

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA**

**Ústav nauky o dřevě**

**Analýza metod posouzení pevnosti lepených materiálů**

**z masivního dřeva**

Diplomová práce

(Počet příloh: 2)

## Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som prácu: **Analýza metod posouzení pevnosti lepených materiálů z masivního dřeva** vypracoval samostatne a všetky použité pramene a informácie uvádzam v zozname použitej literatúry. Súhlasím, aby moja práca bola zverejňovaná v súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov a v súlade s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Som si vedomý, že sa na moju prácu vzťahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brne má právo na uzavretie licenčnej zmluvy a použitie tejto práce ako školského diela podľa § 60 ods. 1 Autorského zákona.

Ďalej sa zaväzujem, že pred podpísaním licenčnej zmluvy o využití diela inou osobou (subjektom) si vyžiadam písomné stanovisko univerzity o tom, že predmetná licenčná zmluva nie je v rozpore s oprávnenými záujmami univerzity a zaväzujem sa uhradiť prípadný príspevok na úhradu nákladov spojených so vznikom diela, a to až do ich skutočnej výšky.

V Brne, dňa 5. marca 2017

.....

podpis

## **Pod'akovanie**

V prvom rade by som chcel pod'akovať môjmu vedúcemu práce doc. Dr. Ing. Pavlovi Královi za pripomienky a rady, ktoré mi poskytol počas tvorby práce. Ďalej by som rád pod'akoval firme FMP Lignum a firme Rajčan s.r.o. za poskytnutie škároviek na testovanie pre túto diplomovú prácu. V neposlednom rade by som pod'akoval mojej priateľke, rodine, kamarátom a všetkým, ktorí ma podporovali.

## **ABSTRAKT**

**Meno autora:** Ing. Tomáš Pipíška

**Názov diplomovej práce:** Analýza metód posúdenia pevnosti lepených materiálov z masívneho dreva

Táto práca je zameraná na porovnanie pevnosti lepeného spojenia a kvality lepenia v závislosti na podiele porušenia. V prvej časti je spracovaná rešerš jednotlivých typov lepidiel. Na základe rešerše boli vybrané dva typy lepidiel a to PVAC a UF lepidlo. Tieto lepidlá boli použité priamo vo výrobe škárovky a nami testované vzorky boli z dreveniny buku a dubu od oboch typov lepidla, celkom štyri skupiny vzoriek. Súčasťou práce je aj analýza požiadaviek na pevnosť lepeného spoja a výroba vzoriek zo škároviek. Podľa platných noriem bola realizovaná skúška na zistenie hustoty, vlhkosti, pevnosti lepeného spoja, kvality lepenia a podielu porušenia.

**Kľúčové slová:** hustota, kvalita lepenia, pevnosť lepeného spoja, PVAC lepidlo, UF lepidlo, vlhkosť

## **ABSTRACT**

**Author:** Ing. Tomáš Pipiška

**Title of the diploma thesis:** Analysis of methods of assessing the strength of bonded material made from solid wood

This study aims to compare the strength of bonding joint and bonding quality depending on the proportion of violations. The first part contains a research of various types of adhesives. Based on the research, two types of adhesive were chosen - the PVAC and UF adhesives. These adhesives are used directly in manufacturing of solid wood panels. Our test samples were made of beech wood and oak wood using both types of adhesive, four groups of samples altogether. The thesis contains an analysis of the requirements for bonding strength as well as production of samples from solid wood panel. According to current standards, the tests were performed to determine the density, moisture content, strength of bonding joint, the bonding quality and proportion of violations.

**Key words:** bonding quality, density, moisture, PVAC adhesive, strength of bonded joints, UF adhesive

## Obsah

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | Úvod .....  | 11 |
| 2.     | Cieľ a postup práce .....   | 12 |
| 2.1.   | Cieľ práce .....  | 12 |
| 2.2.   | Postup práce .....  | 12 |
| 3.     | Súčasný stav riešenej problematiky.....   | 13 |
| 3.1.   | Rozdelenie dosiek z masívneho dreva .....   | 13 |
| 3.1.1. | Definície dosiek z masívneho dreva .....  | 13 |
| 3.1.2. | Požiadavky na dosky z masívneho dreva .....   | 14 |
| 3.2.   | Škárovky – jednovrstvé dosky z masívneho dreva .....                                    | 16 |
| 3.2.1. | Materiál použitý na výrobu škárovky .....   | 16 |
| 3.2.2. | Technologický postup výroby škárovky.....   | 17 |
| 3.2.3. | Charakteristické znaky škárovky .....   | 18 |
| 3.2.4. | Použitie škárovky v praxi .....   | 18 |
| 3.3.   | Biodosky – trojvrstvé masívne dosky .....   | 19 |
| 3.3.1. | Materiál použitý na výrobu biodosky .....   | 20 |
| 3.3.2. | Technologický postup výroby biodosky.....   | 20 |
| 3.3.3. | Charakteristické znaky biodosky .....   | 20 |
| 3.3.4. | Použitie biodosky v praxi .....   | 20 |
| 3.4.   | Základné poznatky teórie lepenia.....   | 21 |
| 3.4.1. | Mechanická teória.....  | 21 |
| 3.4.2. | Špecifická teória adhézie .....   | 22 |
| 3.4.3. | Záver z adhézných teórií.....   | 25 |
| 3.5.   | Zloženie lepidiel.....  | 27 |
| 3.6.   | Vznik lepeného spoja .....  | 28 |
| 3.6.1. | Tvorba lepidlového filmu roztokových lepidiel .....                                     | 29 |
| 3.6.2. | Tvorba lepidlového filmu vodou riediteľných disperzných lepidiel (odparením vody) ..... | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 3.6.3. Tvorba lepidlového filmu chemickou reakciou (zosieťovanie polyméru a tvrdidla) .....  | 31 |
| 3.6.4. Tvorba lepidlového filmu tavných lepidiel.....  | 31 |
| 3.6.5. Tlakocitlivé lepidlá .....  | 31 |
| 3.7. Požiadavky a chyby lepeného spoja.....  | 32 |
| 3.8. Technologické faktory a podmienky ovplyvňujúce pevnosť lepeného spoja.....  | 34 |
| 3.8.1. Technologické podmienky pri lepení .....  | 34 |
| 3.8.2. Technologické faktory pri lepení.....   | 38 |
| 3.9. Bežne spracovávané lepidla v drevospracujúcom priemysle.....  | 41 |
| 3.9.1. Termoreaktívne lepidlá.....   | 42 |
| 3.9.2. Termoplastické lepidlá.....   | 49 |
| 3.10. Pevnosť lepenia v šmyku .....  | 53 |
| 3.10.1. ČSN EN 205 Lepidla – Lepidla na drevo pre nekonštrukčné aplikácie – Stanovenie pevnosti v šmyku pri ťahovom namáhaní preplátovaných spojov.....  | 54 |
| 3.10.2. ČSN EN 13354 Dosky z masívneho dreva (SWP) – Kvalita lepenia – Metóda skúšania .....   | 54 |
| 3.10.3. ČSN EN 302-1 – Lepidla pre nosné drevené konštrukcie – Skúšobné metódy – Časť 1: Stanovenie pozdĺžnej pevnosti v šmyku pri ťahovom namáhaní..... | 55 |
| 3.10.4. Štandardný testovací postup pre stanovenie pevnostných vlastností lepených spojov pri zaťažení šmykom podľa ASTM D 905.....                      | 56 |
| 4. Materiál a metodika.....  | 57 |
| 4.1. Skúšobný materiál a zariadenie.....   | 57 |
| 4.1.1. Charakteristické vlastnosti dreva Buku lesného ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) .....   | 58 |
| 4.1.2. Charakteristické vlastnosti dreva Dubu letného ( <i>Quercus robur</i> L.)   | 58 |
| 4.1.3. Zoznam testovaných vzoriek .....  | 59 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.2.   | Stanovenie hustoty .....   | 60 |
| 4.3.   | Stanovenie vlhkosti .....  | 60 |
| 4.4.   | Stanovenie pevnosti lepeného spojenia v šmyku pri ťahovom namáhaní<br>.....                  | 61 |
| 4.5.   | Stanovenie kvality lepenia v tlaku na škárovke .....   | 65 |
| 4.6.   | Podiel porušenia v dreve .....   | 67 |
| 5.     | Výsledky .....   | 68 |
| 5.1.   | Hustota škárovky podľa ČSN EN 323 .....  | 68 |
| 5.2.   | Vlhkosť škárovky podľa ČSN EN 322 .....  | 69 |
| 5.3.   | Stanovenie pevnosti lepeného spojenia v šmyku pri ťahovom namáhaní<br>podľa ČSN EN 205 ..... | 71 |
| 5.3.1. | Pevnosť lepeného spojenia – PVAC lepidlo .....   | 71 |
| 5.3.2. | Pevnosť lepeného spojenia – UF lepidlo .....   | 72 |
| 5.3.3. | Pevnosť lepeného spojenia – porovnanie .....   | 73 |
| 5.4.   | Stanovenie kvality lepenia v tlaku na škárovke podľa ČSN EN 13354<br>.....                   | 74 |
| 5.4.1. | Kvalita lepenia na škárovke – PVAC .....   | 74 |
| 5.4.2. | Kvalita lepenia na škárovke – UF.....  | 75 |
| 5.4.3. | Kvalita lepenia na škárovke – porovnanie.....  | 76 |
| 5.5.   | Podiel porušenia v dreve podľa ČSN EN 314-1 .....  | 77 |
| 5.5.1. | Podiel porušenia v dreve vzoriek testovaných podľa ČSN EN 205 .                              | 77 |
| 5.5.2. | Podiel porušenia v dreve vzoriek testovaných podľa ČSN EN 13354<br>.....                     | 79 |
| 6.     | Diskusia .....   | 81 |
| 7.     | Záver .....  | 87 |
| 8.     | Summary.....   | 88 |
| 9.     | Zoznam literatúry .....  | 89 |
| 9.1.   | Knižné zdroje .....  | 89 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 9.2.  | Internetové zdroje.....                   | 90 |
| 9.3.  | Normy .....                               | 90 |
| 10.   | Zoznam obrázkov .....                     | 92 |
| 11.   | Zoznam tabuliek .....                     | 94 |
| 12.   | Zoznam skratiek .....                     | 95 |
| 13.   | Prílohy k práci .....                     | 96 |
| 13.1. | Technický list AG-COLL 8761 D3.....       | 96 |
| 13.2. | Technický list DANAFIX Prefere 4535 ..... | 98 |

## 1. ÚVOD

Lepidlá sa používali už v starovekom Egypte a teda problematika lepenia je spojená už so začiatkami civilizovaného sveta. V minulosti boli najviac používané prírodné lepidlá či už rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. S postupným rozvojom chemického priemyslu sa začali vyvíjať rôzne typy lepidiel ako napríklad PVAC, UF. S postupom času sa zistilo, že niektoré zložky lepidiel škodia ľudskému organizmu alebo sú dokonca karcinogénne. V súčasnosti sa kladie veľký dôraz na znižovanie obsahu formaldehydu v lepidlách, ale aj obsahu voľného formaldehydu v hotových výrobkoch. Preto sa vyvíjajú nové typy lepidiel s čo najlepšimi vlastnosťami a najmenším škodlivým vplyvom na človeka.

Ďalším dôležitým faktorom v použití lepidiel v praxi je ich cena. Cena lepidla sa odvíja od použitých surovín a prídavných látok, ktoré sa do lepidla pridávajú na zníženie ceny.

Každý typ lepidla má iné vlastnosti a je potrebné zosúladiť požiadavky na lepený spoj s vlastnosťami lepidla. Nie je vhodné použiť rovnaké lepidlo na nenosné konštrukcie v interiéri a na nosník vystavený podmienkam v exteriéri.

Vo veľkovýrobe je najdôležitejšie zosúladenie všetkých týchto faktorov, a teda použitie lepidla s najlepšimi vlastnosťami pre daný typ spoja a optimálnej ceny.

Lepidlá sa v súčasnosti využívajú úplne všade vo výrobe drevotriekových dosiek, OSB dosiek, škároviek, lepených nosníkov, ale aj na montážne lepenie. V dnešnej dobe sa začína využívať vo väčšej miere polyuretánové lepidlo, keďže je jeho cena vyššia stále bráni v masovom nahradení ostatných typov lepidiel.

## **2. CIEĽ A POSTUP PRÁCE**

### **2.1. Cieľ práce**

Cieľom práce je porovnanie metód zisťovania pevnosti lepeného spoja na škárovkách a to pomocou pevnosti lepeného spoja a kvality lepenia. Pevnosť lepeného spoja a kvalita lepenia je zisťovaná na škárovkách vyrobených z dvoch drevín dubu a buku s dvoma typmi použitého lepidla a to PVAC a UF lepidla. Následne po otestovaní vzoriek je zisťovaný podiel porušenia lepeného spoja. Na začiatku je zisťovaná vlhkosť a hustota dosiek pre porovnanie týchto vlastností.

### **2.2. Postup práce**

V prvej časti práce je spracovaná rešerš teórií lepenia, faktorov ovplyvňujúcich vznik lepeného spoja, spôsobu testovania lepeného spoja a jednotlivých typov lepidiel. Na základe teoretických poznatkov boli navrhnuté dva typy lepidiel a dve drevinu, na ktorých boli následne zisťované vybrané vlastnosti lepidiel.

Na začiatok praktickej časti boli vyrobené vzorky zo škároviek, ktoré sa používajú pri výrobe nábytku, schodov a rôznych konštrukcií. Na vzorkách boli následne testované vlhkosť, hustota, pevnosť lepenej škáry, kvalita lepenia pre viacero tried trvanlivosti lepidla a podiel porušenia. Výsledky skúšok boli štatisticky vyhodnotené a porovnané s požiadavkami platných noriem.

### **3. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY**

#### **3.1. Rozdelenie dosiek z masívneho dreva**

Podľa normy ČSN EN 12775 klasifikujeme dosky podľa nasledujúcich kritérií:

- Podľa konštrukcie dosky (jednovrstvé, viacvrstvé dosky).
- Podľa prostredia použitia (dosky pre použitie v suchom prostredí, vo vlhkom prostredí, vo vonkajšom prostredí).
- Podľa mechanických vlastností (dosky pre všeobecné použitie, dosky pre nosné účely).
- Podľa skupiny drevín vo vonkajšej vrstve (dosky z ihličnatého dreva, dosky z listnatého dreva).
- Podľa dĺžky lamiel vo vonkajšej vrstve (dosky so skrátenými lamelami, dosky s neskrátenými lamelami).
- Podľa povrchovej úpravy (surové dosky, brúsené dosky, dosky so štruktúrnym povrchom, dosky povrchovo dokončené – oplášťované, natreté, lakované, olejované). (ČSN EN 12775: 2001)

##### **3.1.1. Definície dosiek z masívneho dreva**

- Doska z masívneho dreva (solid wood panel): doska zložená z dielcov navzájom zlepených na užších bokoch a u viacvrstvých dosiek tiež na plochách.
- Jednovrstvá doska z masívneho dreva (single-layer solid wood panel): doska z masívneho dreva pozostávajúca z viac dielcov zlepených navzájom do jednej vrstvy.
- Doska z masívneho dreva zo skrátených dielcov (solid wood panel with pieces cut to length): doska z masívneho dreva z dielcov, ktoré sú nastavené na dĺžku a spravidla na čelách navzájom zlepené alebo spojené zubovitým spojom.
- Doska z masívneho dreva z neskrátených dielcov (solid wood panel with pieces not cut to length): doska z masívneho dreva z dielcov, ktoré sú neprerušené po celej dĺžke dosky.
- Viacvrstvá doska z masívneho dreva (multi-layer solid wood panel): doska z masívneho dreva pozostávajúca z dvoch vonkajších vrstiev s rovnobežnými priebehmi vlákien a najmenej jednej vnútornej vrstvy s priebehom vlákien kolmým na priebeh vlákien vonkajších vrstiev. (ČSN EN 12775: 2001)

### 3.1.2. Požiadavky na dosky z masívneho dreva

Dosky z masívneho dreva sa rozdeľujú na jednovrstvé a viacvrstvé podľa normy ČSN EN 12775.

Použitie dosiek z masívneho dreva podľa normy ČSN EN 13353+A1

- Doska z masívneho dreva pre použitie v suchom prostredí (solid wood panel for use in dry conditions) je doska určená pre vnútorné účely bez nebezpečenstva navlhnutia, vlhkosť materiálu zodpovedá teplote 20 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu 65 %, ktorá je prekročená len niekoľko týždňov za rok.
- Doska z masívneho dreva pre použitie vo vlhkom prostredí (solid wood panel for use in humid conditions) je doska určená pre kryté vonkajšie účely (napr. za vonkajším obložením alebo pod strechou), vlhkosť materiálu zodpovedá teplote 20 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu 85 %, ktorá je prekročená len niekoľko týždňov za rok.
- Doska z masívneho dreva pre použitie vo vonkajšom prostredí (solid wood panel for use in exterior conditions) je doska určená pre nekryté vonkajšie účely, doska je spôsobilá odolávať vystaveniu poveternosti a tečúcej vode alebo vodnej pare vo vlhkom, ale vetranom prostredí, kde môže bežne dosiahnuť vlhkosť cez 20 %.

Táto norma uvádza tiež tolerancie dĺžky, šírky a hrúbky, hrúbky vnútri dosky, priamosť bokov a pravouhlosť. Tieto tolerancie sú uvedené v Tab. 1. Zodpovedajú vlhkosti v čase dodania. (ČSN EN 13353+A1: 2011)

**Tab. 1 Rozmerové tolerancie veľkých a stredných formátov dosiek (ČSN EN 13353+A1: 2011)**

| Tolerancie dĺžky a šírky | Hrúbka                             |                   | Tolerancie pre |             |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|-------------|
|                          | Tolerancie vnútri jednotlivé dosky | Tolerancie hrúbky | Priamosť bokov | Pravouhlosť |
| ± 2,0 mm                 | 0,5 mm                             | ± 1,0 mm          | 1,0 mm/m       | 1,0 mm/m    |

Vlhkosť pri dodaní sa stanovuje podľa normy ČSN EN 322. Musí to byť vlhkosť (8 ± 2) % pre dosky do suchého prostredia, (10 ± 3) % pre dosky do vlhkého prostredia a (12 ± 3) % pre dosky do vonkajšieho prostredia.

V prípade ak sa použije chemicky alebo tepelne ošetrené drevo, môže byť rovnovážna vlhkosť dosiek významne odlišná od dosiek z prírodného dreva. V takom prípade sú možné odchýlky od vyššie uvedených požiadaviek na vlhkosť.

Kvalita lepenia sa stanoví podľa normy ČSN EN 13354 po predchádzajúcej príprave pre použitie v suchom, vlhkom alebo vonkajšom prostredí. Výsledné hodnoty kvality lepenia sú rozdielne pre jednovrstvé alebo viacvrstvé dosky.

- Jednovrstvé dosky z masívneho dreva – dolný 5% kvantil pevnosti v šmyku  $f_v$  nesmie byť menší ako  $2,5 \text{ N/mm}^2$ . Priemerný podiel porušenia v dreve každej dosky musí byť väčší ako 40 % s výnimkou ak je hustota väčšia ako  $600 \text{ kg/m}^3$ .
- Viacvrstvé dosky z masívneho dreva – dolný 5% kvantil pevnosti v šmyku  $f_v$  a priemerný podiel porušenia v dreve každej dosky musí byť v zhode s Tab. 2. (ČSN EN 13353+A1: 2011)

**Tab. 2 Požiadavky (ČSN EN 13353+A1: 2011)**

| Pevnosť v šmyku<br>$\text{N/mm}^2$ | Porušenie dreva % |
|------------------------------------|-------------------|
| $0,4 \leq f_v < 0,8$               | $\geq 40$         |
| $0,8 \leq f_v < 1,2$               | $\geq 20$         |
| $f_v \geq 1,2$                     | bez požiadavku    |

**Tab. 3 Triedy kvality dosiek z masívneho dreva (Böhm et al., 2012)**

|   |   |
|---|---|
| A | Na pohľadovej strane sú dovolené jednotlivé zdravé hrče do priemeru 25 mm (u ihličnanov do 40 mm, borovica a smrekovec až do priemeru 60 mm), farebne vyvážený vzhľad                       |
| B | Povolené pekné vyspravenie a zdravé hrče do priemeru 30 mm (u ihličnanov zdravé hrče povolené bez obmedzenia), vypadavé hrče alebo vyspravenia v rade nepovolené, povolené farebné rozdiely |
| C | Vypadavé hrče povolené aj bez vyspravenia, bez požiadaviek na vzhľad a farbu  |

Triedy kvality podľa Tab. 3 sa stanovujú vizuálne pre rub a líc dosky. Symboly pre obidve strany sa rozdeľujú lomítkom. (Böhm et al., 2012)

### 3.2. Škárovky – jednovrstvé dosky z masívneho dreva

Škárovky sú dosky vyrobené vzájomným zlepením jednotlivých prírezov masívneho materiálu (viď Obr. 1). Vyrábajú sa v dvoch variantách, a to ako škárovky z priebežných lamiel alebo škárovky z dĺžkovo napojovaných lamiel (cink). Prednosťou tejto technológie je to, že môžu byť z dreva vyrezané chyby a hrče. Tím dostaneme čisté dosky bez hrčí. Nie sú však preglejované a teda stále môžu do šírky napúčať a zosychať.

Tento materiál bol známy už v starovekom Egypte. V druhej polovici minulého storočia sa začali pre výrobu škárovky používať vedľa nenastavovaných prírezov taktiež prírezy



Obr. 1 Škárovka (zdroj: [www.iwtrend.sk](http://www.iwtrend.sk))

dĺžkovo nastavované na klinový ozub. Niekoľko storočí až do polovice 20. storočia, bolo na výrobu škároviek používané glutínové lepidlo (kostný a kožný glej) v súčasnosti je k lepeniu najčastejšie používané PVAC lepidlo. (Böhm et al., 2012; Nutsch, 2006)

#### 3.2.1. Materiál použitý na výrobu škárovky

Škárovky sa vyrábajú z ihličnatého a listnatého reziva. Rezivo k výrobe škároviek musí byť vysušené na vlhkosť  $8 \pm 2$  %. V prípade, že rezivo nesplňuje predpísanú vlhkosť môže dochádzať ku krúteniu lamiel pred lepením alebo môže dochádzať k deformáciám na hotovej škárovke. Nevhodné je bočné rezivo, pretože má najvyššie hodnoty tangenciálneho zosychania. Rozsah dovolených chýb, ktoré znižujú mechanickú pevnosť dreva, ale aj rozsah chýb vzhľadových je nutné posudzovať individuálne podľa nárokov kladených na dielce, ktoré sú vyrobené zo škárovky. Hrče, ktoré nemôžu byť pri ďalšom spracovaní škárovky odstránené sa musia vyrezať už pri

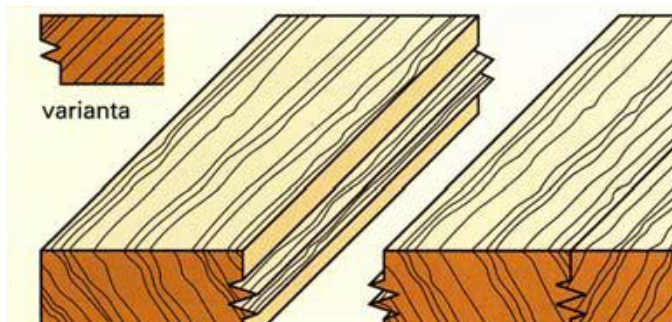
skracovaní reziva. Nedodržanie týchto zásad má za následok deformácie škároviek v dôsledku väčšieho podielu hrč a zníženie hodnoty pevnosti v ohybu.

V súčasnosti je najviac používaným lepidlom na výrobu škárovky PVAC lepidlo. Toto lepidlo sa vyznačuje veľmi jednoduchou prípravou, malou náročnosťou na tesnosť lepených škár a vysokú pevnosť lepenej škáry v pomerne krátkom čase približne 20 minút. Ďalším pozitívom je takmer neobmedzená životnosť lepiacej zmesi a minimálne otupovanie obrábacích nástrojov používaných pri následnom spracovaní.

Veľmi málo používaným typom lepidla na výrobu škárovky je močovinoformaldehydové lepidlo. To je veľmi citlivé na tesnosť lepených škár a najčastejšie je vytvrdzované za tepla pri teplote 100 °C. Nevýhodou je krátka životnosť lepiacej zmesi a veľké opotrebovanie obrábacích nástrojov kvôli vysokej tvrdosti lepidla. (Uhlíř, 1997)

### 3.2.2. Technologický postup výroby škárovky

Podstatou výroby škároviek je presné hladké opracovanie bočných zlepovaných plôch prírezov, zlepenie a presná hrúbková egalizácia zlepenej dosky. Pri výrobe škárovky sa najčastejšie používa spoj na tupú škáru. V ojedinelých prípadoch alebo pri kusovej výrobe sa používajú aj iné typy spojenia škárovky na šírku. A to napríklad spoj na pero a drážku, spoj na vložné pero alebo spoj pomocou kolíkov. Na zvýšenie pevnosti lepeného spoja pomocou zväčšenia lepenej plochy ja niekedy využívaný aj spoj na profilovanú lepenú škáru (viď Obr. 2). (Uhlíř, 1997)



**Obr. 2 Spôsoby napojovania škárovky na šírku pomocou profilovanej lepenej škáry (Nutsch, 2006)**

Vytriedené vysušené rezivo sa rozmanipuluje na jednotlivé lamely. Pri dreňovom rezive je potrebné odstrániť dreň, pretože drevo má v týchto miestach sklony k tvorbe trhlín. Opracuje sa na presný priečny rozmer s hrúbkovou nadmierou na štvorstrannej fréze. Bočnou dvojstrannou nanášačkou lepidla je realizovaný nános PVAC lepidla na bočné plochy. Pri skladaní súboru prírezov pre lepenie je vhodné striedať pravú a ľavú stranu prírezu, čím sa zamedzí priečnemu prehýbaniu. Pretože bel'ové a jadrové drevo pracuje rozdielne, musí



byť jadrové drevo lepené k jadrovému drevu a beľové drevo s beľovým drevom. Taktiež je vhodnejšie používať radiálne rezivo než tangenciálne. Často sa využíva dovezené drevo smreku alebo borovice zo severských krajín, s užšími a pravidelnými letokruhmi, ktoré umožňuje výrobu škárovky s väčšou tvarovou stálosťou. Prírezy sú potom presúvané k priečnemu priebežnému lisu, kde je sústavou dopravných pásov vyvinutý potrebný lisovací tlak. Lisovaný súbor prechádza medzi vyhrievanými doskami, ktoré urýchľujú základné vytvrdenie lepidla.

Na zlepených škárovkách sa po klimatizácii a úplnom vytvrdnutí lepidla vyspravujú chyby zátkami a tmelením. Ďalšími operáciami je formátovanie na presnú veľkosť a presné brúsenie na hrúbku. Vedľa kontinuálneho veľkokapacitného lisovania bývajú v stredných alebo menších firmách pre lisovanie používané diskontinuálne turniketové alebo plošné lisy. (Böhm et al., 2012)

### **3.2.3. Charakteristické znaky škárovky**

Prednosťou škároviek je zachovanie vzhľadu masívneho dreva, možnosť výroby väčších formátov a ďalej veľmi dobré mechanické vlastnosti, ktoré sú u škároviek obdobné ako u masívneho materiálu.

Veľkým nedostatkom škárovky je jej anizotropný charakter, ktorý sa prejavuje rozdielnymi vlastnosťami v rôznych smeroch (pevnosť dreva v smere kolmom na vlákna je približne 10–50× nižšia než v smere pozdĺžnom). Nedostatkom je tiež pomerne veľké zosychanie a napúčanie pri zmene vlhkosti dreva a možnosť jeho tvarových zmien. Trvalú tvarovú stálosť voľných škárovkových dielcov je možné zaistiť iba pomocou špeciálnych konštrukčných riešení ako je napríklad použitie zvlaku – priečne spevnenie ďalším prírezom. (Böhm et al., 2012)

### **3.2.4. Použitie škárovky v praxi**

Škárovka bola už v minulosti používaná pri výrobe nábytku napr. na dosky stolov, postelí, skriní, truhel a podobne. Mimo nábytku je ďalšie tradičné použitie škároviek napr. ako police s vysokou nosnosťou, pre výrobu drevených schodov a dverí. V súčasnosti je v predajniach určených pre výrobcov nábytku možné zakúpiť škárovky z priebežných alebo nastavovaných lamiel. Najčastejšie bývajú tieto materiály ponúkané v drevinách smrek, borovica, buk, dub, ale môžeme sa stretnúť aj so škárovkami z exotických drevín ako napr. merbau, teak alebo bambus.

Jednotlivé dielce výrobkov zo škárovky musia byť pevne konštrukčne spojené, aby nemohlo dochádzať k tvarovým zmenám. Pre konštrukčné spoje sa používajú jednoduché spoje na kolíky.

Nábytok je vyrábaný zo škároviek bez chýb (kvalita A, B), takisto sú používané aj škárovky so zarastenými hrčami alebo vyspravenými hrčami a chybami (kvalita C). (Böhm et al., 2012)

### **3.3. Bidosky – trojvrstvé masívne dosky**

Bidosky sa začali vyrábať v osemdesiatych rokoch minulého storočia. Pri ich výrobe sú krížom zlepené v jeden celok tri vrstvy zo škároviek, o hrúbke lamiel 5 až 8 mm a šírke 80–140 mm, čím vznikne doskový materiál s radou priaznivých vlastností. Hlavnou výhodou je odstránenie anizotropného charakteru dosky a väčšia tvarová stálosť. Oproti aglomerovaným materiálom (napr. drevotrieska) obsahujú tieto dosky výrazne menej lepidla. Na plochách a hranách dosiek je zrejmé, že sa jedná o výrobok z masívneho dreva (viď Obr. 3). (Böhm et al., 2012)



**Obr. 3 Bidoska (zdroj: [www.ghz-shop.cz](http://www.ghz-shop.cz))**

### **3.3.1. Materiál použitý na výrobu bioskosky**

Bioskosky sa vyrábajú z ihličnatých (jedľa, smrek, a borovica) a listnatých drevín (buk, breza, dub, jaseň). Krycie lamely môžu byť aj z iných drevín, napr. smrekovec, dub, jelša, čerešňa. Rezivo používané na výrobu bioskosiek musí mať konečnú vlhkosť 8 až 10 %. Na lepenie lamiel sa používa PVAC lepidlo. Povrchové lamely sa na stredové lamely lepia močovinoformaldehydovým lepidlom. (Kráľ a Hrázský, 2005)

### **3.3.2. Technologický postup výroby bioskosky**

Výroba tohto materiálu je pomerne náročná a produktívna veľkovýroba vyžaduje špecializované výrobné zariadenie.

Sušené rezivo je rozmiatané na prírezy, stredová vrstva sa najčastejšie pomocou PVAC lepidla priečne zlepjuje do tenkej veľkoplošnej škárovky. Na tento základný nosný polotovár sa priečne obojstranne nalepujú veľkoplošné zostavy prírezov, ktoré vytvoria vrchnú a spodnú vrstvu dosky. Plošné lisovanie celého súboru sa realizuje vo vyhrievanom lise (obvykle sa používa termoreaktívne močovinoformaldehydové lepidlo). Po zlepení celej dosky sa realizujú opravy väčších chýb zátkami, smolníky sa opravujú drevenými lodičkami a drobné chyby sa opravujú tmelením. Ďalej sa dosky formátujú na presný rozmer a brúsia. (Böhm et al., 2012)

### **3.3.3. Charakteristické znaky bioskosky**

Výhodou bioskosiek je zdravotne neškodný prírodný materiál s vysokou stabilitou rozmerov a tvarov. Bioskosky je možné opracovať v ploche do hrúbky krycej vrstvy. Nie je potrebná ďalšia povrchová úprava dyhovaním alebo iná povrchová úprava. Lamely vytvárajú kvalitný povrch, ktorý si zachováva textúru dreva.

### **3.3.4. Použitie bioskosky v praxi**

Najčastejšie použitie tohto materiálu je v stolárstve (obvykle lepšia kvalita A/B) napr. na stolové dosky, kuchynské dvere, na celé výrobky ako sú posteľe a skrinky, ale tiež na obklady stien, stropov a podláh.

Dosky, ktoré sú lepené vlhkuvzdorným melaminformaldehydovým lepidlom, sa vyrábajú pre použitie v stavebníctve (obvykle horšia kvalita C), kde sa používajú pre nosné konštrukcie šikmých striech, konštrukčné prvky, nosníky, opláštenie pre nadstavby, debniace dielce a pod. Všetky plochy týchto stavebných dosiek sú opatrené nátermi, ktoré obmedzujú navlhavosť. (Böhm et al., 2012)

### **3.4. Základné poznatky teórie lepenia**

Pri lepení prebiehajú chemické a fyzikálne procesy určené fyzikálno-chemickými vlastnosťami lepidiel. Počas procesu lepenia dochádza k vzniku priľnavosti lepidla k lepenému podkladu (adhézia). Zároveň sa zmení skupenstvo lepidla z tekutého stavu nanášania do tuhého stavu, a tým dochádza k zvýšeniu vnútornej súdržnosti lepidla (kohézia). (Muzikář, 2008)

Adhézia je sila, ktorá spája dva predmety na rozhraní ich povrchu. Predmet tuhého skupenstva, ktorý sa má spájať – adherend alebo substrát a lepidlo – adhezivum, sú zvyčajne dva materiály rôzneho zloženia. Lepidlá sú kvapalné látky, alebo aspoň počas pôsobenia na povrch tuhého adherendu sú v kvapalnom skupenstve, v roztopenom alebo plastickom stave.

Pevnosť lepeného spoja závisí nielen od dokonalej priľnavosti lepidla na povrch adherendu, ale aj od dobrej súdržnosti molekúl lepidla po vytvrdení, čiže od jeho vysokej kohézie. Kohézia je vnútorná molekulová súdržnosť lepidla, ktorá je podmienená veľkosťou a štruktúrou makromolekúl po vytvorení tuhého filmu lepidla, teda po jeho vytvrdení. Častice lepidla v pevnom lepenom spoji sú držané silami chemických väzieb a medzimolekulárnymi silami. Kohézia lepidla v lepenom spoji musí byť vždy vyššia než kohézia lepeného materiálu. (Muzikář, 2008)

Spájanie materiálov lepidlami je starý a rozšírený technický proces, ktorý nie je obmedzený iba spájaním výrobkov z dreva, ale je rovnako dôležitý aj na spájanie iných materiálov. Skúmaniu a objasňovaniu javov vyskytujúcich sa pri lepení sa preto venuje veľká pozornosť. Na základe teoretických úvah a príslušných experimentálnych výskumov sa vyslovili rôzne názory na charakter lepenia, ktoré sú zahrnuté do teórií lepenia. (Sedliačik, 2005)

#### **3.4.1. Mechanická teória**

V roku 1925 bola mechanická teória predložená McBainom a Hopkinsom v tzv. teórii mechanickej adhémie. Podľa tejto teórie sa vysvetľuje súdržnosť lepeného spoja vniknutím tekutého lepidla do pórov a nerovností povrchu adherendu a po jeho vytvrdnutí veľkého počtu mikrokolíkových spojov. Pevnosť lepeného spojenia závisí na množstve vzniknutých kolíčkov. Mechanická adhémia je viac rezistentná voči pôsobeniu šmykovej sily. (Rowell, 2013)

V prácach Truaxa (1926) a McLarena (1948) sa ukázalo, že sa touto teóriou nedá uspokojivo vysvetliť spojovanie nepórovitých substrátov, alebo lepšia schopnosť lepenia dreva v pozdĺžnom ako v čelnom reze, hoci v priečnom smere je vnikanie lepidla do kapilár oveľa intenzívnejšie a hlbšie a tiež počet uvedených mikrokolíkov výrazne väčší ako v pozdĺžnom smere.

Lepenie teda musí závisieť aj od iných faktorov, ktoré boli hľadané v chemickej a molekulovej interakcii medzi adhezivom a adherendom. Takto vznikali ďalšie názory v tzv. špecifickej teórii adhézie. (Sedliačik, 2005)

### **3.4.2. Špecifická teória adhézie**

#### **3.4.2.1. Polarizačná teória**

De Bruyn v roku 1935 publikoval teóriu polarizácie, ktorá vysvetľuje adhéziu vzájomnou príťažlivosťou molekúl.

Pre pochopenie tejto teórie treba vychádzať z predstáv o stavbe hmoty a jej zloženia z atómov a molekúl. Atómy sú v molekule spojené veľmi pevnými chemickými teda primárnymi väzbami. Rozlišujú sa tri druhy chemických väzieb: iónové (elektrokovalentné), kovalentné a kovové. K vzniku intramolekulárnej chemickej väzby dochádza pôsobením príťažlivých a odpudivých síl na atómy.

Iónové väzby vznikajú keď jeden atóm zo svojho vonkajšieho elektrónového orbitu odovzdá jeden alebo viac elektrónov druhému atómu. Tým sa stáva prvý atóm kladným a druhý záporným iónom. Takýto druh chemickej väzby je charakteristický pre anorganické zlúčeniny a vyskytuje sa pri spojovaní kovových a nekovových prvkov.

V prípade že majú dva atómy vo vonkajšej elektrónovej vrstve spoločný elektrónový pár, vznikajú kovalentné väzby, ktoré sú zastúpené hlavne v organických zlúčeninách. Veľmi silná väzba a mechanickými prostriedkami ťažko narušiteľná.

V kovových väzbách sa udržiavajú atómy v mriežkach elektrostatickými príťažlivými silami asociovaných elektrónov, ktoré sa voľne pohybujú kovovou mriežkou a sú príčinou dobrej elektrickej a tepelnej vodivosti kovov.

Medzi atómami existujú okrem chemických väzieb ešte slabšie príťažlivé sily, ktoré pôsobia medzi molekulami a určujú mnohé fyzikálne vlastnosti väčšiny

organických zlúčenín. Tieto fyzikálne a sekundárne sily sú označované ako Van der Waalsove.

Van der Waalsove sily sa delia na tri kategórie a to Keesomove, Debyeove a Londonove sily.

Keesomove sily sú taktiež označované ako elektrostatické sily a vznikajú interakciou dvoch permanentných dipólov.

Debyeove sily vznikajú interakciou permanentného dipólu s molekulami spôsobilými polarizácie vplyvom indukcie. Tieto sily sú veľmi malé a pre lepenie bez veľkého významu.

Londonove sily taktiež označované ako sily disperzné, vznikajú vzájomnou polarizáciou molekúl v dôsledku oscilácie elektrónov okolo atómových jadier.

Pre lepenie podľa tejto teórie sú rozhodujúce Keesomove sily a disperzné Londonove.

Vodíkové mostíky sú špeciálny prípad interakcie medzi dipólmi. Jedná sa o kovalentne viazaný vodík na elektronegatívne atómy, najčastejšie na atómy kyslíku. Vodíkové mostíky môžu byť intermolekulárne, keď účinkujú medzi molekulami alebo intramolekulárne, ak spájajú atómové skupiny vo vnútri molekuly. (Sedliačik, 2005)

Autor polarizačnej teórie De Bruyne upozornil na nutnú kompatibilitu adherentov adheziva. Vytvoril De Bruynov zákon, ktorý hovorí, že silné väzby sa môžu vytvoriť iba medzi polárnymi povrchmi a polárnymi adhezívami a medzi nepolárnymi povrchmi a nepolárnymi adhezívami. (Skeist, 1977)

#### **3.4.2.2. Elektrostatická teória**

V rokoch 1948 a 1950 publikovali Derjagin a Krotová svoju elektrostatickú teóriu. Táto teória vysvetľuje adhéziu elektrostatickými príťažlivými silami. Na základe pozorovaní vychádzajú autori z toho, že pri odtrhnutí lepidlového filmu od substrátu vznikajú elektrické výboje. Vysvetľuje sa to tým, že dvojvrstvový systém, lepidlový film a adherend, tvoria kondenzátor, a teda pri odtrhnutí lepidlového filmu vzniká rozdiel v napätí, ktorý vedie k výboju. (Sedliačik, 2005)

### **3.4.2.3. Difúzna teória**

V roku 1959 až 1963 vypracoval Vojuckij a jeho spolupracovníci tzv. difúznú teóriu. Teória vysvetľuje adhéziu medzi dvoma materiálmi mikro-Brownovým molekulovým pohybom, pričom migrujú molekuly z pojiva do adherendu a opačne. Táto teória však má dva predpoklady a to, že polymérne látky v adhezíve a substráte musia byť vzájomne rozpustné a makromolekuly alebo ich časti musia mať dostatočnú pohyblivosť.

Platnosť difúznej teórie bola s určitými výhradami overená v mnohých experimentoch a boli pri nich zistené určité vzťahy medzi pevnosťou adhézie a dobou, tlakom a teplotou kontaktu ako je napr., že s dlhšou dobou kontaktu rastie pevnosť adhézie, vyšší tlak zväčšuje dotykovú plochu a tým aj množstvo difúzných molekúl. (Rowell, 2013; Sedliačik, 2005)

### **3.4.2.4. Adsorpčná (molekulová) teória**

Na povrchu každej kondenzovanej fázy pôsobia sily, ktoré sú schopné viazať cudzí materiál. Tento jav sa nazýva adsorpcia. Dotyková plocha dvoch fáz tvorí tzv. fázové rozhranie, v ktorom sa vyskytuje voľná energia. Táto voľná energia vzniká tým, že medzi molekulami hmoty pôsobia príťažlivé sily, ktoré sa vo vnútri hmoty vzájomne saturujú, zatiaľ čo na povrchu zostávajú čiastočne voľné.

Voľná energia na povrchu pevných látok ovplyvňuje adhéziu tým, že podporuje roztečenie kvapalného adheziva na povrchu pevného adherendu, čiže podporuje jeho zmáčanie.

V závislosti od hodnoty voľnej energie vo fázovom rozhraní a od povrchového napätia kvapaliny sa kvapalina roztečie na povrchu pevného adherendu až do dosiahnutia rovnovážneho stavu. Intenzita zmáčania je vyjadrovaná kontaktným uhlom  $\theta$ , ktorý pri hodnote do  $90^\circ$  označuje dobré zmáčanie a nad  $90^\circ$  zlé zmáčanie (viď Obr. 4). Dobrá zmáčavosť je hlavnou podmienkou pre dosiahnutie kvalitnej lepivosti adheziva (lepidla). (Sedliačik, 2005)

### **3.4.2.5. Teória chemickej väzby**

Medzi lepidlom a substrátom sa vytvárajú veľmi pevné chemické (primárne) väzby. Ide o reakciu nízkomolekulárnych medziproduktov močovínových a melaminových lepidiel. Významné sú reakcie izokyanátových skupín

(polyizokyanátové lepidlá) s hydroxylovými (–OH) skupinami polysacharidických zložiek dreva. K tomuto javu však môže dochádzať len výnimočne, pretože lepenie prebieha v termodynamických podmienkach, ktoré vznik chemických väzieb neumožňujú. Jednoznačne preukázať vplyv väzieb na zvýšení pevnosti spoja sa nepodarilo, pretože snaha zaviesť do adhezív alebo adherentov reakcieschopné funkčné skupiny často nevedli k skvalitneniu vlastností adhézneho spoja. (Sedliačik, 2005)

#### **3.4.2.6. Stérická adhézia**

Je to teória, ktorou Treiber (1961) popisuje adhéziu medzi povrchmi polárnych a nepolárnych látok, ako je napr. drevo a polyetylén. Základ teórie tvoria staršie poznatky, podľa ktorých rozpustený polyetylén lisovaním za tepla vniká do submikroskopických priestorov bunečnej steny dreva. Po ochladení polyetylénu vzniká tzv. inklúzne spojenie (bez vplyvu primárnych alebo sekundárnych väzieb). Rozdiel medzi mechanickou a stérickou adhéziou je v tom, že pri stérickej adhézii dochádza k stereochemickým procesom medzi skupinami molekúl v submikroskopických kapilárach. Teória stérickej adhézie sa pri lepení dreva dá len ťažko uplatniť, nemá praktický význam. (Král a Hrázský, 2005; Sedliačik, 2005)

#### **3.4.2.7. Reologická teória**

Je to najnovšia teória, podľa ktorej čokoľvek spôsobuje adhéziu na rozhraní dvoch materiálov, pevnosť lepeného (adhezívneho) spoja je daná zásadne fyzikálne-mechanickými a reologickými vlastnosťami materiálov, ktoré vytvárajú lepený systém. Pri podrobnom skúmaní lomov sa zistilo že k roztrhnutiu pravého spoja nikdy nedochádza na jeho rozhraní, ale v jednom alebo druhom materiáli, teda lom je kohézny. Preto má veľký význam kohézia jednotlivých súčastí systému. Z toho možno dôjsť k záveru, že čokoľvek spôsobuje medzifázovú adhéziu, pevnosť lepeného spoja je daná mechanickými vlastnosťami materiálov utvárajúcich spoj a miestnymi napätiami v spoji, a nie medzifázovými silami, pretože lom je v podstate vždy kohézny. (Sedliačik, 2005)

#### **3.4.3. Závery z adhézných teórií**

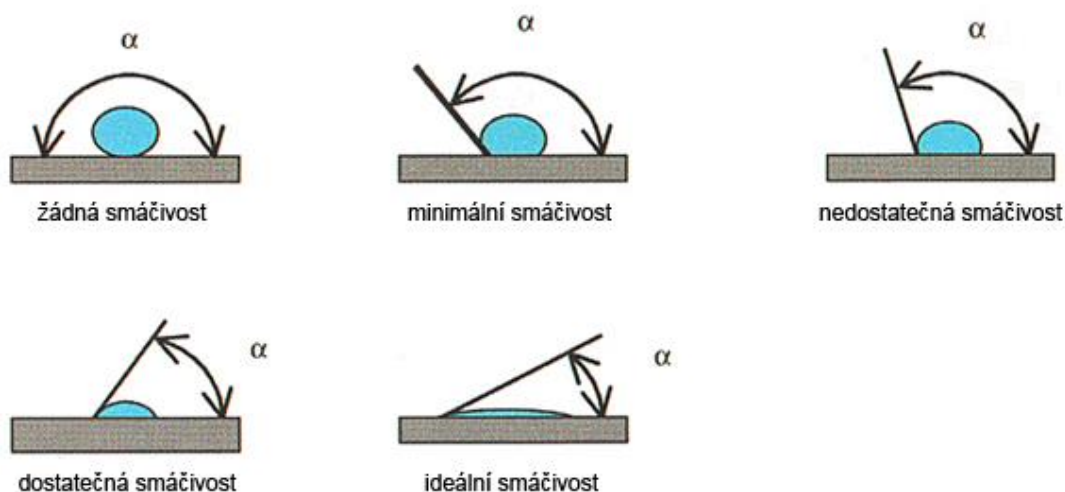
Z uvedeného prehľadu adhézných teórií vyplýva, že ani jedna uspokojivo neobjasňuje fenomén adhézie so všeobecnou platnosťou. Vždy je možné určitú teóriu potvrdiť iba pre špecifické prípady lepenia, respektíve použitého lepidla. Nie je možné



mechanické a chemické teórie od seba oddeľovať, keďže sú jednotlivé teórie vzájomne prepletené. (Rowell, 2013)

Všetky teórie sa zhodujú na tom že sa molekuly lepidla a substrátu musia dostatočne priblížiť, aby medzi nimi bola adhézia. Adhézia rôznorodých molekúl alebo príľnavosť lepidla k lepenému povrchu je spôsobená mechanickými silami (trením), chemickými silami a difúznymi silami (jedná sa o spojenie fyzikálnych a chemických síl). Je nutné aby bolo lepidlo kvapalné alebo aspoň v okamihu lepenia plastické. Lepidlo musí dobre zmáčať povrch tuhého substrátu. Zmäčavosť ovplyvňuje pevnosť a ďalšie vlastnosti lepeného spoja. Aby malo lepidlo dobrú zmáčavosť musí byť jeho povrchové napätie nižšie ako povrchové napätie tuhého substrátu. Povrchové napätie je veličina, ktorá popisuje rovnováhu príťažlivých a odpudivých síl molekúl pevných látok, kvapalín a plynov na ich rozhraní. Bolo dokázané, že povrchové napätie má na lepenie väčší vplyv ako napríklad polarita. (Sedliačik, 2005)

Schopnosť lepidla zmáčať pevný povrch je charakterizovaný uhlom zmáčania, ktorý zvierajú kvapka naliata na lepený povrch s týmto povrchom. Lepidlo dobre zmáča lepený povrch, ak je uhol zmáčania čo najmenší. Ak je uhol zmáčania väčší ako  $90^\circ$  lepidlo povrch nezmáča (viď Obr. 4). (Muzikář, 2008)



**Obr. 4 Uhol zmáčania povrchu kvapkou lepidla (zdroj:www.ksp.tul.cz)**

Lepidlo sa musí v lepenej škáre udržať určitý čas v kvapalnom skupenstve, aby sa mohli jeho molekuly orientovať. Pritom môžu spolupôsobiť van der Waalove alebo polarizačné sily, alebo nastáva difúzia molekúl v dôsledku Brownovho pohybu. V niektorých prípadoch môžu nastať čiastočné chemické reakcie so substrátom.

Stupeň adhézie je závislý od charakteru povrchovej alebo vonkajšej vrstvy molekúl substrátu. Úpravou povrchu sa môže jeho spôsobilosť k lepeniu zlepšiť, napríklad pri nepórovitých substrátoch zdrsnením alebo chemickým naleptaním.

Adhéziu výrazne ovplyvňuje veľkosť molekúl lepidla. Relatívna molekulová hmotnosť nesmie prekročiť určitú hranicu, pretože sa znižuje pohyblivosť molekúl a zhoršuje orientácia dipólov, alebo sa obmedzuje difúzia nepolárnych látok.

V závislosti na hrúbke nánosu by podľa teórií stačila molekulárna vrstva s hrúbkou 1 až 100 nm. Mechanické zdrsnenie povrchu sa môže priaznivo prejavovať pri nepórovitých substrátoch zväčšením povrchu.

Zvýšenie niektorých parametrov ako je tlak, teplota a lisovací čas zlepšujú adhéziu, pretože ich účinkom sa zvyšuje orientácia molekúl lepidla. (Sedliačik, 2005)

### **3.5. Zloženie lepidiel**

Základnú zložku lepidiel tvoria makromolekulárne látky, ktoré nie sú rozpustné, preto je potrebné ich dispergovať do koloidného stavu. Pre tieto účely sa využíva voda alebo iné polárne ľahko sa vyparujúce kvapaliny ako napr. alkohol, acetón apod.

Ideálne vlastnosti lepidiel dosahujeme používaním rôznych prísad. Jedná sa o tvrdidlá, plniva, nastavovadla a ďalšie zušľachtujúce prísady, ktoré sú do lepiacich zmesí pridávané z technických a ekonomických dôvodov. (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

Pojiva – taktiež nazývané aj filmotvorná látka je väčšinou makromolekulárna látka, ktorá je pri nanášaní lepidla v kvapalnom stave. Do kvapalného stavu je prevedená zahriatím na bod tavenia (tavné lepidlá), rozpúšťaním v organickom rozpúšťadle alebo rozptýlením disperzie pojiva vo vode. Prilnavosť filmotvornej látky k iným materiálom a ich kohézia určujú pevnosť lepeného spoja.

Rozpúšťadlá – sú kvapaliny alebo zmesi kvapalín, ktoré sa používajú pri výrobe lepidiel k rozpúšťaniu alebo k úprave hustoty lepidla.

Plniva – sú jemne mleté tuhé látky bez vlastnej lepivosti, ako je krieda, kaolín, drevená múčka. Zlepšujú spracovateľské vlastnosti a znižujú cenu lepidla, zabraňujú tiež presakovaniu lepidla do podkladu. Zvyšujú plniace schopnosti lepidla a znižujú vnútorné pnutie lepidla vo vytvorenom stave.

Nastavovadlá – sú jemne mleté napúčavé organické látky s vlastnou lepivosťou, napr. múka, škrob, vo vode rozpustná celulóza a vzduch (našľahanie zmesi lepidla). Použitie nastavovadiel znižuje cenu lepidiel, reguluje tekutosť ich zmesi, zlepšuje pružnosť lepených spojov, zvyšuje plniacu schopnosť lepidiel a znižuje nebezpečenstvo ich presakovania.

Tvrdidlo – je prísada, ktorá pôsobí na lepidlo v tekutom stave. Spôsobuje alebo urýchľuje chemickú reakciu lepidla, a tým jeho premenu v tuhý film lepidla.

Riedidlá – upravujú iba tekutosť (viskozitu) lepiacej zmesi pri ich nanášaní na lepený materiál.

Stabilizátory – sú látky, ktoré sa pridávajú do lepidiel za účelom uchovania vlastností lepidiel počas skladovania aj spracovania a zachovania vlastností lepených spojov počas ich používania.

Zošľachtujúce prísady – sú látky, ktoré zlepšujú vlastnosti lepidiel a lepenej škáry (zmáčadlá, farbivá a fungicidné látky). (Muzikár, 2008)

### **3.6. Vznik lepeného spoja**

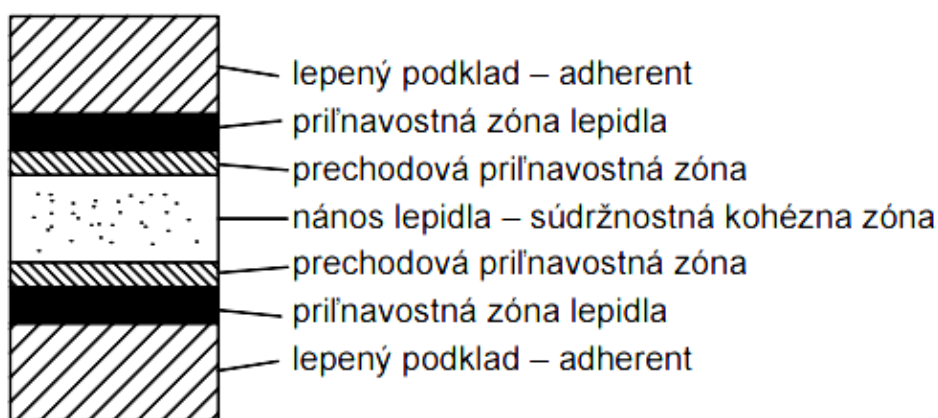
Lepenie je technológia nerozoberateľného spojovania častí prostredníctvom lepidla. Proces vytvorenia lepeného spoja začína zmáčaním lepenej plochy lepidlom v tekutom alebo roztavenom stave a končí vznikom pevného lepeného spoja, teda vznikom lepenej škáry. Pri lepení nie sú narušené vlastnosti lepených materiálov. Proces vytvorenia lepeného spoja sa urýchľuje spravidla teplom (odparením vody, rozpúšťadla a zahájením reakcie) a tlakom (priblíženie lepidla a lepených podkladov k sebe). Pri lepení dreva sa vyžaduje, aby pevnosť lepeného spoja dosahovala vyšších hodnôt než pevnosť vlastného lepeného materiálu. Pevnosť lepeného spoja (škáry) závisí na kohézii lepidla v suchom stave a na adhézii lepidla na lepené plochy. Pri poréznych materiáloch ešte závisí na mechanickom zaistení lepidla v materiáli.

Podmienky pre vznik pevného lepeného spoja sú nasledujúce:

- Molekuly lepidla a lepené plochy je nutné dostatočne priblížiť, aby medzi nimi došlo k vzniku adhémie alebo príľnavosti.
- Lepidlo musí byť tekuté, aby došlo k dostatočnému priblíženiu lepidla k lepenému povrchu.

- Lepidlo musí dobre zmáčať lepený povrch.
- Lepidlo sa musí určitý čas udržať v lepenom spoji v kvapalnom skupenstve, nesmie okamžite zatiecť do podkladu.

Pri tvorbe lepeného spoja sa od seba líši tvorba filmu pri lepidlách rozpustených v rozpúšťadle od lepidiel obsahujúcich disperzie rozptýlené vo vode, lepidiel bez obsahu vody a rozpúšťadiel, ktoré tvoria film chemickou reakciou alebo tavných lepidiel, u ktorých dochádza k zmene skupenstva. Zvláštnu skupinu tvoria lepidlá, ktoré slúžia tiež k vyplneniu medzipriestorov medzi spojovanými dielmi a tiež tlakocitlivé lepidlá aplikované obojstranne alebo jednostranne na rôznych nosičoch. (Muzikář, 2008)



**Obr. 5 Štruktúra lepeného spoja (Muzikář, 2008)**

### 3.6.1. Tvorba lepidlového filmu roztokových lepidiel

Roztokové lepidlá sa pripravujú rozpúšťaním tuhého syntetického lepidla v kvapalnom organickom rozpúšťadle. Lepidlá sa potom nanášajú na obe lepené plochy súčasne. Po nanosení lepidiel sa nechajú plochy chvíľu vetrať, aby sa odparili rozpúšťadlá.

Po odparení rozpúšťadiel z nános lepidiel prechádzajú lepidlá na oboch plochách do želatínového stavu. V tomto okamžiku sa musia obidve lepené plochy spojiť tesným priblížením k sebe. Po spojení lepených plôch musí okamžite nasledovať lisovanie lepeného spoja. Vyvinutý lisovací tlak na lepený spoj spôsobuje zvýšenie síl súdržnosti vo vrstve lepidla a vyvolanie síl príľnavosti medzi lepidlom a lepeným povrchom. Pôsobením lisovacieho tlaku dôjde tiež k vytlačeniu vzduchu.

Pri lepení roztokovými lepidlami je nutné po nanosení lepidla na obe lepené plochy dodržať požiadavku na otvorenú dobu lepidla pred priložením obidvoch plôch na seba, aby sa zaistilo odparenie väčšiny rozpúšťadla z lepidla. Otvorená doba je časový interval od okamžiku nanosenia lepidla na povrch lepených dielcov do okamžiku, kedy je nanosené lepidlo schopné ešte dobrého zakotvenia do druhého podkladu tak, aby vznikol kvalitný spoj. Otvorená doba priamo závisí na veľkosti nánosu, teplote, savosti a absolútnej vlhkosti lepených materiálov.

Roztokové lepidlá sa nanášajú v čo možno najmenších nánosoch. (Muzikář, 2008)

### **3.6.2. Tvorba lepidlového filmu vodou riediteľných disperzných lepidiel (odparením vody)**

Pri lepení vodou riediteľnými disperznými lepidlami musí byť aspoň jeden lepený podklad porézny. Disperzia je sústava jemne rozptýlených častíček lepidelového polyméru vo vode. Vlhkosť lepeného podkladu pri tvorbe lepeného spoja má byť  $10 \pm 2$  %. Nie je vhodné zlepovať dohromady materiály s rozdielnym obsahom vlhkosti. Pôsobením vody a vlhkosti na lepený spoj film lepidla napúča, čím sa znižuje pevnosť spoja.

Vodou riediteľné disperzné lepidlo sa naniesie na jednu lepenú plochu (lepený podklad), v tomto prípade na báze dreva, napr. pri montážnom lepení  $100-150 \text{ g.m}^{-2}$ . Po nanosení lepidla sa voda z miesta lepeného spoja vsakuje do lepeného porézneho materiálu na báze dreva, kde napúča drevné vlákna alebo sa zo spoja odparí. Potom čo sa z vrstvy lepidla vytratí do okolitého savého materiálu voda, častíčky polyméru sa k sebe natoľko priblížia, až dôjde k ich postupnému spojeniu do jednotnej vrstvy. Vrstva disperzného lepidla tým získa súdržnosť (kohéziu) vnútornej vrstvy lepidla a z kvapaliny sa zmení na pevnú látku.

Pri nevhodne nízkej teplote lepidla alebo lepených materiálov nedôjde k spojeniu častíc disperzie a lepený spoj sa aj po vyschnutí lepidla rozpadáva. Minimálna filmotvorná teplota, pri ktorej dôjde k vzniku spojitého filmu polyméru sa nazýva minimálna filmotvorná teplota (MFT) a býva spravidla na úrovni  $13 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Muzikář, 2008)

### **3.6.3. Tvorba lepidlového filmu chemickou reakciou (zosieťovanie polyméru a tvrdidla)**

Pri dvojzložkových lepidlách sa vytvárajú vnútorné sily súdržnosti (kohézne) chemickou reakciou medzi oboma zložkami, teda medzi polymérom lepidla a tvrdidlom. Kvapalné lepidlo pred chemickou reakciou sa dobre rozteká na ploche a tým vyrovnáva nerovnosti povrchu.

Po pridaní tvrdidla do polyméru lepidla a po premiešaní oboch zložiek dochádza vo vrstvách lepidla k chemickej reakcii, pri ktorej sa pospájajú molekuly lepidla a vytvoria priestorové siete. Tekuté lepidlo sa po vytvorení siete premení na kohéznou pevnú látku. (Muzikář, 2008)

### **3.6.4. Tvorba lepidlového filmu tavných lepidiel**

Tavné lepidlá sú zmesi polymérov a prísad, ktoré sú za normálnych podmienok nelepivé. Tavné lepidlá sa nanášajú v roztavenom stave na jeden lepený podklad, zahriate nad teplotu topenia, kedy majú vyhovujúcu lepivosť, tekutosť a adhéziu k lepeným materiálom. Teplota taveniny sa pohybuje od 180 do 240 °C. Po nanesení roztaveného lepidla na jednu lepenú plochu sa druhá lepená plocha k nemu okamžite pritlačí a tlakom trvajúcim niekoľko sekúnd sa lepený spoj zalisuje. Poklesnutím teploty taveniny lepidla počas niekoľkých sekúnd stuhnú.

Pri tvorbe filmu lepidla sa do ovzdušia neodparujú ani neunikajú do lepeného podkladu žiadne látky, pretože lepidla sa pri svojej aplikácii skladajú zo 100% sušiny, a teda neobsahujú žiadne rozpúšťadlá ani vodu. Pri tvorbe filmu lepidla neprebíha žiadna chemická reakcia a nespotrebované lepidlá sa môžu znovu použiť. (Muzikář, 2008)

### **3.6.5. Tlakocitlivé lepidlá**

Zvláštnu skupinu tvoria tlakocitlivé lepidlá (trvalo lepidlivé lepidlá) nanosené na nosiči, obvykle plastovej fólii. Tieto lepidlá sa používajú pre výrobu lepiacich pásov a samolepiacich etikiet. Aj v suchom stave sú neustále lepidlivé. Pre vytvorenie lepeného spoja stačí pritlačenie lepiacej pásky na lepený povrch iba tlakom prstov. Pohyblivé reťazce molekúl tlakovo citlivého lepidla sa vplyvom tlaku zoskupia do takej polohy, pri ktorej je zaistená najlepšia príľnavosť k lepenému materiálu. Tlakocitlivé lepidlá sa vyrábajú najčastejšie na báze akrylátových polymérov v zmesi so špeciálnymi živcami. Nosným podkladom býva plast, tkanina, papier, pena. (Muzikář, 2008)

### 3.7. Požiadavky a chyby lepeného spoja

Nie je vhodné lepiť dielce, ktoré sú pri montáži vystavené namáhaniu v odlupovaní. Spoj musí byť namáhaný hlavne v ťahu a šmyku a minimálne v odlupovaní. Pre spojovanie lepením sa nehodia dielce s veľkým alebo zložitým zakrivením.

Pracovný postup lepenia sa zameriava na prípravu povrchu, výber vhodnej konštrukcie lepenia, výber vhodného lepidla, voľbu a dodržanie správneho postupu lepenia.

Pevnosť lepeného spoja je ovplyvnená zmršťovaním filmu lepidla a hrúbkou vrstvy lepidla v škáre.

Pevnosť lepeného spoja sa prejavuje hlavne pri pôsobení vlhkosti. Drevo pôsobením vlhkosti napúča a film lepidla sa rozťahuje. Pri rozťahovaní dochádza k vzniku pnutia, následne k porušeniu pevnosti lepeného spoja a k odtrhnutiu filmu lepidla od podkladu. Odtrhnutie filmu lepidla od lepeného povrchu ovplyvňuje aj pružnosť filmu lepidla.

Pri použití lepidiel pre spojovanie je nutné vždy dodržať technologické podmienky.

Správna voľba lepidla a požiadavky na lepidlá:

- Lepidlo musí dávať spoje dostatočne pevné a odolné voči deštruktívnym činiteľom, ktorým sú vystavené. Na výrobkoch dynamicky namáhaných je potrebné zvoliť lepidlá dostatočne pružné.
- Farba lepidla musí zodpovedať farbe lepených materiálov.
- Lepidlo nesmie reagovať s konečnou povrchovou úpravou.
- Nežiaduca je prílišná tvrdosť vytvrdeného lepidla, hlavne ak sú v lepidle minerálne látky nadmerne otupujúce nástroje používané k opracovaniu lepených častí.
- Žiaduca je jednoduchá príprava lepidiel k lepeniu.
- Potrebná je dlhá životnosť natuženej zmesi, čo je doba, kedy lepidlo vytvrdzujúce chemickou reakciou zostáva v stave vhodnom na nanášanie.

V tomto prípade je to doba od zmiešania tvrdidla a lepidla až po vytvrdnutie lepiacej zmesi.

- Lepiaca zmes alebo lepidlo musí jednoducho a rovnomerne tvoriť lepený spoj.
- Pre lepenie má veľký význam veľkosť molekúl lepidla.
- Lepidlo musí zaisťovať dobrú pevnosť lepeného spoja pre dané lepené povrchy.

Pri nedodržaní uvedených požiadaviek vznikajú poruchy lepených spojov. Najčastejšie sa vyskytujú tieto poruchy:

- Zrnitý spoj
- Chudobný spoj
- Rozlepený spoj
- Zamrznutý spoj
- Nezakotvený spoj
- Zdanlivo pevný spoj

Zrnitý spoj je málo pevný spoj, ktorý má po rozlúpnutí krupicovitú štruktúru

Chudobný spoj nemá zjavne rozlepené miesta. Pri porušení spoja, ku ktorému je potrebné pomerne malé pnutie, sa rozlepí lepený spoj, pretože sa v ňom nevytvoril súvislý film lepidla. Zmes lepidla sa po nanesení okamžite vsiakla do lepeného povrchu.

Rozlepený spoj je spoj miestami alebo po celej ploche voľný s viditeľnými škárami v lepenom spoji.

Zamrznutý spoj je málo pevný a pri jeho násilnom porušení sa na jednej z lepených plôch objaví súvislý film lepidla.

Nezakotvený spoj je málo pevný spoj. Po jeho násilnom rozlúpnutí je možné zistiť v škáre súvislý film lepidla, ten však nie je pevne na lepenom povrchu.

Zdanlivo pevný (optický) spoj je charakteristický tým, že sa pri jeho násilnom rozlúpnutí spoj porušuje v dreve, v priamej blízkosti filmu lepidla. Na filme lepidla zostáva súvislá vrstvička jemných drevných vlákien. (Muzikář, 2008)



### **3.8. Technologické faktory a podmienky ovplyvňujúce pevnosť lepeného spoja**

Pri správnom dodržaní technologických faktorov a podmienok dosiahneme kvalitného lepeného spojenia. Ideálny lepený spoj sa vyznačuje tým, že vytvrdené lepidlo vytvára tenký film a teda lepené plochy k sebe tesne doliehajú. Dôležitým znakom je, že k porušeniu je potrebná veľká sila a k porušeniu lepeného spojenia nedochádza v lepidle, ale v dreve. (Trávník, 2008)

#### **3.8.1. Technologické podmienky pri lepení**

Význam lepenia spočíva v tom, že kvalita všetkých materiálov, technologické podmienky a technologické faktory vytvárajú základný predpoklad kvality danej technologickej operácie. Pevné a trvalé spojenie je cieľom všetkých operácií lepenia a základným predpokladom splnenia funkčných a výtvarných požiadaviek kladených na výroby nábytkárskeho priemyslu. (Trávník, 2008)

##### **3.8.1.1. *Vlastnosti použitej dreviny***

Pre správne objasnenie vzájomných vplyvov dreva a lepidla je potrebné poznať nielen vlastnosti lepidla, ale aj všeobecné vlastnosti dreva. Okrem hlavných zložiek celulózy, hemicelulózy, ligninu, drevo obsahuje ešte ďalšie menšie množstvo látok rôzneho zloženia, ktoré môžu do určitej miery ovplyvniť kvalitu lepenia. V malom množstve obsahuje každá drevina ďalšie látky napr. bielkoviny, cukry, anorganické soli, tuky, niektoré ihličnaté dreviny napr. borovica obsahuje väčší podiel prírodných živíc a éterických olejov. Niektoré listnaté dreviny obsahujú triesloviny. Extrémne kyslé alebo alkalické lepidlá pôsobia nepriaznivo na drevo, pretože depolymerizujú ľahko hydrolyzovateľné hemicelulózy, čiastočne aj celulózu, čo sa prejavuje zreteľným znížením mechanických vlastností v okolí lepenej škáry. Medzi fyzikálne vlastnosti dreva, ktoré majú priamy vzťah k pevnosti lepenia patrí hustota dreva. So stúpajúcou hustotou dreva sa pri lepení vyžaduje aj zvýšený tlak, ktorý závisí aj od hladkosti, rovinnosti povrchu dreva. Použitie nadmerných tlakov na vyrovnanie nerovností povrchu je neúčelné, pretože sa lepený výrobok zhusťuje a lepidlo z lepenej škáry sa vytlačí a vzniká takzvaný chudobný spoj.

Z hľadiska kvality lepenia je dôležitý charakter povrchu materiálu. Rozlišujeme vonkajší povrch dreva, ktorý je vytváraný anatomickou stavbou dreva, technológiou

opracovania povrchu materiálu, ale aj šírkou letokruhu, prítomnosťou živice a podobne. Veľký význam má aj vnútorný povrch, ktorý je tvorený systémom kapilárnych dutín.

Pre kvalitu lepenia má význam aj čistota povrchu, pretože povrch lepených materiálov často obsahuje prach, mastnotu, ktoré zhoršujú zmáčavosť a zabraňujú tak potrebnej penetrácii lepidla do povrchu materiálu. (Trávník, 2008)

### **3.8.1.2. Vlhkosť materiálu**

Vytvrdzovanie lepidla prebieha najčastejšie ako syntéza dvoch procesov fyzikálneho (odparovanie a oddifundovanie rozpúšťadla alebo disperzného média, spravidla vody) a chemickej reakcie.

Vlhkosť lepeného materiálu (dreva) má vplyv na vytvrdzovanie, pretože od vlhkosti závisí difúzia rozpúšťadla (vody).

Vysoká vlhkosť spomaľuje unikanie vodného podielu lepidla do dreva, čo spomaľuje alebo dokonca znemožňuje jeho vytvrdzovanie. Táto skutočnosť má vplyv aj na proporcionálnosť medzi chemickým a fyzikálnym procesom, pretože pri vysokej vlhkosti lepeného materiálu môže chemická reakcia, vytvrdzovanie živice, predstihnúť fyzikálny proces oddifundovania roztoku najčastejšie vody.

Nízka vlhkosť môže znížiť kvalitu lepeného spoja tým, že intenzívnou difúziou sa zvyšuje konzistencia lepidla a znižuje sa zmáčavosť, čo je pri jednostrannom nánose nedostatočný prenos lepidla na druhý povrch.

Najvhodnejšia vlhkosť materiálu pre lepenie je  $8 \pm 2$  %, maximálne 12 %. Suché materiály prijímajú vodu rýchlejšie, tým pádom sa vytvrdenie lepidla urýchli. Vysoká vlhkosť dreva znižuje viskozitu lepidla pri lepení natoľko, že vniká viac do dreva, čo môže spôsobiť takzvaný chudobný spoj. (Trávník, 2008)

### **3.8.1.3. Pórovitosť dreva**

Na lepenie dreva má veľký vplyv jeho pórovitosť a prirodzené rastové chyby. Experimentálne bola dokázaná priama závislosť medzi objemovou hmotnosťou dreva a pevnosťou lepeného spoja, a to v tom zmysle, že čím má drevo vyššiu hustotu, tým je pevnosť lepeného spoja väčšia.

Drevo je nehomogénna látka so zložitou chemickou štruktúrou a charakterom, a preto vzájomné vzťahy lepidla a rôznych drevín sú značne komplikované. Jednotlivé súčasti dreva sú viazané navzájom mechanickými a chemickými väzbami.

Vplyv pórovitosti na proces lepenia sa najzreteľnejšie prejavuje pri lepení tenkých dyhových materiálov a pri lepení veľmi pórovitých drevín. (Sedliačik, 2005)

#### **3.8.1.4. Drsnosť povrchu dreva**

Jedným zo základných predpokladov dobrej adhézie je dokonalý styk lepených materiálov, ktorý závisí od hladkosti povrchu a vzájomnej priľnavosti lepených plôch.

Hladkosť povrchu určuje anatomická stavba dreva a jeho opracovanie. Najlepšou úpravou povrchu pred lepením jednovrstvých masívnych dosiek (škároviek) je frézovanie. Dôležité je, aby sa úprava povrchu dreva realizovala tesne pred lepením, pretože dlhšou expozíciou hobľovaného dreva sa vplyvom vlhkosti drevo deformuje a jeho vlákna napučiaujú. Vzťah medzi hladkosťou (drsnosťou) a pevnosťou je možné charakterizovať pri lepení tak, že so zväčšovaním drsnosti povrchu do určitej hodnoty pevnosť spoja narastá.

Pre vysokú pevnosť lepeného spoja je dôležité, aby lepené plochy priliehali tesne k sebe, aby medzera medzi nimi bola minimálna a rovnomerná. (Sedliačik, 2005; Trávník, 2008)

#### **3.8.1.5. Základné vlastnosti lepidla**

Lepidlo k lepeniu sa dodáva buď v priamo aplikovateľnom stave, to znamená, že je použiteľné bez ďalšej prípravy v technologickom procese. V prípade, že je dodávané v neaplikovateľnom stave musí sa pred použitím upraviť. Lepidlo sa upravuje k ďalšiemu použitiu pridávaním rozpúšťadiel, riedidiel, katalyzátorov, plnidiel a ďalších prísad. Ich podielom k počiatočnému stavu sa určujú vlastnosti lepidla – viskozita lepidla. Veľmi riedke lepidlo sa príliš vsakuje do podkladu a príliš husté sa zle rozlieva na lepenom podklade.

Pre praktické použitie sa vyžadujú nasledujúce vlastnosti lepidiel:

- Vysoký obsah sušiny.
- Čo najdlhšia doba skladovateľnosti.
- Jednoduchá preprava a dlhá životnosť lepidlovej zmesi.

- Jednoduchý spôsob nanášania.
- Krátky, regulovateľný čas vytvrdzovania.
- Malá zmena tvaru (zmrštenie) po vytvrdnutí.
- Minimálny obsah látok, ktoré môžu zmeniť farbu lepených materiálov a bez obsahu látok, ktoré sa môžu uvoľňovať po vytvrdnutí, eventuálne z hotového výrobku napr. formaldehyd.
- Vytvrdené lepidlo má mať dobrú pevnosť a dostatočnú pružnosť tak, aby bolo odolné voči napätiam, ktoré vznikajú v dôsledku vlastných objemových zmien a objemových zmien dreva.

Dôležité sú aj ekonomické požiadavky, napr. nízke výrobné náklady, malá náročnosť na teplotu a tlak po spracovaní a minimálny vplyv na opotrebovanie rezných nástrojov.

Uvedené skutočnosti sú závislé od jeho konzistencie, ktorú je nutné v niektorých prípadoch upravovať, pridávaním rozpúšťadiel, riedením alebo zahusťovaním, pridávaním plničov a nastavovadiel. Pridávanie rôznych plnidiel má aj svoje ekonomické opodstatnenie, pretože ich cena je nižšia oproti cene filmotvorných látok. Pridávaním plnidiel je možné meniť niektoré charakteristiky lepidiel, ako je jeho vodovzdornosť, zvyšovanie pevnosti spojov a podobne. (Trávník, 2008)

#### **3.8.1.6. Hodnota pH lepidla**

Jednotlivé lepidlá majú rozdielnu hodnotu pH napríklad kaseinové lepidlo alebo fenolové lepidlo tvrdnúce za tepla má pH až 10 a fenolové lepidlo tvrdnúce za studena má pH 3. Hodnota pH PVAC lepidla, močovinoformaldehydového lepidla tvrdnúceho za tepla, PUR lepidla je 6. Väčšina drevín má slabo kyslý alebo takmer neutrálny charakter. Sú však dreviny, ktoré majú až slabo alkalický charakter.

Alkalické lepidlá sfarbujú niektoré dreviny do tmava, napr. javor, breza, buk, orech. Kyslé lepidlá môžu vyvolať u drevín obsahujúcich triesloviny modročervené, tzv. atramentové škvrny, ktoré vznikajú pôsobením rozpustných solí železa na triesloviny. Pôsobením silne kyslých tvrdidiel s pH nižším než 3, používaných v zmesi s fenolovými montážnymi lepidlami, sa môže drevo poškodiť, zhoršujú sa mechanické vlastnosti dreva. (Sedliačik, 2005; Uhlíř, 1997)

### **3.8.1.7. Množstvo nánosu lepidla**

Nanášanie lepidiel a lepiacich zmesí sa realizuje rôznymi spôsobmi a rôznymi technologickými prostriedkami (nanášanie štetcom, striekaním, navalovaním). V oboch prípadoch platí všeobecne, že množstvo nanoseného lepidla ovplyvňuje hrúbku lepidlového filmu, ktorá má z hľadiska pevnosti spoja podstatný význam. Všeobecne platí zásada, že čím je menšia hrúbka filmu, tým je spoj pevnejší. Hrúbka nánosu lepidiel sa pohybuje v rozmedzí 1 až 400  $\mu\text{m}$ . Porušenie zásady optimálneho množstva nanášaného lepidla má za následok, že pri malých nánosoch vzniká nebezpečenstvo tzv. chudobného spoja. Je to také nanosenie množstvo lepidla, ktoré nestačí na vytvorenie súvislého filmu. Ak je nanosené množstvo lepidla neúmerne vysoké, film je hrubý a adhézne sily sú väčšie ako kohézne, čím dochádza k deštrukcii spoja. Takýto spoj dodatočne zasychá a pri dynamickom namáhaní pracuje, drobí sa, čo vedie k zníženiu pevnosti lepeného spoja.

Optimálne množstvo nanoseného lepidla závisí na hladkosti povrchu lepeného materiálu, jeho schopnosti vsiaknuť lepidlo, konzistencii a obsahu sušiny.

Veľkosť nánosu v množstve 120 až 200  $\text{gm}^{-2}$  je potrebné považovať za orientačný. Praktická hodnota je priamo závislá od spôsobu lepenia rovnako ako aj od ďalších vyššie uvedených faktorov. Je dôležité, aby nanosené množstvo lepidla bolo minimálne, avšak dostatočné, aby bola zabezpečená kvalita lepeného spoja, ale aj ekonomika. (Trávník, 2008)

## **3.8.2. Technologické faktory pri lepení**

### **3.8.2.1. Lisovací tlak**

Lisovaním pripravených materiálov dochádza k tesnému priblíženiu spojovaných plôch a rovnomernému rozloženiu dostatočného množstva lepidla na povrchu dielcov. Tlakom lepidlo lepšie vniká do pórov dreva a malých povrchových nerovností materiálov, tým sa zväčšuje plocha lepenia. Tlakom sa vyrovnáva aj prebytok nanoseného lepidla a zabraňuje sa tak vytvoreniu menej pevnej vrstvy lepidla, lepidlo sa súčasne rovnomerne rozvrstvuje. Lisovacím tlakom sa vyrovnávajú povrchové nerovnosti. Lisovací tlak je určovaný nielen druhom dreveniny, ale aj druhom lepidla, teplotou pri lisovaní a hladkosťou povrchu lepených materiálov.

Pre každý druh lepených materiálov sú stanovené maximálne lisovacie tlaky vzhľadom k možnosti deformácie materiálov. Lisovací tlak pre veľmi mäkké dreveniny ako je napr. topol nesmú prekročiť hodnotu 0,6 MPa, pre smrek 0,8 MPa, oproti tomu tvrdé dreveniny znášajú vyššie tlaky do 2,5 MPa. Optimálne lisovacie tlaky sú uvedené v technických listoch lepidiel. (Trávník, 2008)

### **3.8.2.2. Lisovacia teplota**

Teplota je jedným z rozhodujúcich faktorov, ktoré urýchľujú vytvrdzovanie lepidla. Existujú dva typy vytvrdzovania lepidla: znížením teploty, ochladzovaním napr. glutínové, tavné, alebo zvýšením teploty, čím sa doba vytvrdzovania skraca na niekoľko minút alebo sekúnd.

Podľa použitej teploty pri lisovaní rozlišujeme lepenie:

- a) Za studena – teplota v lepenej škáre sa pohybuje v rozmedzí od 15 do 25 °C
- b) Za tepla – do 100 °C
- c) Za zvýšenej teploty – nad 100 °C

Pri lepení sa používajú nasledujúce princípy ohrevu lepenej škáry:

- a) Priamy prívod tepla do lepenej škáry pomocou VF ohrevu, ktorý je založený na využívaní dielektrických vlastností lepidla.
- b) Ohrevom naneseného lepidla, ktorý sa uskutočňuje konvekčne alebo IČ žiarením pred zložením materiálu, pričom lepidlo v tomto štádiu je v kvapalnom alebo pevnom skupenstve. Pri použití kvapalných lepidiel sa z lepidla odparuje voda, prípadne sa plastifikuje podiel živice. Pri ohreve pevných filmov lepidiel na báze termoplastov sa tieto plastifikujú a stávajú lepivé.

Vo všetkých prípadoch je horná hranica teploty a doba pôsobenia obmedzená, pri vyššej teplote alebo pri dlhšom čase ohrevu sa znižuje kvalita spoja. Pôsobením vyššej teploty v dlhšom časovom úseku vedie k nadmernej akumulácii tepla v lepenom materiáli, čo sa môže následne prejaviť aj v tvarových alebo farebných zmenách lepeného súboru. (Trávník, 2008)

### 3.8.2.3. *Lisovací čas*

Doba vytvrdzovania lepidla je priamo závislá na dobe prestupu tepla cez materiál a od času vytvrdenia lepidla. Doba prestupu tepla cez materiál je priamo úmerne závislá od jeho hrúbky a druhu, vlhkosti, hustoty a ďalších vlastností. Tvrdé dreveniny sa prehrievajú vzhľadom ku svojej hustote rýchlejšie než mäkké, pórovité dreveniny. Doba vytvrdzovania lepidla je teda závislá na nasledujúcich veličinách technologického procesu lepenia:

- Druh dreveniny
- Vlhkosť dreva
- Druh lepidla a jeho vlastnosti
- Veľkosť nánosu
- Veľkosť lepenej plochy

Problém skracovania doby lisovania je vedľa vyššie uvedených faktorov tiež závislý od technických možností strojne-technologického zariadenia.

Lisovací čas je čas, počas ktorého je dielec upnutý v lisovacom zariadení pod pôsobením tlaku a teploty, teda čas od zavedenia lisovacieho tlaku až do jeho uvoľnenia.

Počas lisovacieho času majú prebehnúť fyzikálno-chemické deje a pritom má byť dosiahnutá požadovaná kvalita lepenia. (Trávník, 2008)

### 3.8.2.4. *Klimatizácia po lisovaní*

Tepelným namáhaním dielcov pri lisovaní dochádza k zmene vlhkosti a k vnútornému pnutiu. V dôsledku toho dochádza k objemovým a tvarovým zmenám dielcov. Pred ďalším opracovaním musia byť dielce uvedené do tepelnej rovnováhy a musí byť vyrovnaná vlhkosť dielcov na teplotu a vlhkosť výrobného priestoru.

V priebehu klimatizácie zalisovaných dielcov a ich adaptácie na vlhkosť a teplotu okolia dochádza v horných 2-3 kusoch dielcov k tvarovým deformáciám (priehyb dielcov), ktoré charakterizujeme ako dočasné zmeny. Je to z dôvodu pôsobenia iných klimatických podmienok na vonkajšiu plochu dielca, zatiaľ čo vnútorná plocha dielca z dôvodu uloženia v hráni má vyššiu teplotu z dôvodu pôsobenia akumulovaného tepla z dielcov uložených v hráni. V praxi postačuje na odstránenie tejto deformácie vrchné dva až tri dielce otočiť. (Trávník, 2008)

### 3.9. Bežne spracovávané lepidlá v drevospracujúcom priemysle

V minulosti boli používané hlavne prírodné lepidlá rastlinného alebo živočíšneho pôvodu, ktoré sa v súčasnosti používajú veľmi málo iba pri reštaurátorských prácach. Aktuálne najviac používaným lepidlom je PVAC lepidlo pre jeho variabilné použitie, jednoduchú aplikáciu. Bežne používané lepidlá na báze formaldehydu sa dostávajú do úzadia z dôvodu obsahu voľného formaldehydu vo výrobkoch. Rozvíjajúcim sa lepidlom súčasnosti je PUR lepidlo, ktoré má stále však vysokú cenu v porovnaní s ostatnými.

Lepidlá používané v drevospracujúcom priemysle rozdeľujeme podľa rôznych hľadísk.

1. Podľa pôvodu lepidlá rozdeľujeme na :
  - Organické prírodné lepidlá (škrobové, glutínové, kaseinové, albuminové, včelí vosk, aragská guma, tragant atd.).
  - Organické syntetické lepidlá (polykondenzačné, polymerizačné, polyadičné).
  - Anorganické lepidlá (vodné sklo, cementy, keramické, metalické atd.).
  - Zmiešané lepidlá (albumin-cement, albumin-síra, močovinoformaldehydové-vodné sklo).
2. Podľa formy a skupenstva v akom prichádzajú do obehu sú:
  - Tuhé lepidlá (lepiace fólie, lepidlá v prášku alebo granuliaciach).
  - Polotuhé lepidlá (lepiace pásy, pasty a tmely).
  - Tekuté lepidlá (roztokové lepidlá, disperzné lepidlá).
3. Podľa spôsobu vytvrdzovania
  - Reaktívne lepidlá – jednozložkové (tuhnúce účinkom zvýšenej teploty alebo vzdušnej vlhkosti).
  - Reaktívne lepidlá – dvojzložkové a viaczložkové (vytvrdzujúce vplyvom tvrdiacich katalyzátorov pri normálnej alebo zvýšenej teplote).
  - Nereaktívne lepidlá – roztokové (tuhnúce v dôsledku odparovania vody alebo organického rozpúšťadla).
  - Nereaktívne lepidlá – disperzné (vytvrdzujú vplyvom oddifundovania vody do podkladu).
  - Nereaktívne lepidlá – tavné (tuhnúce vplyvom ochladenia lepenej škáry na normálnu teplotu).



- Nereaktívne lepidlá – stále lepidlá.
4. Podľa tepelných vlastností filmu lepidla
- Termosetické lepidlá (močovinoformaldehydové, melaminformaldehydové, polyuretanové, fenolformaldehydové, rezorcinformaldehydové, epoxidové atd.).
  - Termoplastické lepidlá (polyvinylacetátové, polyvinylchloridové, polymetakrylátové, polystyrénové, polyamidové, lepidlá z derivátov celulózy atd.).
  - Kaučukové lepidlá (chlorkaučukové, polychloroprénové, polybutadienakrylonitrilové).
5. Podľa odolnosti lepidlového filmu voči vode
- Neodolné lepidlá (škrobové, glutínové, albuminové, polyvinylalkoholové, metylcelulózoové, karboxymethylcelulózoové).
  - Krátkodobo odolné lepidlá (močovinoformaldehydové, kaseinové, polyvinylacetátové, nitrátcelulózoové, polyvinyléterové).
  - Trvalo odolné lepidlá (melamínové, fenolformaldehydové, rezorcinolformaldehydové, epoxidové, polyuretanové, polyesterové, polymetakrylátové). (Sedliačik M. a Sedliačik J., 1998)

### 3.9.1. Termoreaktívne lepidlá

Termoreaktívne lepidlá najčastejšie vznikajú polykondenzáciou a polyadíciou.

Polykondenzácia je reakcia, pri ktorej vzniká makromolekula pri súčasnom uvoľnení jednoduchéj látky, napr. vody, kyseliny chlorovodíkovej, amoniaku a pod. Medzi polykondenzačné lepidlá používané v drevárskom priemysle patria:

- a) Aminoplasty (hlavne UF a MEF lepidlá)
- b) Fenoplasty (hlavne PF a rezorcinformaldehydové lepidlá)

Pri polyadícií nastáva spojenie jednoduchých molekúl do makromolekuly zvyčajne nasýteného cyklu alebo zaniknutím násobnej väzby (bez uvoľnenia jednoduchých vedľajších splodín). Pre tieto reakcie je charakteristická migrácia vodíka z jednej molekuly na druhú. Do tejto skupiny zaraďujeme lepidlá: epoxidové, polyuretánové a izokyanátové. (Sedliačik, 2005)

### **3.9.1.1. Močovinoformaldehydové lepidlá (UF)**

UF lepidlá sú v súčasnosti najpoužívanejšie a najrozšírenejšie lepidlá na drevo aj vďaka ich nízkej cene. Používajú sa pri výrobe drevotriekových dosiek, preglejok, latoviek a iných. Taktiež sú vhodné na dyhovanie alebo lepenie škároviek.

Močovina je biela kryštalická látka dobre rozpustná vo vode s teplotou topenia 132,6 °C. Formaldehyd (metanal) je pri normálnej teplote bezfarebný plyn štipľavého zápachu s teplotou varu 19,2 °C. Je zdraviu škodlivý a dráždi sliznicu.

Vo vytvrdnutých živiciach zostávajú niektoré nezreagované skupiny, predpokladá sa že ide o skupiny, ktoré nie sú schopné reakcie, pretože sú priestorovo uzavreté v zosieťovanej makromolekule. Spolu s dimetylénterovými väzbami sú tieto uzavreté metylolové skupiny príčinou horších vlastností vytvrdnutých UF živíc (znižujú najmä vodovzdornosť) a sú príčinou uvoľňovania formaldehydu.

Sušina jednotlivých druhov lepidiel je 65 %. Skladovateľnosť lepidla je 2 až 3 mesiace. Vyrába sa aj práškové UF lepidlo, ktoré má v hermeticky uzavretých nádobách neobmedzenú skladovateľnosť.

Vytvrdnutý film UF lepidla v lepenej škáre nemá byť hrubší ako 0,1 mm, pretože so stúpajúcou hrúbkou sa stáva krehkejším, rýchlejšie stárne a znižuje sa jeho mechanická pevnosť.

Močovinoformaldehydové lepidlá majú výhodné vlastnosti ako sú možnosť vytvrdzovať v širokom rozmedzí teplôt (10 až 150 °C), majú pomerne krátky vytvrdzovací čas, používajú sa vo forme vodných roztokov, sú bezfarebné, čiastočne odolné proti vode a podobne. Po chemickej reakcii s príslušnými tužidlami vytvárajú pevné a krehké lepené spoje odolné voči vode, varu a poveternostným vplyvom.

Nevýhodou týchto lepidiel je uvoľňovanie formaldehydu pri výrobe dosák aj počas ich skladovania a používania. Na odstránení alebo aspoň na znížení uvoľňovania formaldehydu sa v súčasnosti veľmi intenzívne pracuje a za posledných niekoľko desaťročí sa obsah formaldehydu výrazne znížil. Ďalšou z nevýhod je nízka odolnosť voči vode. (Sedliačik, 2005; Rowell, 2013)

Na zvýšenie odolnosti UF lepidla proti vode je možné primiešavať do močovinoformaldehydových lepidiel melamín. Množstvo melamínu v týchto zmesných

lepidlách je vždy najvyššie požadované, ale zároveň najnižšie možné. Nevýhodou MEF lepidiel je nízka doba skladovateľnosti a vyššia cena v porovnaní s UF lepidlami. Preto je dôležité správne zvoliť pomer UF ku MEF lepidiel vzhľadom na kvalitu lepidla, ale aj na cenu. (Dunky, 1998)

### 3.9.1.2. Melamínformaldehydové lepidlá (MEF)

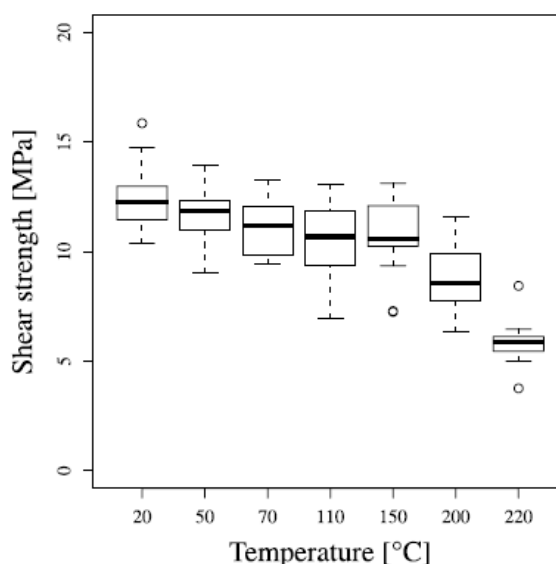
Melamínformaldehydové lepidlá sú svojou štruktúrou podobné UF živiciam, avšak nezafarbiajú lepenú škáru.

Melamín je biela kryštalická látka s teplotou topenia pri 354 °C, je málo rozpustný vo vode. Vytvrdzovanie MEF živíc prebieha za studena v kyslom prostredí obdobne ako UF lepidlá. Pri vyšších teplotách (130 až 140 °C) vytvrdzujú bez tvrdív. V kyslom prostredí vznikajú trojrozmerné makromolekuly, ktoré sú nerozpustné vo vode a sú netaviteľné. (Sedliačik, 2005)

Používajú sa na lepenie dreva, sú zdravotne nezávadné, odolné proti studenej a vriacej vode, čiastočne aj proti poveternostným vplyvom. Lepený spoj dosahuje vysokú pevnosť. (Rowell, 2013)

Vlastnosťami sa blížia k fenolickým lepidlám. Nedostatkom týchto lepidiel je malá stabilita roztokov a vyššia cena (sú približne trikrát drahšie ako UF lepidlá). Najčastejšie sa používajú v zmesi s UF lepidlami a sú v podstate močovino-melamínformaldehydové polykondenzáty. (Sedliačik, 2005)

Vynikajúcu tepelnú odolnosť MEF lepidiel skúmali aj v práci Clauß et al. v roku 2011. Šmyková pevnosť MEF pri zvyšovaní teploty klesá, avšak aj pri teplote 220 °C dosahuje pevnosť približne 5 MPa (vid' Obr. 6), čo je výrazne viac v porovnaní s pevnosťou UF lepidla, ktorá je približne 1 MPa pri rovnakej teplote.



**Obr. 6 Šmyková pevnosť MEF v závislosti na teplote (Clauß et al., 2011)**

### 3.9.1.3. Fenolformaldehydové lepidlá (PF)

Fenolformaldehydové lepidlá sú tiež nazývané fenoplasty a sú to polykondenzačné látky pripravené z fenolu a formaldehydu. Používajú sa hlavne na lepenie preglejok. Pre svoje vhodné vlastnosti sa ich výroba neustále rozširuje. Poskytujú lepené spoje sfarbené do tmavohneda, pevné, pružné, odolné proti vriacej vode, poveternostným vplyvom, mikroorganizmom, proti väčšine rozpúšťadiel a starnutiu. Tieto lepidlá sú vhodné pre vonkajšie použitie. Fenolformaldehydové lepidlá sa používajú k výrobe nosných stavebných konštrukcii.

V podstate sú to roztoky PF rezolov vo vode, acetóne alebo v alkohole, tvrditeľné za tepla alebo za studena pôsobením kyslých tvrdív. Zaraďujeme sem aj fenolické lepiace fólie. Vytvrdzujú sa zosieťovaním pôsobením kyslého katalyzátora a odparením vody.

Základnými surovinami na výrobu fenoplastov sú fenoly a formaldehyd. Z fenolov je to fenol, trikrezol (zmes o-, m- a p-krezolu) a xylenoly (6 izomérov).

Čistý fenol je biela kryštalická látka, ktorá na vzduchu dostáva červenofialový odtieň, teplota topenia je 40,9 °C. Je obmedzene rozpustný vo vode. Fenol je toxická látka, ktorá patrí do skupiny aromatických látok.

Reaktívne nízkomolekulové rezoly sa uplatňujú ako montážne lepidlá a impregnačné živice na výrobu lepiacich fólií. Viskóznejšie rezoly s vyššou relatívnou molekulovou hmotnosťou (pripravené pri nižšom molovom pomere) sa používajú ako lepidlá pri spracovaní za horúca (vrstvené materiály-preglejky).

Z hľadiska použitia sa PF lepidlá rozdeľujú na dva základné typy:

- a) Tvrditeľné pri normálnej teplote (montážne)
- b) Tvrditeľné za horúca pri teplote 135 až 165 °C

Zvyškový nezreagovaný fenol je toxický a môže vytekať na povrch v podobe alkalickkej soli a sfarbovať lepidlovú škáru do červenohneda. Lepidlá sú zdraviu škodlivé. (Sedliačik, 2005)

Teplotné namáhanie spôsobuje zmeny v lepenom spoji, ktoré sú závislé na type použitého lepidla. Najväčšiu odolnosť malo zmesné fenolresorcinolformaldehydové

lepidlo, u ktorého došlo len k malým zmenám v porovnaní s epoxidovým lepidlom, kde sa pevnosť lepidla po teplotnom namáhaní znížila až na tretinu. (Děcký a Kúdela, 2015)

#### **3.9.1.4. Rezorcinolformaldehydové lepidlá**

Tieto lepidlá patria medzi najkvalitnejšie montážne lepidlá na drevo. Ich príprava a použitie sú založené na reakcii najreaktívnejšieho zástupcu zo skupiny fenolov rezorcínu s formaldehydom. Jeho reaktivita v porovnaní s fenolom je 7,75-krát väčšia.

Vysoká reaktivita rezorcínu s formaldehydom umožňuje čiastočnú náhradu rezorcínu fenolom pri zachovaní charakteru a vlastností rezorcínolových lepidiel. Je to veľmi dôležité vzhľadom na vysokú cenu rezorcínu v porovnaní s fenolom, preto uvedené kombinácia umožňuje znížiť cenu lepidiel tohto druhu.

Rezorcínolové lepidlá sú červené viskózne kvapaliny, buď neutrálne alebo slabo alkalické. Vytvrdzujú s paraformaldehydom. Lepené spoje odolávajú studenej a vriacej vode, poveternostným vplyvom, kyselinám, slabým zásadám a mnohým iným rozpúšťadlám. Využívajú sa na lepenie nosníkov. (Sedliačik, 2005)

#### **3.9.1.5. Lepiace fólie**

Lepiace fólie rozdeľujeme na:

- a) Fenolformaldehydové lepiace fólie
- b) Močovinoformaldehydové lepiace fólie
- c) Melamínformaldehydové fólie na povrchovú úpravu TD a VD v rôznych dezénach

PF lepiace fólie patria medzi špeciálne typy syntetických lepidiel na lepenie dreva. Ich použitie má v porovnaní s kvapalnými lepidlami niektoré výhody:

- Zabezpečí sa dokonalý (rovnomerný) nános.
- Nenastáva presakovanie povrchovými dyhami a nevnáša sa do lepeného spoja voda.
- Jednoduchšia príprava súborov na lepenie.
- Fólie majú podstatne dlhšiu skladovateľnosť než roztokové lepidlá.

PF lepiace fólie sa používajú pri výrobe leteckých preglejok, preglejok na stavbu lodí a pri výrobe vrstveného dreva. Vlhkosť lepených dýh je 8 až 12 %, kým pri bežnom lepení je 6 až 8 %.

PF lepiace fólie sú vlastne sulfátové papiere impregnované nízkomolekulovou živicom. Papier sa impregnuje tak, aby prijal živicu v množstve do 120 g.m<sup>-2</sup>.

UF lepiace fólie sú v podstate obdobou PF fólií. Papier sa impregnuje UF živicom, ktorá obsahuje latentný katalyzátor (tvrdidlo), málo účinný pri normálnej teplote. Vlastnosti lepených spojov sú podobné ako pri použití kvapalných živíc. UF lepiace fólie sa používajú v nábytkárskom priemysle pri dyhovaní a pri výrobe tvarovaných preglejok.

Používanie MEF lepidiel na prípravu lepiacich, eventuálne dekoračných fólií, je obmedzené predovšetkým z cenových dôvodov na tie prípady, kedy sa vyžaduje zdravotná nezávadnosť a vodovzdornosť lepených spojov, ktorá sa blíži k PF lepidlám. V poslednom čase sa využívajú hlavne zmesové UF-MEF lepidlá (nahradzuje sa drahé MEF lepidlo až 30 % UF lepidlom). (Sedliačik, 2005)

#### **3.9.1.6. Epoxidové lepidlá**

Epoxidové lepidlá zaraďujeme medzi polyadičné a patria medzi najkvalitnejšie druhy lepidiel. Sú to dvojzložkové lepidlá (živica, tvrdidlo). V nevytvrdenom stave sú kvapalné alebo tuhé látky. S tuhými lepidlami sa pracuje pri zvýšenej teplote, pri ktorej sa roztavia. Sú nerozpustné vo vode a alkohole.

Podľa teploty potrebnej na vytvrdenie ich rozdeľujeme na lepidlá tvrditeľné pri teplote pod 100 °C a nad 100 °C (až do 180 °C). Vo všeobecnosti platí, že epoxidové lepidlá vytvrdené pri vyšších teplotách dávajú pevnejšie a odolnejšie lepené spoje.

Reakcia vytvrdenia epoxidových lepidiel prebieha pri veľmi malých objemových zmenách a nevznikajú pri nej žiadne prchavé splodiny, tvrdidlo sa viaže na živicu chemicky. Preto sa pri vytvrdení nevyžaduje vysoký lisovací tlak, postačuje tlak 0,02 MPa. Pre dosiahnutie pevného lepeného spoja je veľmi dôležité presne dávkovať množstvo tvrdidla.

Po vytvrdení odolávajú spoje lepené epoxidovými lepidlami bežným organickým rozpúšťadlám (alkoholom, alifatickým a aromatickým uhl'ovodíkom), majú dobrú odolnosť proti alkáliám a minerálnym kyselinám.

Odolnosť epoxidových lepidiel za tepla závisí väčšinou od druhu použitého tvrdiva a od stupňa zosieťovania. Vytvrdnuté lepidlá tvoria tvrdé, nerozpustné a netaviteľné spoje. (Sedliačik, 2005)

### **3.9.1.7. Polyuretánové lepidlá (PUR)**

Polyuretánové lepidlá zaraďujeme medzi polyadičné lepidlá (obdobne ako epoxidové). Tieto lepidlá sa vyrábajú buď ako jednozložkové, alebo ako dvojzložkové.

Jednozložkové lepidlá sa vyrábajú zo zlúčenín s aktívnym vodíkom, zmiešaných s izokyanátom v nadbytku, výsledkom čoho molekuly získaného polyuretánu obsahujú voľné izokyanátové skupiny. Tieto skupiny reagujú so vzdušnou vlhkosťou, podporujú rast molekúl a ich zosieťovanie, čo spôsobuje vytvrdenie lepidla. Do tejto skupiny lepidiel patria aj sekundové lepidlá, ktoré vytvrdnú v krátkom čase.

Dvojzložkové lepidlá sú najčastejšie zložené z polyesteru v tvare viskózne tekutiny a tekutého izokyanátu, ktorý sa pridáva pred lepením približne v rovnakom množstve.

Polyuretánové lepidlá sú toxické a zápalné, keď obsahujú organické rozpúšťadlá. Zvlášť nebezpečné pre človeka predstavujú izokyanátové skupiny, ktoré ľahko reagujú s tkanivami. Veľká výhoda týchto lepidiel je možnosť ich vytvrdzovania v širokom rozmedzí teplôt, (0 °C až 160 °C), hoci do celkového zosieťovania a vytvrdenia substancie je konečná teplota okolo 100 °C.

Vytvrdnuté lepidlá po konečnom zosieťovaní sú netoxické. V podmienkach vysokej vlhkosti a zvýšenej teploty môžu podliehať degradácii, pravdepodobne na vrub hydrolýzy esterových skupín. Spoje PUR lepidiel odolávajú studenej a vriacej vode a sú porovnateľné s PF lepidlami. Vysoká je však i šmyková pevnosť lepených prvkov a odlupovanie prilepených fólií. Pevné a pružné lepené spoje sú odolné voči dynamickému namáhaniu, pôsobeniu organických rozpúšťadiel, zriedených kyselín a zásad, olejov a tukov, odolávajú tiež vlhkosti a poveternostným vplyvom. Avšak pri zvýšenej teplote mäknú, čo zapríčiňuje značné zníženie pevnosti spojov.

Polyuretánové lepidlá si našli uplatnenie v produktoch určených do exteriéru, kde sa môžu uplatniť ich kladné vlastnosti. V interiéri sú používané na miestach, kde dochádza k namáhaniu (vlhkosť, teplota atd.). Nevýhodou tohto lepidla je vysoká cena,

náročné čistenie nanášacieho a lisovacieho zariadenia. (Packham, 2005; Sedliačik, 2005)

### **3.9.2. Termoplastické lepidlá**

Termoplastické lepidlá sa vyznačujú trvalou plastifikovateľnosťou a teda možnosťou previesť ich zahriatím do plastického stavu. V porovnaní s termoreaktívnymi lepidlami sú rozpustné v niektorých organických rozpúšťadlách a majú malú tepelnú odolnosť. Používajú sa vo forme roztokov v organických rozpúšťadlách, niektoré vo forme vodných emulzií.

Do tejto skupiny zaraďujeme aj tavné lepidlá (tuhé látky), ktoré sa nanášajú vo forme taveniny.

Termoplastické lepidlá vznikajú najmä polymerizáciou. Je to reakcia, pri ktorej vzniká makromolekula, tzv. polymér – z jednoduchých molekúl – monomérov, obsahujúcich dvojitú väzbu, a to ich spojením cez túto väzbu. Pri reakcii sa neuvolňuje žiadna jednoduchá látka priebeh reakcie sa skladá z 3 fáz: iniciácia (aktivácia monoméru), propagácia (spojenie radikálov), terminácia (ukončenie rastu reťazca).

Termoplastické lepidlá sú väčšinou jednozložkové lepidlá, tvrdnúce difúziou rozpúšťadiel do lepeného materiálu.

Rozdeľujeme ich do týchto základných skupín:

- a) Akrylátové lepidlá
- b) Vinylacetátové lepidlá
- c) Kaučukové lepidlá
- d) Polyamidové lepidlá
- e) Tavné lepidlá (Sedliačik, 2005)

#### **3.9.2.1. Polyvinylacetátové lepidlá (PVAC)**

Polyvinylacetátové lepidlá sa pripravujú z acetylénu a kyseliny octovej za prítomnosti ortuťnatých solí. Vinylacetát je bezfarebná kvapalina štiplavého zápachu s teplotou varu 73 °C. Polyvinylacetát sa nerozpúšťa vo vode a jeho veľmi malé častice sú veľmi jemne rozptýlené (dispergované) vo vode.

PVAC lepidlá sa vyznačujú dobrou afinitou k drevu vzhľadom na ich polárny charakter a poskytujú veľmi pevné spoje. Na rozdiel od polykondenzačných lepidiel sú



veľmi pružné. PVAC lepidlá zaraďujeme medzi zdravotne vyhovujúce, hoci plastifikátory sú fyziologicky škodlivé látky (pridáva sa ich menej ako 5 %).

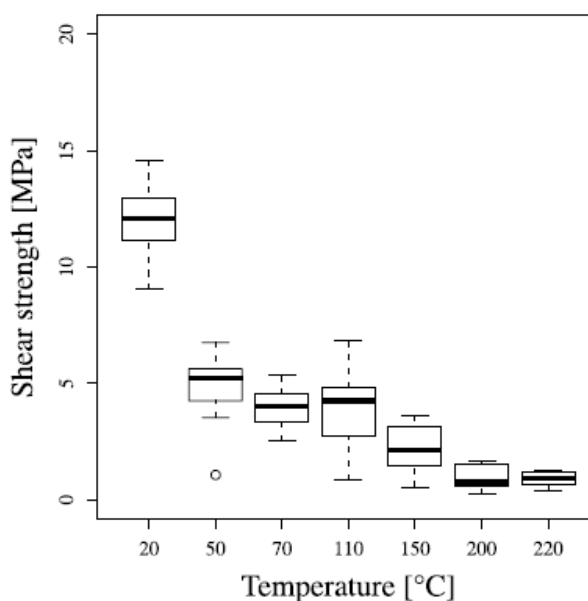
Pri vytvrdzovaní PVAC disperzií bez prídavku tvrdidiel nenastáva žiadna chemická reakcia alebo zmena. Ide tu v podstate o fyzikálny proces, pri ktorom drevo odoberá z PVAC lepidla postupne vodu, pričom sa vytvára na jeho povrchu súvislý film. Vytvrdzovanie PVAC lepidiel s pridaním tvrdidiel, napr. lepidlá triedy D4, je čiastočne fyzikálne a čiastočne chemické. PVAC lepidlá sú nehorľavé, odolné proti mikroorganizmom a vytvárajú priesvitné bezfarebné spoje, zvyčajne málo odolné proti vode. Používajú sa na montážne účely, ich pH sa pohybuje v rozmedzí 4 až 6. Minimálna filmotvorná teplota je 13 °C. (Pizzi a Mittal, 2010; Sedliačik, 2005)

Pevnosť lepeného spoja výrazne klesá už pri teplote nad 50 °C približne o polovicu na hodnotu 5 MPa (vid' Obr. 7). (Clauß et al., 2011)

Disperzné PVAC lepidlá nie sú natoľko náročné na presnosť opracovania lepených plôch ako napr. lepidlá UF. Nánosy sa pohybujú v závislosti od hladkosti povrchu a druhu materiálov od 120 do 250 g.m<sup>-2</sup>. Veľká vrstva lepidla má za následok zníženie pevnosti lepeného spoja. Doporučená hrúbka lepenej škáry je do 0,2 mm. Sušina u týchto lepidiel sa pohybuje v rozmedzí 50–60 %.

Pri lepení PVAC lepidlami je

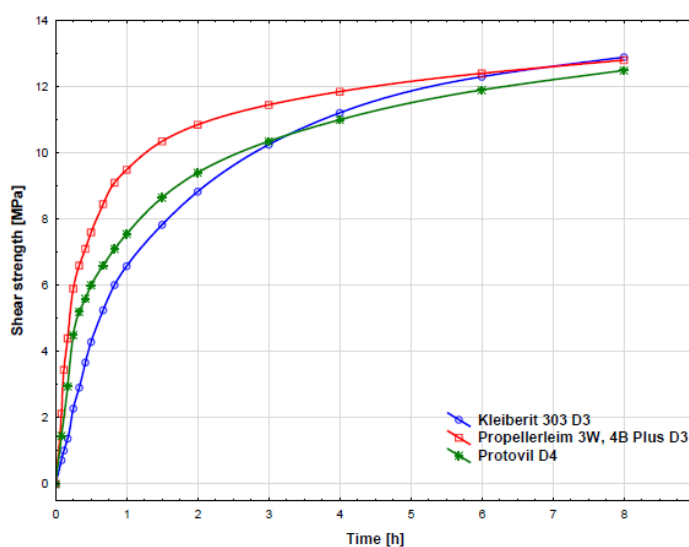
veľmi dôležitá aj vlhkosť dreva, ktorá by mala byť rovnaká u oboch lepených adherentov najviac však v rozdiel do 2 %. Optimálna vlhkosť je 8 ± 2 %. Vysoká vlhkosť predlžuje dobu vytvrdzovania a zároveň znižuje pevnosť spoja. Nízka vlhkosť spôsobuje rýchle vsakovanie rozpúšťadla do podkladu, čo spôsobuje zlé rozlievanie lepidla po podklade a netvorí sa súvislý lepidlový film.



**Obr. 7 Šmyková pevnosť PVAC v závislosti na teplote (Clauß et al., 2011)**

Kvalita lepeného spoja s PVAC lepidlami sa vyznačuje dobrou pevnosťou v šmyku, vyhovujúcou požiadavkám na montážne lepenie. Na lisovanie je potrebná krátka doba na vytvorenie filmu lepidla (5–20 min). Spoje lepené PVAC bez pridania tvrdidiel opäť mäknú pri teplotách 40 °C až 60 °C. Spoje s pridaním tvrdidiel odolávajú teplote až do 150 °C. Tieto lepidlá sú vhodné na lepenie drevených výrobkov používaných len v suchom prostredí interiérov (obmedzená odolnosť lepeného spoja voči pôsobení vody). Používajú sa na lepenie škároviek, drevotrieskových dosiek, montážne lepenie kolíkových spojov, dyhovanie. (Nutsch, 2006; Sedliačik, 2005)

Odolnosť PVAC lepidiel voči vlhkosti je nižšia v porovnaní s odolnosťou PUR lepidiel. Výrazne lepšie hodnoty dosahovali vzorky lepené PVAC lepidlom pri vlhkosti 8 % a 12 % v porovnaní so vzorkami lepenými pri vlhkosti 20 %. (Bomba et al., September 2014)



**Obr. 8 Nárast pevnosti lepeného spoja v čase (Bomba et al., Január 2014)**

PVAC lepidlá sú charakteristické veľmi rýchlym nárastom pevnosti. Podľa normy je pevnosť lepeného spoja definovaná ako 10 MPa po klimatizácii vzoriek 7 dní po lepení. Pri jednotlivých PVAC lepidlách to môže byť od 75 min do 165 min v závislosti na type lepidla (viď Obr. 8). (Bomba et al., Január 2014)

### 3.9.2.2. Zmesné polyvinylacetátové lepidlá

Tieto lepidlá sa skladajú z PVAC lepidiel, ku ktorým sa pridáva asi 10 % najčastejšie močovinoformaldehydových lepidiel. Doba spracovateľnosti zmesného lepidla je až 15 hodín, otvorená doba je až 15 minút. Polyvinylacetátový podiel tvrdne fyzikálne, podiel močovinoformaldehydových živíc sa vytvrdzuje chemicky. Touto prísadou sa zvyšuje pevnosť lepenia zavlhka, znižuje sa však elasticita spojenia. Tieto lepidlá sa používajú u vnútorných stavebných dielcov a nábytku ovplyvňovaných

vlhkosťou, napr. v kúpeľniach a u vonkajších dielcov, ktoré nie sú vystavené priamym poveternostným vplyvom. (Nutsch, 2006)

### **3.9.2.3. Tavné lepidlá**

Tavné lepidlá patria medzi najnovšie druhy lepidiel. Definujeme ich ako bezrozpúšťadlové termoplasty, ktoré sa aplikujú v roztavenom stave. Tavenina po nanesení a vykonaní zlepenia za veľmi krátky čas stuhne a vytvára pevný spoj. Okrem týchto typov lepidiel sú aj reaktívne tavné lepidlá, u ktorých po fyzikálnom zatuhnutí dochádza k zosieťovaniu (chemický proces), napríklad polyuretánové tavné lepidlá.

Je zrejmé, že použitím tavných lepidiel sa spracovatelia vyhnú niektorým nevýhodám, ktoré prinášajú klasické rozpúšťadlové a disperzné lepidlá. Do materiálov sa nevnáša nežiaduca vlhkosť, to znamená, že nie je potrebné dlhodobé skladovanie výrobkov v klimatizačných priestoroch, krútenie a vlnenie materiálov sa prakticky nevyskytuje. Medzi výhody týchto lepidiel patrí ich použiteľnosť pre lepenie rôznych druhov povrchov, jednoduché skladovanie a žiadne emisie spodín a rozpúšťadiel pri spracovaní. Tavné lepidlá umožňujú niekoľkonásobne vyššiu spracovateľskú rýchlosť. Nanesenie taveniny, pritlačenie lepených materiálov a vytvrdenie spojov trvá niekoľko sekúnd a výrobok môže ísť na ďalšiu pracovnú operáciu.

Tavné lepidlá môžu pri dlhodobom zahrievaní na vzduchu na pracovnú teplotu, ktorá je zvyčajne 180 až 200 °C, podliehať degradácii. Prejaví sa to tmavnutím lepidla, tvorbou príškvarkov, dymu a znížením lepidlivosti. (Sedliačik, 2005; Nutsch, 2006)

- **Etylvinylacetátové tavné lepidlá (EVA)**

Základnou zložkou je kopolymer z etylénu a vinylacetátu, ako prísady sa pridávajú napr. zmäkčovadla a pigmenty. Teplota pri nanášaní je medzi 180 °C a 220 °C. K vytvoreniu lepidlového filmu dochádza stuhnutím a ochladením. Teplotná odolnosť je od -10 °C do 75 °C. Väčšia vlhkosť ako 10 % a dodatočné pôsobenie vlhkosti oslabuje pevnosť škár. Rozsah použitia je hlavne v suchých vnútorných priestoroch, problematické je použitie v kuchyniach a kúpeľniach. (Nutsch, 2006)

- **Polyamidové tavné lepidlá (PA)**

Tento typ lepidla je polykondenzačný výrobok z diaminu a diakarbonových kyselín, pridávajú sa prísady ako zmäkčovadla a pigmenty. Teplota pri spracovaní je medzi 170 °C a 190 °C, niekedy až do 220 °C. Vytvorenie lepidlového filmu je stuhnutím a ochladením. Teplotná odolnosť je od -20 °C až do 130 °C. Odolnosť proti pôsobeniu vlhkosti je podobná ako u lepidiel EVA. Lepšia tepelná a chemická odolnosť než u lepidiel EVA pri rovnakej príľnavosti. Často sa používa k olepovaniu plastov na úzkych plochách v suchých priestoroch. (Nutsch, 2006)

- **Polyolefínové tavné lepidlá (APAO)**

Polyolefínové lepidlo je polymeračný produkt rôznych termoplastov, ako je napr. polyetylén a polypropylén. Teplota pri spracovaní je medzi 170 °C a 190 °C niekedy až do 220 °C. Vytvorenie lepidlového filmu je stuhnutím a ochladením. Teplotná odolnosť je podobná ako u polyamidových tavných lepidiel. Odolnosť proti pôsobeniu vlhkosti je podobná ako u lepidiel EVA. Vzhľadom k širokému spektru materiálov sú možné rôzne vlastnosti. Používa sa do suchých vnútorných miestností, kde je požadovaná skrátená otvorená doba, nízka viskozita a dobrá príľnavosť. (Nutsch, 2006)

- **Polyuretánové tavné lepidlá (PUR)**

Je to polyadičný produkt z alkoholu a izokyanátu. Teplota pri spracovaní je približne 120 °C až 150 °C, na spracovanie je nutná špeciálna strojná technológia. Lepidlový film sa vytvára stuhnutím, ochladením a následným zosieťovaním odobraním okolitej vlhkosti. Teplotná odolnosť je od -40 °C až do 140 °C a pri vytvrdení pomocou UV až do 200 °C. Odolnosť proti vlhkosti je vyššia než u termoplastických tavných lepidiel. Toto lepidlo sa vyznačuje obzvlášť vysokou odolnosťou proti chemikáliám, riedidlám, teplote a vlhkosti. PUR lepidlá používame hlavne u vonkajších dverí, v kúpeľňovom a kuchynskom nábytku. (Nutsch, 2006)

### **3.10. Pevnosť lepenia v šmyku**

Šmyková pevnosť lepených spojov sa stanovuje podľa prostredia a typu namáhania, ktorému je vystavený materiál. Postupy testovania vzoriek a expozícií sú uvedené v platných normách.

### 3.10.1. ČSN EN 205 Lepidla – Lepidla na drevo pre nekonštrukčné aplikácie – Stanovenie pevnosti v šmyku pri ťahovom namáhaní preplátovaných spojov

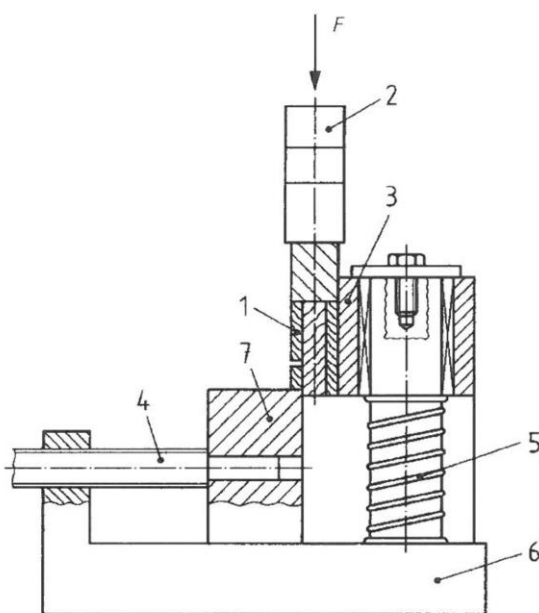
Táto norma z roku 2017 umožňuje klasifikáciu lepidiel na drevo vzhľadom k pevnosti lepeného spoja podľa odolnosti voči horúcej a studenej vody. Umožňuje ochranu spotrebiteľa pri vlastnostiach lepidiel, ktoré sú udávané výrobcom.

Metódy popísané v tejto norme sú vhodné pre nasledujúce použitie:

- Stanovenie použiteľnosti a kvality lepidiel na drevo a drevené materiály.
- Klasifikácia lepidiel do tried trvanlivosti D1 až D4 podľa EN 204 (termoplastické lepidlá) a C1 až C4 podľa EN 12765 (reaktoplastické lepidlá).
- Hodnotenie vplyvu pevnosti lepenia vzhľadom na vybrané podmienky lepenia, rôzne podmienky expozície a opracovanie vzoriek pred a po lepení.

### 3.10.2. ČSN EN 13354 Dosky z masívneho dreva (SWP) – Kvalita lepenia – Metóda skúšania

Táto norma stanovuje metódu testovania dosiek z masívneho dreva (SWP). Kvalita lepenia jednovrstvých alebo viacvrstvých dosiek z masívneho dreva sa realizuje šmykovou skúškou v tlaku na prípravku ako je na Obr. 9. Potom je vypočítaná pevnosť v šmyku a stanovuje sa percentuálny podiel porušenia v dreve.



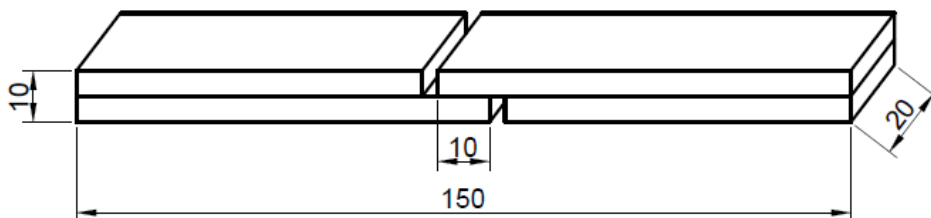
Obr. 9 Šmykový prípravok so skúšobným telesom podľa ČSN EN 13354

Na viacvrstvých doskách je odber vzoriek realizovaný v pruhu pod uhlom od jedného okraja dosky cez stred až po druhý okraj dosky. Z tohto pruhu je následne vyrezaných najmenej 10 skúšobných teliesok. V prípade jednovrstvých dosiek sa skúšobné telieska vyrezávajú podľa požiadaviek normy, avšak musí byť testovaných aspoň 10 lepených škár.

Pripravené skúšobné telieska sú vystavené expozícii podľa použitia v suchom, vlhkom alebo vonkajšom prostredí podľa tabuľky z normy ČSN EN 13354 (viď Tab. 4).

### **3.10.3. ČSN EN 302-1 – Lepidla pre nosné drevené konštrukcie – Skúšobné metódy – Časť 1: Stanovenie pozdĺžnej pevnosti v šmyku pri ťahovom namáhaní**

Táto metóda je vhodná pre lepidlá používané pre nosné drevené konštrukcie. Šmyková pevnosť lepeného spoja je stanovená ťahovou skúškou na jednoduchý preplátovaný spoj s tenkou približne 0,1 mm a hrubou vrstvou lepidla  $1,0 \pm 0,1$  mm. Dĺžka skúšobných vzoriek je  $150 \pm 5$  mm, hrúbka  $10 \pm 0,2$  mm, šírka  $20 \pm 0,1$  mm a dĺžka skúšobnej plochy je  $10 \pm 0,1$  mm, ako je to na Obr. 10.



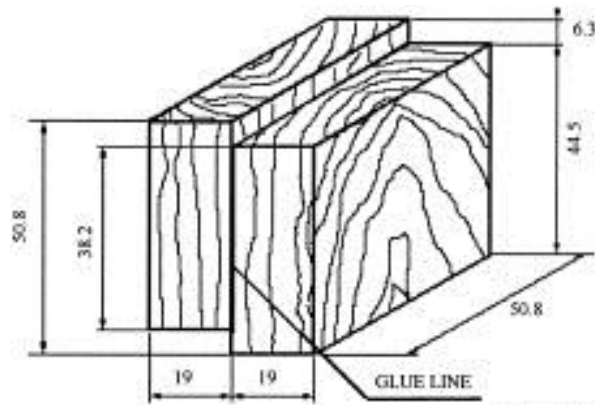
**Obr. 10 Skúšobné teliesko pre stanovenie pozdĺžnej šmykovej pevnosti podľa ČSN EN 302-1**

Priebeh skúšky sa skladá z nasledujúcich etáp:

- Zlepenie dosiek, kondicionovanie v štandardnom prostredí a následné narezanie skúšobných vzoriek.
- Exponovanie skúšobných vzoriek v 8 rôznych prostrediach (A1 až A8) podľa normy.
- Skúška testovaných skúšobných vzoriek podľa postupov danej normy.
- Výpočet šmykovej pevnosti podľa vzorca v  $\text{N/mm}^2$  a percento porušenia dreva a šmykovej plochy. (ČSN EN 302-1: 2013)

### 3.10.4. Štandardný testovací postup pre stanovenie pevnostných vlastností lepených spojov pri zaťažení šmykom podľa ASTM D 905

Americký skúšobný postup ASTM D 905 Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading zahŕňa stanovenie porovnania šmykových pevností lepidiel používaných pre lepenie dreva a drevených materiálov. Skúšanie vzoriek je realizované podľa normou uvádzaných postupov za stanovených podmienok a telieska sú zaťažované v tlaku na šmyk lepenej škáry. Táto norma je určená k hodnoteniu lepidiel na drevo a je vhodná na výskum a vývoj lepených drevených materiálov. Skúšobné teliesko sa skladá z dvoch drevených kvádrov v šírke 50,8 mm, dĺžke 44,5 mm a hrúbke 19,05 mm. Tieto kvádre sú od seba vzájomne posunuté o 6,35 mm, z čoho nám vznikne plocha  $38,1 \times 50,8$  mm (viď Obr. 11). Smer vlákien na skúšobných telieskach by mal byť rovnobežný so smerom zaťažovania v tlaku.



**Obr. 11 Stanovenie pevnosti lepenia podľa ASTM D 905**  
(zdroj: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

## 4. MATERIÁL A METODIKA

### 4.1. Skúšobný materiál a zariadenie

V tejto práci boli použité škárovky od dvoch výrobcov s tým, že každý výrobca používa iný typ lepidla. Boli testované dva typy lepidla a to PVAC lepidlo a UF lepidlo na dvoch typoch drevín a to buk a dub. Firma používajúca UF lepidlo spracováva lokálne zdroje dreva v okolí Žiaru nad Hronom a firma používajúca PVAC lepidlo dováža lamely na výrobu škárovky z východného Slovenska.

#### Výrobca používajúci PVAC lepidlo

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Typ použitého lepidla:              | AG-COLL 8761 D3        |
| Vlhkosť dreva [%]:                  | 8–12                   |
| Nános lepidla:                      | jednostranný           |
| Množstvo [g/m <sup>2</sup> ]:       | 150–180                |
| Otvorený čas [min]:                 | 15                     |
| Lisovací tlak [N/mm <sup>2</sup> ]: | 0,2–0,8                |
| Lisovací čas [min]:                 | 15–20                  |
| Lisovacia teplota [°C]:             | 18–22                  |
| Lisovacie zariadenie:               | otočný turniketový lis |

#### Výrobca používajúci UF lepidlo

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| Typ použitého lepidla:              | Danafix 4535 |
| Vlhkosť dreva [%]:                  | 8 ± 2        |
| Nános lepidla:                      | jednostranný |
| Množstvo [g/m <sup>2</sup> ]:       | 125–250      |
| Otvorený čas [min]:                 | 10–15        |
| Lisovací tlak [N/mm <sup>2</sup> ]: | 0,8–1,2      |



|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| Lisovací čas [min]:     | 3–8                        |
| Lisovacia teplota [°C]: | 105                        |
| Lisovacie zariadenie:   | automatický vyhrievaný lis |

Merania na stanovenie hustoty a vlhkosti boli realizované pomocou posuvného meradla Mitutoyo 150 mm, laboratórnej váhy Radwag WPX650 a sušiarne Sanyo MOV-212P. Merania podľa noriem ČSN EN 205 a ČSN EN 13354 boli realizované na univerzálnom skúšobnom stroji Zwick Z050. Stroj bol osadený buď čeľušťami na ťahovú skúšku alebo tlakovým prípravkom na stanovenie kvality lepenia v tlaku.

#### **4.1.1. Charakteristické vlastnosti dreva Buku lesného (*Fagus sylvatica* L.)**

Drevo buku nemá rozlíšené jadro a beľ, je ružovkasté, nahnedlé až červenohnedé (parené drevo až červeno sfarbené), na starých stromoch je častý výskyt nepravého jadra. Je to roztrúsene pórovité listnaté drevo s pomerne zreteľnými letokruhmi. Stržňové lúče sú zreteľne viditeľné na všetkých rezoch, na priečnom reze tvoria husto prebiehajúce pásy kolmo na letokruhy, na radiálnom reze viditeľné zrkadlá a na tangenciálnom reze 1–5 mm vysoké tmavšie pásiky. Bukové drevo je stredne ťažké ( $\rho_0 = 685 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $\rho_{12} = 720 \text{ kg.m}^{-3}$ ) a stredne tvrdé (61 MPa). Drevo je menej trvanlivé a málo odolné voči biotickým činiteľom (huby, hmyz). Dobré sa impregnuje, parí, morí, horšie sa suší (má sklon k tvorbe trhlín a krúteniu). (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

#### **4.1.2. Charakteristické vlastnosti dreva Dubu letného (*Quercus robur* L.)**

Dubové drevo má rozlíšené jadro a beľ, beľ je úzka nažltlá až svetlohnedá, jadro svetlo až tmavohnedé. Drevo má typickú kruhovite pórovitú stavbu so zreteľnou hranicou medzi letokruhmi aj medzi jarným a letným drevom. Makropóry (široké jarné cievy) tvoria v zóne jarného dreva zreteľné póry, na pozdĺžnych rezoch zreteľné ryhy. Mikropóry (úzke letné cievy) tvoria na priečnom reze v zóne letného dreva svetlé radiálne pásy (radiálne zoskupenie ciev). Stržňové lúče sú zreteľné na všetkých rezoch, na priečnom reze tvoria viditeľné pásy kolmé na letokruhy, na radiálnom reze krivolaké zrkadlá a na tangenciálnom reze až niekoľko centimetrov vysoké tmavšie pásy. Drevo dubu je stredne ťažké, hustota dubu je  $\rho_0 = 680 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $\rho_{12} = 725 \text{ kg.m}^{-3}$  a je stredne tvrdé 67,5 MPa. Pre veľký obsah trieslovín patrí k najtrvanlivejším drevinám, drevo sa horšie opracováva, horšie sa suší a obtiažne impregnuje. (Šlezingerová a Gandelová, 2008)

#### 4.1.3. Zoznam testovaných vzoriek

**Tab. 4 Expozícia vzoriek**

| Názov skúšky                  | Norma        | Drevina | Typ lepidla | Klimatizácia    | Rozmery   | Počet ks |
|-------------------------------|--------------|---------|-------------|-----------------|-----------|----------|
| Stanovenie hustoty            | ČSN EN 323   | BUK     | PVAC        | ČSN EN 323      | 50×50×20  | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        |                 |           | 20       |
|                               |              | BUK     | UF          |                 |           | 20       |
|                               |              | DUB     | UF          |                 |           | 20       |
| Stanovenie vlhkosti           | ČSN EN 322   | BUK     | PVAC        | ČSN EN 322      | 50×50×20  | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        |                 |           | 20       |
|                               |              | BUK     | UF          |                 |           | 20       |
|                               |              | DUB     | UF          |                 |           | 20       |
| Pevnosť lepeného spoja v ťahu | ČSN EN 205   | BUK     | PVAC        | T1 ČSN EN 204   | 150×10×20 | 21       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | T3 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | T4 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | T5 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | T1 ČSN EN 204   |           | 21       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | T3 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | T4 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | T5 ČSN EN 204   |           | 20       |
|                               | 150×10×20    | BUK     | UF          | R1 ČSN EN 12765 | 18        |          |
|                               |              | BUK     | UF          | R2 ČSN EN 12765 | 18        |          |
|                               |              | BUK     | UF          | R3 ČSN EN 12765 | 19        |          |
|                               |              | BUK     | UF          | R4 ČSN EN 12765 | 19        |          |
|                               |              | DUB     | UF          | R1 ČSN EN 12765 | 20        |          |
|                               |              | DUB     | UF          | R2 ČSN EN 12765 | 20        |          |
|                               |              | DUB     | UF          | R3 ČSN EN 12765 | 19        |          |
|                               |              | DUB     | UF          | R4 ČSN EN 12765 | 19        |          |
| Kvalita lepenia v tlaku       | ČSN EN 13354 | BUK     | PVAC        | X1              | 50×40×20  | 21       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | X2 ČSN EN 13354 |           | 21       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | X3 ČSN EN 13354 |           | 20       |
|                               |              | BUK     | PVAC        | X4 ČSN EN 13354 |           | 20       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | X1              |           | 19       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | X2 ČSN EN 13354 |           | 19       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | X3 ČSN EN 13354 |           | 19       |
|                               |              | DUB     | PVAC        | X4 ČSN EN 13354 |           | 19       |
|                               |              | BUK     | UF          | X1              |           | 12       |
|                               |              | BUK     | UF          | X2 ČSN EN 13354 |           | 12       |
|                               |              | BUK     | UF          | X3 ČSN EN 13354 |           | 12       |
|                               |              | BUK     | UF          | X4 ČSN EN 13354 |           | 12       |
|                               |              | DUB     | UF          | X1              |           | 19       |
|                               |              | DUB     | UF          | X2 ČSN EN 13354 |           | 19       |
|                               |              | DUB     | UF          | X3 ČSN EN 13354 |           | 19       |
|                               |              | DUB     | UF          | X4 ČSN EN 13354 |           | 19       |

## 4.2. Stanovenie hustoty

Zisťovanie hustoty podľa normy ČSN EN 323 je pomer hmotnosti skúšobného telesa k jeho objemu, pričom obe merania sa vykonávajú pri rovnakej vlhkosti. Potrebujeme posuvné meradlo, ktoré umožňuje odčítanie s presnosťou na 0,1 mm a váhy, ktoré umožňujú zistenie hmotnosti skúšobného telesa s presnosťou na 0,01 g.

Skúšobné teliesko má štvorcový tvar s dĺžkou strany 50 mm. V našom prípade boli skúšobné telieska klimatizované v prostredí s relatívnou vlhkosťou vzduchu  $(65 \pm 5) \%$  a teplotou  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Hmotnosť sa považuje za ustálenú, keď výsledky 2 meraní vykonaných za sebou v intervale 24 hodín, sa vzájomne nelíšia o viac ako 0,1 % hmotnosti skúšobného telesa.

Pri stanovovaní vlhkosti sa každé skúšobné teleso odváži s presnosťou na 0,01 g. Hrúbka  $t$  sa meria v bode priesečníka uhlopriečok s presnosťou na 0,05 mm (pokiaľ sa v tomto bode nenachádza nepravidelnosť povrchu, ktorá by mohla ovplyvniť meranie). Rozmery šírky a dĺžky  $b_1$  a  $b_2$  sa merajú v dvoch bodoch rovnobežne s hranami skúšobného telesa nad priesečníkom uhlopriečok s presnosťou na 0,1 mm.

Hustota  $\rho$  každého skúšobného telesa [ $\text{kg/m}^3$ ] sa vypočíta podľa vzorca:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6$$

$m$  je hmotnosť skúšobného telieska [g]

$b_1$ ,  $b_2$  a  $t$  sú rozmery [mm] (ČSN EN 323: 1994)

## 4.3. Stanovenie vlhkosti

Podľa normy ČSN EN 322 je stanovená metóda zisťovania vlhkosti skúšobných teliesok z dosiek z dreva. Odber vzoriek a rezanie skúšobných vzoriek sa vykonáva podľa ČSN EN 326-1. Skúšobné telieska musia mať rovnakú hrúbku ako je hrúbka dosky. Na odobratých telieskach je zisťovaná strata hmotnosti skúšobného telieska medzi jeho stavom v čase odberu vzoriek a po vysušení na konštantnú hmotnosť pri  $(103 \pm 2 ^\circ\text{C})$ . Z týchto hodnôt je uskutočnený výpočet straty hmotnosti v percentách z hmotnosti skúšobného telesa po vysušení. Na toto meranie sú potrebné váhy s povolenou chybou váženia 0,01 g a vetraná sušiareň umožňujúca udržiavať teplotu  $(103 \pm 2 ^\circ\text{C})$ .

Skúšobné telieska musia byť očistené od triesok a pilín. Skúšobné teleso sa v stave, v ktorom sa odoberie, odváži s povolenou chybou 0,01 g. Prvé váženie je realizované bezprostredne po odbere vzoriek. Pokiaľ to nie je možné, vykoná sa opatrenie na zabránenie zmeny vlhkosti skúšobných telies po odbere vzoriek.

Následne sa skúšobné telieska uložia do sušiarne pri teplote ( $103 \pm 2$  °C) až do dosiahnutia konštantnej hmotnosti. Konštantná hmotnosť je dosiahnutá, ak sa výsledky dvoch meraní v intervale 6 hodín od seba vzájomne nelíšia o viac než 0,1 % hmotnosti skúšaného telesa.

Po ochladení v exikátore, na teplotu miestnosti, sa skúšobné teleso zváži s dovolenou chybou 0,01 g tak rýchlo, aby sa zabránilo zvýšeniu vlhkosti o viac ako 0,1 %.

Vypočítame vlhkosť skúšaného telesa ktorá sa udáva v percentách hmotnosti s presnosťou na 0,1 % a vypočíta sa podľa vzorca:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} * 100$$

$m_H$  hmotnosť skúšaného telesa pri prvom vážení po odbere vzoriek [g]

$m_0$  hmotnosť skúšaného telesa pri poslednom vážení po vysušení [g] (ČSN EN 322: 1994)

#### **4.4. Stanovenie pevnosti lepeného spojenia v šmyku pri ťahovom namáhaní**

Pevnosť lepených spojov v šmyku pri ťahovom namáhaní bola testovaná podľa normy ČSN EN 205. Na testovanie je potrebné minimálne 20 vzoriek z každej expozície. Lepidlá sú klasifikované do tried trvanlivosti a to podľa použitého lepidla na D1 až D4 podľa ČSN EN 204 (termoplastické lepidlá) a C1 až C4 podľa ČSN EN 12765 (reaktoplastické lepidlá). V tejto práci sú testované obidva druhy lepidiel a to termoplastické lepidlo PVAC (AG-COLL 8761) a reaktoplastické lepidlo UF (Danafix 4535). Rozmery skúšobných teliesok sú v dĺžke 150 mm, hrúbke zlepeného panelu 10 mm pozostávajúceho z dvoch 5 mm hrubých, šírke 20 mm. Veľkosť testovanej plochy je veľkosť plochy medzi drážkami (viď Obr. 12) a teda 10 mm na dĺžku a 20 mm na šírku. Na rozdiel od normy neboli skúšobné telieska lepené

v laboratórnych podmienkach, ale boli vymanipulované zo škárovky avšak s vyššie uvedenými rozmermi predpísanými normou.

**Tab. 5 Minimálne hodnoty pevnosti lepeného spoja podľa ČSN EN 204**

| Podmienky expozície   |   | Pevnosť lepeného spoja v N/mm <sup>2</sup><br>Triedy trvanlivosti |                 |                 |                 |
|-----------------------|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Číslo série expozície | Dĺžka expozície a typ prostredia  | D1 <sup>c</sup>   | D2 <sup>c</sup> | D3 <sup>c</sup> | D4 <sup>c</sup> |
| 1                     | 7 dní <sup>a</sup> v štandardnej atmosfére <sup>b</sup>                                     | ≥10   | ≥10             | ≥10             | >10             |
| 2                     | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>3 h vo vode (20 ± 5) °C<br>7 dní v štandardnej atmosfére   | –   | ≥8              | –               | –               |
| 3                     | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>4 dni vo vode (20 ± 5) °C                                  | –   | –               | ≥2              | ≥4              |
| 4                     | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>4 dni vo vode (20 ± 5) °C<br>7 dní v štandardnej atmosfére | –   | –               | ≥8              | –               |
| 5                     | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>6 h vo variacej vode<br>2 h vo vode (20 ± 5) °C            | –   | –               | –               | ≥4              |

<sup>a</sup> 1 deň = 24 h

<sup>b</sup> (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu alebo (23 ± 2) °C a (50 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu

<sup>c</sup> Minimálne hodnoty zobrazené v kolónkach pevnosti tried D1 až D4 môžu byť považované za hlavné hodnoty klasifikácie lepidiel (napríklad pre D4, sú podmienky expozície 1, 3 a 5)

– Testovanie nie je požadované

Vzorky lepené PVAC lepidlom boli vystavené expozíciám podľa normy ČSN EN 204 (viď Tab. 5). Expozícia T1 zodpovedá vystaveniu 7 dní v štandardnej atmosfére (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu. Pri druhej expozícii T3 sú vzorky vystavené 7 dní v štandardnej atmosfére (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu a následne 4 dni vo vode (20 ± 5) °C. Telieska vystavené expozíciou T4 sú vystavené 7 dní v štandardnej atmosfére (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu, 4 dni vo vode (20 ± 5) °C a 7 dní v štandardnej atmosfére (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu. Expozícia T5 zodpovedá 7 dní v štandardnej atmosfére (20 ± 2) °C a (65 ± 5) % relatívnej vlhkosti vzduchu, 6 hodín vo variacej

vode a 2 hodiny vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C. Tieto typy expozícií zodpovedajú triedam trvanlivosti D3 a D4, z čoho následne môžeme vyhodnotiť, do ktorej triedy spadá použité lepidlo.

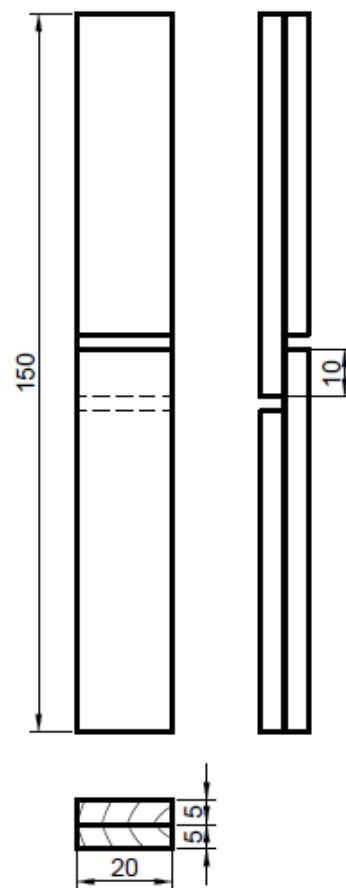
**Tab. 6 Minimálne hodnoty pevnosti lepeného spoja podľa ČSN EN 12765**

| Podmienky expozície   |   | Pevnosť lepeného spoja v N/mm <sup>2</sup><br>Triedy trvanlivosti |                 |                 |                 |
|---|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Číslo série expozície   | Dĺžka expozície a typ prostredia  | C1 <sup>c</sup>   | C2 <sup>c</sup> | C3 <sup>c</sup> | C4 <sup>c</sup> |
| 1   | 7 dní <sup>a</sup> v štandardnej atmosfére <sup>b</sup>   | ≥10   | ≥10             | ≥10             | >10             |
| 2   | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>1 deň vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C                                | –   | ≥7              | ≥7              | ≥7              |
| 3   | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>3 h vo vode ( $67 \pm 2$ ) °C<br>2 h vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C | –   | –               | ≥4              | –               |
| 4   | 7 dní v štandardnej atmosfére<br>3 h vo variacej vode<br>2 h vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C          | –   | –               | –               | ≥4              |
| <sup>a</sup> 1 deň = 24 h<br><sup>b</sup> ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu alebo ( $23 \pm 2$ ) °C a ( $50 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu<br><sup>c</sup> Minimálne hodnoty zobrazené v kolónkach pevnosti tried C1 až C4 môžu byť považované za hlavné hodnoty klasifikácie lepidiel (napríklad pre C4, sú podmienky expozície 1, 2 a 4)<br>– Testovanie nie je požadované |   |   |                 |                 |                 |

Vzorky, ktoré boli lepené UF lepidlom boli vystavené expozíciám podľa normy ČSN EN 12765 (viď Tab. 6). Prvou expozíciou bola R1 a táto expozícia zodpovedá namáhaniu 7 dní v štandardnej atmosfére ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu. V druhej expozícií R2 boli vzorky vystavené 7 dní v štandardnej atmosfére ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu a následne 1 deň vo vode. Expozícia R3 je na vzorkách vystavených 7 dní v štandardnej atmosfére ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu, 3 hodiny vo vode ( $67 \pm 2$ ) °C a následne 2 hodiny vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C. Poslednou expozíciou bola expozícia R4, ktorá zodpovedá 7 dní v štandardnej atmosfére ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu, 3 hodiny vo variacej vode a 2 hodiny vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C. Tieto expozície sú v kategórii trvanlivosti C3 a C4, a teda môžeme podľa nameraných hodnôt zaradiť lepidlo do jednej z týchto kategórií.

Trieda trvanlivosti lepidla D3 alebo C3 znamená použitie v interiéri s častým krátkodobým pôsobením tečúcej alebo kondenzovanej vody alebo dlhodobým pôsobením vysokej vlhkosti vzduchu. Ďalšie možné použitie je v exteriéri chránenom pred pôsobením poveternosti. Trieda trvanlivosti lepidla D4 alebo C4 znamená použitie v interiéri s častým silným pôsobením tečúcej alebo kondenzovanej vody alebo exteriéri vystavenému poveternosti, ktorý je opatrený primeranou povrchovou úpravou. Jednotlivé expozície teda odpovedajú jednotlivým triedam trvanlivosti lepidla.

Ihneď po ukončení expozície boli skúšobné vzorky testované. Podľa normy ČSN EN 205 konce vzoriek musia byť upnuté do čelustí testovacieho stroje v dĺžke 40 až 50 mm. Pôsobiacia sila musí byť aplikovaná na lepenú škáru. Vzorky sú zaťažované až do prasknutia a následne je zaznamenaná maximálna sila  $F_{max}$  v Newtonoch. Pre porovnanie lepidiel podľa tried trvanlivosti špecifikovaných v normách ČSN EN 204 a ČSN EN 12765 musí byť rýchlosť pohybu traverzy 50 mm/min pre termoplastické lepidlá (ČSN EN 204) a 6 mm/min pre reaktoplastické lepidlá (ČSN EN 12765).



**Obr. 12 Skúšobné teliesko podľa ČSN EN 205**

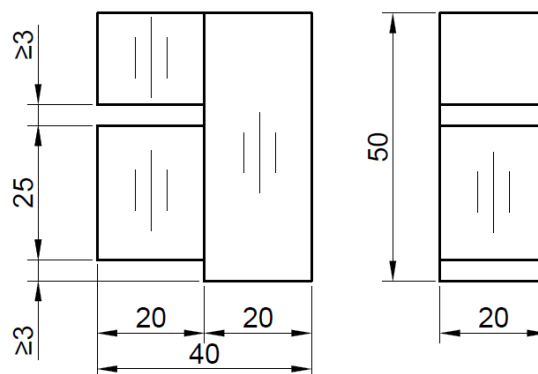
Pevnosť v šmyku  $\tau$  v  $[N/mm^2]$  každého skúšobného telieska sa vypočítava podľa vzorca:

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \times b}$$

- $F_{max}$       maximálna aplikovaná sila v [N]
- $A$             testovaná lepená plocha v  $[mm^2]$
- $l_2$             dĺžka testovanej lepenej plochy v [mm]
- $b$              šírka testovanej lepenej plochy v [mm]

#### 4.5. Stanovenie kvality lepenia v tlaku na škárovke

Podľa normy ČSN EN 13354 bola skúšaná kvalita lepenia na škárovke. Na jednovrstvých doskách z masívneho dreva sa skúša najmenej 10 lepených škár. Veľkosť skúšobných teliesok je o šírke 40 mm, dĺžke 50 mm a hrúbke podľa hrúbky dosky, čo v našom prípade znamená hrúbku 20 mm. Do vzoriek sú vyrobené drážky podľa Obr. 13 a teda veľkosť testovanej plochy je 25 mm na dĺžku a 20 mm na šírku.



**Obr. 13 Tvar a rozmery skúšobného telieska podľa ČSN EN 13354**

**Tab. 7 Príprava dosiek z masívneho dreva podľa použitia**

| Značka podľa ČSN EN 13353        | Príprava                       |   |  |
|----------------------------------|--------------------------------|---|--|
| Určené použitie                  | 1                              | 2   | 3  |
| SWP/1 suché prostredie           | 24 h vo vode ( $20 \pm 3$ ) °C | – <sup>a</sup>  | – <sup>a</sup>   |
| SWP/2 vlhké prostredie           | – <sup>a</sup>                 | 6 h varenie vo vode, min. 1 h chladenie vo vode ( $20 \pm 3$ ) °C | – <sup>a</sup>   |
| SWP/3 vonkajšie prostredie       | – <sup>a</sup>                 | – <sup>a</sup>  | 4 h varenie vo vode - (16 až 20) h sušenie pri ( $60 \pm 3$ ) °C - 4 h varenie vo vode - 1 h chladenie vo vode ( $20 \pm 3$ ) °C |
| <sup>a</sup> Nie je možné použiť |                                |   |  |

Po narezaní musia byť skúšobné telieska podrobené príprave odpovedajúcej použiti v suchom, vlhkom alebo vonkajšom prostredí. V našom prípade boli zvolené 4 typy expozície. Prvou expozíciou je expozícia X1, pri ktorej sú telieska klimatizované 7 dní v štandardnej atmosfére ( $20 \pm 2$ ) °C a ( $65 \pm 5$ ) % relatívnej vlhkosti vzduchu. Druhá je expozícia X2, kde sú telieska 7 dní v štandardnej atmosfére a 1 deň vo vode pri teplote ( $20 \pm 5$ ) °C. Treťou je expozícia X3, kde sú telieska uložené 7 dní v štandardnej atmosfére 6 hodín vo variacej vode a 2 h vo vode ( $20 \pm 5$ ) °C. Poslednou štvrtou expozíciou je expozícia X4, kde sú telieska 4 hodiny varené vo vode, následne



(16 až 20) hodín sušené pri teplote  $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$ , potom 4 hodiny varené vo vode a nakoniec 1 h chladené vo vode  $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ . Jednotlivé expozície zodpovedajú namáhaniu podľa typu použitia v suchom, vlhkom alebo vonkajšom prostredí (viď Tab. 7).

Dĺžka a šírka šmykovej plochy sa meria pred prípravou s presnosťou na 0,1 mm. Skúšobné teleso sa vloží do šmykového prípravku znázorneného na Obr. 9. Šmyková sila musí pôsobiť rovnobežne so skúšanou lepenou škárou. Konštantná rýchlosť posuvu alebo konštantný nárast zaťaženia sa nastaví tak, aby k porušeniu došlo v intervale  $(60 \pm 30)$  sekúnd. Musí byť zaručené, že je skúšobné teleso zaťažované rovnomerne. Okrem toho sa musí sledovať, aby trenie na stranovej opore bolo nevýznamné. Pri nastavení základovej dosky nesmú na skúšobné teleso pôsobiť žiadne sily. Na stredovú vrstvu nesmú pôsobiť žiadne zaťaženia spôsobené nepresným rezaním. Zaznamená sa maximálna sila pri porušení. Stanoví sa podiel porušenia v dreve v percentách šmykovej plochy podľa ČSN EN 314-1.

Pevnosť v šmyku  $f_v$  v  $[\text{N}/\text{mm}^2]$  každého skúšobného telesa sa vypočíta podľa nasledujúceho vzorca:

$$f_v = \frac{F}{l \times b}$$

F sila pri porušení skúšobného telesa v [N]

l dĺžka šmykovej plochy v [mm]

b šírka šmykovej plochy v [mm]

#### **4.6. Podiel porušenia v dreve**

Po stanovení maximálnej sily po porušení v normách ČSN EN 205 a ČSN EN 13354 je potrebné stanoviť aj podiel porušenia skúšobných teliesok. Podiel porušenia skúšobných teliesok v dreve alebo lepenej škáre je realizovaný podľa normy ČSN EN 314-1. Skúšobné telieska sa pred stanovením podielu porušenia v dreve vysušia. Porušenie by malo spravidla nastať v dreve alebo lepenej škáre šmykovej plochy, teda medzi zárezmi pílu. Podiel porušenia v dreve sa stanoví s presnosťou na 10 % zrovnáním s obrázkami z prílohy A normy ČSN EN 314-1.

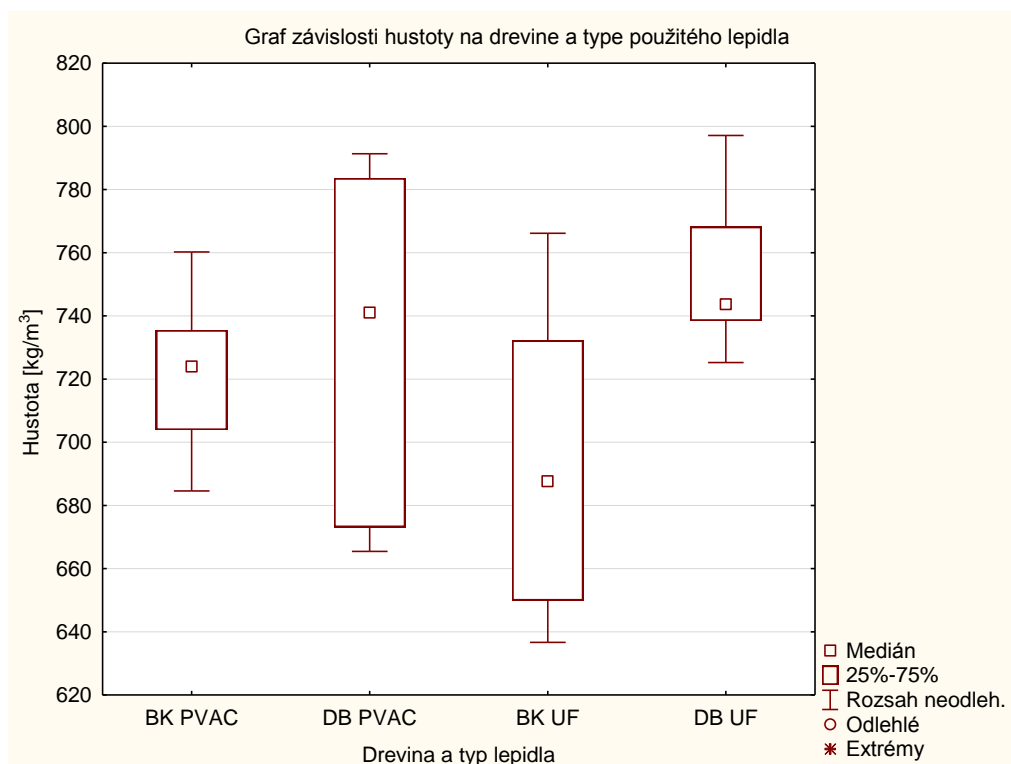
Na stanovenie plochy porušenia je potrebné dostatočné osvetlenie a lupa s desaťnásobným zväčšením pre správne stanovenie plochy porušenia. Časti, ktoré sú zakryté nepriehľadným povlakom drevných vlákien sa majú hodnotiť ako porušenie v dreve. Plochy lepenej škáry, na ktorých nebolo pri lepení žiadne lepidlo sa majú hodnotiť ako porušenie v lepenej škáre.

## 5. VÝSLEDKY

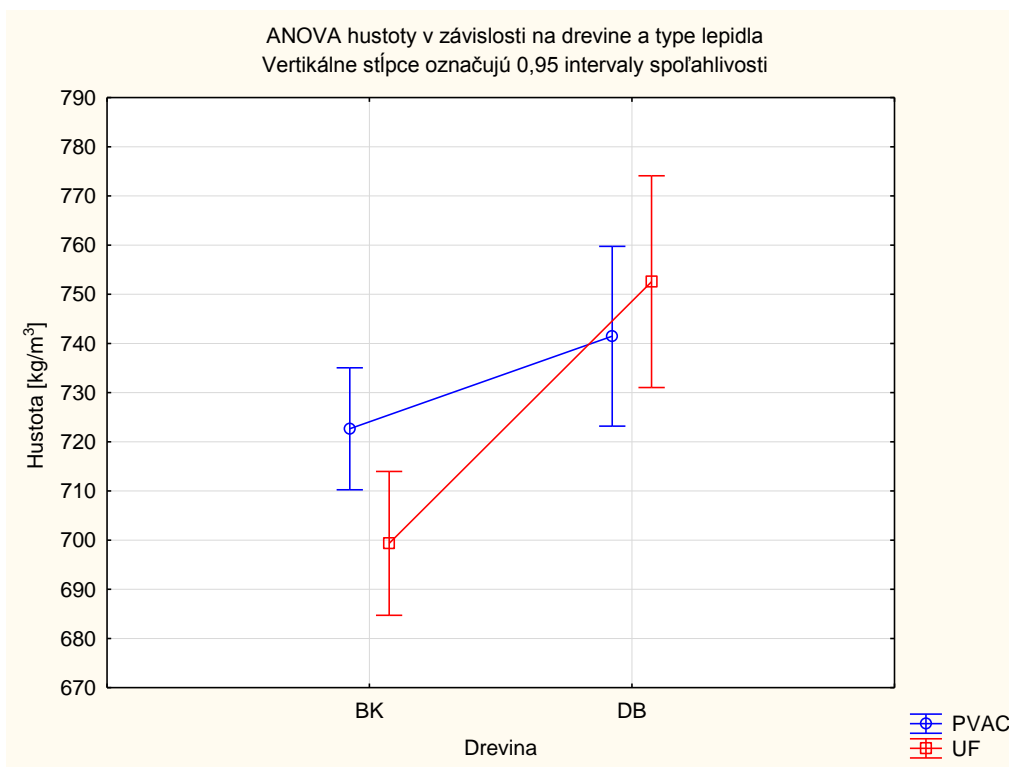
### 5.1. Hustota škárovky podľa ČSN EN 323

Tab. 8 Popisná štatistika hustoty škárovky

|                    | BK PVAC | DB PVAC  | BK UF    | DB UF   |
|--------------------|---------|----------|----------|---------|
| Str. hodnota       | 722,660 | 736,405  | 693,564  | 752,574 |
| Chyba str. hodnoty | 4,403   | 11,731   | 7,950    | 6,691   |
| Medián             | 724,004 | 741,040  | 687,667  | 743,633 |
| Smer. odchýlka     | 22,449  | 49,771   | 42,813   | 23,177  |
| Rozptyl výberu     | 503,974 | 2477,113 | 1832,946 | 537,154 |
| Variačný koef. [%] | 3,106   | 6,759    | 6,173    | 3,080   |
| Špicatosť          | -1,040  | -1,636   | -1,530   | -0,272  |
| Šikmosť            | 0,035   | -0,328   | 0,107    | 0,938   |
| Minimum            | 684,589 | 665,468  | 636,652  | 725,254 |
| Maximum            | 760,237 | 791,345  | 766,159  | 797,116 |
| Počet testovaných  | 20      | 20       | 20       | 20      |



Obr. 14 Krabicový graf závislosti hustoty na drevine a type použitého lepidla

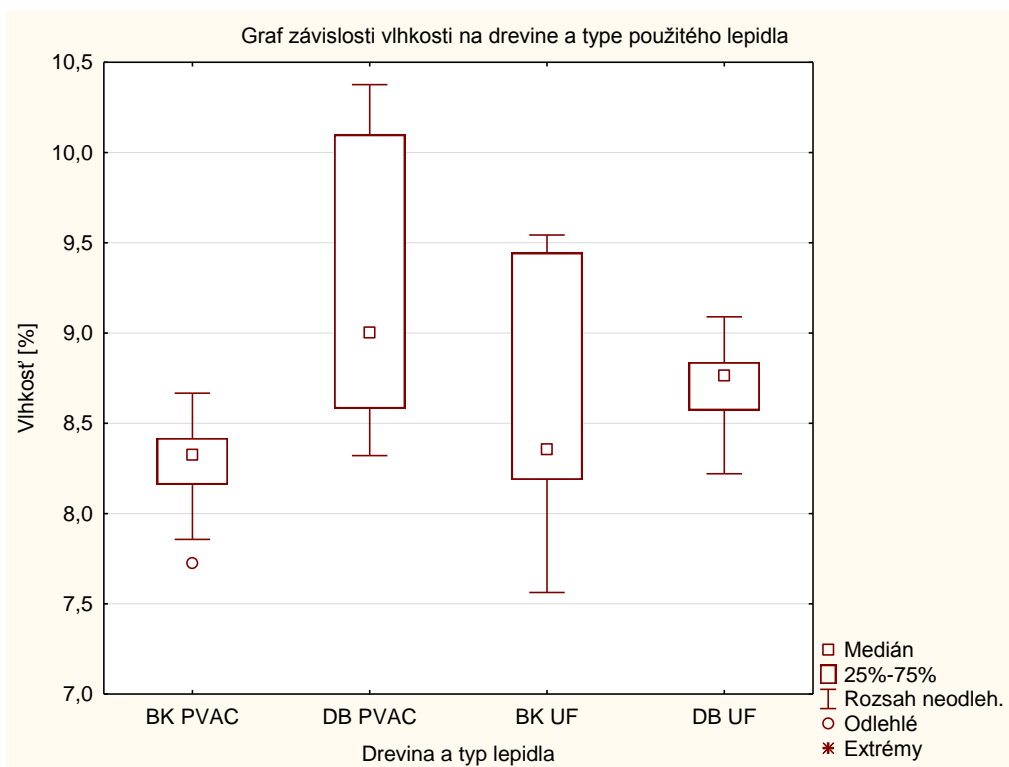


**Obr. 15** Grafické vyjadrenie ANOVY hustoty v závislosti na drevine

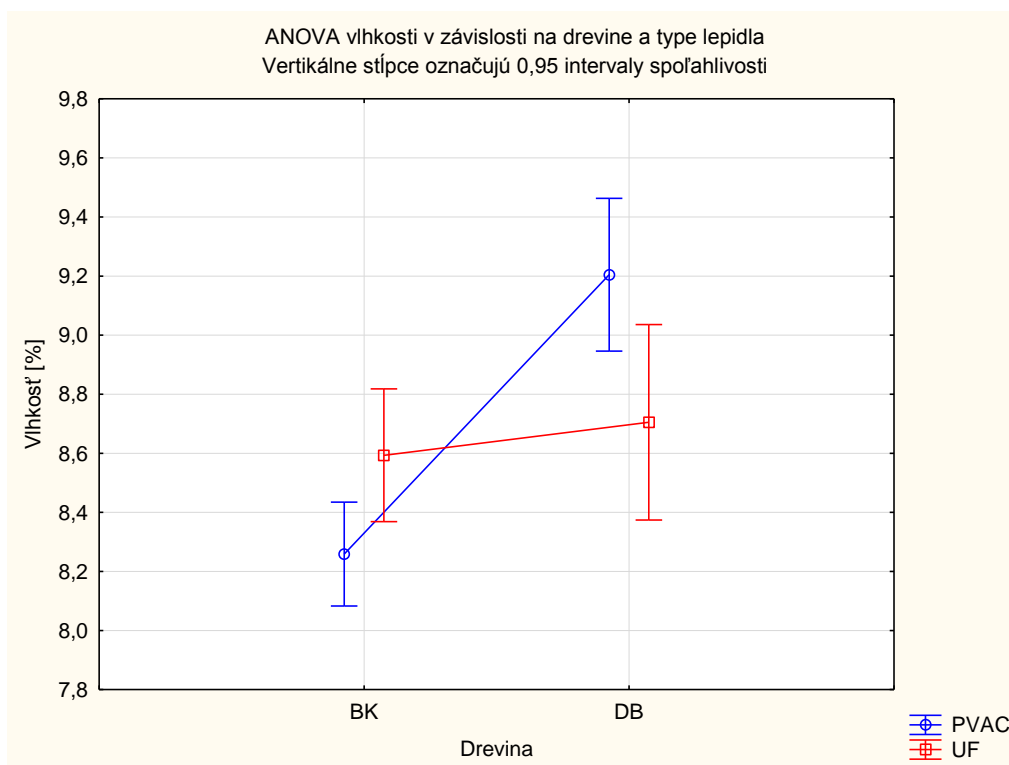
## 5.2. Vlhkosť škárovky podľa ČSN EN 322

**Tab. 9** Popisná charakteristika vlhkosti škárovky

|                    | BK PVAC | DB PVAC | BK UF  | DB UF  |
|--------------------|---------|---------|--------|--------|
| Str. hodnota       | 8,259   | 9,238   | 8,564  | 8,705  |
| Chyba str. hodnoty | 0,046   | 0,180   | 0,117  | 0,072  |
| Medián             | 8,327   | 9,002   | 8,355  | 8,765  |
| Smer. odchýlka     | 0,235   | 0,764   | 0,628  | 0,251  |
| Rozptyl výberu     | 0,055   | 0,584   | 0,394  | 0,063  |
| Variačný koef. [%] | 2,843   | 8,270   | 7,330  | 2,878  |
| Špicatosť          | -0,097  | -1,520  | -0,997 | 0,049  |
| Šikmosť            | -0,481  | 0,405   | 0,552  | -0,452 |
| Minimum            | 7,724   | 8,321   | 7,563  | 8,221  |
| Maximum            | 8,668   | 10,376  | 9,543  | 9,090  |
| Počet testovaných  | 20      | 20      | 20     | 20     |



Obr. 16 Krabicový graf závislosti vlhkosti na drevine a type použitého lepidla



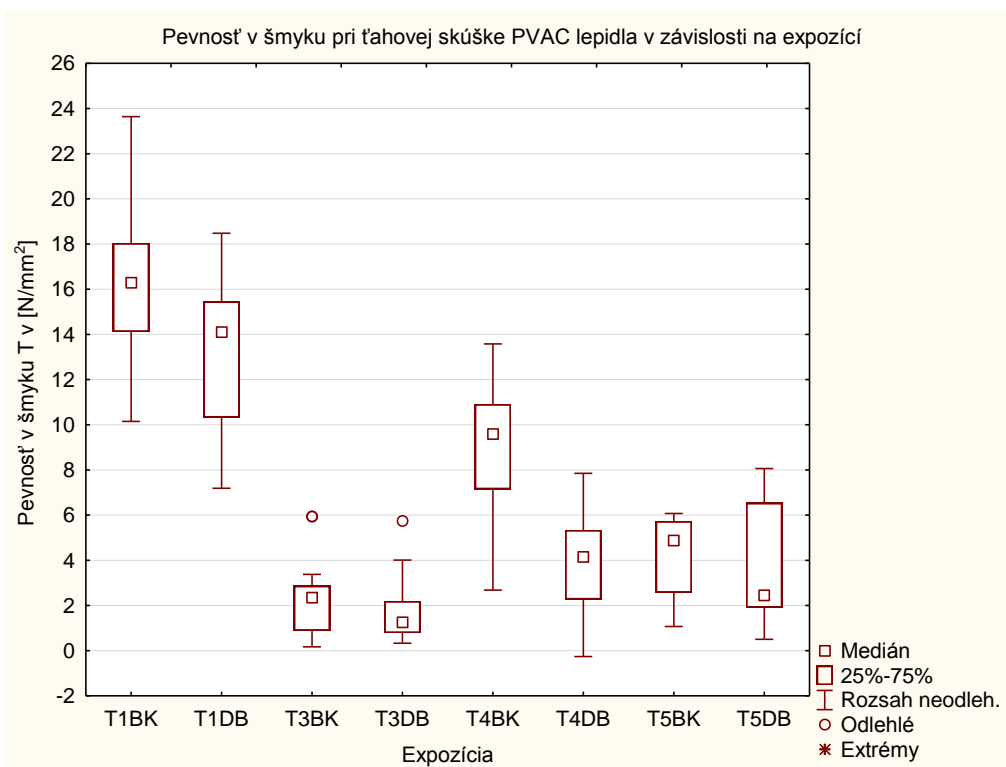
Obr. 17 Grafické vyjadrenie ANOVY vlhkosti v závislosti na drevine

### 5.3. Stanovenie pevnosti lepeného spojenia v šmyku pri ťahovom namáhaní podľa ČSN EN 205

#### 5.3.1. Pevnosť lepeného spojenia – PVAC lepidlo

Tab. 10 Popisná štatistika pevnosti lepeného spojenia PVAC lepidla

| PVAC lepidlo       | T1BK   | T1DB   | T3BK   | T3DB   | T4BK   | T4DB   | T5BK   | T5DB   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Str. hodnota       | 16,340 | 13,255 | 2,237  | 1,658  | 8,947  | 4,217  | 4,200  | 3,649  |
| Chyba str. hodnoty | 0,826  | 0,700  | 0,369  | 0,296  | 0,752  | 0,473  | 0,812  | 0,818  |
| Medián             | 16,300 | 14,100 | 2,350  | 1,260  | 9,595  | 4,260  | 4,880  | 2,450  |
| Smer. odchýlka     | 3,785  | 3,210  | 1,652  | 1,322  | 3,363  | 2,062  | 1,988  | 2,714  |
| Rozptyl výberu     | 14,328 | 10,303 | 2,728  | 1,747  | 11,307 | 4,252  | 3,951  | 7,365  |
| Variačný koef. [%] | 23,167 | 24,217 | 73,845 | 79,714 | 37,585 | 48,897 | 47,329 | 74,371 |
| Špicatnosť         | -0,566 | -0,800 | 0,794  | 4,099  | -0,464 | -0,579 | -0,744 | -1,337 |
| Šikmost            | 0,403  | -0,579 | 0,906  | 1,856  | -0,607 | -0,022 | -0,884 | 0,541  |
| Minimum            | 10,15  | 7,19   | 0,17   | 0,33   | 2,68   | 0,83   | 1,07   | 0,50   |
| Maximum            | 23,64  | 18,48  | 5,95   | 5,75   | 13,58  | 7,85   | 6,07   | 8,06   |
| Počet pripravených | 21     | 21     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     |
| Počet rozlepených  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 14     | 9      |
| Počet testovaných  | 21     | 21     | 20     | 20     | 20     | 19     | 6      | 11     |

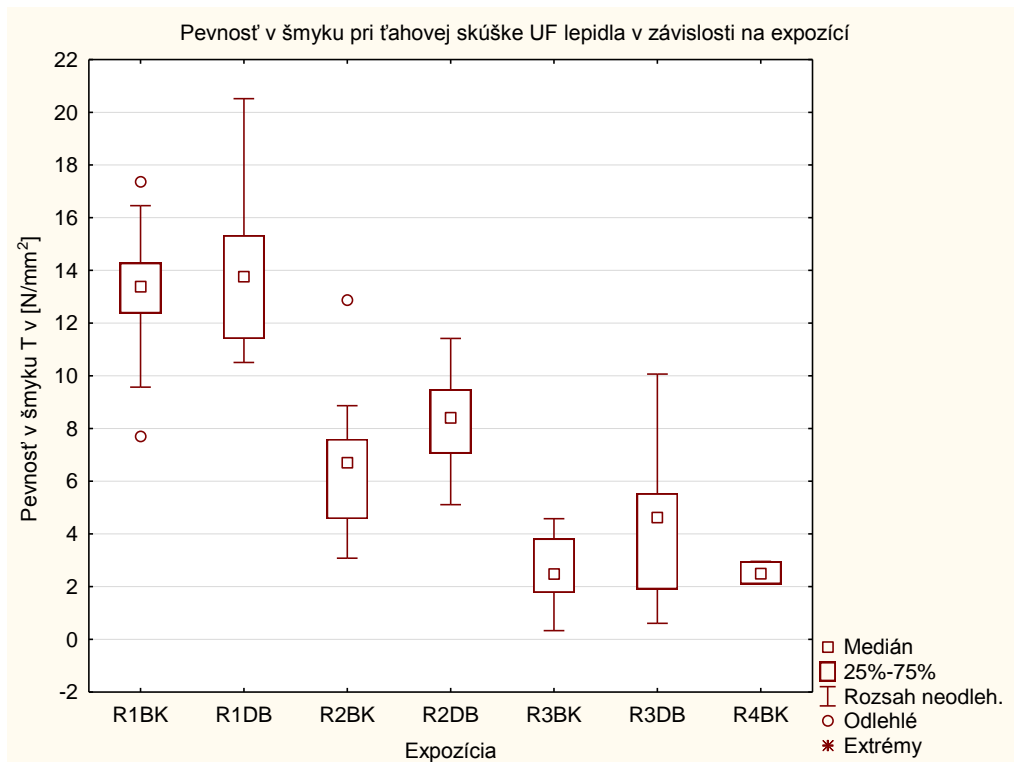


Obr. 18 Graf pevnosti lepeného spojenia PVAC lepidla v jednotlivých expozíciách

### 5.3.2. Pevnosť lepeného spojenia – UF lepidlo

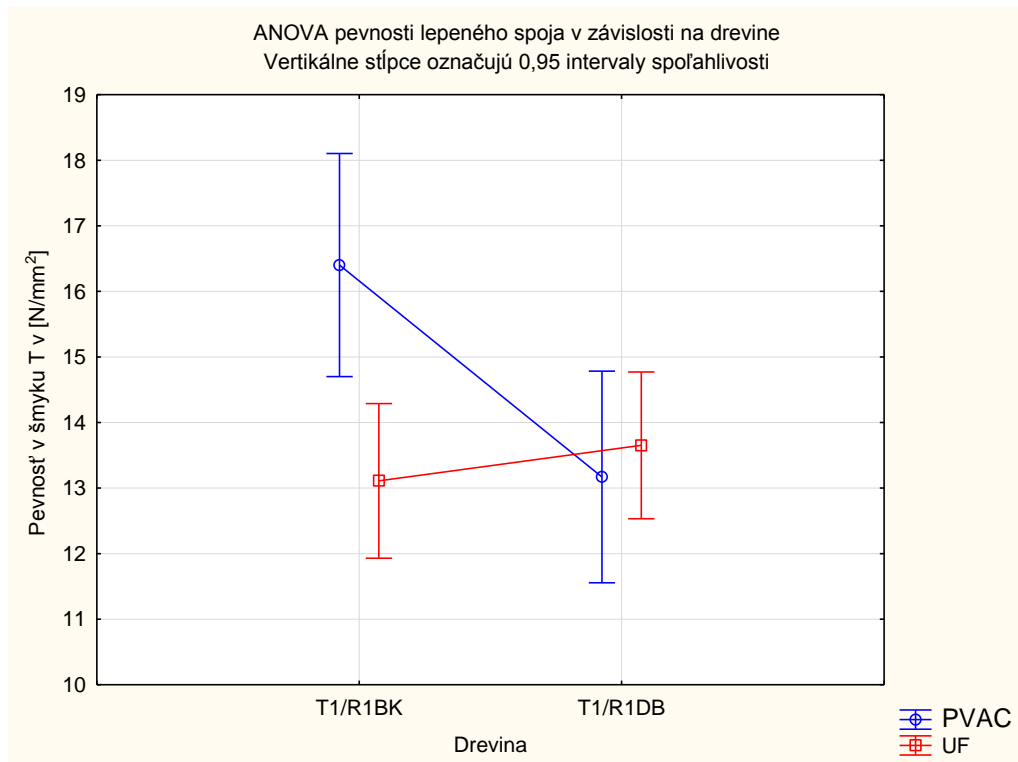
**Tab. 11 Popisná štatistika pevnosti lepeného spojenia UF lepidla**

| UF lepidlo         | R1BK   | R1DB   | R2BK   | R2DB   | R3BK   | R3DB   | R4BK   | R4DB  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Str. hodnota       | 13,110 | 13,653 | 6,488  | 8,363  | 2,645  | 4,321  | 2,520  | 0     |
| Chyba str. hodnoty | 0,567  | 0,564  | 0,543  | 0,402  | 0,305  | 0,575  | 0,248  | 0     |
| Medián             | 13,385 | 13,760 | 6,705  | 8,410  | 2,480  | 4,630  | 2,500  | 0     |
| Smer. odchýlka     | 2,404  | 2,523  | 2,302  | 1,799  | 1,331  | 2,505  | 0,430  | 0     |
| Rozptyl výberu     | 5,779  | 6,366  | 5,299  | 3,238  | 1,770  | 6,275  | 0,185  | 0     |
| Variačný koef. [%] | 18,336 | 18,480 | 35,480 | 21,518 | 50,311 | 57,979 | 17,077 | 0,000 |
| Špicatosť          | 0,416  | 1,269  | 2,415  | -0,634 | -1,053 | 0,118  | 0,000  | 0     |
| Šikmosť            | -0,485 | 0,860  | 0,957  | -0,160 | -0,014 | 0,348  | 0,209  | 0     |
| Minimum            | 7,70   | 10,51  | 3,08   | 5,11   | 0,33   | 0,61   | 2,10   | 0     |
| Maximum            | 17,36  | 20,52  | 12,88  | 11,42  | 4,58   | 10,07  | 2,96   | 0     |
| Počet pripravených | 18     | 20     | 18     | 20     | 19     | 19     | 19     | 19    |
| Počet rozlepených  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 16     | 19    |
| Počet testovaných  | 18     | 20     | 18     | 20     | 19     | 19     | 3      | 0     |

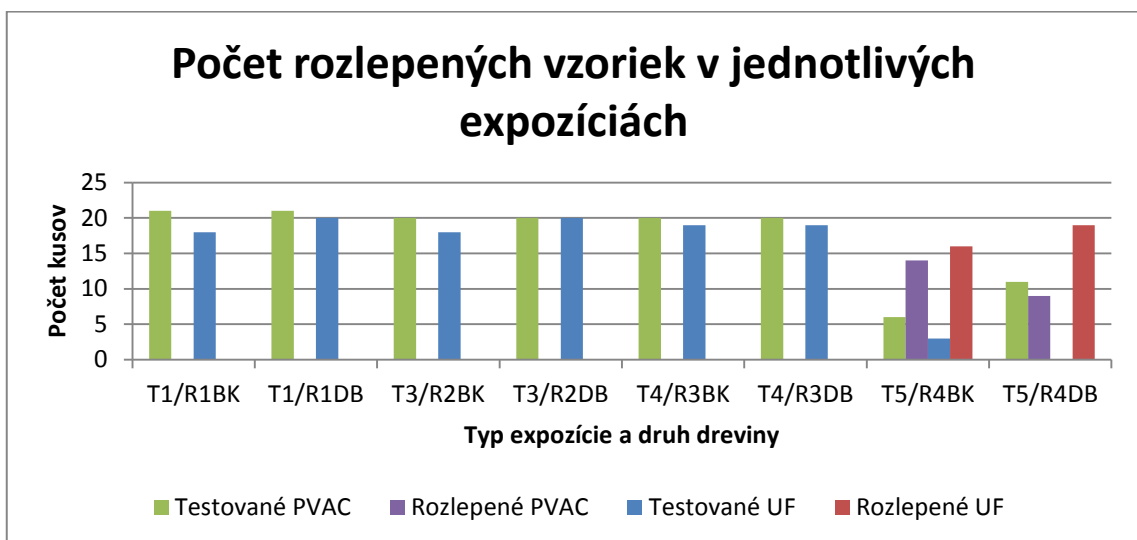


**Obr. 19 Graf pevnosti lepeného spojenia UF lepidla v jednotlivých expozíciách**

### 5.3.3. Pevnosť lepeného spojenia – porovnanie



Obr. 20 Grafické vyjadrenie ANOVY pevnosti v šmyku v závislosti na drevine



Obr. 21 Graf počtu rozlepených vzoriek počas vystavenia v jednotlivých expozíciách pre pevnosť lepeného spoja

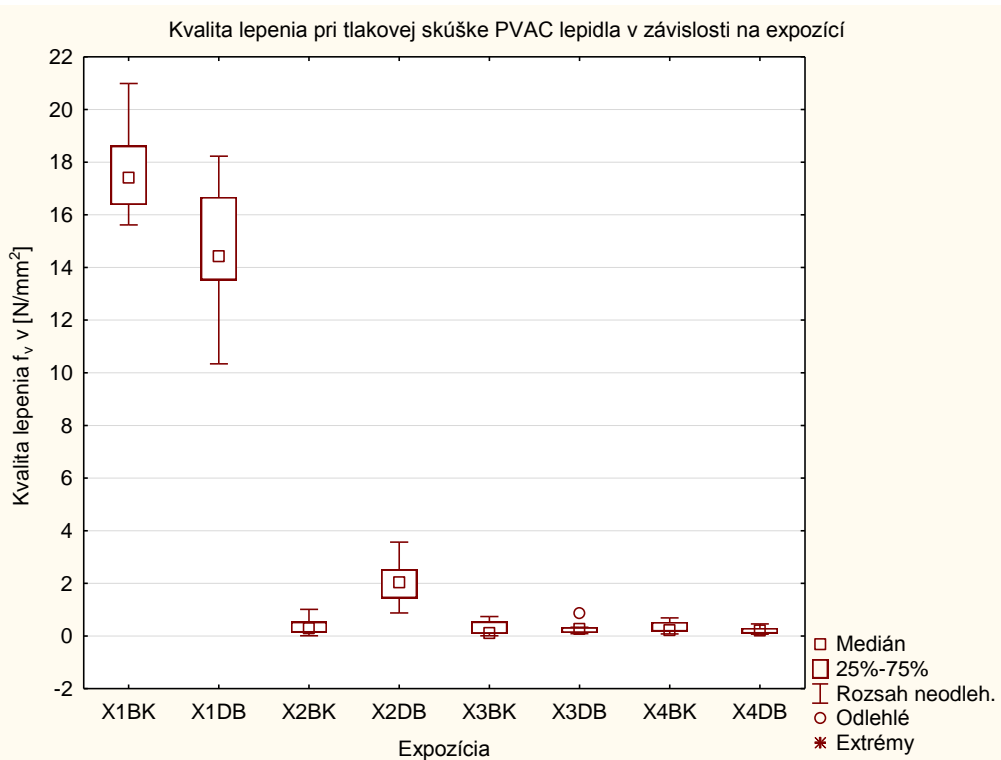


## 5.4. Stanovenie kvality lepenia v tlaku na škárovke podľa ČSN EN 13354

### 5.4.1. Kvalita lepenia na škárovke – PVAC

Tab. 12 Popisná štatistika kvality lepenia PVAC lepidla

| PVAC lepidlo       | X1BK   | X1DB   | X2BK   | X2DB   | X3BK    | X3DB   | X4BK   | X4DB   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Str. hodnota       | 17,658 | 14,640 | 0,381  | 2,057  | 0,274   | 0,324  | 0,333  | 0,218  |
| Chyba str. hodnoty | 0,310  | 0,477  | 0,089  | 0,156  | 0,092   | 0,116  | 0,077  | 0,048  |
| Medián             | 17,407 | 14,422 | 0,286  | 2,036  | 0,118   | 0,268  | 0,223  | 0,207  |
| Smer. odchýlka     | 1,422  | 2,080  | 0,333  | 0,681  | 0,275   | 0,284  | 0,231  | 0,135  |
| Rozptyl výberu     | 2,022  | 4,327  | 0,111  | 0,464  | 0,076   | 0,081  | 0,053  | 0,018  |
| Variačný koef. [%] | 8,052  | 14,208 | 87,470 | 33,101 | 100,231 | 87,590 | 69,235 | 61,895 |
| Špicatost'         | 0,147  | -0,422 | -0,289 | -0,024 | -1,131  | 3,393  | -1,659 | -0,394 |
| Šikmost'           | 0,602  | -0,195 | 0,883  | 0,295  | 0,892   | 1,748  | 0,426  | 0,649  |
| Minimum            | 15,614 | 10,338 | 0,012  | 0,878  | 0,007   | 0,089  | 0,081  | 0,072  |
| Maximum            | 20,987 | 18,229 | 1,012  | 3,570  | 0,740   | 0,864  | 0,688  | 0,458  |
| Počet pripravených | 21     | 19     | 21     | 19     | 20      | 19     | 20     | 19     |
| Počet rozlepených  | 0      | 0      | 7      | 0      | 11      | 13     | 11     | 11     |
| Počet testovaných  | 21     | 19     | 14     | 19     | 9       | 6      | 9      | 8      |

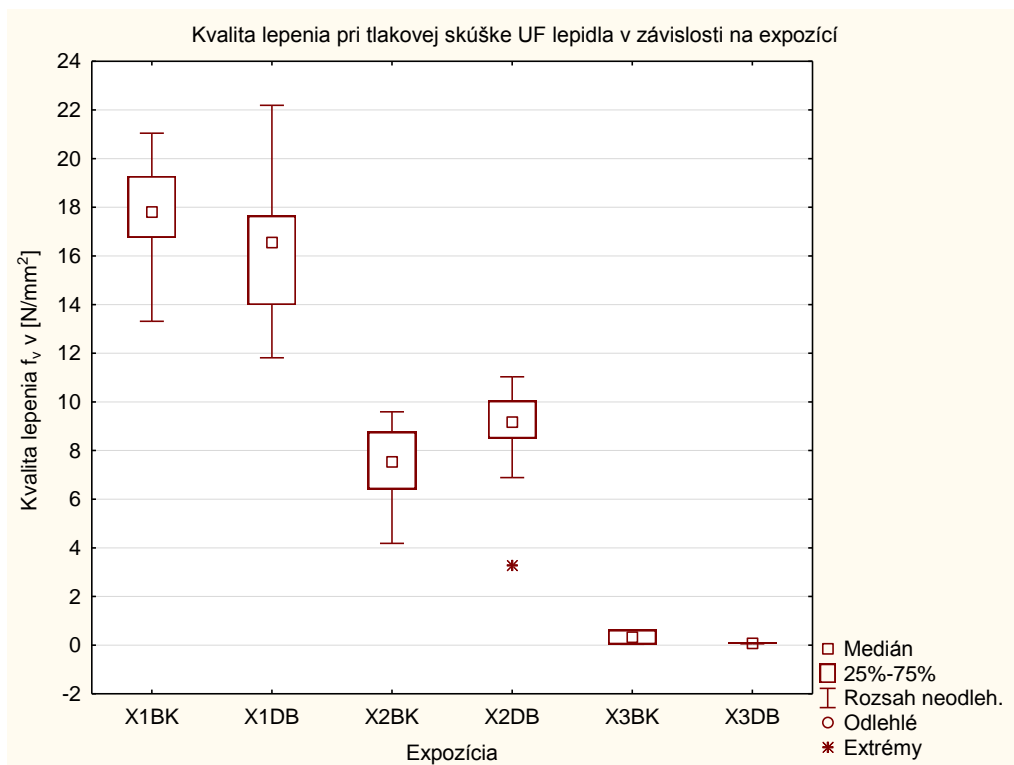


Obr. 22 Graf kvality lepenia PVAC lepidla v jednotlivých expoziaciách

## 5.4.2. Kvalita lepenia na škárovke – UF

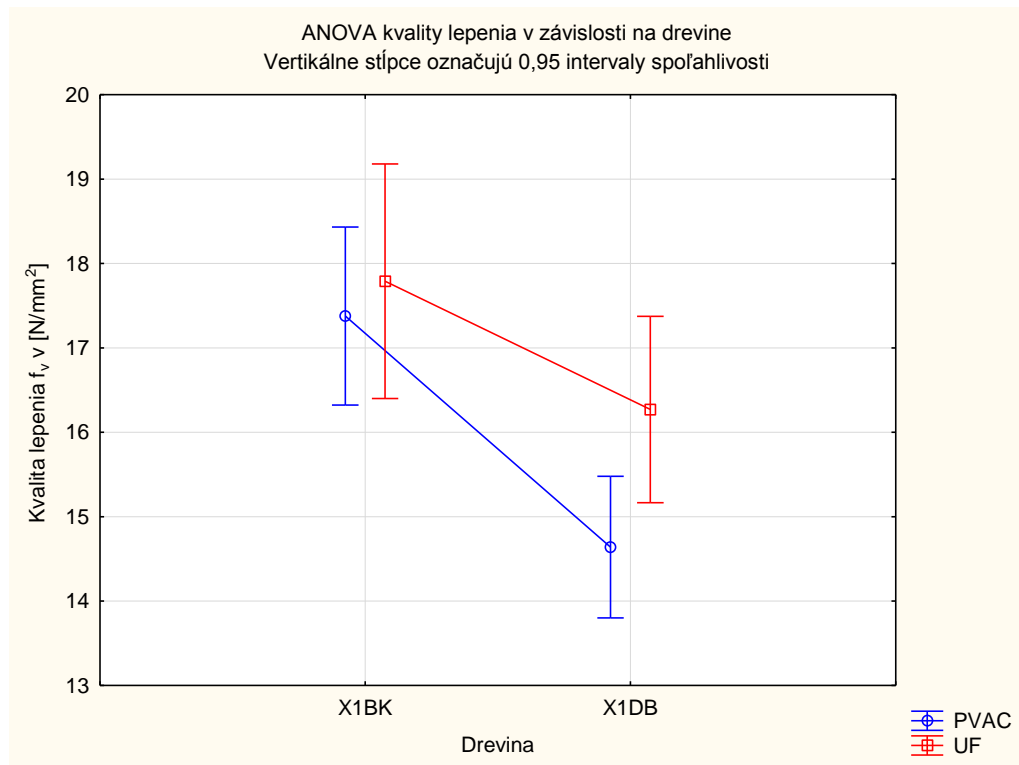
Tab. 13 Popisná štatistika kvality lepenia UF lepidla

| UF lepidlo         | X1BK   | X1DB   | X2BK   | X2DB   | X3BK   | X3DB   | X4BK | X4DB |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|
| Str. hodnota       | 17,791 | 16,270 | 7,390  | 8,966  | 0,331  | 0,073  | 0    | 0    |
| Chyba str. hodnoty | 0,616  | 0,569  | 0,463  | 0,395  | 0,170  | 0,019  | 0    | 0    |
| Medián             | 17,803 | 16,553 | 7,535  | 9,174  | 0,328  | 0,073  | 0    | 0    |
| Smer. odchýlka     | 2,134  | 2,479  | 1,603  | 1,721  | 0,294  | 0,027  | 0    | 0    |
| Rozptyl výberu     | 4,553  | 6,148  | 2,569  | 2,962  | 0,087  | 0,001  | 0    | 0    |
| Variačný koef. [%] | 11,993 | 15,239 | 21,688 | 19,196 | 88,889 | 36,766 | 0    | 0    |
| Špicatost'         | 0,535  | 0,435  | -0,137 | 6,200  | 0      | 0      | 0    | 0    |
| Šikmosť            | -0,623 | 0,351  | -0,468 | -2,112 | 0,050  | 0      | 0    | 0    |
| Minimum            | 13,310 | 11,812 | 4,187  | 3,280  | 0,038  | 0,054  | 0    | 0    |
| Maximum            | 21,044 | 22,194 | 9,592  | 11,028 | 0,627  | 0,092  | 0    | 0    |
| Počet pripravených | 12     | 19     | 12     | 19     | 12     | 19     | 12   | 19   |
| Počet rozlepených  | 0      | 0      | 0      | 0      | 9      | 17     | 12   | 19   |
| Počet testovaných  | 12     | 19     | 12     | 19     | 3      | 2      | 0    | 0    |

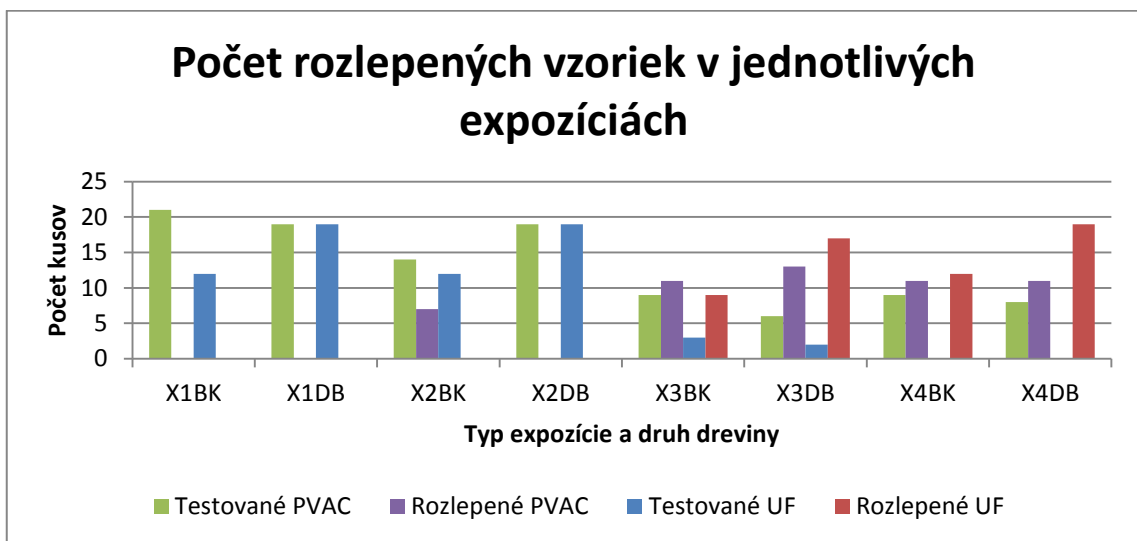


Obr. 23 Graf kvality lepenia UF lepidla v jednotlivých expozíciách

### 5.4.3. Kvalita lepenia na škárovke – porovnanie



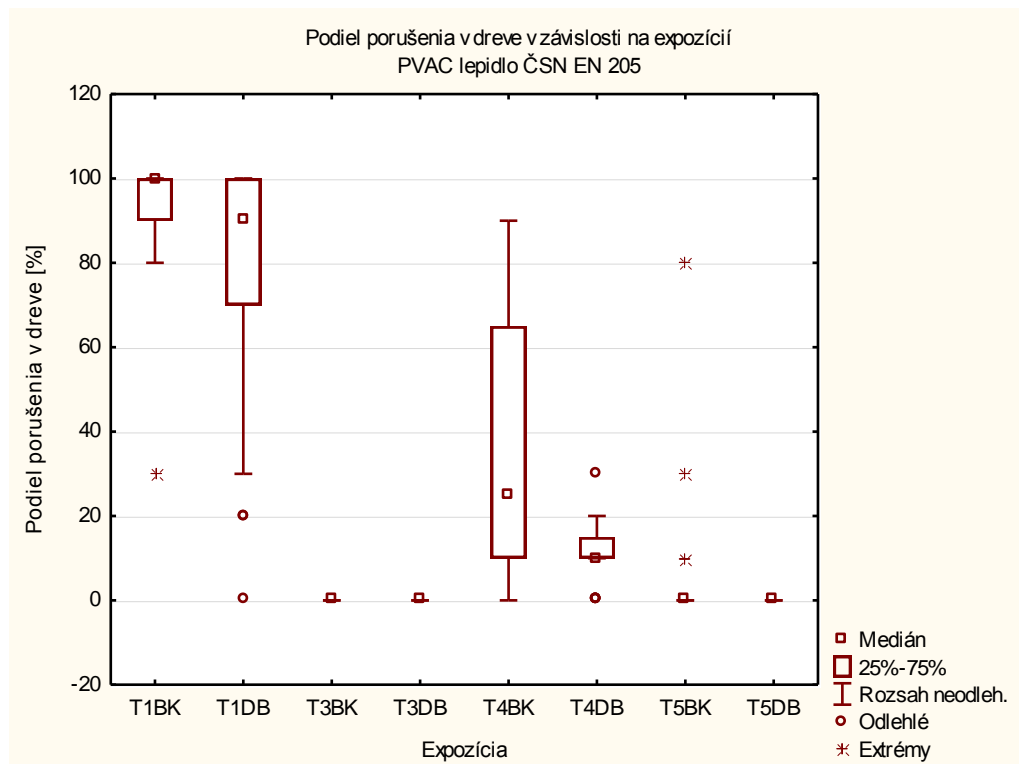
Obr. 24 Grafické vyjadrenie ANOVY kvality lepenia v závislosti na drevine



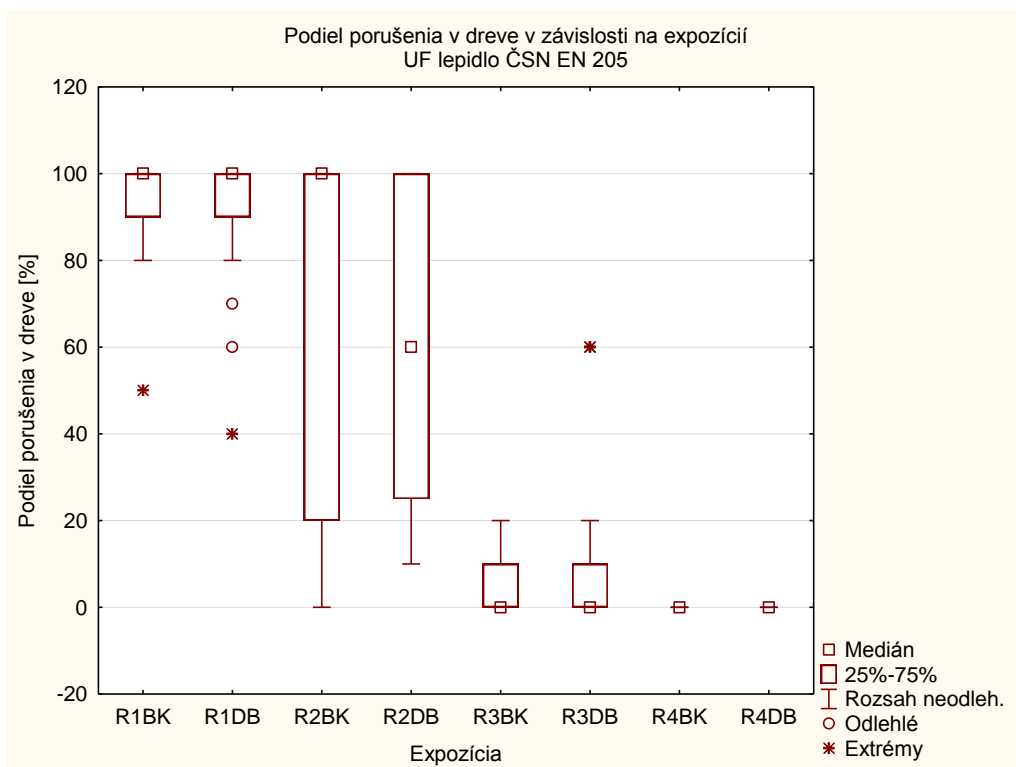
Obr. 25 Graf počtu rozlepených vzoriek počas vystavenia v jednotlivých expozíciách pre kvalitu lepenia

## 5.5. Podiel porušenia v dreve podľa ČSN EN 314-1

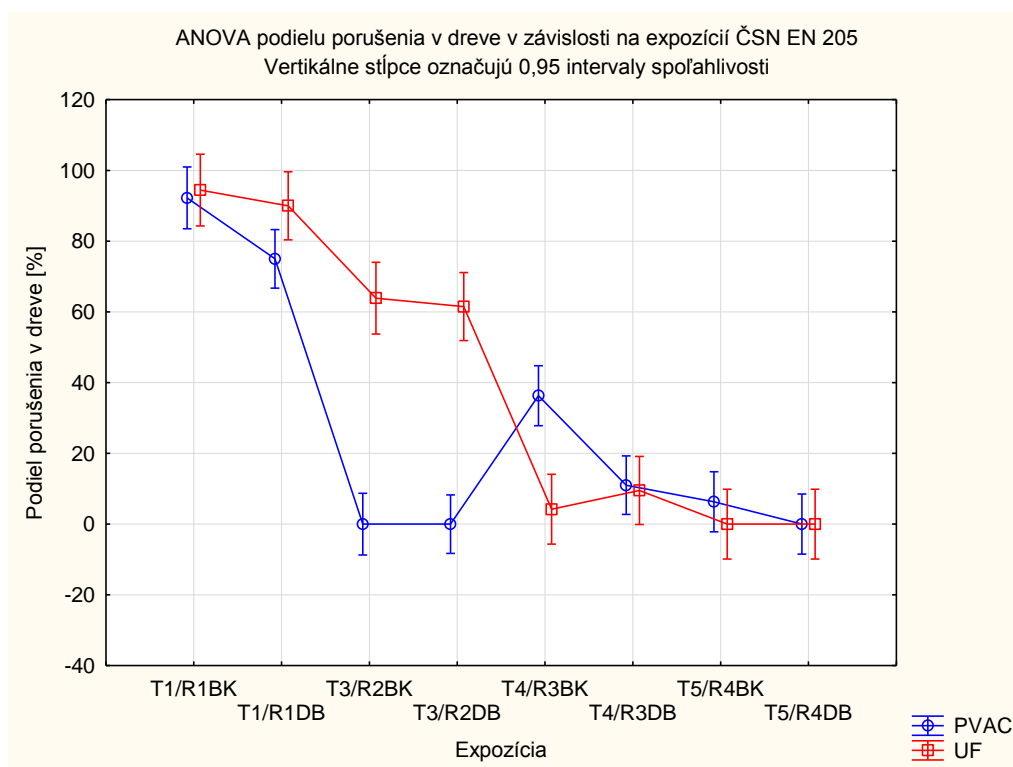
### 5.5.1. Podiel porušenia v dreve vzoriek testovaných podľa ČSN EN 205



Obr. 26 Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na PVAC lepidle ČSN EN 205

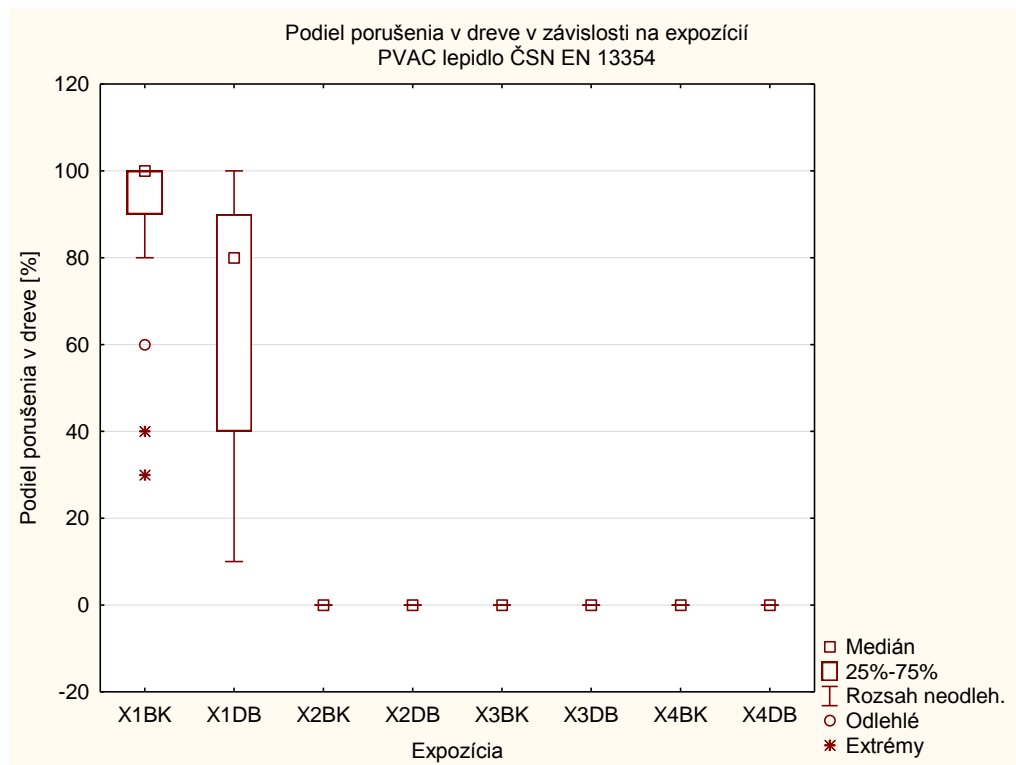


**Obr. 27** Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na UF lepidle ČSN EN 205

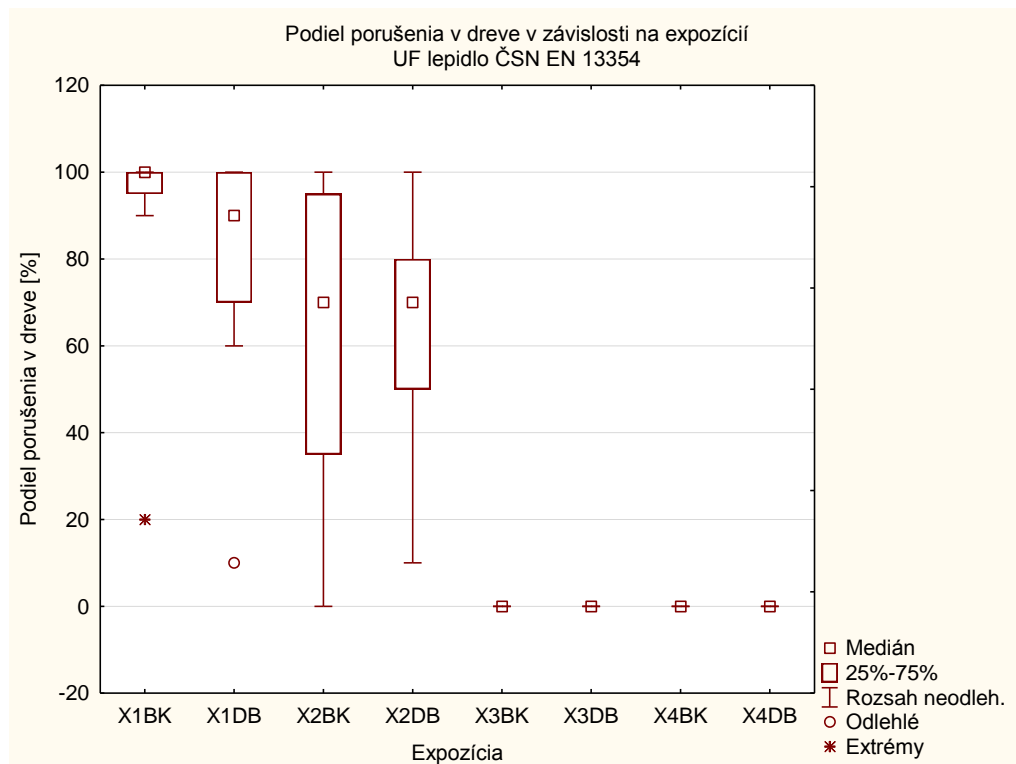


**Obr. 28** Grafické vyjadrenie ANOVY podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií pre PVAC a UF lepidlo ČSN EN 205

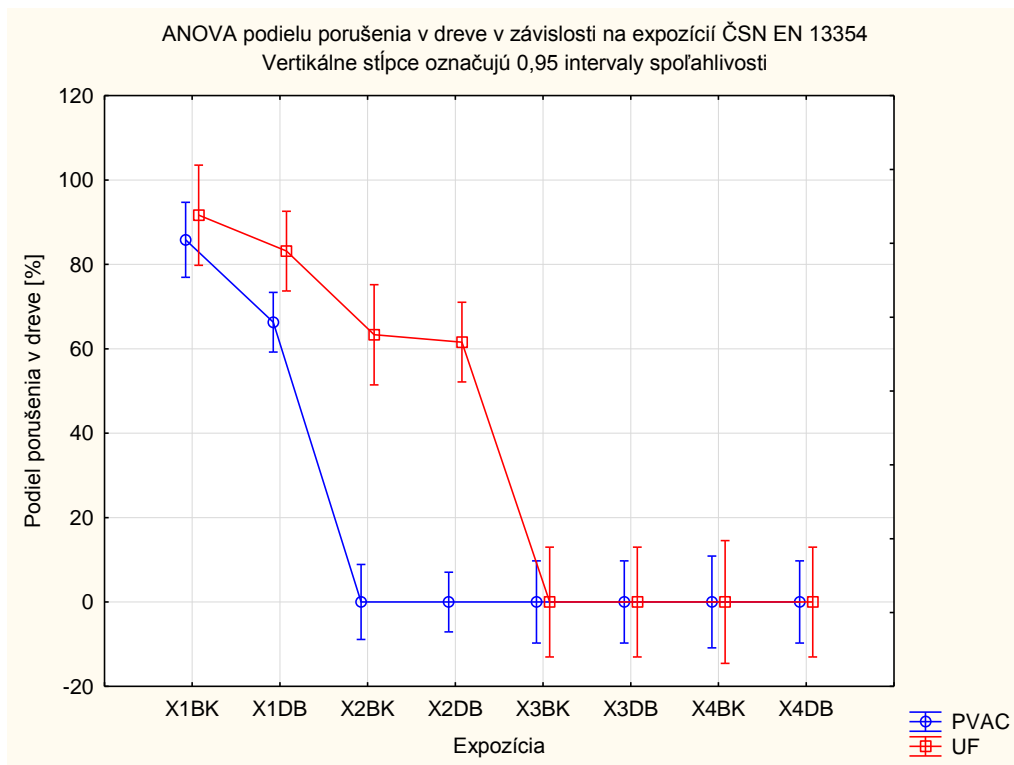
### 5.5.2. Podiel porušenia v dreve vzoriek testovaných podľa ČSN EN 13354



**Obr. 29** Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na PVAC lepidle ČSN EN 13354



**Obr. 30** Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na UF lepidle ČSN EN 13354



**Obr. 31 Grafické vyjadrenie ANOVY podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií pre PVAC a UF lepidlo ČSN EN 13354**

## 6. DISKUSIA

Priemerná hodnota hustoty bukovej škárovky je pre PVAC lepidlo  $722,66 \text{ kg/m}^3$  a pre UF lepidlo  $693,564 \text{ kg/m}^3$ . Tieto rozdiely môžu byť spôsobené lokalitou, z ktorej je drevo vyťažené a následne používané na výrobu škárovky. Taktiež hustota dreva závisí aj na šírke letokruhov a pomere jarného a letného dreve v rámci letokruhu. Najnižšia hustota bola nameraná na bukovej škárovke lepenej UF lepidlom a to  $636,652 \text{ kg/m}^3$ . Dubová škárovka mala väčšiu priemernú hustotu od výrobcu používajúceho UF lepidlo a teda  $752,574 \text{ kg/m}^3$  a nižšiu od výrobcu používajúceho PVAC lepidlo a to  $736,405 \text{ kg/m}^3$ . Najväčšiu variabilitu výberu testovaných vzoriek mala dubová škárovka lepená PVAC lepidlo a bukovaná škárovka lepená UF lepidlom. Maximálna hodnota hustoty bola nameraná na dubovej škárovke lepenej UF lepidlom a to  $797,116 \text{ kg/m}^3$ . Podľa grafu na Obr. 15 je zrejme prekryvanie grafov medzi bukovými škárvkami navzájom a dubovými škárvkami navzájom. Z hľadiska veľkého rozdielu hustoty medzi bukovou a dubovou škárvkou lepenou UF lepidlom môže byť rozdiel v pevnosti lepeného spoja a kvality lepenia ovplyvnený aj týmto faktorom.

Priemerná vlhkosť bukovej škárovky lepenej PVAC lepidlom je  $8,259 \%$  čo je v porovnaní s bukovou škárvkou lepenou UF lepidlom nižšia o približne  $0,3 \%$ . Dubová škárovka lepená PVAC lepidlom dosahuje priemerné hodnoty vlhkosti  $9,238 \%$  čo je vyššie v porovnaní s dubovou škárvkou lepenou UF lepidlom, ktorá má priemernú vlhkosť  $8,705 \%$ . Najväčšiu variabilitu hodnôt vykazujú škárovky z materiálu DB lepeného PVAC a BK lepeného UF lepidlom. Z grafického vyjadrenia ANOVY je zrejme, že  $95\%$  intervaly spoľahlivosti medzi drevinami sa prekryvajú. Najvyššiu priemernú vlhkosť dosahuje dubová škárovka lepená PVAC lepidlom a to  $9,238 \%$  a najnižšia priemerná vlhkosť bola zistená na bukovej škárvke lepenej PVAC lepidlom. Väčšia variabilita vlhkosti na škárvke lepenej PVAC lepidlom môže byť spôsobená použitou technológiou vo výrobe a teda, že rozmietnuté lamely sú po vysušení dovážane na vzdialenosť  $600 \text{ km}$ . Pri nedostatočnom zabalení môže dochádzať k navlhaniu lamiel a teda k väčším rozdielom vlhkosti v škárvke ako u druhého výrobcu kde je všetko rezivo sušené v mieste spracovania a veľmi rýchlo po vysušení spracované.

Najväčšia hodnota pevnosti lepeného spoja v šmyku bola u PVAC lepidla dosiahnutá pri drevine buk a to až  $23,64 \text{ N/mm}^2$ . Minimálna hodnota pevnosti



0,17 N/mm<sup>2</sup> bola pre buk v expozícií T3 a teda 4 dni vo vode. U PVAC lepidla dosahujú na bukových telieskach pevnosti vyššie hodnoty v porovnaní s dubovými telieskami. Výsledky z testovania v T1BK, T3BK a T4BK vyhovujú podľa normy minimálnym požiadavkám pevnosti lepeného spoja a to pre T1  $\geq 10$  N/mm<sup>2</sup>, T3  $\geq 2/4$  N/mm<sup>2</sup>, T4  $\geq 8$  N/mm<sup>2</sup>. Pre bukové telieska namáhané v expozíciách podľa triedy lepidla D4 a teda namáhanie T5BK dosahuje minimálne požadované hodnoty 4 N/mm<sup>2</sup>, avšak podľa požiadaviek normy pevnosť lepeného spoja nevyhovuje v expozícií T3BK pre triedu lepidla D4, ale iba pre triedu lepidla D3. Pre drevinu dub lepidlo nevyhovuje ani triede namáhania D3 a to v expozíciách T3DB, kde je požadovaná minimálna pevnosť viac ako 2 N/mm<sup>2</sup> a expozícií T4DB, kde je požadovaná pevnosť až 8 N/mm<sup>2</sup> a nami bola nameraná priemerná hodnota 4,217 N/mm<sup>2</sup>. Výrazne vyššie priemerné hodnoty pevnosti oproti požadovaným v norme sú pri expozícií T1BK a to 16,34 N/mm<sup>2</sup> a T1DB 13,255 N/mm<sup>2</sup>, pričom v norme uvádzaná minimálna hodnota je 10 N/mm<sup>2</sup>. Z Obr. 19 je zrejmé, že na PVAC lepidlom lepených škárovkách je minimálna hodnota pevnosti v expozícií T3 a teda ihneď po vybratí z vody po 4 dňoch a predchádzajúcich 7 dňoch v štandardnej atmosfére. Avšak expozícia kde je namáhanie T4 a teda 7dni v štandardnej atmosfére 4 dni vo vode a následne 7 dní v štandardnej atmosfére je pevnosť lepeného spojenia vyššia z čoho vyplýva, že sa pevnosť PVAC lepidla aj po namočení a následnom vysušení obnoví do určitého stavu.

Pevnosť lepeného spojenia UF lepidla je vo všetkých expozíciách väčšia u dubu ako u buku, čo môže byť spôsobené anatomicou stavbou dreva dubu a teda, že v makropóroch dreva dubu si UF lepidlo lepšie vytvára kolíkové spoje. Priemerné hodnoty pevnosti v expozícií R1BK a R1DB výrazne presahovali normou požadovanú pevnosť 10 N/mm<sup>2</sup>. V expozíciách R2BK, R3BK a R4BK neboli dosiahnuté normou požadované priemerné hodnoty a to pre R2  $\geq 7$  N/mm<sup>2</sup>, R3  $\geq 4$  N/mm<sup>2</sup>, R4  $\geq 4$  N/mm<sup>2</sup>. V expozícií R2BK je normou požadovaná hodnota minimálne 7 N/mm<sup>2</sup>, avšak nami bola nameraná priemerná hodnota 6,488 N/mm<sup>2</sup>. Dubové vzorky v expozícií R2DB dosahujú priemerných hodnôt 8,363 N/mm<sup>2</sup> čo je hodnota o 1,363 N/mm<sup>2</sup> väčšia v porovnaní s normou. Priemerné hodnoty pevnosti dubových vzoriek z expozície R3DB dosahujú vyššie hodnoty ako sú normou požadované 4 N/mm<sup>2</sup>. Telieska pri expozícií R4BK a R4DB sa začali po 3 hodinách varenia vo vode rozpadávať v lepenom spoji, a teda nebolo možné namerať pevnosť lepeného spoja. Počet rozlepených teliesok

materiálu buk je 16 kusov z 19, čiže bolo možné namerať iba 3 telieska, čo nie je dostatočné pre ďalšiu analýzu a dubové telieska sa v lepenom spoji rozpadli všetky. Z nameraných výsledkov je zrejmé, že hodnoty pevnosti lepeného spoja v expozíciách R4BK a R4DB nie sú dostatočné, a teda lepidlo nevyhovuje triede trvanlivosti C4 ale C3 pre materiál dub a C2 pre materiál buk.

Z grafického vyjadrenia ANOVY na Obr. 20 je zrejmé, že na lepenie materiálu buku pri expozícií 7 dní v štandardnej atmosfére je vhodnejšie PVAC lepidlo pretože dosahuje hodnôt vyššej pevnosti. Avšak na materiály dubu sa 95% intervaly spoľahlivosti prekrývajú a vyššia priemerná pevnosť bola dosiahnutá na lepidle UF.

Pri kvalite lepenia v expozícií X1BK pre PVAC lepidlo bola nameraná priemerná kvalita lepenia  $17,658 \text{ N/mm}^2$  a pri expozícií X1DB bola nameraná priemerná kvalita lepenia  $14,640 \text{ N/mm}^2$ . Pri expozícií X2BK došlo k rozlepeniu 7 vzoriek v porovnaní s dubovými vzorkami, u ktorých nedošlo k rozlepeniu ani jedného vzorku je aj pevnosť pre X2DB  $2,057 \text{ N/mm}^2$  a pre X2BK  $0,381 \text{ N/mm}^2$ . Z toho vyplýva, že PVAC lepidlo má vyššiu pevnosť na dubových škárovkách v porovnaní s bukovými pri meraní kvality lepenia na vzorkách v expozícií X2 a teda 7 dní v normálnom prostredí  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a 60 % vlhkosti a následne 24 hodín vo vode. Priemerné hodnoty kvality lepenia pri expozícií X3 pre PVAC lepidlo je vyššia hodnota pri dube, a to  $0,324 \text{ N/mm}^2$ , a pri buku  $0,274 \text{ N/mm}^2$ . V expozíciách X3 a X4 došlo k rozlepeniu viac ako 50 % vzoriek kvôli namáhaniu vo vriacej vode. Medzi expozíciou X1 a X2 je rozdiel v tom, že v expozícií X2 sú navyše vzorky uložené 24 hodín vo vode, avšak kvalita lepenia sa výrazne znížila. Konkrétne pre vzorky z bukovej škárovky z priemernej hodnoty  $17,658 \text{ N/mm}^2$  na priemernú hodnotu  $0,381 \text{ N/mm}^2$ , pre dubové vzorky z priemernej hodnoty  $14,640 \text{ N/mm}^2$  na priemernú hodnotu  $2,057 \text{ N/mm}^2$ . To predstavuje zníženie kvality lepenia na PVAC lepidle až o 600 %.

Kvalita lepenia na škárovkách lepených UF lepidlom je najvyššia pri expozícií X1. Na bukovej škárovke X1BK je priemerná hodnota  $17,791 \text{ N/mm}^2$  a na dubovej škárovke X1DB je priemerná hodnota  $16,270 \text{ N/mm}^2$ . Pri vzorkách z expozície X2BK je priemerná hodnota kvality lepenia  $7,39 \text{ N/mm}^2$  a X2DB je  $8,966 \text{ N/mm}^2$ . Z toho vyplýva, že po uložení vzoriek vo vode sa viac znižuje pevnosť na bukových vzorkách ako na dubových. Pri expozícií X3 u oboch drevín došlo k rozlepeniu väčšiny vzoriek, čiže výsledky už nemajú dostatočný štatistický význam. Priemerné hodnoty X3BK sú

0,331 N/mm<sup>2</sup> a X3DB 0,073 N/mm<sup>2</sup>. Vzorok z expozície X4 boli rozlepené všetky, nebola teda nameraná žiadna hodnota kvality lepenia. Medzi expozíciou X1 a X2 pri škárovkách lepených UF lepidlom nedošlo k tak výraznému poklesu kvality lepenia a pokles je približne o 45 %.

Na základe grafu ANOVY boli porovnané hodnoty kvality lepenia pri expozíciách X1BK a X1DB a bolo zistené, že 95 % intervaly spoľahlivosti sa prekrývajú v rámci jednotlivých drevín u oboch použitých lepidiel. Priemerné hodnoty kvality lepenia sú vyššie pri UF lepidla v porovnaní s PVAC lepidlom. Z grafu na Obr. 25 je zrejmé, že v namáhaní vzoriek v expozíciách X3 a X4 došlo k rozlepeniu väčšiny vzoriek.

Z nameraných výsledkov vyplýva, že vzorky lepené UF lepidlom dosahujú vyššiu kvalitu lepenia v prvých dvoch expozíciách X1 a X2 to potvrdzuje trendy z pevnosti lepeného spoja na škárovke. Avšak v expozíciách X3 a X4 a teda na vzorkách namáhaných vriacou vodou došlo k rozlepeniu väčšieho počtu vzoriek lepených UF lepidlom ako vzoriek lepených PVAC lepidlom. Z čoho vyplýva, že UF lepidlo použité na škárovkách nie je dostatočne odolné proti vriacej vode avšak je odolné voči vode. Na vzorkách lepených PVAC lepidlom nedošlo k rozpadnutiu toľkých vzoriek vo vode z čoho vyplýva, že má toto lepidlo lepšiu odolnosť voči vriacej vode.

Podľa požiadaviek normy ČSN EN 13353+A1 a to, že dolný 5% kvantil pevnosti v šmyku  $f_v$  nesmie byť menší ako 2,5 N/mm<sup>2</sup> spĺňajú len vzorky z expozície X1BK a X1DB pre PVAC lepidlo a X1BK, X1DB, X2BK a X2DB pre UF lepidlo.

Z Obr. 20 a Obr. 24 je zrejmé, že okrem UF lepidla testovaného na pevnosť lepeného spoja pri expozíciách, teplote 20 °C a 60 % vlhkosti, kde je väčšia pevnosť na dubovej škárovke v porovnaní s bukovou. V namáhaní PVAC lepidla na pevnosť lepeného spoja pri expozíciách T1 a kvalita lepenia na vzorkách lepených UF a PVAC lepidlom bolo zistené, že pevnosť v N/mm<sup>2</sup> je väčšia na bukových škárovkách v porovnaní s dubovými. Pravdepodobne z toho dôvodu je aj v norme ČSN EN 205 doporučená drevena BK na výrobu vzoriek pretože aj pórovitosť a chemické zloženie dreva môže ovplyvniť pevnosť lepeného spoja. Avšak v expozíciách kde boli vzorky máčané vo vode vykazuje pre kvalitu lepenia dubová škárovka vyššie hodnoty kvality lepenia.

Z grafického vyjadrenia ANOVY percenta porušenia na Obr. 28 je zrejmé, že 95% intervaly spoľahlivosti v expozíciách T1/R1BK a T1/R1DB sa prekrývajú. Pri druhej expozícií, v ktorej boli vzorky lepené PVAC lepidlom vystavené 4 dňom vo vode a vzorky lepené UF lepidlom vystavené 1 deň vo vode a následne testované. Z týchto vzoriek je viditeľný rozdiel v percente porušenia a to vzorky s PVAC lepidlom boli najčastejšie porušené v lepidle a teda 0% podiel porušenia avšak u vzoriek lepených UF lepidlom je priemerný podiel porušenia približne 70 % a to u vzoriek bukových aj dubových. V expozícií T4 na vzorkách lepených PVAC lepidlom dochádzalo k zvyšovaniu percenta porušenia v dreve v porovnaní s expozíciou T3 čo vyplýva z rozdielu v expozíciách, pretože v expozícií T3 sú vzorky testované po 4 dňoch vo vode a pri expozícií T4 po 4 dňoch vo vode a následnom klimatizovaní 7 dní v štandardnej atmosfére. Z tohto je zrejmé, že PVAC lepidlo aj po namáhaní vo vode a následnom vrátení do štandardných podmienok zvýši svoju pevnosť. Z grafu na Obr. 27 je zrejmé, že u UF lepidla dochádza na vzorkách namáhaných v expozícií R3 a teda varenie vo vode  $67 \pm 2$  °C a vzorkách R4 a teda varených vo vriacej vode k znižovaniu podielu porušenia v dreve až na hodnotu 0 %. Z toho vyplýva, že nami testovaný typ UF lepidla nie je odolný skúškam vo vriacej vode.

Krabicové grafy na Obr. 26 a Obr. 27 podielu porušenia lepeného spoja v dreve korešponujú s grafmi pevnosti lepeného spojenia podľa ČSN EN 205 a teda pri zvyšovaní pevnosti lepeného spojenia sa zvyšuje aj percento porušenia lepeného spojenia v dreve.

Grafy podielu porušenia na Obr. 29 a Obr. 30 vykazujú rovnaké trendy ako grafy kvality lepenia na Obr. 22 a Obr. 23. Podiel porušenia v dreve na PVAC lepidle pri testovaní kvality lepenia bol zaznamenaný iba na vzorkách vystavených expozícií X1BK a X1DB táto expozícia zodpovedá vystaveniu 7 dní v štandardnej atmosfére. Na vzorkách v ostatných expozíciách bolo porušenia v dreve 0 % a teda sa všetky vzorky porušili v lepidle. Z krabicového grafu na Obr. 30 je zrejmé, že 0% porušenie v dreve vykazujú vzorky lepené UF lepidlom z expozície X3 a X4 a teda na vzorkách z expozícií X1 a X2 bolo zistené percento porušenia. Medián percenta porušenia v expozícií X2BK a X2DB je 70 %.

Z grafického vyjadrenia ANOVY vyplýva, že percento porušenia je vyššie na UF lepidle v prvých dvoch expozíciách, v ktorých máme dostatok dát pre štatistické

spracovanie. A teda keď vychádzame z hypotézy, že lepený spoj má mať vyššiu pevnosť ako drevo tým pádom by sa mal lepený spoj porušiť v dreve z toho vyplýva, že UF lepidlo má lepšie vlastnosti lepeného spoja z hľadiska namáhania podľa normy ČSN EN 13354.

## 7. ZÁVER

Najnižšiu hodnotu hustoty má buková škárovka lepená UF lepidlom a to  $693,564 \text{ kg/m}^3$  a najvyššiu hustotu má dubová škárovka lepená UF lepidlom a to  $752,574 \text{ kg/m}^3$ . Rozdiel hustôt medzi týmito drevinami je približne  $56 \text{ kg/m}^3$ . Priemerné hodnoty hustoty škárovky lepenej PVAC lepidlom sa pohybujú od  $722,660 \text{ kg/m}^3$  pre bukovú škárovku po  $736,405 \text{ kg/m}^3$  pre dubovú škárovku.

Najväčší rozdiel vlhkostí je na škárovkách lepených PVAC lepidlom približne 1 % a to BK 8,259 % a DB 9,238 % vlhkosti. Škárovka lepená UF lepidlom dosahuje takmer rovnaké priemerné hodnoty vlhkosti a to BK 8,564 % a DB 8,705 %. Z čoho vyplýva, že výrobca škároviek lepených UF lepidlom má rovnomerne rozloženú vlhkosť vrámci oboch drevín.

Z nami nameraných hodnôt pevnosti lepeného spoja sme zistili, že na lepenie škárovky z materiálu buk je lepšie PVAC lepidlo pretože dosahuje vyššie hodnoty pevnosti v porovnaní s UF lepidlom, avšak na lepenie materiálu DB je lepšie UF lepidlo v porovnaní s PVAC lepidlom. V súhrne pevnosti lepeného spoja z prvých dvoch expozícií vykazuje lepšie vlastnosti UF lepidlo.

Z hodnôt kvality lepenia je zrejmé, že vyššiu kvalitu lepenia vykazujú škárovky lepené UF lepidlom ako škárovky lepené PVAC lepidlom a to na drevinách buku a dubu hlavne pri expozíciách X1 a X2 kde nedochádzalo k rozlepovaniu vzoriek. Škárovky lepené PVAC lepidlom vykazujú väčšiu odolnosť voči variacej vode ako vzorky lepené UF lepidlom.

Škárovky lepené UF lepidlom vykazujú vyššie percento porušenia lepeného spoja v dreve v porovnaní s PVAC lepidlom kde je častejšie zastúpené poškodenie lepeného spoja v lepidle. Tento výsledok (vid' Obr. 28 a Obr. 31) je zrejmý nie len pre hodnoty pevnosti lepeného spoja ale aj pre kvalitu lepenia.

## 8. SUMMARY

The lowest value of density is in the beech solid wood panel (SWP) bonded by UF adhesive using 693.564 kg/m<sup>3</sup> and the highest density is in oak SWP bonded by UF adhesive using 752.574 kg/m<sup>3</sup>. The difference in density between the wood types is about 56 kg/m<sup>3</sup>. The average density values SWP bonded by PVAC adhesive range from 722.660 kg/m<sup>3</sup> for beech SWP to 736.405 kg/m<sup>3</sup> for oak SWP.

The biggest difference in the moisture content is in SWP bonded by PVAC adhesive of about 1%, particularly 8.259% in case of beech moisture content and 9.238% in case of oak moisture content. SWP bonded by UF adhesive shows almost equal average moisture content values, particularly beech 8.564% and oak 8.705%. This implies that the manufacturer of SWP bonded by UF adhesive has evenly distributed moisture content at both wood types.

After getting the results of measured values of bonding strength, we found out that PVAC adhesive is better for bonding beech because it has higher strength compared to UF adhesive, However, UF adhesive is suitable bonding material for oak if we compare it to PVAC adhesive. Considering the bonding strength of the first two expositions, UF adhesive proves better properties.

From the bonding quality figures, it is obvious that SWP bonded by UF adhesive prove higher quality degree than SWP bonded by PVAC adhesive, specifically on the beech wood type and oak wood type mainly at the expositions X1 and X2 where unbonding of samples did not take place. SWP bonded by PVAC adhesive had greater resistance that samples bonded by UF adhesive, exposed to boiling water.

SWP bonded by UF adhesive have a higher percentage of violations of the bonded joint in wood compared to PVAC adhesive which is often represented by the damage of the bonding joint in the adhesive. The result (see Fig. 28 and Fig. 31) is obvious not only in case of the figures of bonding strength but also in case of quality of bonding.

## 9. ZOZNAM LITERATÚRY

### 9.1. Knižné zdroje

1. BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA J., 2012. *Materiály na bázi dřeva*. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, ISBN 978-80-213-2251-6.
2. DĚCKÝ, D., KÚDELA J., 2015. *Heat load effect on glued joint strength*. In HORÁČEK, P., *InWood2015: Innovations in Wood Materials and Processes: International Conference*. 1. Praha, ASTRON Studio CZ, s. 21-22. ISBN 978-80-7509-255-7.
3. KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J., 2005. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 80-715-7878-9.
4. MUZIKÁŘ, Z., 2008. *Materiály II: pro UO Truhlář*. Praha, Informatorium, ISBN 978-80-7333-061-3.
5. NUTSCH, W., 2006. *Průručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha, Europa-Sobotáles, ISBN 8086706141.
6. PACKHAM, D. E., 2005. *Handbook of adhesion*. 2nd ed. Hoboken, N.J., John Wiley, ISBN 04-718-0874-1.
7. PIZZI, A., MITTAL, K. L., 2010. *Wood adhesives*. Leiden, Brill, ISBN 978-900-4190-931.
8. ROWELL, R. M., 2013. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, ISBN 978-1-4398-5380-1.
9. SEDLIAČIK, J., 2005. *Procesy lepenia dreva, plastov a kovov*. Zvolen, Technická Univerzita vo Zvolene, ISBN 80-228-1500-4.
10. SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J., 1998. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. Zvolen, Technická univerzita, ISBN 8022807451.
11. SKEIST, I., 1977. *Handbook of adhesives*. 2d ed. New York, Van Nostrand Reinhold Co., ISBN 04-422-7634-6.
12. ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 2008. *Stavba dřeva: (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 978-80-7375-168-5.
13. TRÁVNÍK, A., 2008. *Technologické operace výroby nábytku*. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, ISBN 978-80-7157-865-9.



14. UHLÍŘ, A., 1997. *Technologie výroby nábytku II: pro 3. ročník studijního oboru Nábytkářství*. 2., aktualiz. vyd. Praha, Informatium, ISBN 8086073092.

## 9.2. Internetové zdroje

1. BOMBA, J. et al., Január 2014, *Strength Increase Pattern in Joints Bonded with PVAc Adhesives*. Bioresources [online] citované 17. Marca 2017, Dostupné na World Wide Web: <[https://www.researchgate.net/publication/268521320\\_Strength\\_Increase\\_Pattern\\_in\\_Joints\\_Bonded\\_with\\_PVAc\\_Adhesives](https://www.researchgate.net/publication/268521320_Strength_Increase_Pattern_in_Joints_Bonded_with_PVAc_Adhesives)>
2. BOMBA, J. et al., September 2014, *Influence of Moisture Content on the Bond Strength and Water Resistance of Bonded Wood Joints*. Bioresources [online] citované 17. Marca 2017, Dostupné na World Wide Web: <[https://www.researchgate.net/publication/268521320\\_Strength\\_Increase\\_Pattern\\_in\\_Joints\\_Bonded\\_with\\_PVAc\\_Adhesives](https://www.researchgate.net/publication/268521320_Strength_Increase_Pattern_in_Joints_Bonded_with_PVAc_Adhesives)>
3. CLAUß, S. et al., 2011. *Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests*. European Journal of Wood and Wood Products [online] citované 17. Marca 2017, Dostupné na World Wide Web: <[https://www.researchgate.net/publication/226688298\\_Thermal\\_stability\\_of\\_glued\\_wood\\_joints\\_measured\\_by\\_shear\\_tests](https://www.researchgate.net/publication/226688298_Thermal_stability_of_glued_wood_joints_measured_by_shear_tests)>
4. DUNKY, M., 1998. *Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood*. International Journal of Adhesion and Adhesives [online] citované 17. Marca 2017, Dostupné na World Wide Web: <[https://www.researchgate.net/publication/223841890\\_Urea-formaldehyde\\_UF\\_adhesive\\_resins\\_of\\_wood](https://www.researchgate.net/publication/223841890_Urea-formaldehyde_UF_adhesive_resins_of_wood)>

## 9.3. Normy

1. ČSN EN 12765: *Klasifikace reaktoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*, 2017.
2. ČSN EN 12775: *Desky z rostlého dřeva – Klasifikace a terminologie*, 2001.
3. ČSN EN 13353+A1: *Desky z rostlého dřeva (SWP) – Požadavky*, 2011.
4. ČSN EN 13354: *Desky z rostlého dřeva (SWP) – Kvalita lepení – Metoda zkoušení*, 2009.
5. ČSN EN 204: *Klasifikace lepidel pro nekonstrukční stavební díly ke spojování dřeva a dřevitých materiálů*, 2017.

6. ČSN EN 205: *Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných spojů*, 2017.
7. ČSN EN 302-1: *Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání*, 2013.
8. ČSN EN 314-1: *Překližované desky - Kvalita lepení - Část 1: Metody zkoušení*, 2005.
9. ČSN EN 322 *Dosky z dřeva. Zisťovanie vlhkosti*, 1994.
10. ČSN EN 323 *Dosky z dřeva. Zisťovanie hustoty*, 1994.
11. ČSN EN 326-1 *Desky ze dřeva – Odběr vzorků, nařezávání a kontrola – Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky*, 1997.

## 10. ZOZNAM OBRÁZKOV

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Škárovka (zdroj: <a href="http://www.iwtrend.sk">www.iwtrend.sk</a> ) .....  | 16 |
| Obr. 2 Spôsoby napojovania škárovky na šírku pomocou profilovanej lepenej škáry (Nutsch, 2006) .....                                | 17 |
| Obr. 3 Biodoska (zdroj: <a href="http://www.ghz-shop.cz">www.ghz-shop.cz</a> ).....   | 19 |
| Obr. 4 Uhol zmáčania povrchu kvapkou lepidla (zdroj: <a href="http://www.ksp.tul.cz">www.ksp.tul.cz</a> ).....                      | 26 |
| Obr. 5 Štruktúra lepeného spoja (Muzikář, 2008).....  | 29 |
| Obr. 6 Šmyková pevnosť MEF v závislosti na teplote (Clauß et al., 2011).....  | 44 |
| Obr. 7 Šmyková pevnosť PVAC v závislosti na teplote (Clauß et al., 2011) .....  | 50 |
| Obr. 8 Nárast pevnosti lepeného spoja v čase (Bomba et al., Január 2014).....   | 51 |
| Obr. 9 Šmykový prípravok so skúšobným telesom podľa ČSN EN 13354 .....  | 54 |
| Obr. 10 Skúšobné teliesko pre stanovenie pozdĺžnej šmykovej pevnosti podľa ČSN EN 302-1.....  | 55 |
| Obr. 11 Stanovenie pevnosti lepenia podľa ASTM D 905 (zdroj: <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> ) ..... | 56 |
| Obr. 12 Skúšobné teliesko podľa ČSN EN 205 .....  | 64 |
| Obr. 13 Tvar a rozmery skúšobného telieska podľa ČSN EN 13354.....  | 65 |
| Obr. 14 Krabicový graf závislosti hustoty na drevine a type použitého lepidla ...   | 68 |
| Obr. 15 Grafické vyjadrenie ANOVY hustoty v závislosti na drevine.....  | 69 |
| Obr. 16 Krabicový graf závislosti vlhkosti na drevine a type použitého lepidla ..   | 70 |
| Obr. 17 Grafické vyjadrenie ANOVY vlhkosti v závislosti na drevine.....   | 70 |
| Obr. 18 Graf pevnosti lepeného spojenia PVAC lepidla v jednotlivých expozíciách.....  | 71 |
| Obr. 19 Graf pevnosti lepeného spojenia UF lepidla v jednotlivých expozíciách   | 72 |
| Obr. 20 Grafické vyjadrenie ANOVY pevnosti v šmyku v závislosti na drevine  | 73 |
| Obr. 21 Graf počtu rozlepených vzoriek počas vystavenia v jednotlivých expozíciách pre pevnosť lepeného spoja .....                 | 73 |
| Obr. 22 Graf kvality lepenia PVAC lepidla v jednotlivých expozíciách .....  | 74 |
| Obr. 23 Graf kvality lepenia UF lepidla v jednotlivých expozíciách.....   | 75 |
| Obr. 24 Grafické vyjadrenie ANOVY kvality lepenia v závislosti na drevine.....  | 76 |
| Obr. 25 Graf počtu rozlepených vzoriek počas vystavenia v jednotlivých expozíciách pre kvalitu lepenia .....                        | 76 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 26 Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na PVAC lepidle ČSN EN 205 .....                    | 77 |
| Obr. 27 Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na UF lepidle ČSN EN 205 .....                      | 78 |
| Obr. 28 Grafické vyjadrenie ANOVY podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií pre PVAC a UF lepidlo ČSN EN 205 .....   | 78 |
| Obr. 29 Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na PVAC lepidle ČSN EN 13354 .....                  | 79 |
| Obr. 30 Krabicový graf podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií na UF lepidle ČSN EN 13354 .....                    | 79 |
| Obr. 31 Grafické vyjadrenie ANOVY podielu porušenia v dreve v závislosti na expozícií pre PVAC a UF lepidlo ČSN EN 13354 ..... | 80 |

## 11. ZOZNAM TABULIEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Rozmerové tolerancie veľkých a stredných formátov dosiek (ČSN EN 13353+A1: 2011) ..... | 14 |
| Tab. 2 Požiadavky (ČSN EN 13353+A1: 2011) .....   | 15 |
| Tab. 3 Triedy kvality dosiek z masívneho dreva (Böhm et al., 2012) .....                      | 15 |
| Tab. 4 Expozícia vzoriek .....  | 59 |
| Tab. 5 Minimálne hodnoty pevnosti lepeného spoja podľa ČSN EN 204 .....                       | 62 |
| Tab. 6 Minimálne hodnoty pevnosti lepeného spoja podľa ČSN EN 12765 .....                     | 63 |
| Tab. 7 Príprava dosiek z masívneho dreva podľa použitia.....                                  | 65 |
| Tab. 8 Popisná štatistika hustoty škárovky .....  | 68 |
| Tab. 9 Popisná charakteristika vlhkosti škárovky .....  | 69 |
| Tab. 10 Popisná štatistika pevnosti lepeného spojenia PVAC lepidla .....                      | 71 |
| Tab. 11 Popisná štatistika pevnosti lepeného spojenia UF lepidla.....                         | 72 |
| Tab. 12 Popisná štatistika kvality lepenia PVAC lepidla.....                                  | 74 |
| Tab. 13 Popisná štatistika kvality lepenia UF lepidla .....                                   | 75 |

## 12. ZOZNAM SKRATIEK

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| ANOVA | analýza rozptylu              |
| BK    | buk                           |
| DB    | dub                           |
| IČ    | infračervený                  |
| MEF   | melamínformaldehyd            |
| MFT   | minimálna filmotvorná teplota |
| MUF   | melamínmočovinoformaldehyd    |
| PF    | fenolformaldehyd              |
| PUR   | polyuretán                    |
| PVAC  | polyvinylacetát               |
| TD    | trieskové dosky               |
| UF    | močovinoformaldehyd           |
| VD    | vláknité dosky                |
| VF    | vysokofrekvenčný              |

## **14.PRÍLOHY K PRÁCI**

### **14.1. Technický list AG-COLL 8761 D3**

## AG-COLL 8761 D3

**Popis produktu:** Jednosložkové disperzní lepidlo s výbornou odolností vůči vodě, které splňuje požadavky normy DIN - EN 204 pro lepidla kategorie D3. Speciálně určené pro plošné lepení. Vhodné i na lepení tvrdého a měkkého dřeva v teplém nebo studeném lisu. Možnost použití i ve vysoce frekvenčním lisu.

**Báze:** PVAc

**Technické údaje:**

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Viskozita [mPas]: | 7000-13000 pri 23°C |
| Obsah sušiny [%]: | 49-51               |
| Hustota [kg/l]:   | 0,9-1,1             |
| pH:               | 3,8-4,5             |
| Barva:            | bíla, mléčná        |

**Doporučený způsob zpracování:**

Optimální podmínky použití lepidla Technobond D3:

|  |                        |
|--|------------------------|
| Teplota materiálu, prostředí a lepidla [°C]: | 18-22                  |
| Vlhkost dřeva [%]:                           | 8-12                   |
| Relativní vlhkost vzduchu [%]:               | 65 - 75                |
| Nános lepidla:                               | jedno nebo dvoustranný |
| Množství [g/m <sup>2</sup> ]:                | 150 - 180              |
| Otevřený čas [min]:                          | 15                     |
| Lisovací tlak [N/mm <sup>2</sup> ]:          | 0,2 až 0,8             |
| Lisovací čas [min]:                          | 15 až 20               |

Vhodné pro lepení měkkého a tvrdého dřeva, na lepení laminátových a melaminových papírů na dřevotřísku, MDF a také při výrobě nábytku do kuchyně, kde se požaduje efektivita v kombinaci s pevnou lepenou spárou.

Doporučené lisovací časy:

| Materiál    | 20°C   | 50°C  | 70°C  |
|-------------|--------|-------|-------|
| Tvrdé dřevo | 17 min | 9 min | 6 min |
| Měkké dřevo | 15 min | 7 min | 5 min |
| Laminát     | 40 min | 7 min | 4 min |

**Balení:** 1080 IBC kg kontejner; 10, 30 kg kbelík; 0,25, 0,5 1 kg láhve

**Skladování:** Minimální doba uskladnění v originálních a dobře uzavřených obalech v suchém a chladném prostředí (5 - 20 ° C) je při IBC kontejnerech 12 měsíců a při balení 30kg 6 měsíců od vyskladnění. Teplota skladování by neměla překročit 25 ° C během skladování. Držte dál od zdrojů tepla



## **14.2. Technický list DANAFIX Prefere 4535**

## Prefere 4535

Liquid melamine-urea resin adhesive for the wood industry.  
Separate and mix-in application

### Use

Prefere 4535 is a liquid melamine-urea resin adhesive, which is used together with the liquid hardeners Prefere 5035 or Prefere 5046 in the manufacture of glued laminated timber structures and for finger-jointing. When the gluing is carried out in accordance with the instructions in this Technical Data Sheet, Prefere 4535 gives water- and weatherproof, gap-filling bonds, conforming to Adhesive Type I of the European standards for adhesives for load-bearing wooden structures (EN 301 and EN 302). The glue lines are light-coloured and do not darken over time.

Nordisk Limtrememnd (The Nordic Glulam Committee) has approved Prefere 4535 with hardeners Prefere 5035 and Prefere 5046 for use in the manufacture of load-bearing wooden structures for climate class 1, 2 and 3 (interior and exterior use) from coniferous woods.

Prefere 4535 with hardener Prefere 5035 and Prefere 5046 has been tested according to the German Standard DIN 68 141 by the MPA, Otto-Graf-Institut Stuttgart in Germany and found to be suited for gluing load-bearing wooden structures for interior and exterior use in accordance with DIN 1052.

Prefere 4535 is approved for the use in production of load-bearing wooden structures by CTBA (France), KOMO (Holland) and BUTgb (Belgium). For details please contact our marketing department.

Prefere 4535 is also well suited for a number of other bonding operations. It can be used for hot and cold bonding and for bonding under radio frequency glue line heating conditions.

Prefere 4535 has low formaldehyde content and therefore offers the possibility to maintain a healthy working environment and at the same time achieve glue bonds exhibiting minimal formaldehyde emissions.

### Finger joints

Prefere 4535 is a very well suited and flexible system that is extensively used for making finger joints. (Approved with 15 to 60 parts hardener with Prefere 5035 and 15-60 parts hardener with Prefere 5046) For more information on this subject please refer to a separate the Technical data sheet Prefere 4535-Fingerjoint.

### Technical data for the resin

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| Appearance        | Milky white liquid          |
| Solids content    | 63-65 %                     |
| Viscosity at 25°C | 3000-3500 mPa.s             |
| pH at 25°C        | 9.5-10.0                    |
| Density at 25°C   | 1.22-1.24 g/cm <sup>3</sup> |

### Storage of the resin

Depending on the storage temperature Prefere 4535 may be stored for up to 6 months. The table below shows the shelf life (from the date of production) for Prefere 4535 at different storage temperatures.

| Storage temperature | Shelf life       |
|---------------------|------------------|
| 5-10°C              | Approx. 6 months |
| 15°C                | Approx. 5 months |
| 20°C                | Approx. 4 months |
| 25°C                | Approx. 3 months |
| 30°C                | Approx. 2 months |

The optimal storage temperature is 10-15°C. Cold resin is high in viscosity and may be difficult to pump.

Customers who receive bulk supplies of Prefere 4535 to their own storage tank, are referred to our Technical Information Leaflet No. 5E "Bulk storage and handling of liquid resins" which contains useful advice on storage of resins and operation of storage tanks.

Prefere 4535 is not flammable.

### Technical data for the hardeners

|                   | Prefere 5035                  | Prefere 5046                 |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Appearance        | Greyish-white liquid          | White liquid                 |
| Viscosity at 25°C | Approx. 3000 mPa.s            | approx. 3000 mPa.s           |
| pH at 25°C        | Approx. 1.0                   | approx. 2.0                  |
| Density at 25°C   | Approx. 1.3 g/cm <sup>3</sup> | approx 1.1 g/cm <sup>3</sup> |

### Hardener storage

Prefere 5035 may be stored for up to 6 months in the original containers. It must not be allowed to freeze. Prefere 5046 has a storage stability of approximately 4 months when stored in original containers at temperatures between 5 and 25°C.

## The wood

The European standard EN 386 requires that only species or a mixture of species proven to be suitable for the production of laminated timber structures should be used. The timber shall be strength graded in conformity with EN 518 or EN 519. At assembly, the moisture content of each lamination shall be in the range of 8 % to 15 %. The range of moisture content of the laminations in a member shall not be greater than 4 %.

EN 386 also specifies that the major part of the curing shall take place in an area with a temperature of at least 20°C for an initial wood temperature above 18°C and at least 25°C for an initial wood temperature above 15°C. Colder wood than 15°C should not be bonded.

## Glue mix preparation

The reactivity of the glue mixture can be adapted to the users production requirements (pot life, assembly time and pressing time). The following glue mixes are approved for laminated timber structures.

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Prefere 4535 (pbw)          | 100   |
| Hardener Prefere 5035 (pbw) | 15-35 |
| Hardener 5046 (pbw)         | 15-60 |

It must be demonstrated that automatic metering/mixing equipment to be used to mix Prefere 4535 and hardener is suitable for this special operation.

No fillers or extenders may be added to the glue mixes.

## Separate application of glue and hardener

Prefere 4535 and hardeners Prefere 5035 and 5046 are preferably applied with sequential ribbon spreaders especially suited to this purpose. The principle is that the first extruder is used for the hardener and the second for the adhesive. Three ribbon spreaders, ECOTOP T350 from Oest, Type 30-2K-G from DWT (Both Dynea Washless System) and Type 2800 from Mixon have proven to work very well. These ribbon spreaders ensure correct ratio between adhesive and hardener and keep the application rate of the two components constant.

By use of the separate application technique no glue mix is made. Consequently the pot life issue is completely removed. But as mixing and blending of the adhesive take place on the surface of the lamellas, it is very important to have strict control of the planning quality (maximum glue line thickness 0,3 mm) as well as the glue and hardener spread, the assembly time and the final pressure of the press.

### Mix-in application of a glue and hardener

These glue mixes are suited for automatic metering/mixing equipment. If resin and hardener are mixed by hand, one should be aware that the resin has a different specific gravity than the hardeners. In order to obtain a homogeneous glue mix it is therefore advisable to stir from the bottom.

### Pot life

Heat is evolved when resin and hardener are mixed. More heat is evolved the higher the initial resin temperature is. Once resin and hardener are mixed, the curing reaction starts. This reaction will cause increased viscosity and proceeds until the resin is cured completely. The reaction rate will increase with temperature and amount of hardener. The pot life (the time to unusable viscosity) for the different glue mixes is given in the table below.

| Glue :Hardener | Pot life in hours at |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|
|                | 15°C                 | 20°C | 25°C | 30°C |
| 100:15         | 3 ¼                  | 2 ¼  | 1 ⅓  | ¾    |
| 100:20         | 2 ½                  | 1 ⅔  | 1    | ⅔    |
| 100:25         | 2 ¼                  | 1 ⅓  | ¾    | ½    |
| 100:30         | 2                    | 1 ¼  | ¾    | ⅓    |
| 100:35         | 1 ¾                  | 1    | ½    | ¼    |

### Glue spread

In the manufacture of laminated timber structures the adhesive should be applied to one surface only at a rate of 250-500 g/m<sup>2</sup> if a ribbon spreader is used, and at a rate of 125-250 g/m<sup>2</sup> coated surface (application to both surfaces) if a roller spreader is used. Application to both surfaces is advantageous when bonding difficult-to-bond wood species. Lower glue spread can be sufficient depending on production technique, planing quality, assembly time required and press method. This should only be done after seeking technical advice from Dynea.

### Assembly time

Assembly time is the time elapsing between glue application and pressure application. It can be subdivided in open (from glue application until assembly of the adherents) and closed assembly time (from assembly until pressure is established).

Open assembly time should be kept as short as possible. On the other hand, 10-15 minutes closed assembly is beneficial, in particular when dense wood is being bonded.

Maximum closed assembly time depends first of all on the glue spread rate and hardener dosage, further on wood species, temperature and moisture content of the wood, temperature, relative humidity and air circulation in the workshop. The lower the spread rate, the higher the temperature and the drier the air, the shorter will the assembly time be. Provided the lamellas are assembled immediately after glue application, the maximum assembly times for given hardener dosages are in the table below.

| Separate application |                               | Maximum closed assembly time in minutes |        |        |        |
|----------------------|-------------------------------|---|--------|--------|--------|
|                      |                               | 25 pbw                                  | 30 pbw | 35 pbw | 60 pbw |
| Prefere 5035         | 20°C<br>250 g/m <sup>2</sup>  | 60                                      | 60     | 45     | -      |
| Prefere 5035         | 20 °C<br>350 g/m <sup>2</sup> | 90                                      | 80     | 75     | -      |
| Prefere 5046         | 20°C<br>250 g/m <sup>2</sup>  | 80                                      | 75     | 75     | 75     |
| Prefere 5046         | 20°C<br>350 g/m <sup>2</sup>  | 120                                     | 110    | 110    | 110    |

| Mix-in application |                               | Maximum closed assembly time in minutes |        |        |        |        |
|--------------------|-------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
|                    |                               | 15 pbw                                  | 20 pbw | 25 pbw | 30 pbw | 35 pbw |
| Prefere 5035/5046  | 20°C<br>400 g/m <sup>2</sup>  | 150                                     | 150    | 120    | 105    | 90     |
| Prefere 5035/5046  | 25 °C<br>400 g/m <sup>2</sup> | 100                                     | 100    | 80     | 75     | 60     |

The times apply to softwood when the relative humidity of the air is approx. 65 %.

Under all circumstances the adhesive must still be tacky when the pressure is applied. Adhesive being squeezed out of the glue line when the pressure is applied is an indication that the assembly time is not exceeded.

### Pressure

The pressure is dependent on the wood species (softwood or hardwood) and on the type of bonding operation.

In the manufacture of laminated timber structures the pressure should be 0.6-1.0 N/mm<sup>2</sup> with softwoods and 0.8-1.2 N/mm<sup>2</sup> with hardwoods. In other bonding operations a lower pressure may be sufficient.



## Pressing times

The pressing times table can be used for Prefere 5035 and Prefere 5046.

### a) *Laminated timber structures*

In the table below, the minimum pressing times when manufacturing straight beams according to EN 386 are given. Curved structures require extended pressing times. The smaller the radius of curvature, the longer pressing times are required.

| Glue :Hardener | Pressing time in hours at different glue line temperatures |      |      |      |
|----------------|--|------|------|------|
|                | 20°C   | 25°C | 30°C | 40°C |
| 100:15         | 12   | 5 ½  | 3 ¼  | 1    |
| 100:20         | 9  | 4 ½  | 2 ½  | ¾    |
| 100:25         | 6 ½  | 3 ½  | 1 ¾  | ½    |
| 100:30         | 5 ¼  | 2 ¾  | 1 ½  | ½    |
| 100:35         | 4 ½  | 2 ½  | 1 ¼  | ½    |
| 100:60*        | 4 ½  | 2 ½  | 1 ¼  | ½    |

\*Only valid with hardener Prefere 5046.

If the process always gives a thin glue line (Approx. 0,1 mm), the pressing times in the table below which will give enough strength for handling the beams, can be used.

| Pressing time in hours at 20°C with 0,1 mm glue line |        |              |        |        |
|--|--------|--------------|--------|--------|
| Prefere 5035   |        | Prefere 5046 |        |        |
| 100:25   | 100:35 | 100:25       | 100:35 | 100:60 |
| 6  | 4      | 4 ½          | 3      | 3      |

If the bonding is accomplished at elevated temperature in curing chambers, the time to reach the desired temperature in the glue line must be added to the pressing times above. This additional time depends on the chamber temperature, the initial temperature of the wood and, in particular, on the width of the laminations. Norsk Treteknisk Institutt (The Norwegian Institute of Wood Technology, NTI) has developed a model for calculating the degree of curing of the adhesive in the manufacture of laminated timber structures. The model is based on the assumption that the curing of the adhesive proceeds during the heating-up in the curing chamber, but the rate of curing increases as the temperature at the glue line increases. The model calculates the degree of curing for each °C temperature increase at the glue line and adds these contributions to the curing. In this way a measure is obtained of the degree of curing which can be used to determine when the adhesive is sufficiently cured that the pressure can be released. It is assumed that the adhesive does not necessarily have to be fully cured over the total cross section when the pressure is released. The adhesive in the outer part of the structure will be sufficiently well cured that the laminations are held together while the glue in

the core continues to cure even after the pressure is released. Our Marketing Department will assist in calculating the necessary pressing time.

After expiration of the above pressing times the adhesive is sufficiently cured to allow for machining. Full water resistance of the bonds will, however, only be reached after some time. The necessary time for post-curing depends on the glue mix, pressing time and the temperature during pressing and post-curing. The following table shows after curing times with pressing and storage at 20°C

| Glue: Hardener ratio | Time to water resistance at 20°C |
|----------------------|----------------------------------|
| 100:15               | 72 hours                         |
| 100:35               | 36 hours                         |
| 100:60               | 12 hours                         |

If the glue is cured by means of radio frequency, a post-curing time of a few hours may be sufficient. If the curing takes place in heated chambers at 40-60°C air temperature, the post-curing time be reduced. Our Marketing Department will assist in establishing the necessary post-curing times. During the post-curing period the structures should not be exposed to strains which may weaken the glue bond.

b) *Hot-bonding*

| Glue :Hardener | Pressing time in minutes at different glue line temperatures |      |      |      |      |       |
|----------------|--|------|------|------|------|-------|
|                | 50°C   | 60°C | 70°C | 80°C | 90°C | 100°C |
| 100:15         | 20   | 6    | 3    | 2 ½  | 1 ¼  | ½     |
| 100:20         | 15   | 5    | 2 ½  | 2    | 1    | ½     |
| 100:25         | 10   | 4    | 2    | 1 ½  | ¾    | ½     |
| 100:30         | 8  | 3    | 2    | 1 ¼  | ¾    | ½     |
| 100:35         | 6  | 2    | 1 ¼  | 1    | ¾    | ½     |



The pressing times (basic times) stated refer to glue line temperatures only and allowance must be made for the heat to travel from the press platens. Heat penetration will vary according to the density and the moisture content of the wood and the distance to the farthest glue line. The table below gives a guide to the additional time required for low and medium density woods:

| Press temperature | Additional time per mm distance to the farthest glue line |
|-------------------|---|
| 50-60°C           | 3 minutes   |
| 70-80°C           | 2 minutes   |
| 90-100°C          | 1 minute  |

c) *Radio frequency curing*

Prefere 4535 is very well suited for curing under radio frequency heating conditions.

Since the necessary pressing times depend on a number of factors, such as the shape of the adherents, the position of the electrodes, the effect of the generator, etc., it is recommended to optimise the pressing times by trials.

Our Marketing Department can advice on establishing press times and how to make glue line temperature measurements when radio frequency heating is employed. A typical glue line temperature will be in the range 60-80°C, but it can be both higher and lower depending on the type and settings of the press.

## Cleaning

With Dynea Washless System the need for cleaning is reduced significantly compared to mixed application systems since there is no glue-mix and the system is protected from dry-out.

With mixed application systems, the mixing and application equipment must be cleaned at the end of each working day. If the glue mix thickens in the application equipment, the equipment must be immediately emptied and cleaned because otherwise there is a risk that the glue will cure. Cured glue is insoluble and must be scraped off.

Cleaning is most easily done with warm water (40-60°C). However, as this glue has very good washability, fresh glue mix can be washed with water with temperatures down to 25°C. Before flushing of the equipment is started, the water pipes should be drained of cold water.

Melamine-urea resins are potential water pollutants. Glue remainders and untreated wash water may not be discharged into public drains or watercourses unless a permit has been obtained from the appropriate authorities. Advice on safe handling of glue remainders and wash water can be found in our Technical Information Leaflet No. 2E "Glue waste disposal - Prevention of pollution".

## Safety precautions

Reference is made to the Safety Data Sheet for Prefere 4535 and hardeners Prefere 5035 and 5046.

When the adhesive and the hardener are mixed a chemical reaction will start. The pH of the mixture will be in between the value for the adhesive and the hardener. The free formaldehyde content for the adhesive will be reduced. The acid/salt concentration of the hardener will be diluted.

When handling the adhesive, the hardener and the gluemix, it is recommended that certain precautions normally taken when handling chemicals is observed. Skin contact with the uncured glue should be avoided, since people with particularly sensitive skin may be affected. It is recommended to wear protective gloves, likewise eye protection where there is a risk of splashes. Hands and underarms should be thoroughly washed with soap and warm water at the end of the working day.

Adequate ventilation of the workshops should be maintained.

## Notice

The manufacture of laminated timber structures normally is subject to control procedures implemented by the authorities or other regulatory bodies. To satisfy these requirements, certain guidelines have to be followed in the production. These guidelines vary from country to country. They may, on some points, differ from the instructions given above. In such cases the manufacturer must obey the regulations applicable.

*The suggestions given in these notes are based on data gained from experience and tests. However, since operating conditions in the user's plant is beyond our control, we cannot assume responsibility for any risks or liabilities that may result from the use of our products.*

Replaces Prefere 4535 dated April 2006.

EM/RB/OJB 07.2007