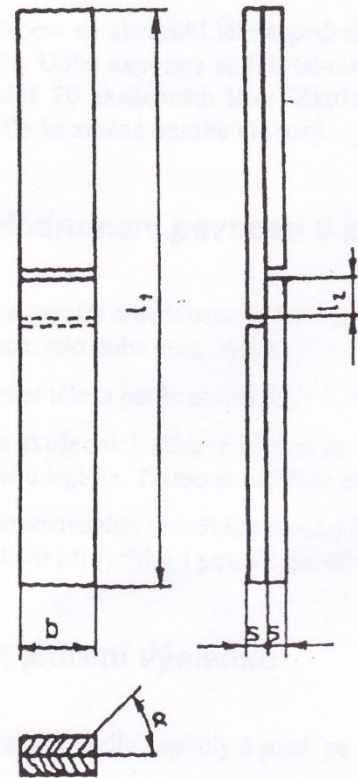
$F$  - síla při porušení zkušebního tělesa [N],

$l$  - délka smykové plochy [mm],

$b$  - šířka smykové plochy [mm].

#### 4.4. Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání u spárovky

Pro zjištění smykové pevnosti při tahovém namáhání se postupovalo podle ČSN EN 205. Změna byla v tom, že se zkušební vzorky nelepily, ale byla použita spárovka přímo od výrobců. Ze spárovky byly vymanipulovány zkušební vzorky tak, aby byl otestován co největší počet lepených spár. Délka zkušebních vzorků byla  $150 \pm 1$  mm, šířka zkušebních vzorků byla oproti normě ČSN EN 205, kde je  $20 \pm 0,1$  mm upravena na  $18 \pm 0,1$  mm, z toho důvodu, že poskytnutý materiál měl tloušťku 18 mm. Při řezání bylo dodrženo, že lepený spoj se nachází uprostřed zkušebního tělesa a tloušťka jednotlivého tělesa byla  $5 \pm 0,1$  mm. Dále byly ve speciálním přípravku za pomoci pokosové pily vytvořeny dva zářezy uprostřed každého zkušebního vzorku, tak aby délka přeplátování měla  $10 \pm 0,1$  mm. Na hloubku zářezu byl kladen velký důraz, jelikož špatně vytvořené zářezy mohou zkreslovat výsledné hodnoty. Bylo zapotřebí, aby zářezy oddělily dřevní vlákna a prořízly vrstvu lepidla s minimálním zásahem do druhé části vzorku.



Obr. 12 Zkušební těleso pro ČSN EN 205

##### Legenda

$\alpha$	(úhel mezi letokruhy a rovinou slepu).....	30–90 °C
$b$	(šířka zkušebního tělesa = šířka zkušební plochy).....	$20 \pm 0,1$ mm
$l_1$	(celková délka zkušebního tělesa).....	$150 \pm 1$ mm
$l_2$	(délka přeplátování = délka zkušební plochy).....	$10 \pm 0,1$ mm
$s$	(tloušťka zkušebního tělesa).....	$5 \pm 0,1$ mm

Připravená zkušební tělesa se následně podrobila expozici uvedené v tabulce 2 v ČSN EN 204, která je v tab. 8. Expozice se stanovila podle třídy trvanlivosti lepidla uvedené výrobcem lepidla. V případě této diplomové práce používali oba výrobci lepidlo s třídou trvanlivosti D3, tudíž expozice a střídání podmínek bude u obou výrobců stejná a bude následovat expozice 1 (7 dní, normální) v práci označována také

jako „tah 1“, expozice 3 (7 dní, normální; 4 dny, ve vodě ve vodě 20±5 °C) v práci označována také jako „tah 3“ a expozice 4 (7 dní, normální; 4 dny, ve vodě ve vodě 20±5 °C; 7 dní, normální) v práci označována také jako „tah 4“. Celkový počet 174 zkušebních vzorků se rozdělí na 3 části, tak aby se vždy jedna část vzorků podrobila vždy jedné expozici.

Bezprostředně po ukončení každé expozice jsou zkušební vzorky zkoušeny. Nejprve se pomocí posuvného měřítka změří délka a šířka zkušební plochy. Poté jsou zkušební vzorky upnuty do čelistí trhacího stroje tak, aby konce jednotlivých těles byly délkou 40–50 mm uchyceny do čelistí. Před zahájením každé zkoušky je nutné, aby zkušební stroj najel do původní polohy a bylo vynulováno zatížení. Musí se zabezpečit, aby tahová síla působila v jedné ose s vrstvou lepidla. Těleso se zatěžuje až do jeho přetržení, přičemž se zaznamená nejvyšší vynaložená síla  $F_{max}$ . Posuvná rychlost čelistí byla stanovena podle ČSN EN 204 na 50 mm/minutu.

Tab. 8 Nastavení expozice pro lepidla D1 až D4 podle ČSN EN 204

Střídání podmínek		Pevnost slepu v N/mm <sup>2</sup>			
Pořadové číslo	Doba expozice a typ prostředí	Třídy trvanlivosti			
		D1 <sup>3)</sup>	D2 <sup>3)</sup>	D3 <sup>3)</sup>	D4 <sup>3)</sup>
1	7 dní <sup>1)</sup> , normální <sup>2)</sup>	> 10	> 10	> 10	> 10
2	7 dní, normální 3 hodiny, ve vodě 20±5 °C 7 dní, normální	-	> 8	-	-
3	7 dní, normální 4 dny; ve vodě 20±5 °C	-	-	> 2	> 4
4	7 dní, normální 4 dny; ve vodě 20±5 °C 7 dní, normální	-	-	> 8	-
5	7 dní, normální 6 hodin; ve vařící vodě 2 hodiny, ve vodě 20±5 °C	-	-	-	> 4
<b>Poznámky:</b>					
1 – mezi lepením a zkoušením může být čas prodloužen, pokud to doporučí výrobce lepidla.					
2 – číslo použité při označování třídy trvanlivosti neznamená pořadí. Dané lepidlo může být zařazeno do více tříd trvanlivosti.					
1) 1 den = 24 hodin					
2) 20±2 °C a 65±5 % relativní vlhkosti nebo 23±2 °C a 50±5 % relativní vlhkosti					
3) při klasifikaci lepidla musí být v průměru dosaženo všech minimálních hodnot uvedených ve sloupcích tříd trvanlivosti D1 až D4 (např. pro D4 se vyžadují pořadová čísla expozice 1,3 a 5).					
- zkouška se nevyžaduje					

Po ukončení zkoušky byl proveden výpočet maximální pevnosti lepeného spoje  $T$  v  $\text{N/mm}^2$  podle vzorce

$$T = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \times b} \quad [\text{N/mm}^2],$$

kdy

$F_{max}$  - nejvyšší síla [N],

$A$  - slepená zkušební plocha [ $\text{mm}^2$ ],

$l$  - délka slepené zkušební plochy [mm],

$b$  - šířka slepené plochy [mm].

## 4.5. Stanovení podílu porušení ve dřevě pomocí obrazové analýzy a programu ImageJ

Součástí zkoušek ČSN EN 13354 a ČSN EN 205 je, že poté co dojde k porušení zkušební tělesa, má být zkušební plocha prohlédnuta a dojit k vyhodnocení procentuálního porušení ve dřevě. Vzhledem k tomu, že tato metoda je dosti subjektivní a vše záleží na odhadu daného jedince, bylo pro přesnější vyhodnocení použito programu ImageJ.

### 4.5.1. ImageJ

ImageJ je volně šiřitelný program vyvinutý společností National Institutes of Health pracující na základě programovacího jazyku Java. Struktura programu poskytuje rozšiřitelnost za pomoci Java pluginů a pomocí záznamových maker (větší počet instrukcí spuštěných zadáním jediného příkazu), které si může každý vytvořit.

Program ImageJ zobrazuje, upravuje, analyzuje, zpracovává, ukládá a tiskne 8bitové, 16bitové a 32bitové obrázky. Lze díky němu počítat plochu a statistiky hodnot pixelů na uživatelem definovaných oblastech a intenzity prahových objektů. Pomocí tohoto programu lze také měřit úhly či vzdálenosti. Jsou v něm obsaženy standardní funkce zpracování obrazu jako logické a aritmetické operace mezi obrázky, úprava kontrastu, ostření, vyhlazování, detekce hran atd. (Mandinec, 2012)

#### 4.5.1.1. Nástroje a příkazy programu ImageJ

V této části budou popsány pouze nástroje a příkazy využité pro účely této práce.

##### Nástroje



- obdélníkový výběr (pozice, šířka, výška, poměr stran jsou během vykreslování zobrazeny ve stavovém řádku)



- mnohoúhelníkový výběr (umožňuje výběr nepravidelného tvaru složeného sérií úseček)



- lupa (umožňuje zvětšení v rozmezí 3,1–3200 %)



- posuv (zajišťuje procházení obrazu většího než jeho okno), (Mandinec, 2012)

## Příkazy

- ***Image > type > 8-bit:*** konvertuje 16bitové a 32bitové obrazy na 8bitové dle lineárního měřítka z min. – max. na 0–255.
- ***Image > crop:*** tento příkaz ořeže obraz podle aktuálního výběru.
- ***Image > adjust > threshold:*** automaticky nebo interaktivně dojde k nastavení dolní a horní hodnoty prahování.
- ***Analyze > histogram:*** vypočítává a zobrazuje histogram distribuce hodnot šedé barvy v aktivním obraze nebo zvoleném výběru. Na ose X jsou možné hodnoty šedé barvy (Value), kterých může pixel nabývat. Osa Y představuje počet pixelů (Count) pro danou hodnotu šedé barvy.
- ***Analyze > set scale:*** nastavuje měřítko. (Mandinec, 2012)

### 4.5.2. Měření podílu porušení ve dřevě pomocí obrazové analýzy v programu ImageJ

Vzorky, které byly podrobeny zkoušce ČSN EN 13354 a ČSN EN 205, byly nejdříve vizuálně rozříděny. Ty, které dosáhly 0% a 100% porušení ve dřevě, byly zaznamenány a dále už nebyly hodnoceny. Vzorky, kde se porušení ve dřevě pohybovalo mezi 0-100 %, byly vyfoceny pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu (Canon EOS 1100D) a následně uloženy do počítače ve formátu JPEG. Focení vzorků probíhalo vždy po jednom a vzorky byly foceny ze stejné vzdálenosti. Všechny snímky byly poté ořezány, tak, aby obraz zabíral pouze zkušební plochu daného zkušební vzorku. Následné operace byly prováděny jen v programu ImageJ.

#### 4.5.2.1. Převedení snímku na 8bitový

Program ImageJ převádí snímek na bitový pomocí příkazu: ***image > type > 8-bit.***



Obr. 13 Původní snímek



Obr. 14 Snímek po převedení na 8bitový

#### 4.5.2.2. Prahování

V programu ImageJ bylo zvoleno prahování pomocí příkazu: *image > adjust > threshold*. Každý zkušební vzorek měl optimální hranice prahu individuální.



Obr. 15 8bitový snímek před prahováním

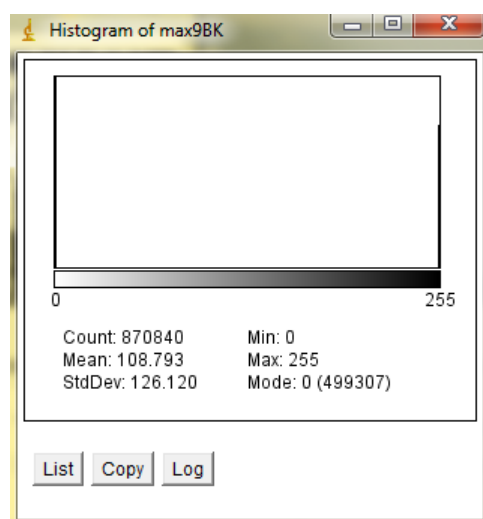


Obr. 16 Snímek po prahování

#### 4.5.2.3. Vyjádření výsledků z histogramu

Histogram se v programu nachází pod příkazem: *analyze > histogram*. Histogram po nastavení prahování ke konkrétnímu vzorku vypočítá a ukáže počty pixelů.

Z uvedeného histogramu na obr. 17 vyplývá, že celkový počet pixelů (Count) je 870 840. K výpočtu porušení ve dřevě je nutná ještě hodnota Mode:0, která zobrazuje počet bílých pixelů na snímku. V tomto případě představují bílé pixely místo, kde došlo k selhání lepidla. Hodnota těchto pixelů byla v tomto případě 499 307. Počet černých pixelů, které znázorňují porušení ve dřevě, se zjistí tak, že se odečte od celkového počtu pixelů počet bílých pixelů.



Obr. 17 Histogram vzorku po prahování

Výpočet pro porušení ve dřevě se zjistí podle vztahu:

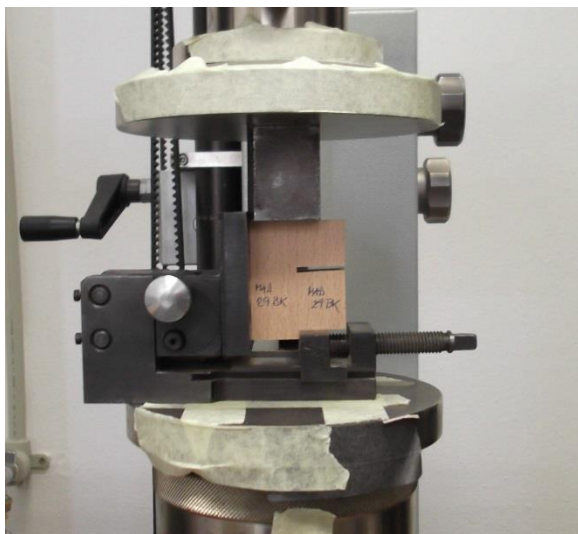
$$\text{podíl porušení ve dřevě} = \frac{\text{hodnota černých pixelů}}{\text{celková hodnota pixelů}} \cdot 100 [\%]$$

Metoda byla celkově použita pro 89 zkušebních vzorků, u kterých bylo porušení ve dřevě mezi 0–100 %.

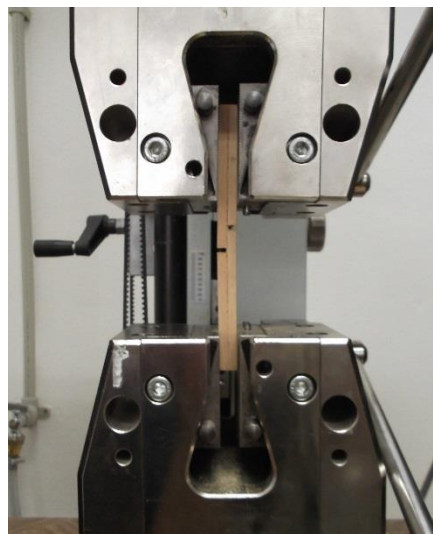


## 4.6. Zkušební zařízení

Měření zkoušek ČSN EN 13354 a ČSN EN 205 se provádělo na odloučeném pracovišti Ústavu nauky o dřevě v Útěchově na univerzálním zkušebním stroji Zwick Z050 s mechanickým pohybem horního příčnicku. Tento stroj je určen k provádění zkoušek na tah, tlak, ohyb a smyk. Pro zkoušku ČSN EN 13354 bylo nutné, aby byl stroj opatřen přestavitelným smykovým přípravkem, do něhož se usadí zkušební tělesa, jak je patrné na obr. 18. Při zkoušce ČSN EN 205 se stroj opatřil čelistmi, do kterých se upínaly zkušební vzorky obr. 19.



*Obr. 18 Přestavitelný smykový přípravek se zkušebním vzorkem pro ČSN EN 13354*



*Obr. 19 Čelisti se zkušebním tělesem pro ČSN EN 205*

K příslušenství zkušebního stroje patří počítač s ovládacím softwarem TestXpert V11.02 vyvinutý společností Zwick/Roell. V našem případě bylo dalším příslušenstvím digitální posuvné měřítko Mitutoyo 150 mm a DMX USB s digitálním výstupem připojitelným do portu USB. Díky tomu bylo měření smykových ploch dostatečně přesné a rychlé.

## 5. VÝSLEDKY

V této kapitole jsou prezentovány výsledky jednotlivých zkoušek. Výsledky jsou pro lepší přehlednost znázorněny v podobě tabulek a grafů, jsou také rozděleny podle různých kritérií (dřevina, výrobce, expozice) a kritéria jsou spolu vzájemně porovnávána.

### 5.1. Hustota spárovky výrobce 1 a 2

Pro stanovení hustoty spárovky bylo použito celkem 64 zkušebních vzorků. Ty byly rozděleny na 4 sady po 16 vzorcích, kdy byla zkoumána hustota spárovky jak pro výrobce 1 a 2, tak i pro dřevinu buk a dub (výrobce 1 BK, výrobce 1 DB, výrobce 2 BK a výrobce 2 DB).

Z tab. 9 lze vyčíst, že nejvyšší hustoty dosahuje buková spárovka od výrobce 1 s průměrnou hustotou 724,30 kg/m<sup>3</sup>. Naopak nejnižších hodnot 668,99 kg/m<sup>3</sup> dosahuje dubová spárovka výrobce 1.

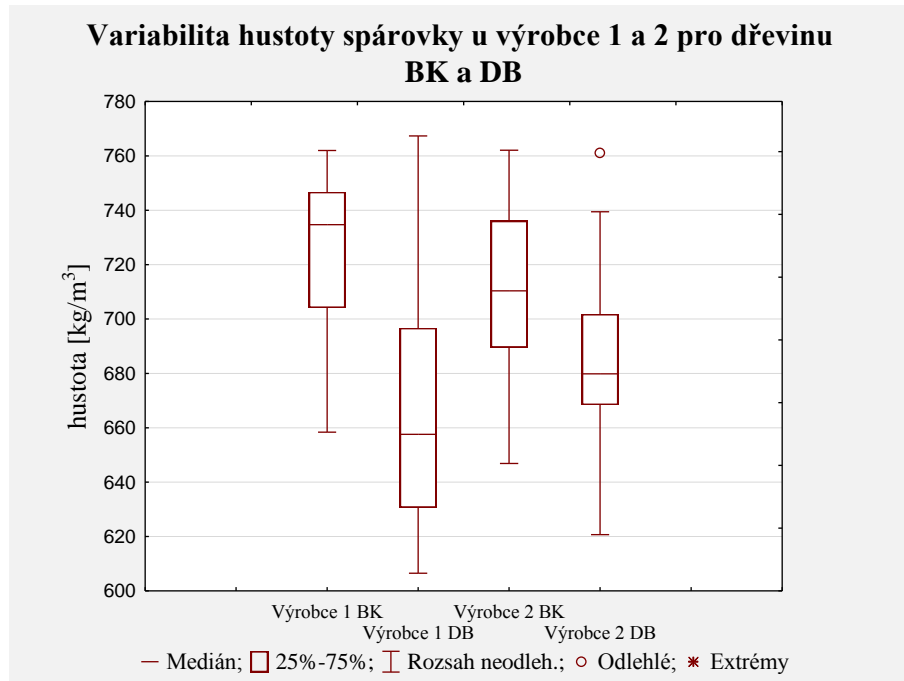
Tab. 9 Hustota spárovky za normálních podmínek, popisná statistika

$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Výrobce 1		Výrobce 2	
	BK	DB	BK	DB
<i>střední hodnota</i>	<b>724,30</b>	<b>668,99</b>	<b>709,44</b>	<b>686,11</b>
<i>medián</i>	734,70	657,60	710,36	679,84
<i>směr. odchylka</i>	29,08	48,18	34,35	34,77
<i>rozptyl výběru</i>	845,61	2321,44	1180,16	1209,30
<i>var. koeficient [%]</i>	4,01	7,20	4,84	5,07
<i>špičatost</i>	0,09	-0,25	-0,43	0,66
<i>šikmost</i>	-0,92	0,85	-0,29	0,44
<i>minimum</i>	658,37	606,49	646,88	620,71
<i>maximum</i>	762,00	767,31	762,10	761,11
<i>počet platných</i>	16	16	16	16

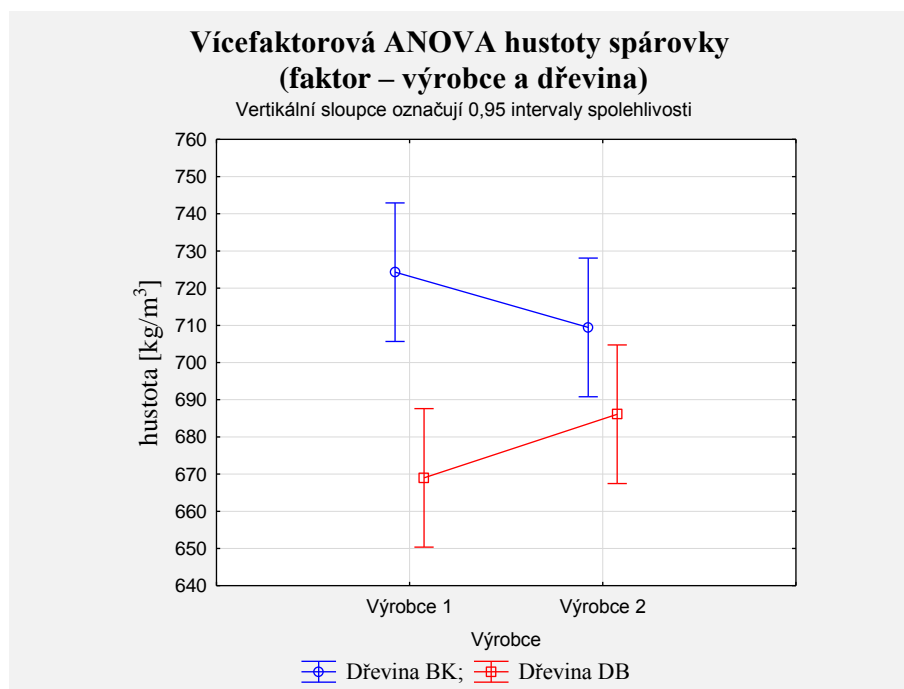
Z grafu 1 lze vyčíst rozložení hodnot hustoty spárovky pro zkoumané výrobce a dřevinu. Je patrné nerovnoměrné rozložení hodnot u výrobce 1 u dřeviny buk i dub. V případě výrobce 2 je u obou dřevin rozložení hodnot rovnoměrné. Šetřením za pomoci vícefaktorové ANOVY průměrných hustot spárovek (graf 2) bylo zjištěno, že

pro stejnou dřevinu u výrobce 1 i 2 neexistuje statisticky významný rozdíl v hustotě spárovky.

V tab. 10 jsou homogenní skupiny (skupiny souborů, jejichž střední hodnoty se považují za shodné při hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ ) vyznačeny pomocí hvězdiček pod sebou.



Graf 1 Variabilita hustoty spárovky u výrobce 1 a 2 pro dřevinu BK a DB



Graf 2 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot hustoty spárovky

*Tab. 10 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot hustot spárovky v závislosti na výrobcí a dřevině pomocí homogenních skupin*

Výrobce	Dřevina	Průměrná hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Skupina		
			1	2	3
Výrobce 1	DB	668,99	****		
Výrobce 2	DB	686,11	****	****	
Výrobce 2	BK	709,44		****	****
Výrobce 1	BK	724,30			****

## 5.2. Kvalita lepení ČSN EN 13354

Experimentální zjištění kvality lepení spárovky probíhalo celkem u 119 testovaných vzorků. Posuzována byla buková a dubová spárovka od dvou výrobců. Třetina vzorků byla podrobena přípravě 1V (24 hodin ve vodě 20 °C) podle normy ČSN EN 13354, druhá třetina tělísek byla vystavena přípravě 7S (7 dní normální 20 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu) a poslední část vzorků prošla přípravou 1V7S (24 hodin ve vodě 20 °C; 7 dní normální 20 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu). Bylo tedy vytvořeno 12 sad vzorků, které až na 1 sadu obsahovaly vždy 10 zkušebních vzorků.

Kvalitou lepení se rozumí pevnost ve smyku při tlakovém namáhání vyjádřená v N/mm<sup>2</sup> (MPa).

### 5.2.1. Kvalita lepení ČSN EN 13354 – výrobce 1

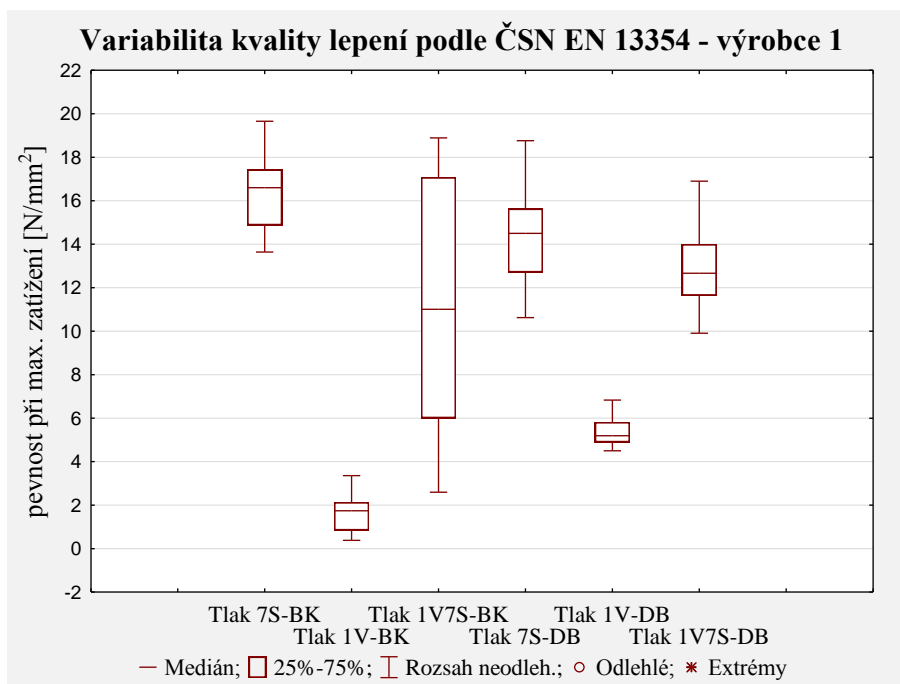
Z tab. 11 lze vyvodit, že nejvyšší průměrné hodnoty 16,47 N/mm<sup>2</sup> při zkoušce kvality lepení (ČSN EN 13354) dosahovala buková spárovka podrobena přípravě 7S. Naproti tomu nejhůře na tom byla buková spárovka do přípravě 1V, která měla průměrnou hodnotu pevnosti ve smyku při tlakovém namáhání 1,65 N/mm<sup>2</sup>.

V grafu 3 je vidět vysoká variabilita kvality lepení u bukových vzorků 1V7S.

Tab. 11 Kvalita lepení podle ČSN EN 13354 bukové a dubové spárovky po různé přípravě u výrobce 1, popisná statistika

f <sub>v</sub> N/mm <sup>2</sup>	Výrobce 1 BK			Výrobce 1 DB		
	7S	1V	1V7S	7S	1V	1V7S
<i>střední hodnota</i>	<b>16,47</b>	<b>1,65</b>	<b>10,57</b>	<b>14,39</b>	<b>5,44</b>	<b>13,17</b>
<i>medián</i>	16,60	1,74	11,01	14,50	5,19	12,66
<i>směr. odchylka</i>	1,77	0,97	6,02	2,27	0,83	2,24
<i>rozptyl výběru</i>	3,14	0,94	36,19	5,16	0,69	5,04
<i>var. koeficient [%]</i>	10,75	59,01	56,90	15,78	15,23	17,05
<i>špičatost</i>	-0,09	0,12	-1,46	0,58	-0,65	-0,09
<i>šikmost</i>	0,12	0,38	0,04	0,30	0,71	0,68
<i>minimum</i>	13,64	0,38	2,59	10,63	4,50	9,91
<i>maximum</i>	19,66	3,36	18,89	18,76	6,83	16,90
<i>5% kvantil</i>	13,64	0,38	2,59	10,63	4,50	9,91
<i>počet platných</i>	10	8	10	10	9	10
<i>počet rozlepených</i>	0	2 ch.	0	0	1 ch.	0
<i>počet celkem</i>	10	10	10	10	10	10

ch. – nejedná se o rozlepený vzorek v průběhu přípravy, ale o chybu způsobenou špatným měřením



*Graf 3 Variabilita kvality lepení podle ČSN EN 13354 u bukové a dubové spárovky po různé přípravě pro výrobce 1*

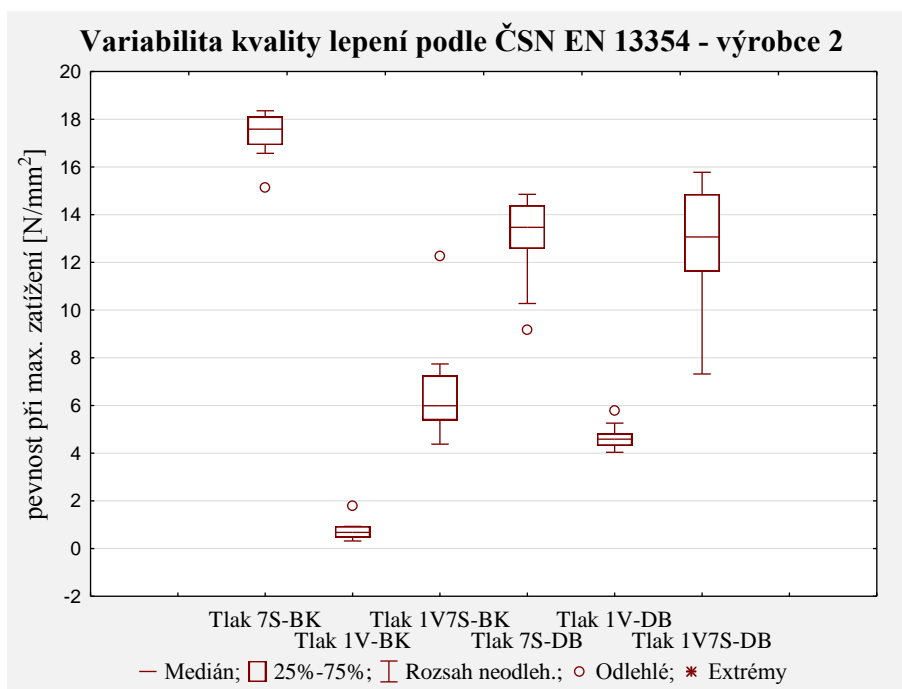
### 5.2.2. Kvalita lepení ČSN EN 13354 – výrobce 2

Tab. 12 popisuje kvalitu lepení bukové a dubové spárovky pro výrobce 2. Nejnižší průměrné hodnoty kvality lepení (ČSN EN 13354) 0,78 N/mm<sup>2</sup> má buková spárovka s přípravou 1V. Tato sada vzorků zároveň vykazuje nerovnoměrné rozložení hodnot stejně jako dubová spárovka po přípravě 1V7S, jak je patrné z grafu 4. Nejvyšší průměrné hodnoty pevnosti 17,35 N/mm<sup>2</sup> dosahovala buková spárovka po přípravě 7S u které byl i nejnižší variační koeficient 5,56 %.

*Tab. 12 Kvalita lepení podle ČSN EN 13354 bukové a dubové spárovky po různé přípravě u výrobce 2, popisná statistika*

$f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Výrobce 2 BK			Výrobce 2 DB		
příprava vzorků	7S	1V	1V7S	7S	1V	1V7S
<i>střední hodnota</i>	<b>17,35</b>	<b>0,78</b>	<b>6,63</b>	<b>12,98</b>	<b>4,69</b>	<b>12,70</b>
<i>medián</i>	17,58	0,68	5,99	13,47	4,59	13,07
<i>směr. odchylka</i>	0,96	0,46	2,23	1,87	0,56	2,85
<i>rozptyl výběru</i>	0,93	0,22	4,99	3,48	0,31	8,15
<i>var. koeficient [%]</i>	5,56	59,30	33,70	14,37	11,87	22,48
<i>špičatost</i>	2,24	3,15	4,90	0,85	0,58	-0,01
<i>šikmost</i>	-1,42	1,56	2,00	-1,31	0,87	-0,96
<i>minimum</i>	15,14	0,32	4,38	9,17	4,04	7,32
<i>maximum</i>	18,36	1,79	12,27	14,85	5,78	15,78

5% kvantil	15,14	0,32	4,38	9,17	4,04	7,32
počet platných	10	8	10	10	9	10
počet rozlepených	0	2 ch.	0	0	0	0
počet celkem	10	10	10	10	9	10
<i>ch. – nejedná se o rozlepený vzorek v průběhu přípravy, ale o chybu způsobenou špatným měřením</i>						

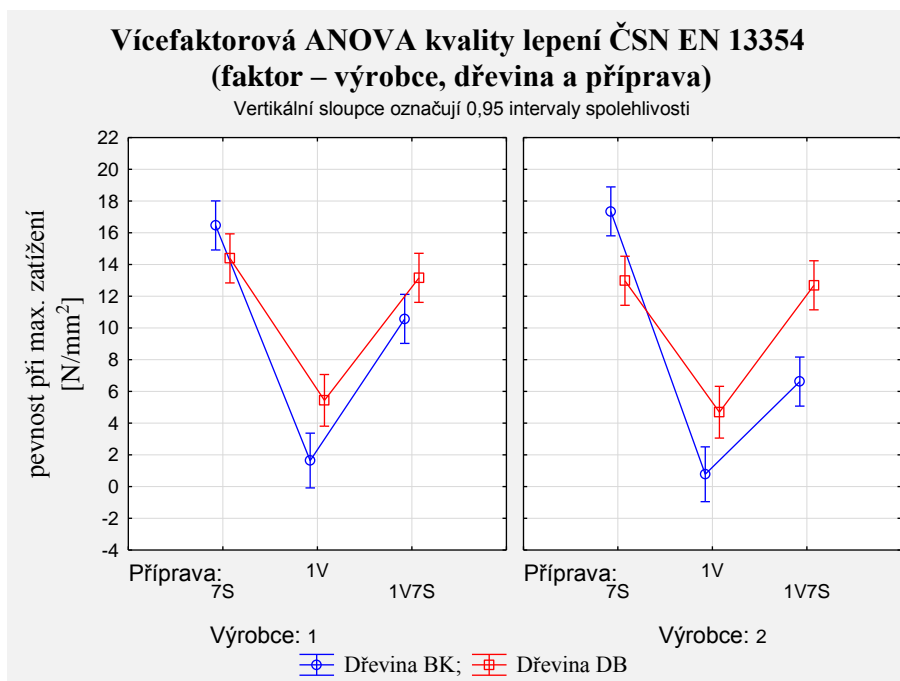


Graf 4 Variabilita kvality lepení podle ČSN EN 13354 u bukové a dubové spárovky po různé přípravě pro výrobce 2

### 5.2.3. Porovnání kvality lepení ČSN EN 13354 – výrobce 1 a 2

Graf 5 znázorňuje vícefaktorovou ANOVU průměrných hodnot kvality lepení u spárovky v závislosti na třech faktorech (výrobce, příprava, dřevina). Ze zmíněného grafu jasně vyplývá, že zatížení spárovky vysokou vlhkostí několikanásobně snižuje pevnost, u obou výrobců i u obou dřevin. Zároveň je patrné, že u obou výrobců vlhkost lépe snáší dubová spárovka. U spárovky z dubu je taktéž patrné, že pokud dojde ke ztrátě vlhkosti, vrací se kvalita lepení na hodnoty, které měla před vlhkostní přípravou.

V tab. 13 je přehledně znázorněn Tuckeyho test vícenásobného porovnání středních hodnot kvality lepení, kde jsou jednotlivé testované sady, mezi kterými není statisticky významný rozdíl, zařazeny do homogenních skupin.



Graf 5 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 s působením faktorů výrobce, dřevina a příprava

Tab. 13 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 v závislosti na výrobci, dřevině a přípravě pomocí homogenních skupin

Výrobce	Dřevina	Příprava	Kvalita lepení [N/mm²]	Skupina						
				1	2	3	4	5	6	7
Výrobce 2	BK	1V	0,78				****			
Výrobce 1	BK	1V	1,65				****	****		
Výrobce 2	DB	1V	4,69				****	****	****	
Výrobce 1	DB	1V	5,44					****	****	
Výrobce 2	BK	1V7S	6,63						****	
Výrobce 1	BK	1V7S	10,57	****						
Výrobce 2	DB	1V7S	12,70	****	****					
Výrobce 2	DB	7S	12,98	****	****	****				
Výrobce 1	DB	1V7S	13,17	****	****	****				
Výrobce 1	DB	7S	14,39		****	****				****
Výrobce 1	BK	7S	16,47			****				****
Výrobce 2	BK	7S	17,35							****



### 5.3. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205

Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání bylo prováděno podle normy ČSN EN 205, s tím rozdílem, že zkušební tělíska byla nařezána ze spárovky buku a dubu od dvou výrobců, jak bylo uvedeno v kapitole 4.4. Jelikož oba výrobci používají k lepení spárovky lepidlo třídy trvanlivost D3, byla tomu podřízena expozice (příprava) zkušebních tělísek. Postup zkoušky, rozměry tělísek a expozice byly provedeny podle kapitoly 4.4 uvedené výše.

Celkem bylo vytvořeno 174 zkušebních vzorků, které byly rozděleny do 12 sad. Jednotlivé sady v sobě zahrnovaly kombinaci výrobce (výrobce 1, výrobce 2), expozice (expozice 1 – tah 1, expozici 3 – tah 3 a expozici 4 – tah 4) a dřeviny (BK a DB). Podrobný přehled o vyrobených vzorcích pro tuto zkoušku je v tab. 6.

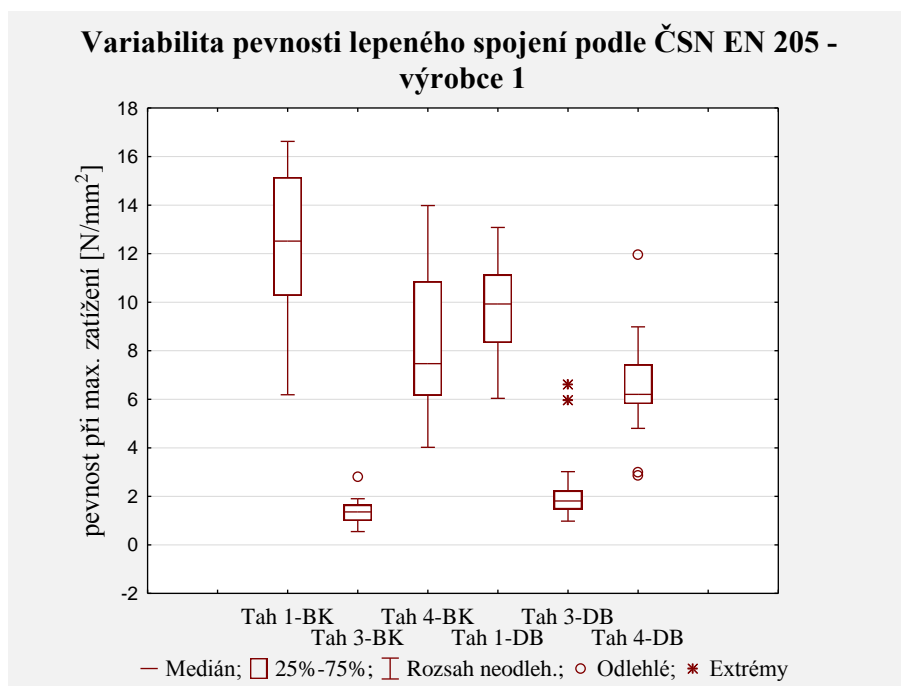
#### 5.3.1. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205 – výrobce 1

Největší pevnosti 12,16 N/mm<sup>2</sup> podle ČSN EN 205 dosahuje u výrobce 1 buková spárovka při expozici tah 1 s variačním koeficientem 24,91 %. Buková spárovka při expozici tah 3 má naopak nejnižší hodnoty pevnosti lepeného spojení (1,39 N/mm<sup>2</sup>), jak je uvedeno v tab. 14. Navíc při této expozici došlo k rozlepení 4 kusů zkušebních vzorků v průběhu expozice.

Tab. 14 Pevnost lepeného spojení podle ČSN EN 205 u výrobce 1, popisná statistika

T [N/mm <sup>2</sup> ]	Výrobce 1 BK			Výrobce 1 DB		
	Tah 1	Tah 3	Tah 4	Tah 1	Tah 3	Tah 4
<i>střední hodnota</i>	<b>12,16</b>	<b>1,39</b>	<b>8,13</b>	<b>9,74</b>	<b>2,31</b>	<b>6,55</b>
<i>medián</i>	12,52	1,36	7,47	9,93	1,81	6,21
<i>směr. odchylka</i>	3,03	0,63	2,95	2,01	1,64	2,18
<i>rozptyl výběru</i>	9,18	0,40	8,72	4,04	2,71	4,75
<i>var. koeficient [%]</i>	24,91	45,43	36,33	20,62	71,19	33,25
<i>špičatost</i>	-0,48	1,76	-0,65	-0,43	3,50	1,81
<i>šikmost</i>	-0,32	0,92	0,39	-0,03	2,05	0,55
<i>minimum</i>	6,19	0,55	4,02	6,04	0,98	2,86
<i>maximum</i>	16,63	2,81	13,98	13,08	6,61	11,95
<i>počet platných</i>	15	11	15	15	16	16
<i>počet rozlepených</i>	0	4	0	0	0	0
<i>počet celkem</i>	15	15	15	15	16	16

Rozložení průměrné pevnosti u výrobce 1 je u sady tah 4-BK a tah 4-DB nesouměrné. U ostatních sad pro výrobce 1 je variabilita průměrných hodnot znázorněna v grafu 6. Dále je patrné, že nejvyšší průměrné pevnosti dosahují spárovky, pokud nejsou vystaveny vlhkostnímu zatížení. Avšak z grafu 6 je patrné, že průměrné hodnoty expozice tah 4-BK jsou velmi podobné průměrným hodnotám expozice tah 1-DB.



*Graf 6 Variabilita pevnosti lepeného spojení podle EN 205 u bukové a dubové spárovky pro výrobce 1 při různých expozicích*

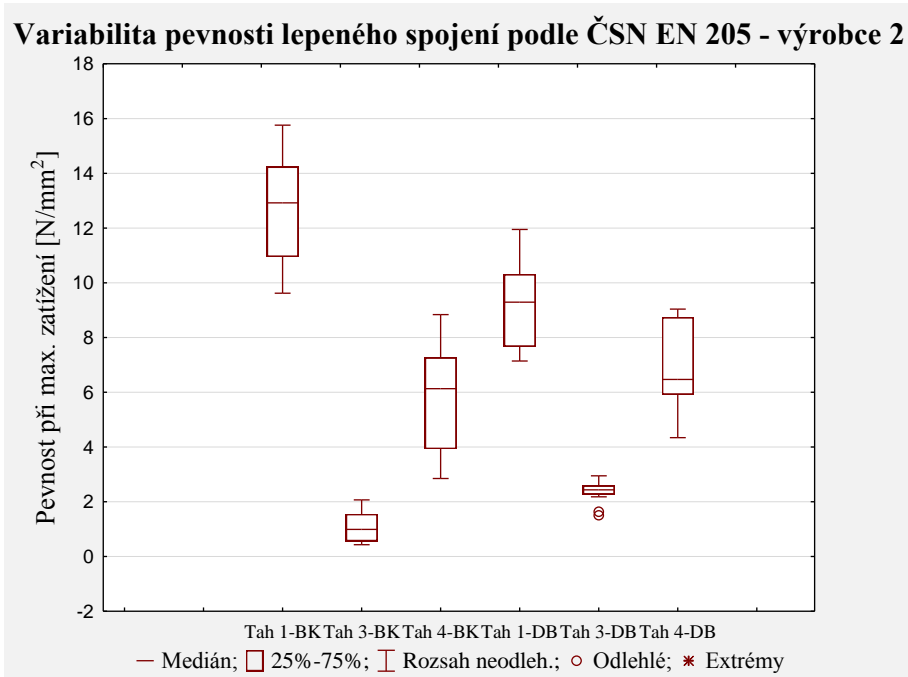
### 5.3.2. Pevnost lepeného spojení ČSN EN 205 - výrobce 2

Průměrná hodnota pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 výrazně klesá u expozice tah 3 u obou dřevin. Z tab. 15 lze vyčíst, že při této expozici jsou u obou dřevin nejnižší průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání. U expozice tah 4-BK se průměrné hodnoty dostaly zhruba na poloviční průměrné hodnoty vůči expozici tah 1-BK. U expozice tah 1-DB a expozice tah 4-DB jsou rozdíly průměrných hodnot téměř shodné. Důležitým faktem je také rozlepení poloviny zkušebních vzorků u expozice tah 3-BK a 4 vzorků u expozice tah 4-BK.

Rozložení průměrných hodnot pevnosti lepeného spojení je v grafu 7. Z tohoto grafu je zřejmá klesající pevnost při expozici tah 3-BK i tah 3-DB. To je způsobeno vlhkostí, které byla zkušební tělesa vystavena.

Tab. 15 Pevnost lepeného spojení podle ČSN EN 205 u výrobce 2, popisná statistika

T [N/mm <sup>2</sup> ]	Výrobce 2 BK			Výrobce 2 DB		
	Tah 1	Tah 3	Tah 4	Tah 1	Tah 3	Tah 4
střední hodnota	12,75	1,09	6,07	9,29	2,37	6,99
medián	12,92	0,99	6,13	9,29	2,44	6,47
směr. odchylka	1,86	0,60	1,93	1,55	0,43	1,49
rozptyl výběru	3,46	0,36	3,73	2,40	0,18	2,23
var. koeficient [%]	14,59	55,02	31,86	16,66	18,04	21,36
špičatost	-1,08	-1,22	-1,05	-0,87	0,81	-0,74
šikmost	-0,09	0,46	-0,23	0,24	-1,03	-0,08
minimum	9,62	0,43	2,85	7,14	1,50	4,34
maximum	15,76	2,07	8,84	11,95	2,95	9,04
počet platných	15	8	13	11	12	11
počet rozlepených	0	8	4	0	0	1
počet celkem	15	16	17	11	12	12

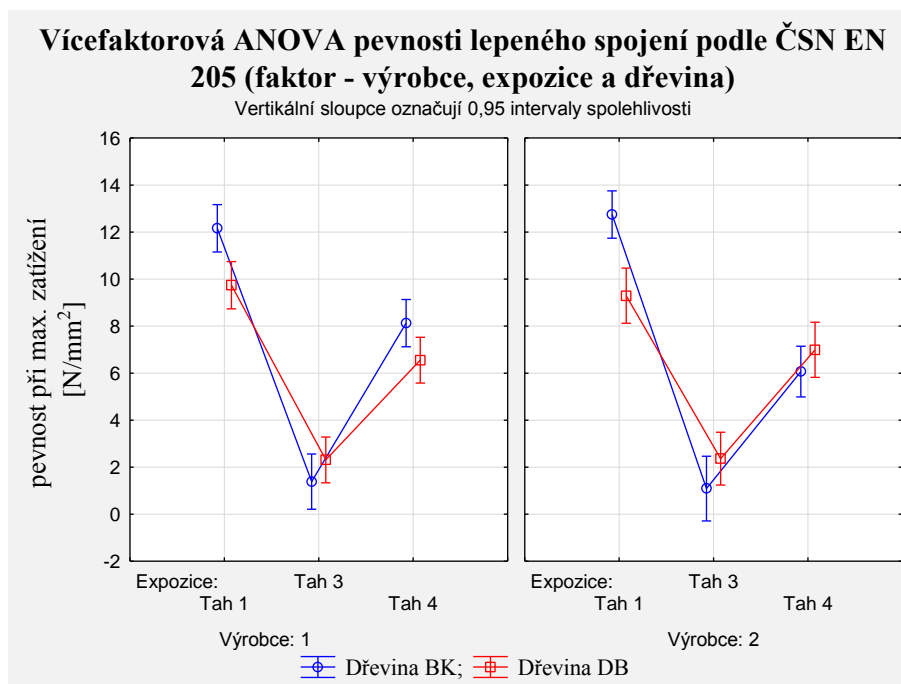


Graf 7 Variabilita pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 u bukové a dubové spárovky pro výrobce 2 při různých expozicích

### 5.3.3. Porovnání pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 – výrobce 1 a 2

Šetřením průměrných hodnot vícefaktorovou ANOVOU (graf 8) bylo zjištěno, že výrobci nemají na pevnost lepeného spojení při různých expozicích podle ČSN EN 205 statisticky významný vliv. Statisticky významný rozdíl v pevnosti lepeného spojení však nastává v případě různých expozic až na 1 výjimku, kdy u expozice tah 4-BK výrobce 1 není statisticky významný rozdíl s expozicemi tah 1-DB výrobce 1 a expozicí tah 1-DB výrobce 2, což dokládá tab. 16. Pokud se zaměříme na interakci mezi dřevinou a pevností lepeného spojení, zjistíme, že u expozice 1 je statisticky významný rozdíl mezi pevností lepeného spojení u buku a dubu v případě obou výrobců. U expozic tah 3 a tah 4 nejsou významné rozdíly mezi dřevinami ani mezi dřevinami mezi výrobci.

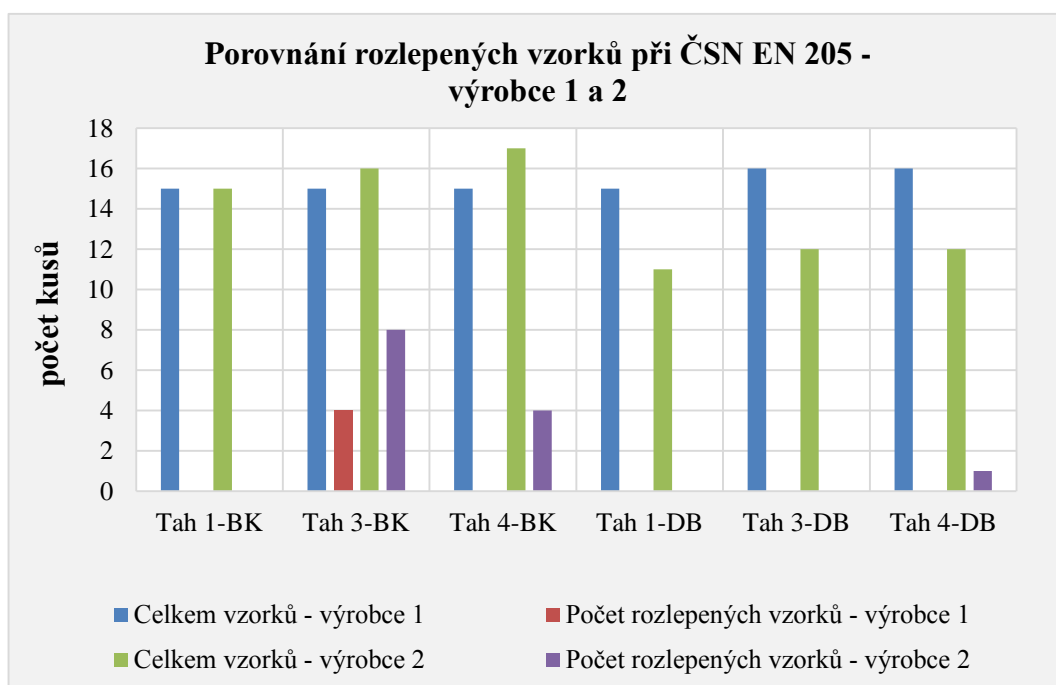
Při tomto srovnání je však nutné brát v úvahu i počet rozlepených vzorků v průběhu působení jednotlivých expozic. Z grafu 9 vyplývá, že u výrobce 2 došlo v průběhu působení expozice tah 3-BK k rozlepení 50 % zkoumaných vzorků, kdežto u výrobce 1 se u stejné expozice rozlepilo jen 27 % všech zkoumaných vzorků.



Graf 8 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 s působením faktorů výrobce, expozice a dřevina

Tab. 16 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 v závislosti na výrobci, dřevině a expozici pomocí homogenních skupin

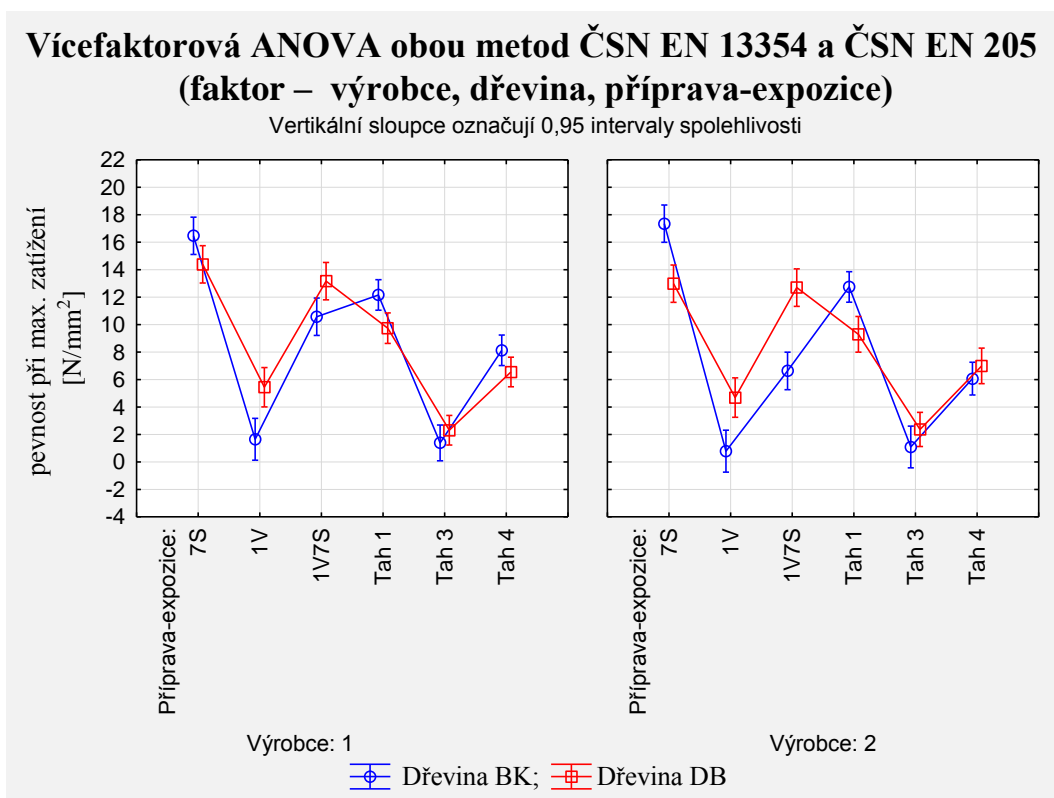
Výrobce	Dřevina	Příprava	Pevnost lepeného spojení [N/mm <sup>2</sup> ]	Skupina				
				1	2	3	4	5
Výrobce 2	BK	Tah 3	1,09	****				
Výrobce 1	BK	Tah 3	1,39	****				
Výrobce 1	DB	Tah 3	2,31	****				
Výrobce 2	DB	Tah 3	2,37	****				
Výrobce 2	BK	Tah 4	6,07		****			
Výrobce 1	DB	Tah 4	6,55		****	****		
Výrobce 2	DB	Tah 4	6,99		****	****		
Výrobce 1	BK	Tah 4	8,13		****	****	****	
Výrobce 2	DB	Tah 1	9,29			****	****	
Výrobce 1	DB	Tah 1	9,74				****	
Výrobce 1	BK	Tah 1	12,16					****
Výrobce 2	BK	Tah 1	12,75					****



Graf 9 Porovnání rozlepených vzorků při ČSN EN 205 v průběhu působení expozice mezi výrobcem 1 a 2

### 5.3.4. Porovnání obou metod ČSN EN 13354 a ČSN EN 205

Vícefaktorovou ANOVOU (graf 10) průměrných středních hodnot kvality lepení (ČSN EN 13354) a pevnosti lepeného spojení (ČSN EN 205) vtažené na výrobce, dřevinu a expozici (přípravu) bylo zjištěno, že mezi výrobci není statisticky významný rozdíl průměrné střední hodnoty při stejné zkoušce, expozici a dřevině až na přípravu 1V7S-BK u výrobce 2. Pokud se zaměříme na porovnání jednotlivých metod, zjistíme, že nejlepších průměrných hodnot dosahuje metoda ČSN EN 13354 po přípravě 7S-BK u výrobce 1 a 2 společně s přípravou 7S-DB u výrobce1, jak je patrné z tab. 17.



Graf 10 Vícefaktorová ANOVA středních hodnot obou metod ČSN EN 13354 a ČSN EN 205 při interakci faktorů výrobce, dřevina a příprava (expozice)

Tab. 17 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 a pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 v závislosti na výrobci, dřevině a expozici pomocí homogenních skupin

Výrobce	Dřevina	Příprava	Pevnost lepeného spojení [N/mm <sup>2</sup> ]	Skupina													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2	BK	1V	0,78	****													
2	BK	Tah 3	1,09	****													
1	BK	Tah 3	1,39	****													
1	BK	1V	1,65	****	****												
1	DB	Tah 3	2,31	****	****												
2	DB	Tah 3	2,37	****	****												
2	DB	1V	4,69	****	****	****											
1	DB	1V	5,44		****	****											
2	BK	Tah 4	6,07			****	****										
1	DB	Tah 4	6,55			****	****										
2	BK	1V7S	6,63			****	****	****									
2	DB	Tah 4	6,99			****	****	****									
1	BK	Tah 4	8,13			****	****	****	****								
2	DB	Tah 1	9,29				****	****	****	****							
1	DB	Tah 1	9,74					****	****	****		****					
1	BK	1V7S	10,57						****	****	****	****					
1	BK	Tah 1	12,16							****	****	****	****				
2	DB	1V7S	12,70							****	****	****	****				
2	BK	Tah 1	12,75								****			****			
2	DB	7S	12,98								****	****	****	****			
1	DB	1V7S	13,17								****	****	****	****			
1	DB	7S	14,39										****	****	****		
1	BK	7S	16,47												****	****	
2	BK	7S	17,35														****

## 5.4. Podíl porušení ve dřevě

Podíl porušení ve dřevě se stanovuje v případě zkoušky ČSN EN 13354 i ČSN EN 205. V této diplomové práci byl podíl stanoven jak vizuálně, tak i za pomoci digitální analýzy obrazu ve volně šiřitelném programu ImageJ. V případech, kdy došlo k 0% nebo 100% porušení ve dřevě, se podíl stanovoval vizuálně. Pokud však nebylo s jednoznačností možné říci, o kolika procentní porušení se jedná, bylo využito programu ImageJ.

Celkem se podíl porušení ve dřevě stanovoval u 272 zkušebních těles, z toho u 89 vzorků bylo porušení ve dřevě stanovováno programem ImageJ.

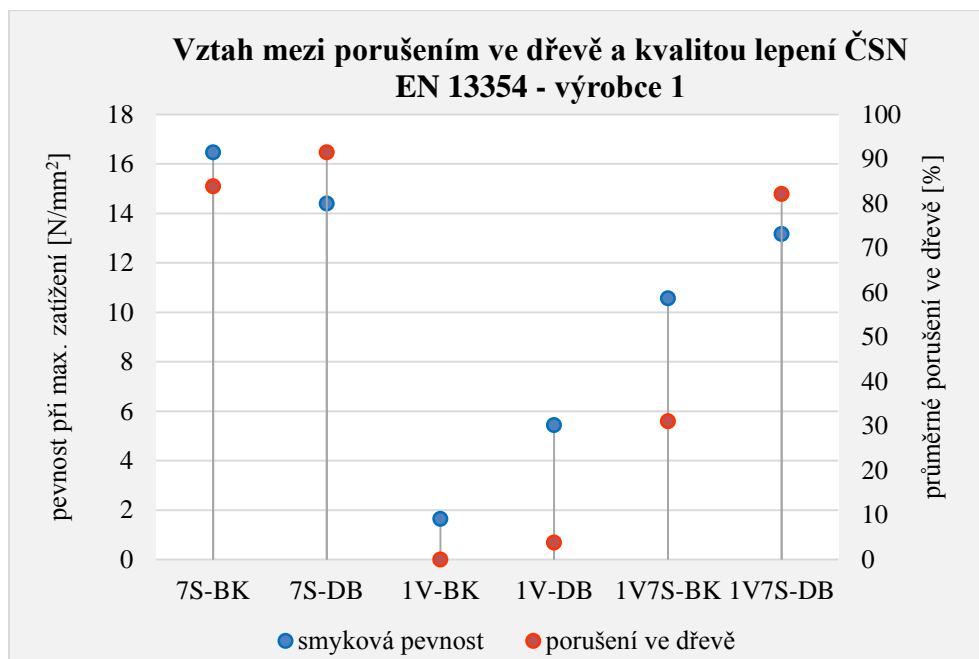
### 5.4.1. Podíl porušení ve dřevě u ČSN EN 13354 – výrobce 1 a 2

Z tab. 18 je zřejmá závislost průměrného porušení ve dřevě na průměrné hodnotě kvality lepení podle ČSN EN 13354. S vyšší průměrnou hodnotou kvality lepení roste i průměrná hodnota porušení ve dřevě. Dále je zřejmé, že při přípravě 1V, kdy jsou vzorky testovány ihned po vlhkostním namáhání, zůstává dřevo prakticky neporušené. Nejvyšší průměrné hodnoty porušení při ČSN EN 13354 jsou u přípravy 7S-DB u výrobce 1. Nejnižších hodnot pak dosahují vzorky s přípravou 1V- BK a 1V-DB u výrobce 2 spolu s přípravou 1V-BK u výrobce 1, kde nedošlo k žádnému porušení ve dřevě. Graficky je závislost průměrného porušení na průměrné pevnosti kvality lepení patrná z grafů 11 a 12.

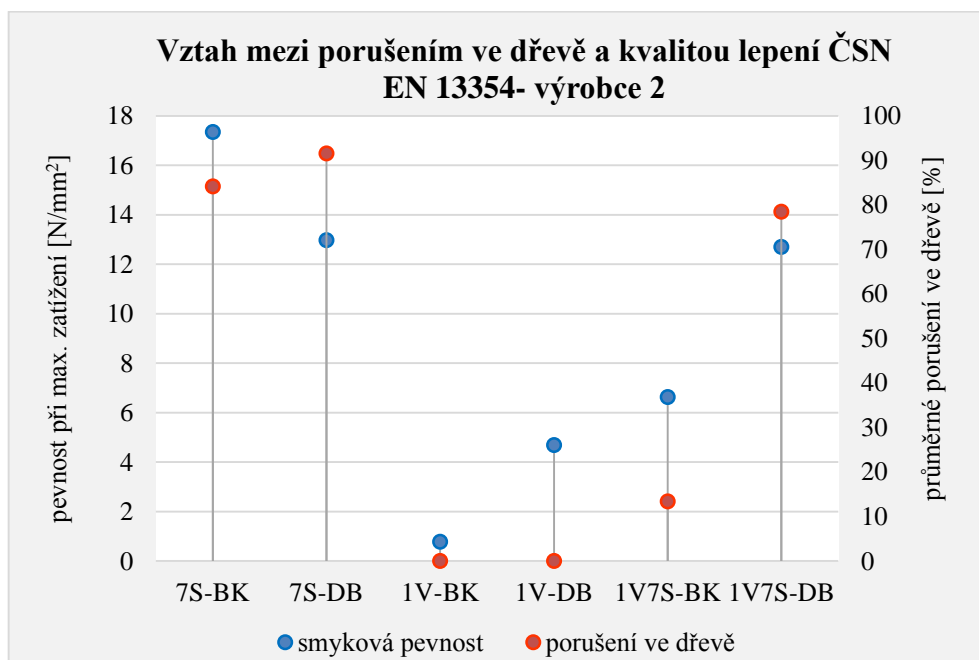
Tab. 18 Průměrné hodnoty kvality lepení ČSN EN 13354, průměrné porušení ve dřevě při ČSN EN 13354 a počet zkoumaných vzorků u výrobce 1 a 2

ČSN EN 13354		7S		1V		1V7S	
Dřevina		BK	DB	BK	DB	BK	DB
Výrobce 1	Průměr kvalita lepení [N/mm <sup>2</sup> ]	16,47	14,39	1,65	5,44	10,57	13,17
	Průměrné porušení ve dřevě [%]	<b>83,86</b>	<b>91,49</b>	<b>0,00</b>	<b>3,84</b>	<b>31,10</b>	<b>82,11</b>
	Počet zkoumaných vzorků [ks]	10	10	8	9	10	10
Výrobce 2	Průměr kvalita lepení [N/mm <sup>2</sup> ]	17,35	12,98	0,78	4,69	6,63	12,70
	Průměrné porušení ve dřevě [%]	<b>84,18</b>	<b>91,57</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>13,44</b>	<b>78,47</b>
	Počet zkoumaných vzorků [ks]	10	10	8	9	10	10





Graf 11 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce kvality lepení ČSN EN 13354 u výrobce 1 pro bukovou a dubovou spárovku při různé přípravě



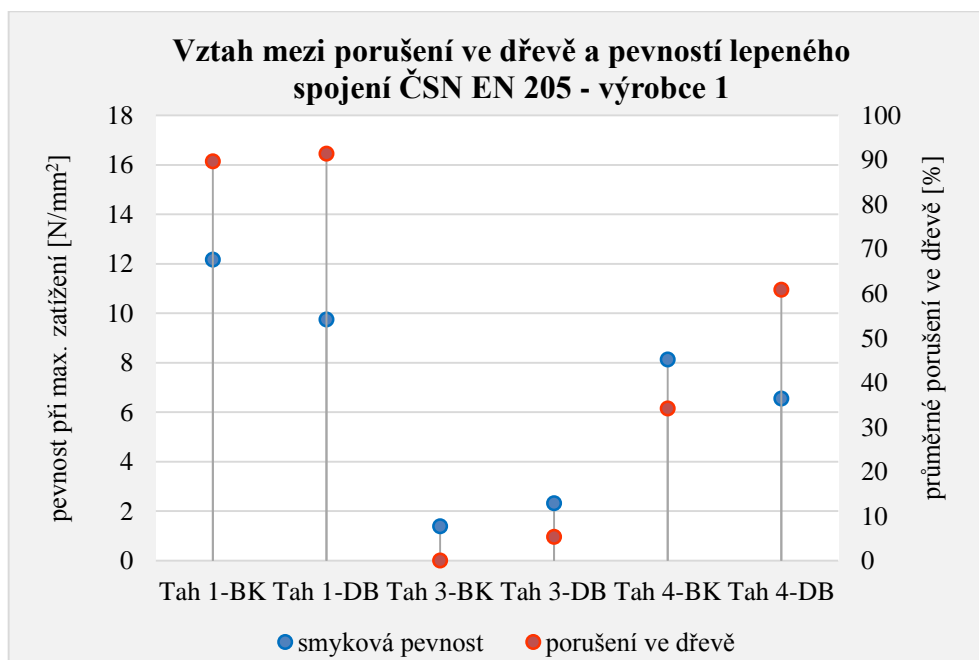
Graf 12 závislost porušení ve dřevě při zkoušce kvality lepení ČSN EN 13354 u výrobce 2 pro bukovou a dubovou spárovku při různé přípravě

## 5.4.2. Podíl porušení ve dřevě u ČSN EN 205 – výrobce 1 a 2

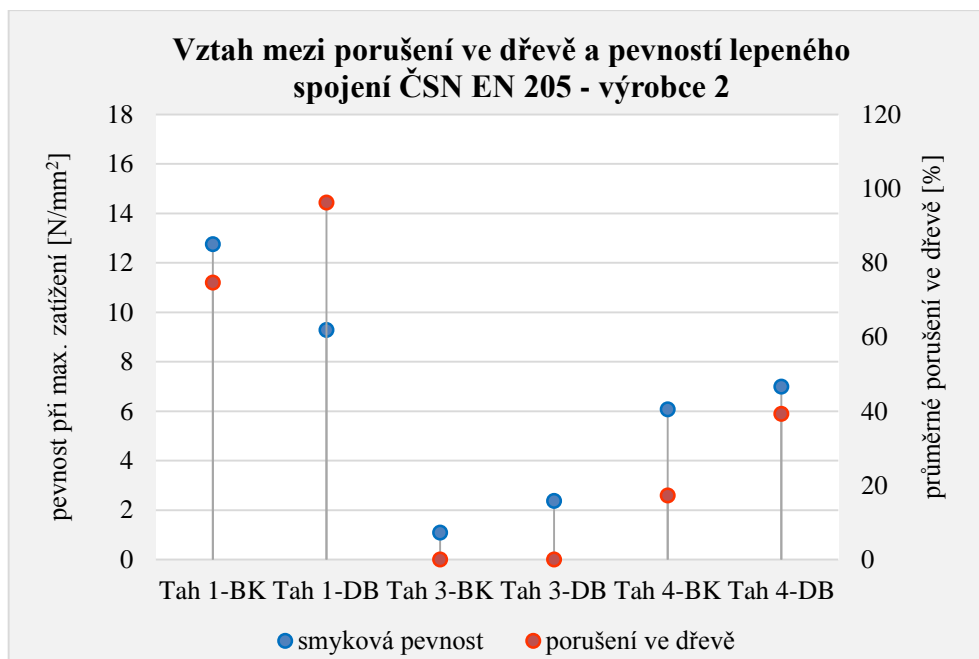
Hodnoty průměrného porušení při ČSN EN 205 jsou uvedené v tab. 19. Opět lze u nich pozorovat vztah mezi průměrnou pevností. Je nasnadě, že s vyšší průměrnou hodnotou pevnosti roste i procentuální porušení ve dřevě. Nejmenší porušení ve dřevě nastává při expozici tah 3 u obou výrobců, zde až na výjimku (tah 3-DB) nevzniká žádné porušení ve dřevě. Chování porušení ve dřevě při ČSN EN 205 je možné pozorovat na grafu 13 a 14.

Tab. 19 Průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205, průměrné porušení ve dřevě při ČSN EN 205 a počet zkoumaných vzorků u výrobce 1 a 2

ČSN EN 205		Tah 1		Tah 3		Tah 4	
Dřevina		BK	DB	BK	DB	BK	DB
Výrobce 1	Průměrná pevnost lepení [N/mm <sup>2</sup> ]	12,16	9,74	1,39	2,31	8,13	6,55
	Průměrné porušení ve dřevě [%]	89,69	91,41	0,00	5,30	34,18	60,85
	Počet zkoumaných vzorků [ks]	15	15	11	16	15	16
Výrobce 2	Průměrná pevnost lepení [N/mm <sup>2</sup> ]	12,75	9,29	1,09	2,37	6,07	6,99
	Průměrné porušení ve dřevě [%]	74,66	96,22	0,00	0,00	17,27	39,28
	Počet zkoumaných vzorků [ks]	15	11	8	12	13	11



Graf 13 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 u výrobce 1 pro bukovou a dubovou spárovku při různé expozici



Graf 14 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 u výrobce 2 pro bukovou a dubovou spárovku při různé expozici

## 6. DISKUZE

Tématem pevnosti lepeného spojení se už zabývalo několik prací. Převážná část se vesměs věnovala pevnosti lepeného spojení při použití různých typů lepidel v závislosti na vstupní vlhkosti materiálu (Bomba et al., 2014), pevnosti lepeného spojení odlišných typů lepidel při různých zvýšených teplotách (Clauß et al., 2011), pevnosti lepeného spojení u rozličných typů lepidel aplikovaných na různých dřevinách (Mrňous, 2010) nebo nárůstu pevnosti lepeného spojení PVAC lepidel v průběhu jeho vytvrzování (Bomba et al., 2014). Ve většině těchto studií je však postupováno podle normy EN 205, případně EN 302-1, kde je pro hodnocení pevnosti používáno zkušební těleso o stejných rozměrech. Zkouška EN 302-1 je však určena pro zkoušku lepidel na konstrukční účely. Norma EN 205 je naopak určena pro zkoušku lepidel na nekonstrukční aplikace (lepení nábytku, oken, dveří, schodů atd.). Kondicionování zkušebních vzorků se pak řídí podle typu lepidla normou EN 204 (termoplastická lepidla) nebo normou EN 12765 (reaktoplastická lepidla).

Další normou zabývající se pevností lepeného spojení je EN 13354. Podle ní je zkoumána pevnost lepeného spojení u desek z rostlého dřeva. Doposud nebyla této zkoušce věnována dostatečná pozornost. V této diplomové práci byly normy EN 205 a EN 13354 porovnány, aby se dalo určit, jaký rozdíl je mezi danými normami a v jakých případech je tu kterou normu vhodné použít. Normy byly zkoumány na vzorcích bukové a dubové spárovky určené do suchého prostředí, kterou poskytnuly firmy zabývající se výrobou spárovky. Výrobce 1 pro lepení spárovek používá PVAC lepidlo RAKOLL<sup>®</sup> EXPRESS D3. Výrobce 2 používá RAKOLL<sup>®</sup> – ECO D3, což je PVAC lepidlo od stejného výrobce se stejnou třídou trvanlivosti, avšak podle technického listu s menší voděodolností. U obou zkoušek bylo porováno také vzniklé porušení ve dřevě. Jelikož je spárovka jednovrstevná deska z masivního dřeva, byla stanovena také hustota spárovky podle EN 323, poněvadž hustota materiálu má podstatný vliv na mechanické vlastnosti materiálu.

Podle vícefaktorové ANOVY průměrných hodnot hustot spárovky bylo zjištěno, že mezi stejnými dřevinami není statisticky významný rozdíl (hustota DB spárovky u výrobce 1 = 668,99 kg/m<sup>3</sup>, u výrobce 2 = 686,11 kg/m<sup>3</sup>; hustota BK spárovky u výrobce 1 = 724,30 kg/m<sup>3</sup>, u výrobce 2 709,44 kg/m<sup>3</sup>). Tudíž poskytnutý materiál od dvou různých výrobců by měl mít podobné mechanické vlastnosti. Dále je patrné, že

hustota spárovky se podobá hustotě dřeva, což dokládá, že podíl lepidla obsažený v jednovrstevných deskách z rostlého dřeva je zanedbatelný.

Před srovnáváním výsledků je nutné zmínit některé rozdíly obou norem hodnotící pevnost lepeného spojení, které budou v další části diskuze zmiňovány.

Průběh kondicionování (příprava, expozice) u normy EN 205 se při použití PVAC lepidle řídil normou EN 204. Tato norma stanovuje prostředí a dobu kondicionování zkušebních vzorků dle třídy trvanlivosti lepidla D1 až D4. Pro lepidla D3 stanovuje tři typy prostředí, které jsou v této práci označeny jako tah 1, tah 3 a tah 4. Pro dané kondicionování jsou pak v normě EN 204 stanoveny průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení, kterých má testované lepidlo dosahovat, aby tuto normu splnilo. Díky tomu je možné pozorovat, jak se lepený spoj chová při různém kondicionování. Naproti tomu u EN 13354 se prostředí a doba kondicionování určuje podle prostředí, do kterého je jedno nebo vícevrstevná deska určena (suché, vlhké, venkovní prostředí). Každému prostředí je pak přiřazen jeden typ kondicionování. Norma EN 13353+A1 pak stanovuje hodnotu pevnosti lepeného spojení a procentuální porušení ve dřevě jaké by deska měla dosahovat po daném kondicionování.

Je tedy zřejmé, že v kondicionování je patrný rozdíl u těchto dvou hodnocení pevnosti lepeného spojení. Pro zachycení rozdílu mezi těmito metodami byla EN 13354 pro potřeby této práce doplněna o dva druhy kondicionování. Jednalo se o kondicionování 7S, které se podobalo kondicionování tah 1 a kondicionování 1V7S, které bylo podobné s kondicionováním tah 4. Tímto způsobem bylo možné pozorovat, jak se bude chovat pevnost lepeného spojení v případě obou zkoušek v relativně stejných podmínkách s tím rozdílem, že u kondicionování tah 3 byly zkušební vzorky po dobu 4 dnů ve vodě a u kondicionování 1V pouze 1 den ve vodě.

Rozdíl u zkoumaných norem je dále v ploše, na které je pevnost lepeného spojení testována. U normy EN 205 má zkoumaná plocha rozměry  $20 \times 10$  mm. Pro tuto diplomovou práci měla plocha rozměry  $18 \times 10$  mm ( $180 \text{ mm}^2$ ). V případě EN 13354 má plocha určená ke zkoumání pevnosti rozměry  $25 \times t$  (tloušťka desky) mm. V našem případě šlo tedy o rozměry  $25 \times 18$  mm ( $450 \text{ mm}^2$ ). Jedná se tedy o plochu 2,5krát větší než v případě normy EN 205.

Zkušební vzorky podle EN 205 byly zatěžovány smykovou silou tahovým namáháním a vzorky EN 13354 zase smykovou silou, vytvářenou však tlakovým namáháním. Vyjádření výsledku testování se u obou norem neliší. Vždy jde o podíl maximální síly [N], při které došlo k destrukci lepeného spojení a zkoušené lepené

plochy [mm<sup>2</sup>], na kterou síla působila. U obou hodnocení je výsledná pevnost lepeného spojení stanovena v N/mm<sup>2</sup> neboli v MPa.

Samotné vyhodnocení pevnosti lepení stanovují normy EN 204 a 13353+A1. EN 204 porovnává průměrné hodnoty dosažených při zkoušce EN 205. Norma EN 13353+A1 zase posuzuje pevnost podle 5% dolního kvantilu vypočítaného z naměřených hodnot pevnosti lepeného spojení podle EN 13354. Navíc zkouška podle EN 205 se provádí na bukových vzorcích, kdežto EN 13354 se provádí na vzorcích z jednovrstevných nebo vícevrstevných desek bez ohledu na dřevinu, z níž byla deska vyrobena.

Výsledky diplomové práce především pomohly odpovědět, zda zmíněné rozdíly mají vliv na výsledné hodnoty pevnosti lepeného spojení a zda je možné výsledky z jednoho hodnocení porovnávat s výsledky z druhého hodnocení.

Bylo zjištěno, že u zkušebních vzorků tah 1 a 7S kondicionovaných za normálních podmínek docházelo k mírně vyšší průměrné pevnosti lepeného spoje u vzorků 7S testovaných dle EN 13354. Tento mírný rozdíl je přisuzován větší testované ploše vzorků 7S, což bylo potvrzeno i v jiných studiích (Hegyí et al., 2014). Dále bylo možné při tomto kondicionování (tah 1 a 7S) pozorovat vyšší pevnost u bukových vzorků. To bylo způsobeno vyšší mechanickou pevností buku při smykovém namáhání. Porušení ve dřevě dosahovalo u vzorků z bukové spárovky hodnot kolem 80 % u obou výrobců i obou zkoušek, u spárovky z dubu se průměrné porušení ve dřevě pohybovalo okolo 90 %. Tento rozdíl je opět přisuzován mechanickým vlastnostem dřeviny. Pokud dojde na srovnání průměrné hodnoty z kondicionování tah 1 s průměrnými hodnotami v normě EN 204, lze dovodit následující. Bukové vzorky obou výrobců lepeny lepidly s třídou trvanlivosti D3 dosáhly vyšších hodnot, než předepisuje daná norma (průměrná hodnota pevnosti lepeného spojení větší než 10 N/mm<sup>2</sup>). Dubová tělesa danou průměrnou hodnotu pevnosti nesplnily, z důvodu menší mechanické pevnosti dubového dřeva. Dá se však hovořit o tom, že lepidlo i na dubových vzorcích vykazovalo vysokou pevnost, poněvadž podíl porušení ve dřevě byl větší než 90 %. U tělísek zkoušených podle normy EN 13354 není možné srovnání s normou, poněvadž dané kondicionování bylo vytvořeno pro účely této diplomové práce. Je však patrné, že dané PVAC lepidlo ať už u výrobce 1 či 2 zajišťuje dostatečně pevné spojení v případě, že lepený spoj je vystaven normálním podmínkám, což dokládá i Bomba et al. (2014) ve své studii.

Kondicionování tah 3 a 1V, kdy byly vzorky podrobeny zatížení vlhkosti, se u zkoumaných norem EN 205 a EN 13354 liší dobou tohoto působení. Vícefaktorovou

ANOVOU průměrných středních hodnot bylo zjištěno, že až na sadu vzorků 1V-DB od výrobce 1 se průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení od sebe neliší. Je však nutné brát v úvahu, že do průměrných hodnot nejsou započítána tělíska rozlepená v průběhu kondicionování. Zde se jasně projevil delší časový úsek kondicionování u normy EN 205 a došlo zde k rozlepení 12 zkušebních vzorků během kondicionování z celkového počtu 59. U normy EN 13354 vlivem kondicionování nedošlo k rozlepení žádných zkušebních vzorků. Je tedy patrné, že rozdíl v kondicionování má výrazný vliv na počet rozlepených vzorků, i když průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení se příliš nelišily. Dále je zde možné sledovat mírně vyšší pevnost lepeného spojení u dubových spárovek. To je přisuzováno anatomické stavbě dubového dřeva, která je schopna do svých základních stavebních elementů absorbovat více lepicí směsi. Podíl porušení ve dřevě u obou norem při kondicionování tah 3 a 1V byl 0%, až na dubové vzorky od výrobce 1, u kterých při kondicionování tah 3 a 1V došlo k porušení kolem 5 %. Tento minimální rozdíl mohl zapříčinit typ lepidla. Při srovnání naměřených průměrných hodnot podle EN 205 s průměrnými hodnotami v EN 204, která stanovuje, že průměrná hodnota při kondicionování tah 3 má být větší než  $2 \text{ N/mm}^2$ , bylo zjištěno, že průměrné hodnoty pro bukové vzorky u obou výrobců (výrobce 1 tah 3-BK =  $1,39 \text{ N/mm}^2$  a výrobce 2 tah 3-BK =  $1,09 \text{ N/mm}^2$ ) nesplňují předepsanou hodnotu. U dubové spárovky naopak oba výrobci danou hodnotu splňují (výrobce 1 tah 3-DB =  $2,31 \text{ N/mm}^2$  a výrobce 2 tah 3-DB =  $2,37 \text{ N/mm}^2$ ). U normy EN 13354 je pro splnění požadavků nutné, aby 5% dolní kvantil nebyl menší než  $2,5 \text{ N/mm}^2$  a u desek s hustotou pod  $600 \text{ kg/m}^3$  je nutné, aby podíl porušení ve dřevě byl větší než 40 %, což v případě této diplomové práce není nutné dosáhnout, jelikož desky měly hustotu vyšší. Při porovnání výsledků s normou bylo zjištěno, že předepsané hodnotě vyhovují pouze dubové spárovky (výrobce 1 1V-DB 5% dolní kvantil =  $4,50 \text{ N/mm}^2$ , výrobce 2 1V-DB 5% dolní kvantil =  $4,04 \text{ N/mm}^2$ ). Bukové spárovky hodnotu předepsanou normou nesplňovaly (výrobce 1 1V-BK 5% dolní kvantil =  $0,38 \text{ N/mm}^2$ , výrobce 2 1V-BK 5% dolní kvantil =  $0,32 \text{ N/mm}^2$ ). Při tomto kondicionování se projevilo chování termoplastického PVAC lepidla a jenom se tak potvrdila jeho špatná odolnost vůči působení vlhkosti. Bylo zřejmé, že s delším časovým působením dochází k výrazné delaminaci lepeného spojení u tohoto typu lepidla. Stejný jev popisují u PVAC lepidel ve své publikaci Bomba et al. (2014).

Po posledním kondicionování tah 4 a 1V7S, kdy byly vzorky vystaveny vlhkostnímu zatížení a následně byly ponechány 7 dní při normálních podmínkách, se pevnost

lepeného spojení změnila následovně. U dubových vzorků testovaných podle normy EN 13354 se průměrné hodnoty pevnosti téměř vyrovnaly průměrným hodnotám naměřených u vzorků s kondicionováním 7S (výrobce 1 7S-DB = 14,39 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 1 1V7S-DB = 13,17 N/mm<sup>2</sup>) podobně tomu bylo i výrobce 2. U bukových tělísek dle EN 13354 byl rozdíl mezi průměrnou pevností mezi kondicionováním 7S a 1V7S zhruba poloviční. Navíc zde byl patrný i rozdíl mezi oběma výrobci (výrobce 1 7S-BK = 16,47 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 1 1V7S-BK = 10,57 N/mm<sup>2</sup>; výrobce 2 7S-BK = 17,35 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 2 1V7S-BK = 6,63 N/mm<sup>2</sup>). Vícefaktorovou ANOVOU průměrných hodnot pevnosti lepeného spojení u testovaných vzorků podle EN 205 u obou výrobců, v případě obou dřevin při kondicionování tah 4 nebylo zjištěno statisticky významného rozdílu v průměrných hodnotách pevnosti lepeného spoje. Při porovnání pevnosti lepeného spojení kondicionovaných vzorků tah 1 se hodnoty pevnosti lepeného spojení při kondicionování 4 dostaly minimálně na poloviční hodnoty tah 1 (výrobce 1 tah 1-BK = 12,16 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 1 tah 4-BK = 8,13 N/mm<sup>2</sup>; výrobce 2 tah 1-DB = 9,29 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 2 tah 4-DB = 6,99 N/mm<sup>2</sup>). Navíc zde není statisticky významný rozdíl pevnosti lepeného spojení mezi dřevinami ani mezi výrobci. Při porovnání hodnot z obou testování při kondicionování tah 4 a 1V7S zjistíme, že nejvyšších hodnot dosahují vzorky dubové spárovky testované podle normy EN 13354, což bude způsobeno kratší dobou vlhkostního namáhání při kondicionování 1V7S. Dále na to může mít vliv i větší zkoušená plocha, ve které je zapojeno více anatomických elementů dubového dřeva, které dává možnost k vytvoření kolíkových spojů (mechanická adheze). Podíl porušení ve dřevě u pevnosti lepeného spojení stanovovaného podle EN 205 se s nárůstem pevnosti lepeného spojení zvyšoval. Stejně tomu bylo u hodnocení podle EN 13354. Vyšších hodnot podílu porušení ve dřevě při EN 205 i EN 13354 dosahoval výrobce 1. Tato skutečnost je připisována použitému typu lepidla u výrobce 1. Nesmí být také opomenout fakt, že v důsledku kondicionování tah 4 došlo opět k rozlepení 5 (výrobce 2 tah 4-BK 4 ks, výrobce 2 tah 4-DB 1ks) zkušebních vzorků z celkových 60 vzorků. Při srovnání průměrných hodnot pevnosti lepeného spojení předepsaných normou (tah 4 = průměrné hodnoty vyšší než 8 N/mm<sup>2</sup>) s průměrnými hodnotami naměřenými v této práci dojdeme k následujícímu závěru.

Jedinou sadou, která splnila tuto podmínku, byla sada tah 4-BK od výrobce 1 s průměrnou hodnotou lepeného spojení 8,13 N/mm<sup>2</sup>. Ostatní sady vzorků danou podmínku nesplnily (výrobce 1 tah 4-DB = 6,55 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 2 tah 4-BK = 6,07 N/mm<sup>2</sup>, výrobce 2 tah 4-DB = 6,99 N/mm<sup>2</sup>). Pro výsledky lepeného spojení při



kondicionování 1V7S podle EN 13354 neexistuje srovnání s normou. Opět se při obou hodnocení jak při EN 205, tak při EN 13354 projevilo chování PVAC lepidla, které po ukončení vlhkostního zatížení postupně zvyšuje pevnost lepeného spojení. Tento jev dokazují Bomba et al. (2014), kteří ve své studii porovnávali chování PVAC a PUR lepidel při vlhkostním zatížení.

## 7. ZÁVĚR

V dnešní době mají lepidla nezastupitelnou pozici při vytváření nerozebíratelných spojů. Platí to v mnoha oborech a ne jinak je tomu v nábytkářském průmyslu. Důležitou vlastností lepeného spoje je jeho pevnost. V této diplomové práci byly porovnávány dvě metody hodnocení pevnosti lepeného spoje. Jednalo se o hodnocení podle EN 205 a EN 13354. I přesto, že výsledky zjištěné v této diplomové práci se mezi sebou výrazně nelišily, jak je popsáno v kapitole 6, není vhodné tyto způsoby hodnocení a hlavně výsledky z nich získané nějak zaměňovat.

Hodnocení pevnosti lepeného spojení dle EN 205 je určeno pro zařazení lepidla do tříd trvanlivosti D1 až D4 nebo C1 až C4. V zásadě by ho měli využívat výrobci lepidla, aby zjistili, jaké třídy trvanlivosti jejich lepidlo dosahuje a neklamali tak zákazníky, kteří tyto lepidla používají pro výrobu finálních produktů. Dále je nutné, aby se testování provádělo na zkušebních vzorcích z buku, poněvadž u dřevin s nižšími mechanickými vlastnostmi nebo s rozdílnou anatomickou stavbou dřeva dochází v některých případech k rozdílné pevnosti lepeného spojení.

EN 13354 hodnotí pevnost jednovrstvých nebo vícevrstvých desek z rostlého dřeva bez ohledu na typ použitého lepidla a dřevinu použitou pro výrobu desek. Hodnocení je zde nastaveno podle prostředí, kterému bude deska vystavena u finálního zákazníka. Tento způsob testování je spíše určen pro výrobce masivních desek, kteří podle něj mohou deklarovat pevnost lepeného spojení svým zákazníkům.

Z výsledků diplomové práce lze vyvodit některá doporučení, která mohou mít své opodstatnění pro praxi:

- výrobci 1 i 2 budou předloženy zjištěné výsledky a bude jim navržena možná změna lepidla např. D4 RAKOLL® GLX 4, které je však při maloobchodním srovnání cen v průměru o 10-15 Kč dražší než používané typy lepidel, ale mělo by lépe odolávat vlivům vlhkosti;
- při výběru lepidel je vždy nutné si uvědomit, jaké vlivy na lepený spoj budou působit (teplo, vlhko atd.) a tomu pak přizpůsobit i výběr lepidla;
- pokud je patrné, že na lepený spoj bude působit vysoká vlhkost (koupelnový nábytek, zahradní nábytek), je lepší zvolit termoreaktivní typy lepidel jako jsou např. polyuretanová lepidla, melaminoformaldehydové lepidla atd.;
- podíl porušení ve dřevě je možné hodnotit digitální obrazovou analýzou, pro snadnější prahování je vhodné do lepidla přidat barvu nesnižující pevnost spoje.

## SUMMARY

The adhesives have had irreplaceable position in creation of permanent joints recently. That statement is actual in many branches, especially in furniture industry. An important character of adhesive joints is their strength. Two methods that are focused on assessment of solid woods boards' strength were compared in this thesis. The assessment was performed under two standards – EN 205 and EN 13354. Although the results were quite similar, as being described in chapter 6, it is not suitable to substitute those two ways of assessment as well as to substitute the results.

Assessment of adhesive joints' strength according to EN 205 is intended for glues classified as glues with durability of classes D1, D2, D3, D4 or C1, C2, C3, C4. The assessment should be used primarily by adhesive producers to find out which class of durability their glue fits in. That knowledge helps to prevent customer deception. The tests should be done on samples made of beech wood. In case of using some different wood with different mechanical characteristics and anatomical structure of wood can be the strength of adhesive joints different, too.

The standard EN 13354 evaluates the strength of single-layer and multilayer solid wood boards regardless of type of used adhesive or type of wood. The assessment is influenced only by surroundings very similar to circumstances of final use of the boards by consumer. Use of the standard EN 13354 is more suitable for solid wood boards' producers who want to declare the standard of strength to their customers.

It is practical to mention some recommendation based on the thesis:

- The results will be given to both producers (1 and 2). It will be suggested to replace the glue they are using by for example D4 RAKOLL® GLX 4. This adhesive is more resistant to moistness. On the other hand the price of the glue is a little bit higher (about 10 or 15 CZK per piece in retail business).
- The choice of glue always depends on circumstances that will be the adhesive joint exhibited (moistness, warmth).
- Those producers who use the adhesives for bathroom or garden furniture, where is the influence of moistness higher, should choose thermosetting types of adhesives such as polyurethane or melamine adhesives.
- The percentage part of joint violation can be evaluated through digital image analysis. It is suitable to add a colour to the glue. The colour must not influence the joint strength but helps with easier thresholding.

# PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ

## Literární zdroje

BOMBA, J., ŠEDIVKA, P., BÖHM, M., DEVERA, M. *Influence of Moisture Content on the Bond Strength and Water Resistance of Bonded Wood Joints*. BioResources, 2014, roč. 9, č. 3, s. 5208-5218. ISSN: 1930-2126.

BOMBA, J., CVACH, J., ŠEDIVKA, P., KVIETKOVÁ, M. *Strength Increase Pattern in Joints Bonded with PVAc Adhesives*. BioResources, 2014, roč. 9, č. 1, s. 1027-1037. ISSN: 1930-2126.

BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J. *Materiály na bázi dřeva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.

EISNER, K., BERGER, V., HAVLÍČEK, V., OSTEN, M. *Průručka lepení dřeva*. Vyd. 2. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 288 s.

HŘEBÁČKOVÁ, J. 2013 *Pevnosti lepených spojů stolového nábytku ovlivněných extrémním působením tepla*. Diplomová práce Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 91 s.

KARLSSON, S., WONG, M. 2004 *Experimentell undersökning av provkroppar för trälimfogar*. Master's dissertation Lund: Lund University Sweden, Division of Structural Mechanics. 72 s.

KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 206 s. ISBN 80-715-7878-9.

KRÁL, P. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.

MANDINEC, J. 2012 *Porovnání dvou metod měření podílu letního dřeva: standartní metoda vs. metody zpracování obrazu*. Bakalářská práce Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 51 s.

MRŇOUS, V. 2010 *Pevnost lepených spojů listnatých druhů dřev, vystavených extrémním podmínkám*. Bakalářská práce Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 70 s.

MUZIKÁŘ, Z. *Materiály II: pro UO truhlář*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2008, 175 s. ISBN 978-80-7333-061-3.

NUTSCH, W. *Příručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, 615 s. ISBN 80-867-0614-1.

PEKAŘ, J. 2007 *Vliv technologických parametrů na pevnost lepených spojů*. Diplomová práce Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 83 s.

ROWELL, Roger M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005, 485 p. ISBN 08-493-1588-3.

SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárskom priemysle*. Vyd. 1 Ve Zvoleně: Technická univerzita vo Zvolene, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ L. *Stavba dřeva: (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7375-168-5.

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

TRÁVNÍK, A. *Technologické operace výroby nábytku*. Dotisk Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, 178 s. ISBN 978-80-7157-865-9.

UHLÍŘ, A. *Technologie výroby nábytku II pro 3. ročník studijního oboru nábytkářství*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Informatorium, 1997, 255 s. ISBN 80-860-7309-2.

WAGENFÜHR, R. *Dřevo: obrazový lexikon*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002, 347 s. ISBN 80-247-0346-7.

## Online zdroje

BOONSTRA, M., SERNEK, M., PIZZI, A., DESPRES, A., GÉRARDIN, P. *Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives*. Holz als Roh- und Werkstoff [online]. 2008, vol. 66, issue 3, s. 173-180 [cit. 2015-03-15]. DOI: 10.1007/s00107-007-0218-0. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00107-007-0218-0>

CLAUß, S., JOSCAK, M., NIEMZ, P. *Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests*. European Journal of Wood and Wood Products [online]. 2011, vol. 69,

issue 1, s. 101-111 [cit. 2015-03-15]. DOI: 10.1007/s00107-010-0411-4. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00107-010-0411-4>

DUNKY, M. *Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood*. International Journal of Adhesion and Adhesives [online]. 1998, pp. 95-107 [cit. 2015-03-20]. ISSN 0143-7496.

HEGYI, A., DICO, C., CĂLĂȚAN, G., CAZAN, O. *Comparative study on the mechanical performance of beech and ash laminated panels*. Construcții [online]. 2014, pp. 21-28 [cit. 2015-03-30] ISSN: 1221 - 2709 (print), 2247-0328 , 1/2014: 21-28  
2014 Dostupné z:

[http://constructii.incerc2004.ro/Archive/2014-1//Constructii\\_2014\\_Vol.15\\_No.1\\_ID2014150103.pdf](http://constructii.incerc2004.ro/Archive/2014-1//Constructii_2014_Vol.15_No.1_ID2014150103.pdf)

LITTORIN, M. *Exposure biomarkers and risk from gluing and heating of polyurethane*. Occupational and Environmental Medicine [online]. 2000, vol. 57, issue 6 [cit. 2015-03-15]. DOI: 10.1136/oem.57.6.39

ZEJDA, J., TIPPNER, J., SEBERA, V., KOŇASOVÁ, E., DÁNIEL, V. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva* [online]. 2007 [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?opora=554>

<http://www.rakoll.cz/>

<http://www.imagej.net>

## **Normy**

ASTM D905: Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading, 2013

ČSN EN 204: Klasifikace termoplastických lepidel pro nekonstrukční aplikace, 2001

ČSN EN 205: Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání, 2003

ČSN EN 302-1: Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání, 2013

ČSN EN 323: Dosky ze dřeva. Zisťovanie hustoty, 1994

ČSN EN 326-1: Desky ze dřeva - Odběr vzorků, nařezávání a kontrola - Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky, 1997

ČSN EN 12765: Klasifikace reaktoplastických lepidel pro nekonstrukční aplikace, 2002

ČSN EN 12775: Desky z rostlého dřeva – Klasifikace a terminologie, 2001

ČSN EN 13353+A1: Desky z rostlého dřeva (SWP) – Požadavky, 2011

ČSN EN 13354: Desky z rostlého dřeva (SWP) – Kvalita lepení – Metoda zkoušení, 2009

ČSN EN 392: Lepené lamelové dřevo – Smyková zkouška lepených spojů, 1996

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Variabilita hustoty spárovky u výrobce 1 a 2 pro dřevinu BK a DB .....	75
Graf 2 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot hustoty spárovky .....	75
Graf 3 Variabilita kvality lepení podle ČSN EN 13354 u bukové a dubové spárovky po různé přípravě pro výrobce 1 .....	78
Graf 4 Variabilita kvality lepení podle ČSN EN 13354 u bukové a dubové spárovky po různé přípravě pro výrobce 2 .....	79
Graf 5 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 s působením faktorů výrobce, dřevina a příprava .....	80
Graf 6 Variabilita pevnosti lepeného spojení podle EN 205 u bukové a dubové spárovky pro výrobce 1 při různých expozicích.....	82
Graf 7 Variabilita pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 u bukové a dubové spárovky pro výrobce 2 při různých expozicích.....	83
Graf 8 Vícefaktorová ANOVA průměrných hodnot pevnosti lepeného podle ČSN EN 205 s působením faktorů výrobce, expozice a dřevina.....	84
Graf 9 Porovnání rozlepených vzorků při ČSN EN 205 v průběhu působení expozice mezi výrobcem 1 a 2.....	85
Graf 10 Vícefaktorová ANOVA středních hodnot obou metod ČSN EN 13354 a ČSN EN 205 při interakci faktorů výrobce, dřevina a příprava (expozice) .....	86
Graf 11 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce kvality lepení ČSN EN 13354 u výrobce 1 pro bukovou a dubovou spárovku při různé přípravě .....	89
Graf 12 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce kvality lepení ČSN EN 13354 u výrobce 2 pro bukovou a dubovou spárovku při různé přípravě .....	89
Graf 13 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 u výrobce 1 pro bukovou a dubovou spárovku při různé expozici.....	90
Graf 14 Závislost porušení ve dřevě při zkoušce pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205 u výrobce 2 pro bukovou a dubovou spárovku při různé expozici.....	91

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Různé způsoby sesazování přířezů do spárovky (Uhlíř, 1997) .....	17
Obr. 2 Konstrukce laťovkových středů; A – motouzový střed, B – lepený střed (Král, 2011) .....	21
Obr. 3 Třívrstvá deska z masivního dřeva – bideska (Böhm et al., 2012).....	24



Obr. 4 Smyková pevnost MEF lepidel při různé teplotě (Clauß et al., 2011) .....	47
Obr. 5 Smyková pevnost PVAC lepidel při různých teplotách (Clauß et al., 2011) .....	51
Obr. 6 Nárůst pevnosti různých značek PVAC lepidel v čase (Bomba et al., 2014).....	52
Obr. 7 Schéma zkušební vzorku pro stanovení podélné smykové pevnosti podle ČSN EN 302-1 .....	55
Obr. 8 Zkušební těleso pro ASTM D905 (Karlsson a Wong, 2004) .....	57
Obr. 9 Zkušební zařízení pro ASTM D905 (Karlsson a Wong, 2004).....	57
Obr. 10 Přestavitelný smykový přípravek pro ČSN EN 13354 .....	58
Obr. 11 Zkušební těleso pro ČSN EN 13354.....	65
Obr. 12 Zkušební těleso pro ČSN EN 205.....	67
Obr. 13 Původní snímek .....	71
Obr. 14 Snímek po převedení na 8bitový .....	71
Obr. 15 8bitový snímek před prahováním .....	72
Obr. 16 Snímek po prahování .....	72
Obr. 17 Histogram vzorku po prahování .....	72
Obr. 18 Přestavitelný smykový přípravek se zkušebním vzorkem pro ČSN EN 13354	73
Obr. 19 Čelisti se zkušebním tělesem pro ČSN EN 205 .....	73

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozměrové tolerance velkých a středních formátů desek podle ČSN EN 13353+A1 .....	14
Tab. 2 Rozdělení lepidel používaných v dřevařském průmyslu (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998).....	45
Tab. 3 Rozdělení tavných lepidel (Nutsch et al., 2006).....	54
Tab. 4 Vybrané vlastnosti dřeva dubu (Zejda et al., 2007).....	60
Tab. 5 Vybrané vlastnosti dřeva buku lesního (Zejda et al., 2007) .....	62
Tab. 6 Přehled zkušebních vzorků pro diplomovou práci .....	63
Tab. 7 Příprava jednovrstvé a vícevrstvé desky z rostlého dřeva podle ČSN EN 13354	66
Tab. 8 Nastavení expozice pro lepidla D1 až D4 podle ČSN EN 204 .....	68
Tab. 9 Hustota spárovky za normálních podmínek, popisná statistika.....	74
Tab. 10 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot hustot spárovky v závislosti na výrobcí a dřevině pomocí homogenních skupin .....	76
Tab. 11 Kvalita lepení podle ČSN EN 13354 bukové a dubové spárovky po různé přípravě u výrobce 1, popisná statistika.....	77

Tab. 12 Kvalita lepení podle ČSN EN 13354 bukové a dubové spárovky po různé přípravě u výrobce 2, popisná statistika.....	78
Tab. 13 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 v závislosti na výrobci, dřevině a přípravě pomocí homogenních skupin .....	80
Tab. 14 Pevnost lepeného spojení podle ČSN EN 205 u výrobce 1, popisná statistika .	81
Tab. 15 Pevnost lepeného spojení podle ČSN EN 205 u výrobce 2, popisná statistika .	83
Tab. 16 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 v závislosti na výrobci, dřevině a expozici pomocí homogenních skupin .....	85
Tab. 17 Výsledky Tuckeyho testu vícenásobného porovnání středních hodnot kvality lepení podle ČSN EN 13354 a pevnosti lepeného spojení podle ČSN EN 205 v závislosti na výrobci, dřevině a expozici pomocí homogenních skupin.....	87
Tab. 18 Průměrné hodnoty kvality lepení ČSN EN 13354, průměrné porušení ve dřevě při ČSN EN 13354 a počet zkoumaných vzorků u výrobce 1 a 2 .....	88
Tab. 19 Průměrné hodnoty pevnosti lepeného spojení ČSN EN 205, průměrné porušení ve dřevě při ČSN EN 205 a počet zkoumaných vzorků u výrobce 1 a 2.....	90

# PŘÍLOHY

## A) Technický list RAKOLL® – ECO D3



### Technický list

### ECO 3

Jednosložkově splňuje požadavky skupiny D 3, smícháním s tvrdidlem D 4

#### Vlastnosti

RAKOLL®-ECO 3 je PVAc lepidlo s dobrou vodoodolností, které při jednosložkovém zpracování splňuje požadavky skupiny D3 a smícháním s RAKOLL®-GXL 3-Härter splňuje požadavky skupiny D4 dle DIN EN CZ 204/205.

RAKOLL®-ECO 3 vytvrzuje velmi rychle. Lisování za tepla umožňuje velmi krátké časy. Lepené spáry se vyznačují dobrou tepelnou odolností.

Při opracovávání lepené spáry šetří nástroje.

#### Zatřídění dle DIN EN CZ 204 / 205

jednosložkově : D3

s RAKOLL®-GXL-3 Härter smícháním : D4

#### Použití

Příklady klimatických podmínek a oblastí použití :

- D-3 : vnitřní prostory s častým výskytem odtékající vody nebo zkondenzované vody / nebo dlouhodobé působení vyšší vzdušné vlhkosti  
Venkovní oblast : chránit před působení povětrnostních podmínek
- D-4 : vnitřní prostory s častým silným působením odtékající vody nebo zkondenzované vody.  
Venkovní oblast odolává povětrnostním podmínkám, avšak s dostatečnou povrchovou úpravou
- plošné lepení dekoračních folií
- vysokofrekvenční lepení
- stacionární olepování hran z dýhy, laminátu a masivních dřevěných lišt
- plošné lepení HPL/CPL v taktovém lisu
- korpusové a montážní lepení
- lepení spárovky, laťovky a bloků z měkkého i tvrdého dřeva

#### Pokyny pro zpracování

Otevřený čas a lisovací čas jsou silně při práci ovlivněny např.: teplotou, vlhkostí vzduchu, savostí materiálu, naneseným množstvím a pnutím v materiálu.

Dobrých výsledků je dosaženo za následujících předpokladů :

Teplota místnosti a materiálu	18 ... 20 °C
Vlhkost dřeva	8 ... 10 %
Relativní vlhkost vzduchu	60 ... 70 %

Množství nánosu :

Montážní lepení	160 ... 180 g/m <sup>2</sup>
Plošné lepení	80 ... 140 g/m <sup>2</sup>

Otevřený čas při 150 g/m <sup>2</sup>	8 ... 10 min.
Lisovací tlak u dílů bez pnutí	0,1 ... 0,8 N/mm <sup>2</sup>

Minimální lisovací čas :

plošné lepení dekoračních folií v taktových lisech	5 ... 10 sec
vysokofrekvenční lepení s ohřevem	od 15 sec
plošné lepení HPL/CPL v taktových lisech při 70 °C	od 45 sec
montážní lepení	8 ... 15 min
spárovka, lepení bloků	10 ... 15 min

Lamelování okenních hranolů:

Dle směrnice i.f.t. Rosenheim „Lamelované profily pro dřevěná okna „ musí být vlhkost dřeva 13 ± 2 %.  
Teplota místnosti a dřeva musí být min. + 15 °C.

#### Mísicí poměr

100 hmotnostních dílů RAKOLL®-ECO 3 s  
5 hmotnostními díly RAKOLL®-GXL-3 Härter

Lepidlo a Härter vzájemně důkladně promíchat.

#### Hrncový čas

Cca 24 hod. při normální teplotě. Při teplotě nad 25°C se hrncový čas zkracuje.

#### Příprava dřeva

Díly musí být čisté, bez prachu a mastnoty. Nepřesnosti ( tolerance ) v sestavení dílů prodlužují lisovací čas a snižují pevnost.

Opracování dřev by mělo být provedeno krátce před lepením.

### Nános lepidla

RAKOLL<sup>®</sup>-ECO 3 se obvykle nanáší jednostranně, při požadavku na vyšší vodoodolnost také oboustranně, nanášecím zařízením, válečkem, štětcem nebo jiným zařízením v tenké, rovnoměrné vrstvě.

### Lisování

Lepené díly spojíme v průběhu otevřeného času a lisujeme tak dlouho, dokud není dosaženo dostatečné počáteční pevnosti. Lisovací tlak by měl být tak velký, aby se lepená spára v celé délce uzavřela.

Počáteční pevnost lepené spáry potřebná k dalšímu zpracování se dosáhne v závislosti na druhu materiálu a druhu spoje za krátký čas. Vyšší odolnost lepené spáry vůči vodě se tvoří pomaleji a dosáhne se cca až po 7 dnech po slepení.

### Barvení dřeva

S ohledem na rozdílné složení jednotlivých látek ve dřevě, v závislosti na oblasti růstu může dojít v jednotlivých případech k zabarvení spoje, např. u buku, třešni apod.

Vedle toho může kov ve spojení s kyselinami ve dřevě způsobit barevné změny, zvláště u dubu.

Doporučujeme provést vlastní zkoušky.

### Chemicko-technické údaje

	RAKOLL <sup>®</sup> - ECO 3	RAKOLL <sup>®</sup> - GXL-3 Härter	směs
Base:	PVAc – disperze	polyiso- kvanát	
Barva :	bílá	bezbarvý	bílá
Viskozita :	cca 9.600 mPas	-	cca 9.000 mPas (Brookf. HBT, kužel 3, 20 Upm, měřeno při + 20°C)
Bílý bod :	cca + 7 °C		cca + 7 °C
pH :	cca 3		cca 3

### Čištění

Pracovní nástroje před zaschnutím lepidla vodou.

### Technický stav : prosinec 2007

Od tohoto data jsou odlišné údaje uvedené v dřívě vydaných technických listech neplatná.

### Důležitá upozornění:

Speciální produkt k použití jen po technickém obeznámení zpracovávajícími odbornými pracovníky za přísného dodržování údajů v technických specifikacích.

Chraňte před dětmi! Neskladovat společně s potravinami. Nádoby dobře uzavřít, dobře uložit!

Naše písemné pokyny, technické specifikace, návod k užívání a jiné tištěné specifikace jsou sestaveny na základě našich nejlepších vědomostí, vlastních pokusů, výsledků našich výzkumů a našich praktických zkušeností. Současně platí námi předané ústní informace. Zaručujeme stálou kvalitu našich produktů, Výsledek jejich použití a zpracování závisí na dodržení podmínek, neboť naše produkty podléhají faktorům, které nemůžeme ovlivnit a v jejich celistvosti posoudit. Naše technické poradenství, slovní, písemné a zkoušky jsou nezávazného charakteru-také se zřetel na právní ochranu a je osvozeno od zkoušek našich produktů na jejich vhodnost pro cíle.

### Vhodnost skladovacích nádob, vedení a nanášecích zařízení

Skladovací tanky, vedení a nádoby z kovu, pozinkovaného kovu, hliníku či jiných barevných kovů nejsou vzhledem k slabě kyselé reakci disperze vhodné, neboť je zde nebezpečí koroze.

Doporučujeme proto použít skladovací nádoby, vedení a nanášecí zařízení z nerezových materiálů nebo umělých hmot ( tvrzené PVC, PE, polyesterová pryskyřice).

### Označení

RAKOLL<sup>®</sup>-ECO 3 nepodléhá povinnosti označovat dle platných předpisů pro nebezpečné látky.

RAKOLL<sup>®</sup>-GXL-3 Harter nepodléhá povinnosti označovat dle platných předpisů pro nebezpečné látky. Obsahuje však nepatrné množství isokyanátu.

### Bezpečnostní doporučení

Prosíme dbejte pokynů uvedených v Bezpečnostním listu.

### Skladování

V dobře uzavřených originálních baleních při normální teplotě. Teplota nad 25 °C zkracuje minimální skladovací dobu.

RAKOLL<sup>®</sup>-ECO 3 po delším skladování trochu zhoustne. Lepidlo je po důkladném rozmíchání opět použitelné. Zpracovatelnost do 9 měsíců od data výroby.

Citlivé na mraz !

## B) Technický list RAKOLL® EXPRESS D3

# RAKOLL®

Holzklebstoffe

## EXPRESS D3

Jednosložkové D – 3 lepidlo

## Technisches Merkblatt

### Vlastnosti

RAKOLL®-EXPRESS D3 velmi rychle vytvrzuje, zvláště za působení teploty.

### Zatřídění dle DIN EN 204 – D 3

### Použití

- plošné lepení desek HPL/CPL v taktových lisech
- korpusové a montážní lepení
- lepení spárovky, bloků a latovky z měkkého i tvrdého dřeva
- plošné lepení dekoračních folií
- vysokofrekvenční lepení
- stacionární lepení hran z dýhy, laminátu a masivních dřevěných lišt

### Pokyny pro zpracování

Otevřený čas a lisovací čas jsou silně při práci ovlivněny např.: teplotou, vlhkostí vzduchu, savostí materiálu, naneseným množstvím a pnutím v materiálu.

Dobrých výsledků je dosaženo za následujících předpokladů :

Teplota místnosti a materiálu °C	18 ... 20
Vlhkost dřeva	8 ... 10 %
Relativní vlhkost vzduchu	60 ... 70 %

### Množství nánosu :

Montážní lepení	160 ... 180 g/m <sup>2</sup>
Plošné lepení	80 ... 140 g/m <sup>2</sup>

Otevřený čas při 150 g/m <sup>2</sup>	8 ... 12 min.
Lisovací tlak u dílů bez pnutí N/mm <sup>2</sup>	0,1 ... 0,5

### Minimální lisovací čas :

plošné lepení dekoračních folií v taktových lisech	5 ... 10 sec
vysokofrekvenční lepení s ohřevem	od 15 sec
plošné lepení HPL/CPL v taktových lisech při 70 °C	od 45 sec
montážní lepení	8 ... 15 min

spárovka, lepení bloků 10 ...  
15 min

### Příprava dřeva

Díly musí být čisté, bez prachu a mastnoty. Nepřesnosti ( tolerance ) v sestavení dílů prodlužuje lisovací čas a snižuje pevnost.

Zarovnání dřev by mělo být provedeno krátce před lepením.

### Nános lepidla

RAKOLL®-EXPRESS D3 se obvykle nanáší jednostranně, při požadavku na vyšší vodovzdornost také oboustranně, nanášecím zařízením, válečkem, štětcem nebo jiným zařízením v tenké, rovnoměrné vrstvě.

### Lisování

Lepené díly spojíme v průběhu otevřeného času a lisujeme tak dlouho, dokud není dosaženo dostatečné počáteční pevnosti. Lisovací tlak by měl být tak velký, aby se lepená spára v celé délce uzavřela. Počáteční pevnost lepené spáry potřebná k dalšímu zpracování se dosáhne v závislosti na druhu materiálu a druhu spoje za krátký čas. Vyšší odolnost lepené spáry vůči vodě se tvoří pomaleji a dosáhne se cca až po 7 dnech po slepení.

### Barvení dřeva

S ohledem na rozdílné složení jednotlivých látek ve dřevě, v závislosti na oblasti růstu může dojít v jednotlivých případech k zabarvení spoje, např. u buku, třešni.

Vedle toho může kov ve spojení s kyselinami ve dřevě způsobit barevné změny, zvláště u dubu.

Doporučujeme provést vlastní zkoušky.

### Čištění

Pracovní nástroje před zaschnutím lepidla vodou.

 H.B. Fuller

z nerezových materiálů nebo umělých hmot ( tvrzené PVC, PE, polyesterová pryskyřice).

**RAKOLL®-EXPRESS D3**

#### Chemicko-technické údaje

Base: PVAc – disperze  
Barva: bílá  
Viskositá: cca 13.000 mPas  
Brookf. HBT, kužel 3,20

Měřeno při 20 °C  
Bílý bod: cca + 7 °C  
pH: cca 3

#### Vhodnost skladovacích nádob, vedení a nanášecích zařízení

Skladovací tanky, vedení a nádoby z kovu, pozinkovaného kovu, hliníku či jiných barevných kovů nejsou vzhledem k slabé kyselé reakci disperze vhodné, neboť je zde nebezpečí koroze.

Doporučujeme proto použít skladovací nádoby, vedení a nanášecí zařízení

#### Označení

RAKOLL®-EXPRESS D3 nepodléhá povinnosti označovat dle platných předpisů pro nebezpečné látky.

#### Bezpečnostní doporučení prosíme dbejte pokynů uvedených v Bezpečnostním listu.

#### Skladování

V době uzavřených originálních baleních při normální teplotě. Teplota nad 25 °C zkracuje minimální skladovací dobu.

RAKOLL®-EXPRESS D3 po delším skladování trochu zhoustne. Lepidlo je po důkladném rozmíchání opět použitelné.  
Citlivé na mraz !

Technický stav : březen 2003

Od tohoto data jsou odlišné údaje uvedené v dříve vydaných technických listech neplatná.

### Certifikát ISO 9002



H. B. Fuller Austria GesmbH

Kaplanstraße 30  
A-4600 Wels  
Tel. ++43 (0) 72 42 / 409-0  
Fax ++43 (0) 72 42 / 409-359

Prodej v ČR schválen MZ  
ČR odbor HI. hygienika ČR

pod č.:

BITTE BEACHTEN SIE:  
Unsere schriftlichen Hinweise, technischen Merkblätter, Gebrauchsanleitungen und sonstigen Druckschriften sind nach bestem Wissen aufgrund eigener Versuche, der Ergebnisse unserer Forschung und unserer praktischen Erfahrungen zusammengestellt.  
Gleiches gilt für von uns abgegebene mündliche Informationen.  
Wir gewährleisten eine gleichbleibende Qualität unserer Produkte. Ihre Verwendung und Verarbeitung liegt jedoch im Hinblick auf deren Ergebnisse

in Ihrer Verantwortung, da unsere Produkte dabei Faktoren unterliegen, die außerhalb unserer Beeinflussung stehen.  
Unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und Versuch ist unverbindlicher Art – auch in bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter – und befreit Sie nicht von einer ausreichenden Prüfung unserer Produkte auf ihre Eignung für die beabsichtigten Einsatzzwecke und -verfahren.  
Im übrigen gelten unsere allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen entsprechend.