

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav nábytku, designu a bydlení

Lepení spojů zahradního dřevěného nábytku

Bakalářská práce

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci Lepení spojů zahradního dřevěného nábytku zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně, dne 30. dubna 2016

.....

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Daniele Tesařové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce. Dále děkuji paní laborantce Květoslavě Tobiášové za pomoc a rady při přípravě vzorků. Děkuji také panu Ing. Josefovi Hlavatému, Ph.D., který mi pomáhal při samotném zkoušení vzorků.

Poděkování patří všem, kteří mi byli při psaní této práce oporou. V neposlední řadě děkuji mé rodině, všem blízkým a přátelům za podporu a důvěru, kterou do mě vkládali v průběhu celého studia.

Abstrakt

Jméno autora: Adéla Knápková

Název bakalářské práce: Lepení spojů zahradního dřevěného nábytku

Bakalářská práce sleduje vliv vlhkosti na pevnost lepených spojů dřevěného zahradního nábytku za použití montážního lepidla. Spoje vzorků z masivního dřeva akátu a smrku byly slepeny jednosložkovým polyuretanovým lepidlem. Lepené spoje byly klimatizovány na různou vlhkost za zvýšené teploty, a následně u nich byla porovnána jejich pevnost a odolnost mezi jednotlivými dřevinami. Vzorky byly namáhány tahovou zkouškou na smykovou pevnost.

Klíčová slova: lepidlo, spoj, zahradní nábytek, pevnost, přilnavost, vlhkost, dřevo, smyková pevnost

Abstract

Author's name: Adéla Knápková

Name of bachelor thesis: Gluing joints of garden wooden furniture

Bachelor thesis deals with the influence of humidity on the strength of glued joints of wooden garden furniture by using a mounting adhesive. The joints of solid wood-samples of robinia and spruce were glued with one-component polyurethane adhesive. The bonded joints were exposed to the different humidity at elevated temperature and then it was compared to the strength and resistance between individual woods. Samples were strained on tensile shear strength test.

Key words: adhesive, joint, garden furniture, strength, adhesion, humidity, wood, shear strength

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Cíl práce.....	8
3. Literární přehled	9
3.1 Lepení	9
3.1.1 Teorie lepení a základní pojmy.....	9
3.1.2 Faktory ovlivňující kvalitu lepení.....	10
3.2 Dřevo jako lepený materiál.....	11
3.3 Lepené spoje	13
3.3.1 Mechanické vlastnosti.....	14
3.3.2 Typy lepených spojů.....	16
3.3.3 Vady lepených spojů.....	18
3.4 Rozdělení lepidel	19
3.5 Lepidla používaná v dřevozpracujícím průmyslu.....	21
3.5.1 Polyuretanová lepidla	22
3.6 Zahradní nábytek	23
4. Materiál a metodika	26
4.1 Charakteristika použitých dřev	26
4.2 Charakteristika použitého lepidla	27
4.3 Použité pomůcky, přístroje a zkušební metody	28
4.4 Postup měření	30
4.4.1 Příprava vzorků.....	30
4.4.2 Klimatizace vzorků.....	31
4.4.3 Zkouška pevnosti	31
5. Výsledky měření.....	33
6. Diskuze a vyhodnocení výsledků	40

7. Závěr	42
8. Summary	43
9. Seznam použité literatury	44
9.1 Seznam použitých norem	45
9.2 Seznam internetových zdrojů	45
10. Seznam zkratk	47
11. Seznam tabulek	48
12. Seznam obrázků	49

1. Úvod

Pomocí spojování materiálů vznikají nejrůznější výrobky, které mohou být pro člověka předmětem každodenního použití. Jedním z nejužívanějších a nejefektivnějších způsobů spojování různých materiálů je jednoznačně lepení, které je souborem chemických a fyzikálních procesů a tvoří součást výrobních postupů řady odvětví, např. ve dřevozpracujícím průmyslu, stavebnictví, automobilovém a leteckém průmyslu, strojírenství atd.

A je to právě dřevo, které je odedávna pro člověka důležitým a hojně využívaným materiálem, především díky svým nezaměnitelným vlastnostem. Lepidla představují ve dřevozpracujícím průmyslu důležitý pomocný materiál, který velkou mírou přispívá nejen ke zdokonalení kvality výrobků, ale zároveň je základem pro vznik nových progresivních produktů (velkoplošné materiály, lepené dřevěné konstrukce apod.).

Pro dosažení pevného lepeného spoje je potřeba nahlížet na několik faktorů ať již při volbě lepidla, které musí být vhodně zvoleno podle charakteru lepené povrchy, tak dále musí být dodržený správný technologický postup lepení a místo slepení musí být konstruováno jako lepený spoj. Přihlížet je také třeba k podmínkám, kterým bude konečný výrobek vystavován. Vystavování nábytku klimatickým podmínkám má znatelný vliv na pevnost a odolnost lepených spojů. Jiné požadavky jsou kladeny na nábytek do interiéru, a jiné požadavky jsou kladeny na nábytek do exteriéru, jež je vystavován především působení extrémních klimatických podmínek.

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je stanovení a porovnání vlivu vlhkosti a teploty na pevnost lepených spojů v závislosti na použitém lepidle a druhu dřeviny. Použity byly vzorky ze dřeva smrku a akátu. Jako lepidlo bylo použito jednosložkové polyuretanové lepidlo, které by mělo být odolné vůči klimatickému zatížení. Lepené spoje byly vystaveny různým klimatickým podmínkám, a sice vlhkosti 40%, 70 %, 90 % za zvýšené teploty 35 °C, a byly namáhány tahem na smykovou pevnost podle platných norem.

Cílem práce je stanovení a sledování několika faktorů, a sice:

- stanovení vlivu vlhkosti na pevnost lepeného spoje vzorku z masivního dřeva akátu polyuretanovým lepidlem za zvýšené teploty,
- stanovení vlivu vlhkosti na pevnost lepeného spoje vzorku z masivního dřeva smrku polyuretanovým lepidlem za zvýšené teploty.

Tento experiment a použité podmínky lze přirovnat k letnímu období se zvýšenými srážkami, kterému je vystavován zahradní dřevěný nábytek. Úkolem práce je také zhodnocení přínosu řešení pro praxi.

3. Literární přehled

3.1 Lepení

Lepení představuje řadu fyzikálně mechanických a technologických procesů, jejichž výsledkem je lepený spoj. Tyto procesy jsou ovlivněny fyzikálně chemickými vlastnostmi lepidel i lepených materiálů.¹

3.1.1 Teorie lepení a základní pojmy

Lepení je způsob nerozebíratelného a nedestrukčního spojení dvou nebo více materiálů pomocí nekovových materiálů. Při lepení probíhají chemické a fyzikální procesy, které jsou dány fyzikálně-chemickými vlastnostmi lepidel. Během procesu lepení vzniká adheze neboli přilnavost, což je síla vyvinutá na povrch podkladu, která spojuje dva materiály na rozhraní jejich povrchu. Jestliže lepidlo není schopno dostatečně pevně přilnout k podkladu, spoj nedrží a dochází k rozlepení. Adheze je předpokladem pro použití laků na povrchovou úpravu, lepidel na spojení tuhých materiálů, prostředků na utěsnění a při jiných technologických procesech.²

Lepidlem spojovaný podklad pevného skupenství je označován jako adherend (substrát). Lepidla (adheziva) jsou látky kapalné, nebo alespoň po dobu působení na povrch adherendu, roztavené nebo plastické. Základní struktura lepeného spoje se skládá ze dvou substrátů a lepidla. Tyto substráty mohou být ze stejného materiálu (např. dřevo a dřevo) nebo ze dvou odlišných materiálů (např. dřevo a kov).³ Pevnost lepeného spoje závisí nejen na přilnavosti lepidla na povrch adherendu, ale také na vnitřní soudržnosti molekul lepidla při nanášení i po vytvrnutí lepidla, která se označuje jako koheze.⁴

Lepení se uplatňuje nejen při lepení dřeva, ale i v mnoha jiných průmyslových oborech, kde je nenahraditelné. Velké uplatnění nachází také při individuálních pracích v domácnostech.

¹ TRÁVNÍK, A. *Technologické operace výroby nábytku*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2005, 178 s. ISBN 80-7157-865-7.

² SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárském priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

³ STOKKE, D., WU, Q., HAN, G. *Introduction to wood and natural fiber composites*. 1. vyd. Chichester: Wiley, 2014, 285 s. ISBN 978-0-470-71091-3.

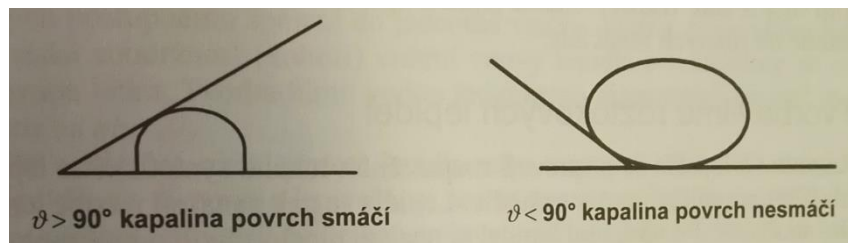
⁴ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárském priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

3.1.2 Faktory ovlivňující kvalitu lepení

Na kvalitu lepení má vliv hned několik faktorů. Důležitá je reologie lepidel (nauka o tečení), fyzikálně-mechanické vlastnosti jak lepidla, tak i lepených materiálů a dodržování technologických podmínek (lisovací čas, lisovací teplota a tlak).

Podstatným faktorem je volba lepidla, s ohledem na vlastnosti lepených materiálů, polaritu, viskozitu a na jeho správnou přípravu k lepení. Viskozita má velký vliv při nanášení lepidla, ale také na jakost lepeného spoje. Čím méně viskózní lepidlo je, tím více se vsakuje do dřeva a nevytváří dostatečnou vrstvu lepidla ve spoji. Hodně viskózní lepidlo naopak špatně penetruje do povrchu lepeného materiálu. Je také třeba dávat si pozor při ředění lepidla, protože ředění lepidla snižuje jeho viskozitu, a tím i rychlost tvorby spoje.

Schopnost smáčet povrch lepeného podkladu pak závisí na povrchovém napětí (síly vztažené na plochu dílce, ovlivňuje roztečení a lepeného povrchu. Tato schopnost smáčet povrch je charakterizován úhlem smáčení menším než 90° . Úhel smáčení ovlivňuje drsnost povrchu (čím větší zbroušení, tím menší úhel), různost povrchu a závislost na čase (zmenšuje se s časem). Aby lepidlo bylo dobře roztečené a smáčelo povrch, musí mít povrchové napětí menší než napětí adherendu. Naopak v případě, že je povrchové napětí lepidla vyšší než napětí podkladu, lepidlo povrch nesmáčí.⁵



Obr. 1 Úhel smáčení povrchu kapkou lepidla.⁶

Samotné množství nanášeného lepidla má také vliv na pevnost spoje. Všeobecně platí zásada, že čím menší tloušťka filmu je, tím je spoj pevnější. Avšak při nánosu příliš malého množství lepidla, může dojít ke vzniku tzv. chudého spoje. Nános příliš

⁵ Informace získané z přednášek k předmětu doc. Ing. Daniely Tesařové, Ph.D. Plasty, lepidla a nátěrové hmoty, (2012).

⁶ MUŽIKÁŘ, Z., *Materiály II: pro OU truhlář*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2008, 175 s., ISBN 978-80-7333-061-3.

velkého množství lepidla naopak vytvoří film silný, ale může dojít k destrukci spoje, lepidlo dodatečně zasychá, drobí se, čímž se snižuje pevnost spoje.⁷

3.2 Dřevo jako lepený materiál

Dřevo je nehomogenní materiál, který se skládá z většinou odumřelých buněk bez protoplazmy, vyplněných vodou nebo vzduchem. Pro objasnění vzájemných vlivů dřeva a lepidla je potřeba znát nejen vlastnosti lepidla, ale i všeobecné vlastnosti dřeva. Z hlediska lepení je důležitá rozdílná struktura povrchu na různých řezech. Dřevo obsahuje kromě hlavních složek, celulózy, hemicelulóz a ligninu, další doprovodné (akcesorické) složky. Jedná se o organické (sacharidy, fenolické látky, terpeny, bílkoviny, acyklické kyseliny, alkoholy aj.) a o anorganické látky (např. vápenaté, draselné a hořečnaté soli).⁸ Z pohledu lepení mají význam ještě některé vlastnosti dřeva, jako je pórovitost, hustota, tvrdost, pH dřeva (kyselé), anizotropie (různé vlastnosti v různých směrech), hygroskopicitá, přirozené vady apod.

Vzájemné vztahy lepidla a dřeva jsou složité, neboť dřevo je materiálem, u něhož jsou jednotlivé komponenty spojeny navzájem jak mechanickým, tak i chemickým způsobem.⁹

Mezi fyzikální vlastnosti dřeva, které mají přímý vztah k pevnosti lepení, patří hustota dřeva. Tato závislost mezi smykovou pevností lepeného spoje a objemovou hmotností dřeva je zobrazena na obr. 2 na str. 12. Lze pozorovat, že se stoupající hustotou dřeva je při lepení vyžadován i zvýšený tlak, který je mimo jiné závislý také na rovnosti povrchu dřeva. Avšak použití nadměrných tlaků na vyrovnání nerovností povrchu je neúčelné, jelikož se lepený vzorek zhušťuje a lepidlo se z lepené spáry vytlačuje, čímž vzniká tzv. chudý spoj.¹⁰

Další důležitou, a pro praxi v podstatě nejdůležitější, vlastností dřeva je jeho chování vůči vodě a vlhkosti. Většina lepidel se používá ve formě vodných roztoků, ze kterých musí voda proniknout do dřeva, aby mohlo lepidlo vytvrdnout. Nadměrná vlhkost tento proces brzdí, až znemožňuje. Dřevo může přijmout až do bodu nasycení

⁷ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knižnice.

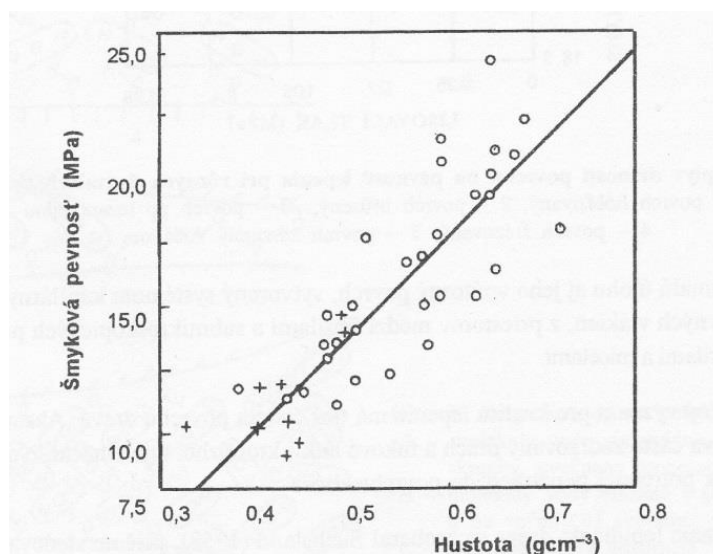
⁸ GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

⁹ EISNER, K. a kol. *Příručka lepení dřeva*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 287 s. Řada dřevařské literatury.

¹⁰ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevařském priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

vláken zhruba 30% vlhkosti. Tato voda je částečně vázaná chemicky, částečně zadržována hydroxylovými skupinami na povrchu celulóзовých krystalů, a konečně se kondenzuje v mezimicelárních prostorech buněčných stěn. Záleží také na tloušťce lepených dílců. V tlustých dílcích nezvyšuje voda oddifundovaná z lepidla příliš jeho průměrný obsah vlhkosti. Naproti tomu se stejným množstvím vody při lepení, například tenkých dých, může snadno překročit bod nasycení vláken, čímž se celý proces pozastaví, až zastaví. Přebytek vody ve dřevě způsobuje jeho bobtnání tím, že voda vniká mezi micely, které se tímto vlivem rozestoupí.¹¹

Mimo to vlhkost dřeva může nadměrně snižovat viskozitu nánosu lepidla, které se pak snadno vsakuje do suchého dřeva, čímž se vytvoří málo pevný spoj. Pnutí vyplývající ze sesychání dřeva může deformovat dílce slepované při vysoké vlhkosti, případně i porušit lepený spoj. Vlhkost dřeva při lepení by se měla pohybovat u interiérového nábytku od 8 % do 12 % a u zahradního nábytku 17 ± 2 %.¹²



Obr. 2 Závislost smykové pevnosti v tahu na hustotě.¹³

Nepříznivě působí při lepení i nízká teplota dřeva, díky níž může lepidlo zamrznout nebo vytvořit bílý film, čímž se kvalita lepení znehodnocuje. Naproti tomu příliš vysoká teplota dřeva, pokud s ní nepočítáme a neupravíme podle ní postup lepení, může způsobit nadměrné vsakování lepidla do dřeva a při lepení s reaktivními lepidly jejich

¹¹ EISNER, K. a kol. *Příručka lepení dřeva. 2.*, přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 287 s. Řada dřevařské literatury.

¹² DRÁPELA, J. *Výroba nábytku: technologie.* 1. vyd. Praha: STNL, 1980, 484 s.

¹³ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevařském průmysle.* 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

předčasné vytvrnutí ještě před lisováním. Požadavku na dodržení určité teploty pro aplikaci, říkáme minimální filmotvorná teplota, zkráceně MFT, která vyjadřuje nejnižší možnou teplotu pro dosažení uceleného filmu. Při lepení by minimální teplota neměla klesnout pod 13 °C, záleží však na druhu použitého lepidla. Například MFT u PVAC lepidel je 10 – 12 °C, u PUR lepidel 5 °C a u PVC lepidel 7 °C.¹⁴

Pokud jde o chemické vlivy lepidla na dřevo, je důležitá reakce lepidla. Kyseliny i zásady působí škodlivě na dřevo, a to se projevuje výrazněji na dřevu listnáčů oproti jehličnanům. Jehličnany jsou odolnější, protože obsahují menší podíl snadno hydrolyzujících pentozanů, a mimo jiné pro svůj obsah přírodních pryskyřic. Extrémně kyselá nebo alkalická lepidla působí nepříznivě na dřevo, protože depolymerizují snadno hydrolyzovatelné hemicelulózy, částečně i celulózu, což se projevuje zřetelným snížením mechanických vlastností dřeva, především v okolí lepené spáry, a dále například na některých dřevinách v podobě tmavých skvrn.¹⁵

Z hlediska kvality lepení je důležitý také charakter povrchu materiálu. Rozlišujeme vnější a vnitřní povrch dřeva. Vnější povrch tvoří anatomická stavba dřeva, technologie opracování povrchu materiálu (dřeva), ale také kvalita opracovávaného dřeva (šířka letokruhů, přítomnost pryskyřic apod.). Vnitřní povrch dřeva je tvořený systémem kapilárních dutin.¹⁶

Nezanedbatelný význam pro kvalitu lepení má i čistota povrchu dřeva. Na povrchu dřeva bývá adsorpcí¹⁷ často zadržovaný prach a mastnota, které zhoršují smáčivost a zabraňují tak potřebné penetraci lepidla do povrchu dřeva.¹⁸

3.3 Lepené spoje

Kromě povrchového napětí lepidla a lepeného materiálu, koheze lepidla a jeho adheze k podkladu mají na kvalitu lepeného spoje vliv další skutečnosti jako viskozita lepidla, způsob nanášení lepidla, množství lepidla, působení tlaku na spoj, teplota lepených materiálů a lepidla, savost lepených materiálů a kvalita jejich povrchů. Lepený

¹⁴ DRÁPELA, J. *Výroba nábytku: technologie*. 1. vyd. Praha: STNL, 1980, 484 s.

¹⁵ EISNER, K. a kol. *Příručka lepení dřeva*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 287 s. Řada dřevařské literatury.

¹⁶ LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.

¹⁷ Adsorpce je schopnost látek vázat na svém povrchu jiné látky, pevné i plynné. (Osten, 1982)

¹⁸ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

spoj musí splnit požadavky na odolnosti určené prostředím a podmínkami, kam bude výrobek umístěn.¹⁹

K dosažení požadovaných vlastností a kvality lepeného spoje je důležitý výběr a vlastnosti lepidla, které by mělo být zvoleno podle lepeného materiálu, jeho vystavení klimatickým vlivům, způsobu a délce namáhání. Avšak na kvalitu lepeného spoje nemá vliv jen chování lepidla při nanášení a jeho vytvrdnutí, ale také chování vytvrzeného filmu v lepené spáře. Pevnost lepeného spoje se projevuje zejména při působení vlhkosti. Dřevo působením vlhkosti nabobtnává a film lepidla se roztahuje. Vlivem vnějších sil na lepidlový film vzniká pnutí ve vrstvě lepidla. Místa s nejvyšším pnutím povolí nejdříve při mezním zatížení (tj. kdy se spoj rozlepí) a dochází tak k porušení lepeného spoje. V důsledku adsorpce vlhkosti se roztahuje vrstva lepidla, a tím začnou působit na fázovém rozhraní síly. Podobný jev, ale opačný, lze pozorovat u vysychání, kdy dochází ke smršťování lepidlového filmu. Do jaké míry odolá lepidlový film tomuto namáhání, aniž by se odloupla vrstva lepidla od adherendu, závisí na jeho pružnosti, respektive křehkosti. Održení filmu lepidla od lepeného povrchu ovlivňuje i pružnost filmu lepidla. Pevnost lepeného spoje ve smyku při zatěžování v tahu bývá vyjádřena v jednotkách MPa, neboli N/mm^2 .²⁰

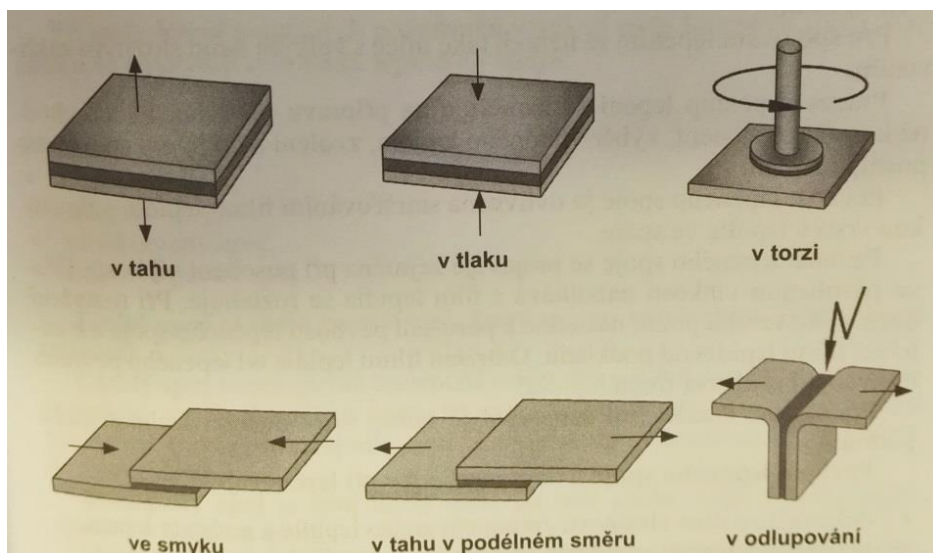
3.3.1 Mechanické vlastnosti

Ve své funkci může být lepený spoj zatěžován buď staticky, např. vlastní hmotností adherendů, anebo dynamicky, např. trvalým chvěním, opakovanými rázy, kroucením. Staticky může být spoj namáhán ve smyku, v tahu, v tlaku, v ohybu a v odlupování. Vlastnosti lepených spojů se zkoušejí především ve smyku podle platných norem. Pevnost lepených dých se zkouší také odlupováním (tzv. dlátovou zkouškou). Lepidla odolávají nejméně v odlupování, a proto je lepší se vyhnout takovému spojení u konstrukcí. Dynamické namáhání je obtížně definovatelné a komplikovanější. Takové spoje se používají nejčastěji v automobilovém a leteckém průmyslu a u sportovních potřeb.²¹

¹⁹ MUZIKÁŘ, Z., *Materiály II: pro OU truhlář*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2008, 175 s., ISBN 978-80-7333-061-3.

²⁰ LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.

²¹ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knihovna (STNL).



Obr. 3 Způsoby namáhání lepených spojů.²²

Podle ČSN EN 204 jsou rozdělena lepidla na bázi termoplastů (třídy D1 až D4) a podle ČSN EN 12765 jsou rozdělena lepidla na bázi reaktoplastů (třídy C1 až C4) do tříd trvanlivosti podle působení klimatických vlivů ve vztahu k pevnosti lepeného spoje. K zařazení lepidla do jedné z uvedených tříd v tab. 1 na str. 15 musí naměřené střední hodnoty pevnosti lepeného spoje dosáhnout minimálních hodnot uvedených ve zmíněné tabulce. Každé lepidlo na dřevo musí mít podle těchto norem označení D1 až D4 nebo C1 až C4.

²² FEICA. *Bonding/Adhesives textbook* [online]. Düsseldorf: FEICA Association of European Adhesives Manufacturers, 2004 [cit. 19. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.feica.com/images/stories/textbookbondingadhesives.pdf>

Tab. 1 Třídy trvanlivosti lepidel.^{23, 24}

Třída trvanlivosti	Klimatické podmínky a oblasti použití
C1 = D1	Interiér, kde teplota překročí pouze příležitostně a krátkodobě 50 °C a vlhkost dřeva je maximálně 15 %.
C2 = D2	Interiér s příležitostným krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody, nebo občasou vysokou vlhkostí vzduchu, jestliže nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %.
C3 = D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody, nebo dlouhodobým působením vysoké vlhkosti vzduchu. Exteriér chráněný před působením povětrnostních vlivů.
C4 = D4	Interiér s častým silným působením tekoucí nebo kondenzované vody. Exteriér vystavený povětrnostním vlivům, který je opatřený přiměřenou povrchovou úpravou.

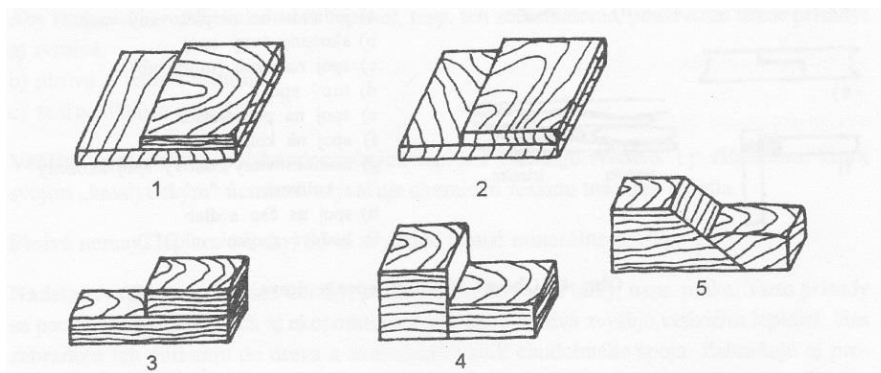
3.3.2 Typy lepených spojů

Pevnost lepení značně ovlivňuje způsob spojování dřeva vzhledem k jeho anatomické stavbě, respektive podle směru průběhu vláken. Rozlišujeme pět možností vzájemné polohy růstové struktury dřeva uvedené na obr. 3 na str. 15, jedná se o spoj příčný, hvězdicovitý, rovnoběžný, čelní a zkosený. Nejvíce se uplatňují spoje s rovnoběžným a hvězdicovitým uspořádáním vláken na stykových plochách. Poskytují totiž relativně nejhladší plochy, nevsakují lepidlo a vytváří tak pevný spoj. Jelikož se v příčných spojích vlákna nedotýkají po celé délce, ale jen bodově překřížováním letokruhů, jsou hodnoty lepivosti a pevnosti nižší, a proto vyžaduje příčné lepení větších tlaků. Čelní vazba je, podobně jako příčná, také problematická, protože způsobuje únik velkého množství lepidla do otevřených kapilár a nerovností povrchu, čímž dochází

²³ ČSN EN 204. *Klasifikace lepidel pro nekonstrukční stavební díly ke spojování dřeva a dřevitých materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

²⁴ ČSN EN 12765. *Klasifikace reaktoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

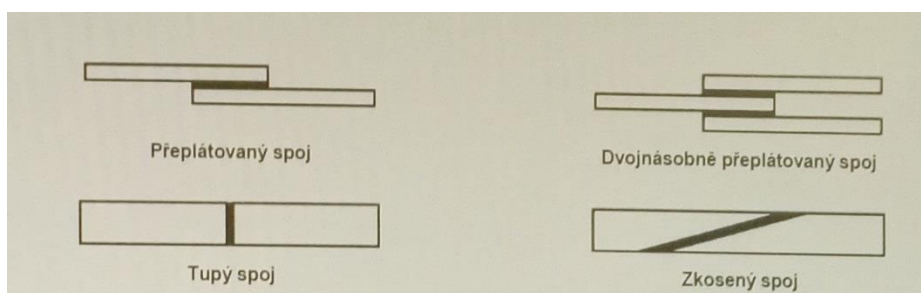
k neúplnému kontaktu lepených ploch. A v neposlední řadě má ve srovnání s podélnou vazbou nejnižší hodnoty pevnosti.²⁵



Obr. 4 Základní polohy spojů dřeva podle růstové struktury: 1 – příčné, 2 – hvězdicovité, 3 – rovnoběžné, 4 – čelní, 5 – zkosené.²⁶

Dokonalého spoje lze dosáhnout, pokud na sebe lepené plochy těsně doléhají a vytvrzené lepidlo mezi lepenými plochami tvoří tenký, souvislý film. K porušení dokonalého spoje je zapotřebí velké síly. Při odtrhávání vzniká porušení lepeného spoje zpravidla ve dřevě.²⁷

Při lepení dřeva se ve většině případů vyžaduje, aby pevnost spoje byla vyšší než pevnost lepeného materiálu. V praxi také při totální destrukci dochází k porušení mimo lepený spoj. Správně provedený lepený spoj s vhodně zvoleným lepidlem za normálních podmínek převyšuje smykovou pevnost dřeva, která se průměrně pohybuje mezi 5 až 11 MPa.²⁸



Obr. 5 Typy lepených spojů.²⁹

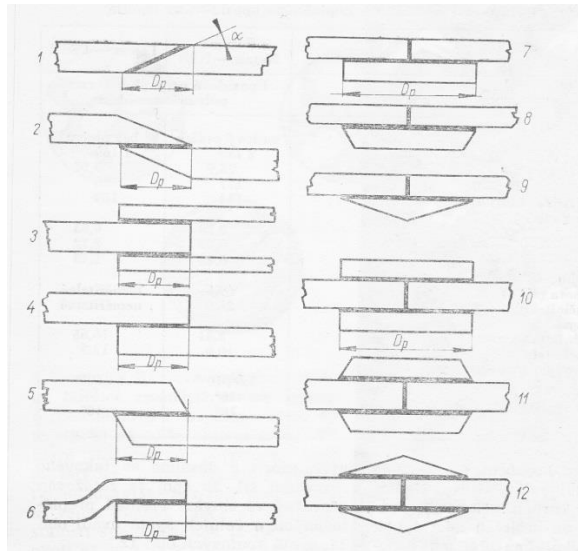
²⁵ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knihovna (STNL).

²⁶ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knihovna (STNL).

²⁷ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárském priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

²⁸ DRÁPELA, J. *Výroba nábytku: technologie*. 1. vyd. Praha: STNL, 1980, 484 s.

²⁹ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knihovna (STNL).



Obr. 6 Přehled konstrukčních možností lepených spojů.³⁰

1 – tupý, zkosený; 2 – jednoduchý přeplátovaný, zkosený; 3 – dvojitě přeplátovaný; 4 – jednoduše přeplátovaný; 5 – jednoduše přeplátovaný, zkosený; 6 – lemový, jednoduše přeplátovaný; 7 – čelní s příložkou; 8 a 9 – čelní s různými příložkami; 11 a 12 – čelní se dvěma zkosenými příložkami.

3.3.3 Vady lepených spojů

Kvalitní lepený spoj je výsledkem souhry vícero činitelů, které mají vliv na lepení. Souhrn těchto okolností vystihují podmínky lepení uvedené v technologickém postupu. Při nedodržení předepsaných postupů, mohou vzniknout různé chyby.

Rozeznáváme několik typů chyb lepených spojů:

- rozlepený spoj,
- chudý spoj,
- zrnitý spoj,
- zamrzlý spoj,
- nezakotvený spoj,
- zdánlivě pevný (optický) spoj,
- ostatní vady (borcení, zbarvování, puchýře).³¹

³⁰ OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: STNL, 1982, 283 s. Polytechnická knihovna (STNL).

³¹ SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárskom priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

3.4 Rozdělení lepidel

Lepidla tvoří rozsáhlou a chemicky velmi různorodou skupinu organického i anorganického původu, což se projevuje na jejich samotném rozdělení do jednotlivých kategorií. Dělí se podle různých hledisek, ale přesto tato hlediska nevystihují přesné vlastnosti lepidel.

Podle původu

1. Lepidla z přírodních obnovitelných zdrojů

a) živočišného původu

- glutinový kliš (kostní, kožní);
- kaseinový kliš (z mléčné bílkoviny);
- albuminový kliš (z krve jatečných zvířat);
- rybí kliš;

b) rostlinného původu

- škroby, kaučuky, deriváty celulózy, algináty, přírodní pryskyřice, rostlinné gumy, mouky, pektiny;

c) maltoviny (s minerálními pojivy)

- cementy, vodní sklo, asfalt, sádra.

2. Syntetická lepidla

a) *termoreaktivní* (termosetická, reaktoplastická)

- močovinoformaldehydová,
- melaminoformaldehydová,
- fenolformaldehydová,
- rezorcinolformaldehydová,
- epoxidová,
- polyuretanová,
- izokyanátová,

b) *termoplastická*

- disperzní vodouředitelná,
 - vinylová,
 - akrylátová,
- tavná,

c) *nereaktivní syntetická lepidla*

- roztoková,
- tlakově citlivá.³²

Podle fyzikálního stavu (formy)

- a) tekutá,
- b) prášková,
- c) pěnová,
- d) pastovitá,
- e) fólie,
- f) perličky.³³

Podle charakteru po vytvrnutí

- a) vratné (působením rozpouštědla lze opět rozpustit),
- b) nevratné (syntetická a minerální pojiva).³⁴

Podle použité teploty při zpracování

- a) za studena (20 až 30°C),
- b) za zvýšené teploty (30 až 100°C),
- c) za horka (nad 100°C).³⁵

Podle způsobu vytvrnutí spoje

- a) odpařením vody, rozpouštědla;
- b) oddifundováním rozpouštědla;
- c) chemickou reakcí (iniciace reakce katalyzátorem, teplem nebo jejich kombinací);
- d) změnou skupenství (tavná lepidla);

³² SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevářském průmysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

³³ BOUBLÍK, V. *Lepidla a jejich příprava*. 2., nezměň. vyd. Praha: STNL, 1966, 190 s. Polytechnická knihovna.

³⁴ LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v dřevářském průmysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.

³⁵ LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v dřevářském průmysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.

- e) působením tepla, vzdušné vlhkosti apod.;
- f) zářením (UV, infračervené, mikrovlnné);
- g) tlakem (tlakocitlivá lepidla).³⁶

Podle vodovzdornosti

- a) vysoce vzdorné (odolnost vůči studené i vařící vodě),
- b) vodovzdorné (odolnost vůči studené vodě),
- c) nevodovzdorné.³⁷

Podle jiných znaků

- podle oboru použití (lepidla nábytkářská, čalounická apod.),
- podle materiálu, který má být slepen (lepidla na papír, dřevo, textilie apod.),
- podle vlastnosti lepeného spoje (lepidla konstrukční),
- podle místa použití (lepidla dýchovací, montážní),
- podle rychlosti zasýchání (lepidla vteřinová) apod.³⁸

3.5 Lepidla používaná v dřevozpracujícím průmyslu

V dnešní době tvoří nejvýznamnější skupinu pojících materiálů v dřevozpracujícím průmyslu syntetická lepidla, jež dala podnět ke vzniku celé řady nových výrobků, umožňující účelnější využití rostlého dřeva, zužitkování odpadů a méně hodnotných sortimentů (vznik vrstveného dřeva, třískových desek, lepených konstrukcí apod.). Přispívají tak podstatně ke zmírnění klesajícího množství dřeva. Oproti lepidlům z přírodních surovin mají syntetická lepidla lepší vlastnosti. Především se jedná o pevnost spojů, vodovzdornost, tepelnou, chemickou a biologickou odolnost (odolnost vůči různým plísním a bakteriím).³⁹

Nejpoužívanějšími syntetickými lepidly ve výrobě nábytku jsou lepidla disperzní, tavná, polyuretanová a močovinoformaldehydová. Dominantní postavení zaujímají disperzní polyvinylacetátová lepidla (PVAC) díky své kompatibilitě se dřevem, pevnosti lepeného spoje a voděodolnosti. Disperzní lepidla lze vybírat podle tříd

³⁶ TESAŘOVÁ, D. a kol. *Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]*. 1.vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.

³⁷ LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.

³⁸ MUZIKÁŘ, Z., *Materiály II: pro OU truhlář*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2008, 175 s., ISBN 978-80-7333-061-3.

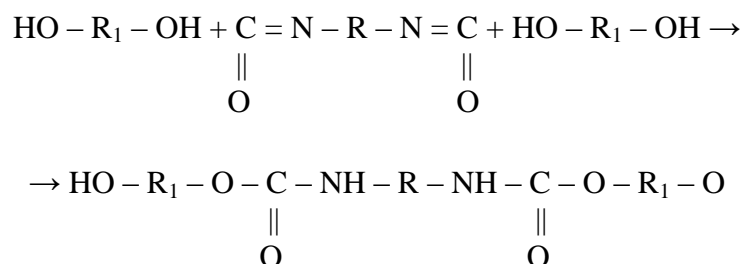
³⁹ EISNER, K., BERGER, V. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1958, 193 s.

trvanlivosti D1 až D4 podle ČSN EN 204. Tavná lepidla se ve výrobě používají zejména k olepování hran a oplášt'ování profilů. Močovinoformaldehydová lepidla (UF) se používá převážně k nenáročnému plošnému lepení. A polyuretanová reaktivní lepidla (PUR) se používají pro výrobu sendvičových panelů, spojů z různorodých materiálů, pro rychlou výrobu konstrukčních spojů a spadají do třídy trvanlivosti D4.⁴⁰

Podrobně jsou dále popsána pouze polyuretanová lepidla, která nejlépe splňují požadavky na pevnost lepeného spoje dřevo – dřevo a byla použita při řešení bakalářské práce.

3.5.1 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová (zkráceně PUR) lepidla jsou termoreaktivní lepidla, která vznikají reakcí polyizokyanátu s polyhydroxyestery (polyoly) bez vedlejších reakčních produktů, v jehož reakci se opakuje uretanová skupina –NH–CO–O–. Tato reakce je popsána v následující rovnici.



Mezi výhody polyuretanových lepidel patří pevnost, nerozpustnost a pružnost spojů. Spoje těchto lepidel odolávají dynamickému namáhání, vlhkosti a povětrnostním vlivům. Vyznačují se vysokou rychlostí vytvrzování (90–120 s) a smykovou pevností až 23 MPa. Měrný tlak při lepení je 0,1 až 0,3 MPa. Tepelná odolnost spojů polyuretanových lepidel dosahuje 170 °C. Tato lepidla se mohou zpracovávat v širokém rozmezí teplot, včetně nízkých teplot okolo 0 °C. Při jejich aplikaci se nesmějí používat rozpouštědla obsahující alkohol a vodu, protože by došlo k reakci s izokyanáty, přičemž by vznikaly deriváty močoviny.⁴¹

⁴⁰ LEAR, a. s. *Lepidla na dřevo a nábytek* [online]. Brno: LEAR, a. s., 2010 [cit. 9. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.lear.cz/lepidla-vyroba/na-drevo-a-nabytek/>

⁴¹ TESAŘOVÁ, D. a kol. *Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]*. 1.vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.

Polyuretanová lepidla se využívají k lepení kovů, dřeva, plastů, nevulkanizovaných gum z nitrilkaučuku, chloroprenového a přírodního kaučuku k hliníku, oceli, skla v medicíně či v obuvnickém průmyslu k lepení umělých kůží s PVC povrchem.⁴²

Zvláštní skupinu polyuretanových lepidel tvoří jednosložková sekundová (izokyanátová) lepidla, která vznikají kombinací polyesteru a polyizokyanátu v jedné složce. Rychle zasychají a jsou vysoce reaktivní, k zahájení reakce a k vytvrzení stačí pouze vzdušná vlhkost.⁴³ Působením vzdušné vlhkosti na lepidlo dojde k rozkladu isokyanátové skupiny a k zahájení síťující reakce, při které se vše pospojuje a kapalné lepidlo ztuhne. Spoje těchto lepidel jsou odolné vůči vlhkosti a vůči teplotě do 70 °C. Velkou nevýhodou sekundových lepidel je jejich toxicita, jelikož obsahují nehořlavá rozpouštědla, která jsou zdraví škodlivá.⁴⁴

3.6 Zahradní nábytek

Zahradní nábytek je podle ČSN 910000 nábytek pro venkovní použití, který je vystavený přímým povětrnostním účinkům. Stal se neodmyslitelnou součástí života člověka k trávení chvil na zahradě, terase či balkoně. Existuje velká řada materiálů, ze kterých je možné zahradní nábytek vyrobit jako plast, kov, ratan, sklo, ale především dřevo. Vybrat se dá také z různých druhů zahradního nábytku, jedná se o židle, křesla, lavice, lehátka, houpačky, stoly, stolky apod. Na českém trhu se objevuje zahradní dřevěný nábytek dovážený, vyrobený ze dřevin exotických (teak, mahagon, eukalypt, meranti apod.) nebo tuzemských. Základní normou pro zahradní nábytek a jeho technické požadavky je ČSN 913001.

Tuzemský dřevěný zahradní nábytek se nejčastěji vyrábí ze dřeva jehličnanů smrku, borovice a modřínu, nebo ze dřeva listnáčů, především tvrdého dřeva dubu, buku, akátu nebo ze dřeva jilmu či jasanu.⁴⁵ Nábytek by měl být konstruován tak, aby předcházel hromadění vody uvnitř a nevytvářel místa, kam se špatně dostává vzduch. Masivní zahradní nábytek je kvalitní a má dlouhou životnost, ale neměla by

⁴² TESAŘOVÁ, D. a kol. *Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]*. 1.vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.

⁴³ CHEMIE.DE. *Polyurethan Klebstoffe* [online]. Berlin: CHEMIE.DE Information Service GmbH, 1997-2016 [cit. 17. 4. 2016] Dostupné z: http://www.chemie.de/lexikon/Klebstoff.html#Polyurethan-Klebstoffe_.28PUR.29

⁴⁴ Informace získané z přednášek k předmětu doc. Ing. Daniely Tesařové, Ph.D. *Plasty, lepidla a nátěrové hmoty*, (2012).

⁴⁵ MÜLLEROVÁ, A. *Zahradní nábytek: [umíte si vybrat?]*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, 82 s. ISBN 978-80-7366-082-6.

se podceňovat jeho ochrana a údržba (broušení, lakování, olejování, moření apod.). Na odolnost nábytku má vliv i kvalita jeho opracování. Pokud je jeho povrch neopracovaný, absorbuje větší množství vody (může způsobit bobtnání dřeva) a v jeho nerovnostech se usazují nečistoty. Pro zlepšení vlastností dřeva a odolnosti dřeva proti biotickým škůdcům, povětrnostním vlivům, hořlavosti, abiotickým faktorům (fotodegradace) apod. se používají penetrační nebo impregnační přípravky. Impregnováním dřeva jsou do dřeva přijímány kapalné látky, které chrání dřevo. Na kvalitu impregnace má pak vliv také způsob nanášení impregnačních látek (např. natírání, stříkání, bandážování atd.). Penetrací dřeva se zpevňuje podklad nátěrem pronikajícím do hloubky podkladu a dochází ke sjednocení (snížení) jeho nasáklivosti, k přípravě a k zajištění přilnutí (ukotvení) následného nátěru.⁴⁶



Obr. 7 Zahradní nábytek ze smrkového dřeva.⁴⁷

Konstrukce pro stavební účely (trámy, nosníky, profily atd.) a nábytek do exteriéru vyžaduje nejen pevnost, ale také odolnost a trvanlivost lepených spojů, jelikož jsou vystaveny velké vlhkosti i přímému účinku povětrnosti. Menší nároky kladou konstrukce, které jsou chráněny před přímou povětrností, i když ani zde by se neměla podceňovat dostatečná odolnost lepení vůči vlhkosti.⁴⁸

Podle ČSN 913001 musí být zahradní nábytek splňovat např. tyto požadavky:

- materiály použité na jeho výrobu musí být zdravotně nezávadné,
- povrch musí být hladký, bez otřepů a výčnělků,

⁴⁶ VLADEKO, spol. s.r.o. *Zahradní nábytek* [online]. Tachlovice: VLADEKO, spol. s. r. o, 2014 [cit. 10. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.vladeko.cz/zahradni-nabytek/>

⁴⁷ VLADEKO, spol. s.r.o. *Ibiza sestava zahradního nábytku* [online]. Tachlovice: VLADEKO, spol. s. r. o, 2014 [cit. 10. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.vladeko.cz/produkt/ibiza-lavice-5-5>

⁴⁸ EISNER, K. a kol. *Příručka lepení dřeva. 2.*, přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 287 s. Řada dřevařské literatury.

- musí být konstruován a dimenzován tak, aby při jeho obvyklém užití nedošlo k jeho poškození a poranění uživatele,
- musí být konstruován tak, aby nebyla vlivem obvyklých činností porušena jeho stabilita, funkce a bezpečnost,
- dřevěný nábytek pro exteriér musí být dodán s rovnovážnou vlhkostí $17 \% \pm 2 \%$ při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.⁴⁹

⁴⁹ ČSN 913001. *Nábytek pro venkovní použití. Zahradní nábytek – technické požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

4. Materiál a metodika

4.1 Charakteristika použitých dřev

Ke zkoušení v rámci této bakalářské práce byly použity vzorky dřeva smrku a akátu. Použité vzorky nebyly broušeny ani jinak upravovány.

Smrk (*Picea Sp.*)

Smrk je jedním z nejčastěji se vyskytujících jehličnanů u nás. Dřevo je žlutobílé až světle žlutohnědé, nemá vylišeno jádro a běl, a jeho letokruhy jsou zřetelné s pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem. Smrk patří k lehkým (ρ_0 420 kg·m⁻³, ρ_{12} 450 kg·m⁻³) a měkkým (26 MPa) dřevům. Je méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům, dobře se opracovává, suší, hůře se impregnuje. Používá se jako stavební a konstrukční dřevo pro nadzemní i podzemní stavby (stožáry, sloupy, střešní a mostní konstrukce, podlahovina atd.), v nábytkářství (nábytek, dýhy, překližky, lišty atd.), na chemické a polochemické zpracování (buničina, dřevovláknité a dřevotřískové desky atd.) a dřevo bez vad slouží jako rezonanční dříví pro výrobu hudebních nástrojů.⁵⁰

Akát (*Robinia pseudoacacia L.*)

Akátové dřevo je lesklé a má vylišeno jádro a běl, kde běl je úzká žlutobílá a jádro žluto až zelenohnědé. Hranice letokruhů je zřetelná s ostrým přechodem mezi jarním a letním dřevem v rámci letokruhů (řadí se mezi dřeva s kruhovitě pórovitou stavbou). Má zřetelné póry (na příčném řezu) a rýžky (na podélném řezu) v jarním dřevě. V letním dřevě jsou zřetelné světlé tečky (klubíčková seskupení letních cév). Akát patří u nás k nejtěžším (ρ_0 760 kg·m⁻³, ρ_{12} 800 kg·m⁻³) a nejtvrdějším (97 MPa) dřevům. Dřevo je houževnaté, velmi trvanlivé, odolné proti biotickým škůdcům, dobře opracovatelné, hůře se impregnuje. Používá se jako palivové dříví, k výrobě náradí, topůrek, viničních kůlů, žebříků, v kolářství či bednářství, ale také k výrobě především zahradního nábytku.⁵¹

⁵⁰ GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7375-168-5.

⁵¹ GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7375-168-5.

Vlhkost použitých dřev

Vlhkost vzorků před lepením byla u dřeva akátu 9 % a u dřeva smrku 10 %. Tato vlhkost byla zjištěna pomocí měření podle normy ČSN EN 322, kdy se vzorky při normálních pracovních podmínkách (vlhkost 45 %, teplota 23 °C) zvážily a potom byly vloženy do sušárny, kde se sušily při teplotě 103 °C ± 2 °C až do doby ustálení jejich hmotnosti. Následně se mohla vypočítat průměrná vlhkost w [%] podle vzorce:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde: m_1 – hmotnost vzorku před sušením [g]

m_0 – hmotnost vysušeného vzorku [g]

4.2 Charakteristika použitého lepidla

K lepení vzorků bylo použito reaktivní jednosložkové polyuretanové lepidlo LEAR D4, které je vytvrzováno působením vlhkosti. Je vhodné k lepení obtížně lepitelných truhlářských dílců (dřevěné rámy, lakované plochy) nebo k lepení nesavých povrchů (např. kovy, melaminové povrchy). Je vysoce vodovzdorné, takže je vhodné i k lepení zahradního dřevěného nábytku.⁵²

Tab. 2 Technické parametry a aplikace lepidla LEAR D4.⁵³

Vzhled	hnědá medovitá kapalina
Způsob nanášení	nátěr, nános v pruzích apod.
Teplota materiálu, prostředí a lepidla	18 – 22 °C
Vlhkost dřeva	8 – 12 %
Vlhkost vzduchu	65 – 75 %
Nános lepidla	100 – 200 g · m ⁻²
Otevřená doba (20 °C/50 % RVV)	20 min
Lisovací tlak	≥ 0,5 atm (0,05 MPa)
Lisovací čas	≥ 60 min
Obsah sušiny	95 – 100 %

⁵² LEAR, a. s. *Technický list LEAR na dřevo D4* [online]. Brno: LEAR, a. s., 2013 [cit. 9. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.lear.cz/technicke-listy/tLEAR_D4_3_0.pdf

⁵³ LEAR, a. s. *Technický list LEAR na dřevo D4* [online]. Brno: LEAR, a. s., 2013 [cit. 9. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.lear.cz/technicke-listy/tLEAR_D4_3_0.pdf

Obsah netěkavých podílů (NV), neboli sušiny, v lepidle byl vypočítán podle normy ČSN EN 827 podle vzorce:

$$NV = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde: m_1 – hmotnost navážky vzorku [g]

m_0 – hmotnost zbytku [g]

4.3 Použité pomůcky, přístroje a zkušební metody

Formátovací pila Rojek Industry PF 300L

Smrkové a akátové řezivo bylo rozřezáno pomocí formátovací kotoučové pily podélně ve směru vláken na požadovanou šířku 20 mm a tloušťku 7 mm. Výkon pily je 4 kW a výkon předřezu je 0,7 kW.

Pásová pila na dřevo Proma PP-500

Na pásové pile byly vzorky dokončeny na požadovanou délku 100 mm. Příkon pily je 2,2 kW a její řezná rychlost je 600 m/min.

Pomůcky při lepení

Při lepení vzorků byly použity tyto pomůcky: pravítko, laboratorní váha KERN, lepidlo Lear D4, štětec, kelímek.

Klimatizační komora MEMMERT HPP 108

K dosažení požadovaných klimatických podmínek, tedy vlhkosti 40 %, 70 %, 90 % a konstantní teploty 35 °C, byla u vzorků použita teplotní a vlhkostní komora Memmert HPP, ve které lze nastavit vlhkost od 20 % do 95 % a teplotu od +8 °C do + 90 °C (1dílek = 1 °C).



Obr. 8 Klimatizační komora. ⁵⁴

Laboratorní trhací stroj INSTRON 3365

K samotnému měření pevnosti lepených spojů u vzorků bylo použito laboratorní trhací zařízení INSTRON 3365 se záznamovým zařízením. Vzorky byly vloženy mezi upínací zařízení a namáhány tahem na smykovou pevnost podle ČSN EN 205. Maximální síla zatížení stroje je 5,25 kN a maximální posuv trhacích kleští stroje je 1000 mm/min.



Obr. 9 Trhací stroj s připojeným počítačem. ⁵⁵

⁵⁴ Foto autor.

⁵⁵ Foto autor.

Použité zkušební metody

Stanovení obsahu sušiny v lepidle podle ČSN EN 827.

Stanovení vlhkosti vzorků podle ČSN EN 322.

Vystavení vzorků klimatickým podmínkám podle tříd trvanlivosti podle ČSN EN 204.

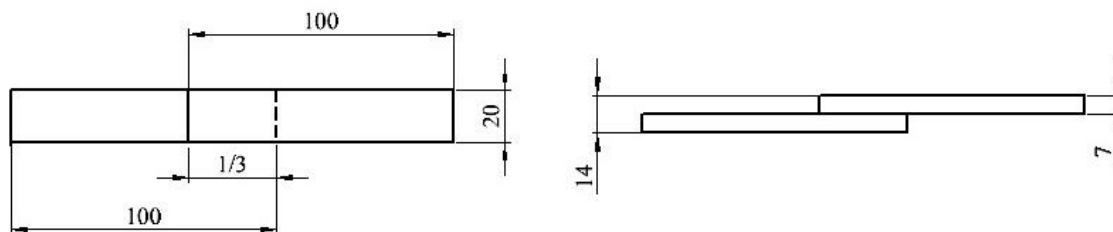
Stanovení smykové pevnosti v tahu podle ČSN EN 205.

4.4 Postup měření

Následující kapitola podrobně popisuje průběh zkoušky, které předcházela příprava vzorků v podobě jejich nařezání, stanovení vlhkosti vzorků před lepením a klimatizace vzorků k dosažení jejich požadované vlhkosti a teploty. Celý průběh zkoušky, od nařezání přes klimatizaci vzorků až po samotnou trhací zkoušku, probíhal podle platných norem ČSN EN 205, ČSN EN 204 a ČSN EN 322, ČSN EN 827.

4.4.1 Příprava vzorků

Smrkové a akátové řezivo bylo nejprve rozřezáno na formátovací pile na rozměry podle ČSN EN 205 na požadovanou šířku $20 \pm 0,2$ mm a tloušťku $7 \pm 0,1$ mm. Dále byly vzorky zbroušeny a egalizovány podle potřeby. Poté následovalo řezání na požadovanou délku 100 ± 2 mm na pásové pile a případné broušení.



Obr. 10 Rozměry vzorků (v mm) a jejich slepení.⁵⁶

Celkem 60 vzorků dřeva akátu o rozměrech 100 x 20 x 7 mm (délka x šířka x tloušťka) a 60 vzorků dřeva smrku o rozměrech 100 x 20 x 7 mm (rozměry podle ČSN EN 205) bylo slepeno pomocí jednosložkového polyuretanového lepidla LEAR D4. Vlhkost vzorků před lepením byla u dřeva akátu 9 % a u dřeva smrku 10 % (zjištěno podle normy ČSN EN 322).

⁵⁶ Foto autor.

Lepení proběhlo v laboratoři se vzdušnou vlhkostí 45 % a teplotou 22,6 °C. Nános lepidla byl 180 g/m², tedy 0,12 g lepidla bylo použito na slepení jednoho vzorku. Lepidlo bylo nanášeno jednostranně pomocí štětce rovnoměrně na předem vyměřenou a vyznačenou plochu vzorků. Po nánosu lepidla se nechalo lepidlo zhruba 15 až 20 minut zavadnout a pak k sobě byly vzorky přiloženy a slepeny jako jednoduše přeplátovaná tělesa podle ČSN EN 205 (viz obr. 10, str. 29). Potom byly vzorky zalisovány pod tlakem 0,5 MPa pomocí závaží.

4.4.2 Klimatizace vzorků

Po zaschnutí a vytvrzení lepidla byly vzorky rozděleny do tří skupin a přemístěny do klimatizační komory po dobu 30 dní. Každá skupina vzorků byla vystavena jiným vlhkostním podmínkám, a sice:

1. teplota 35 °C, vlhkost **90 %**,
2. teplota 35 °C, vlhkost **70 %**,
3. teplota 35 °C, vlhkost **40 %**.

Tyto vlhkostní i teplotní podmínky je možné přirovnat k období letních dešťů, kterému je vystavován dřevěný nábytek v exteriéru, kdy bývá zvýšená vlhkost právě díky četným srážkám v letním období. Podle ČSN EN 204 byly vzorky vystaveny podmínkám odpovídajícím třídě trvanlivosti D4.

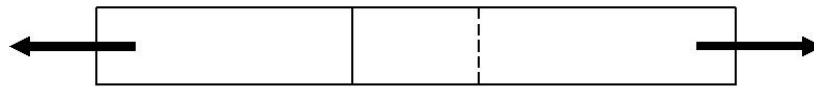
Vzorky byly ihned po uplynulé době 30 dní vyndány z klimatizační komory a byla na nich provedena zkouška smykového namáhání tahem.

4.4.3 Zkouška pevnosti

Lepené vzorky byly vystaveny smykové zkoušce tahem a byla u nich zjišťována pevnost lepeného spoje. Zkouška probíhala a zároveň byla vyhodnocena podle normy ČSN EN 205.

Zkušební vzorek byl uchycený do čelistí upínací hlavice trhacího stroje. Poté proběhlo pomocí počítače (program Instron Bluehill), který byl připojen k trhacímu stroji, vyvážení zatížení a byla provedena samotná zkouška. Stroj působil na zkušební vzorky do doby, než došlo k porušení spoje. Rychlost posuvu trhacích čelistí byla 50 mm/min. Porušení vzorků nastalo buď ve dřevě, nebo v lepeném spoji. Pokud byla

na některých vzorcích zaregistrována chyba v podobě např. chudého spoje, vady na dřevě, rozměrové odchylky apod., byly tyto vzorky ze souboru měření odstraněny.



Obr. 11 Znázornění působení sil při smykové zkoušce.⁵⁷

Zkouškou pevnosti lepeného spoje bylo změřeno tahové napětí při maximálním tahovém protažení [MPa], rychlost posuvu trhacích čelistí [mm/min], tahové protažení při maximálním zatížení [mm], zatížení při maximálním tahovém protažení, neboli maximální síla F_{max} [N], která byla potřebná k porušení lepeného spoje, a nakonec energie potřebná k dosažení maximální síly [J]. Pomocí maximální síly F_{max} lze vypočítat pevnost dřeva τ [N/mm²] podle následující rovnice:

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \cdot b} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

kde: F_{max} – největší vynaložená síla [N]

A – slepená zkušební plocha [mm²]

l_2 – délka lepené zkušební plochy [mm]

b – šířka slepené zkušební plochy [mm]

⁵⁷ Foto autor.

5. Výsledky měření

V následujících tabulkách 3 – 8 jsou uvedeny výsledky laboratorního měření, které byly statisticky vyhodnoceny. Jsou zde zmíněny hodnoty maximální síly potřebné k porušení zkušebních vzorků F_{max} [N], jejich smykové pevnosti τ [$N \cdot mm^{-2}$], energie potřebné k dosažení maximální síly F_{max} [J] a hodnoty tahového protažení při maximálním zatížení [mm]. Naměřené hodnoty platí pro vzorky dřeva smrku a akátu slepené jednosložkovým polyuretanovým lepidlem LEAR D4, které byly vystaveny klimatickým podmínkám se zvýšenou teplotou 35 °C a vlhkosti 40 %, 70 % a 90 %. Grafické znázornění výsledků je uvedeno pod tabulkami na obr. 12 - 14 a obr. 17 - 20 pro přehledné porovnání jednotlivých dřevin a zobrazení závislosti vlivu klimatických podmínek na použítá dřeva. Na obr. 15 a 16 je pak zobrazeno porušení lepených spojů namáhaných smykovou zkouškou tahem.

Tab. 3 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 40 % a teplotě 35 °C.

	F_{max} [N]	Pevnost τ [$N \cdot mm^{-2}$]	Energie do F_{max} [J]	Tahové protážení při max. zatížení [mm]
Průměr	1689,741	2,574	1,728	2,058
Směrodatná odchylka	621,961	0,942	1,513	2,277
Maximum	2825,04	4,280	5,463	10,180
Minimum	942,974	1,429	0,170	0,384
Variační koeficient	36,613	36,613	87,584	110,667
Medián	1574,135	2,385	1,085	1,284
Rozptyl	386835,800	0,888	2,291	5,187

Tab. 4 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 40 % a teplotě 35 °C.

	F_{max} [N]	Pevnost τ [$N \cdot mm^{-2}$]	Energie do F_{max} [J]	Tahové protážení při max. zatížení [mm]
Průměr	3002,540	4,549	3,361	2,032
Směrodatná odchylka	473,892	0,718	1,106	0,311
Maximum	3778,661	5,725	5,506	2,585
Minimum	2233,024	3,383	1,925	1,638
Variační koeficient	15,783	15,783	32,914	15,283
Medián	2921,700	4,427	3,137	1,971
Rozptyl	224573,700	0,516	1,224	0,096

Tab. 5 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 70 % a teplotě 35 °C.

	F_{\max} [N]	Pevnost τ [N/mm ²]	Energie do F_{\max} [J]	Tahové protažení při max. zatížení [mm]
Průměr	1316,696	1,995	0,957	1,598
Směrodatná odchylka	522,461	0,792	1,024	1,823
Maximum	2702,219	4,094	4,021	7,696
Minimum	797,523	1,208	0,184	0,587
Variační koeficient	39,680	39,680	106,922	114,117
Medián	1102,480	1,670	0,526	0,973
Rozptyl	272965,100	0,627	1,048	3,323

Tab. 6 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 70 % a teplotě 35 °C.

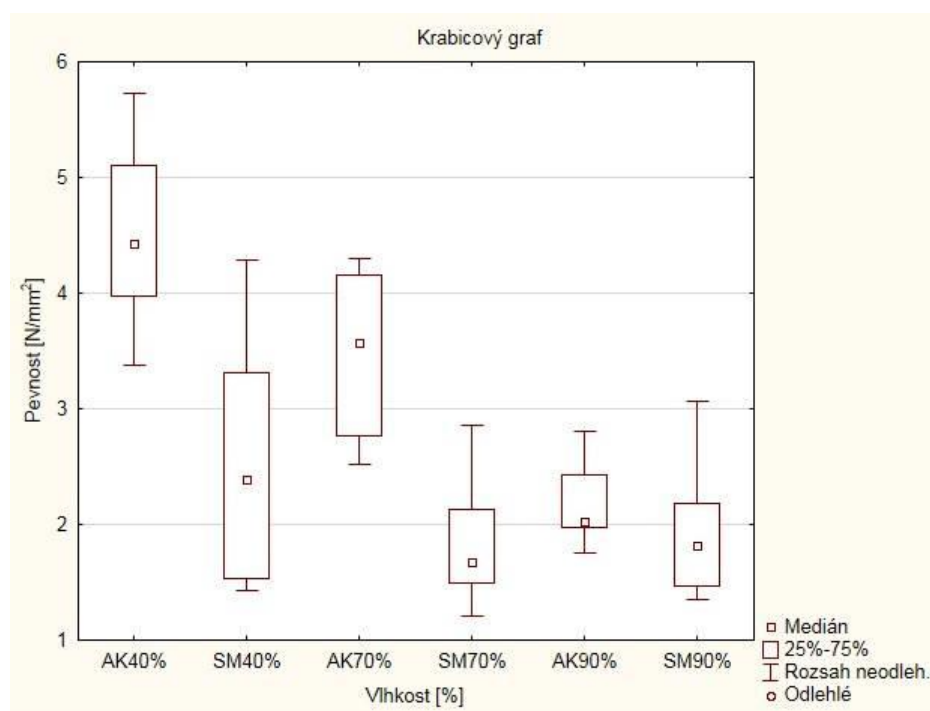
	F_{\max} [N]	Pevnost τ [N/mm ²]	Energie do F_{\max} [J]	Tahové protažení při max. zatížení [mm]
Průměr	2314,917	3,508	2,296	1,712
Směrodatná odchylka	448,391	0,679	0,883	0,370
Maximum	2837,062	4,299	3,577	2,274
Minimum	1662,715	2,519	0,853	1,001
Variační koeficient	19,369	19,369	38,487	21,599
Medián	2359,133	3,574	2,312	1,781
Rozptyl	201054,300	0,462	0,781	0,137

Tab. 7 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 90 % a teplotě 35 °C.

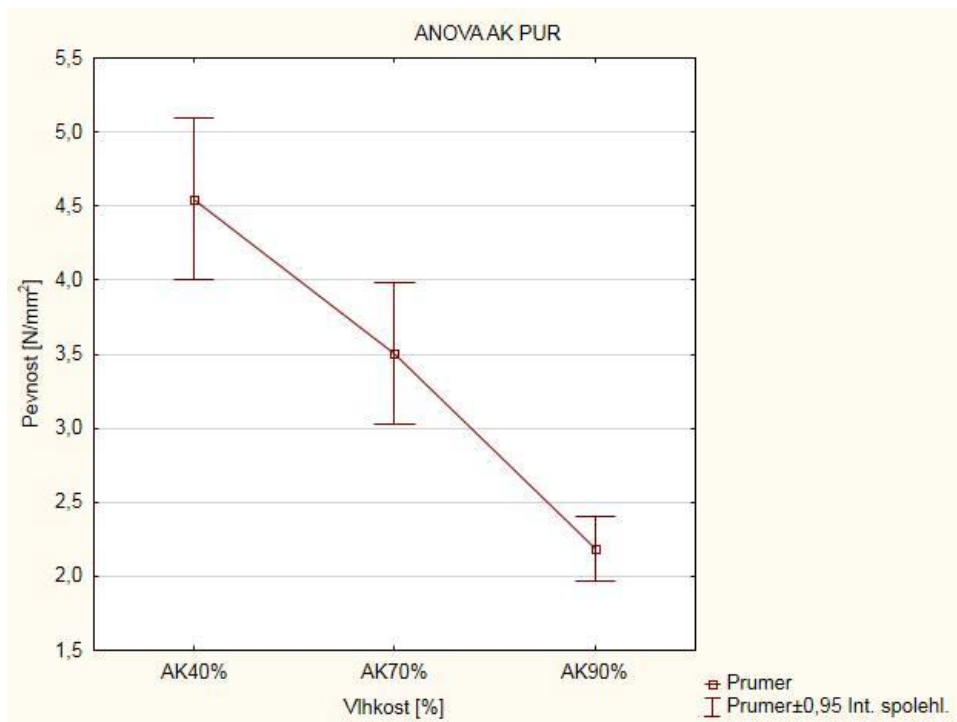
	F_{\max} [N]	Pevnost τ [N/mm ²]	Energie do F_{\max} [J]	Tahové protažení při max. zatížení [mm]
Průměr	1244,795	1,886	1,024	1,252
Směrodatná odchylka	302,155	0,458	0,650	0,442
Maximum	2019,239	3,059	2,718	2,166
Minimum	892,010	1,352	0,262	0,639
Variační koeficient	24,273	24,273	63,481	35,252
Medián	1201,557	1,821	0,921	1,231
Rozptyl	91297,630	0,210	0,423	0,195

Tab. 8 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 90 % a teplotě 35 °C.

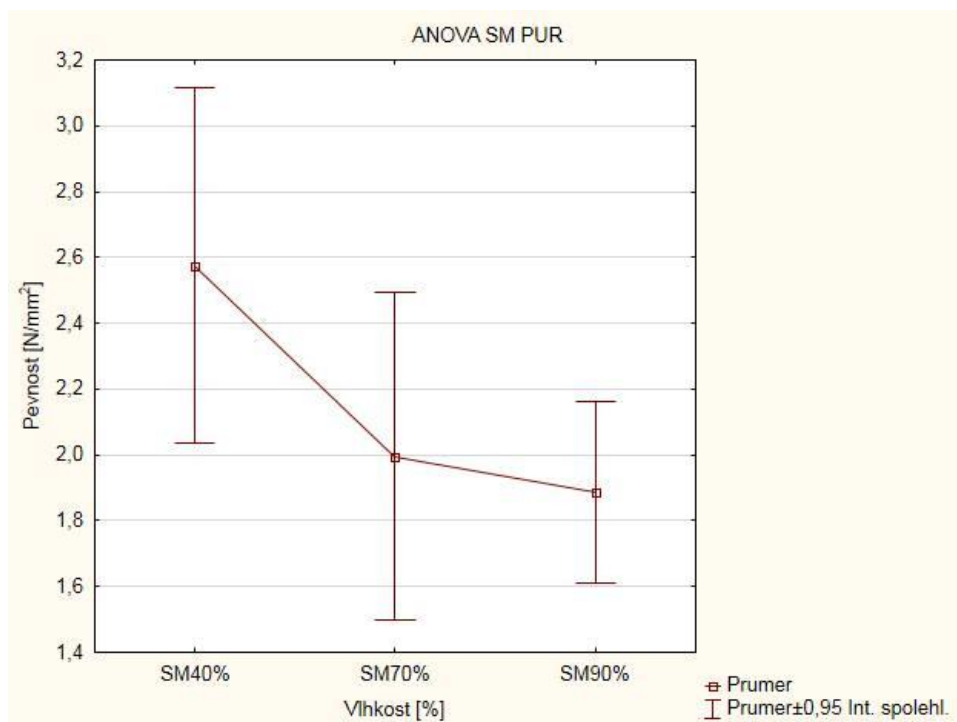
	F_{\max} [N]	Pevnost τ [N/mm ²]	Energie do F_{\max} [J]	Tahové protažení při max. zatížení [mm]
Průměr	1442,142	2,185	0,798	1,058
Směrodatná odchylka	201,128	0,305	0,277	0,190
Maximum	1850,679	2,804	1,200	1,367
Minimum	1153,679	1,748	0,405	0,801
Variační koeficient	13,946	13,946	34,653	17,983
Medián	1336,010	2,024	0,740	1,082
Rozptyl	40452,300	0,093	0,076	0,036



Obr. 12 Krabicový graf závislosti pevnosti lepeného spoje dřeva AK a SM na vlhkosti 40 %, 70 % a 90 %.



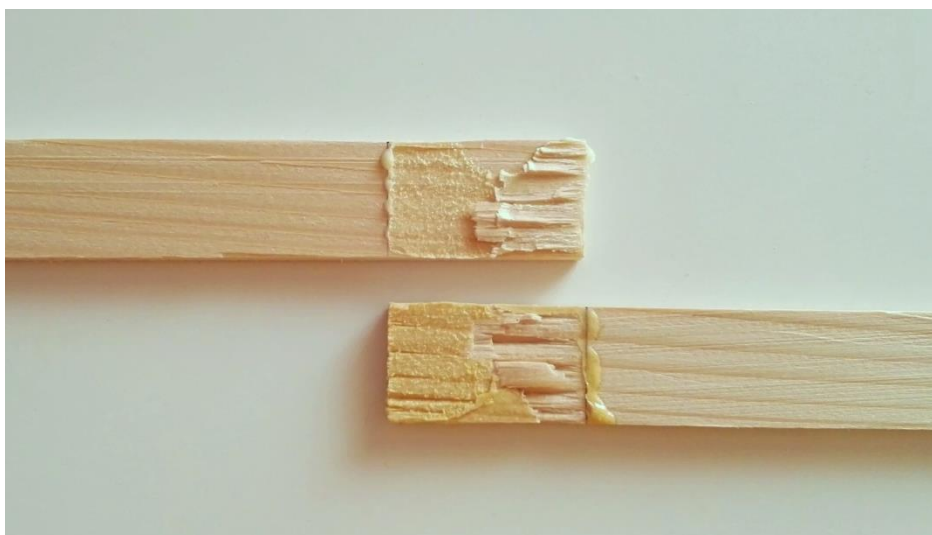
Obr. 13 Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost lepeného spoje ze dřeva akátu.



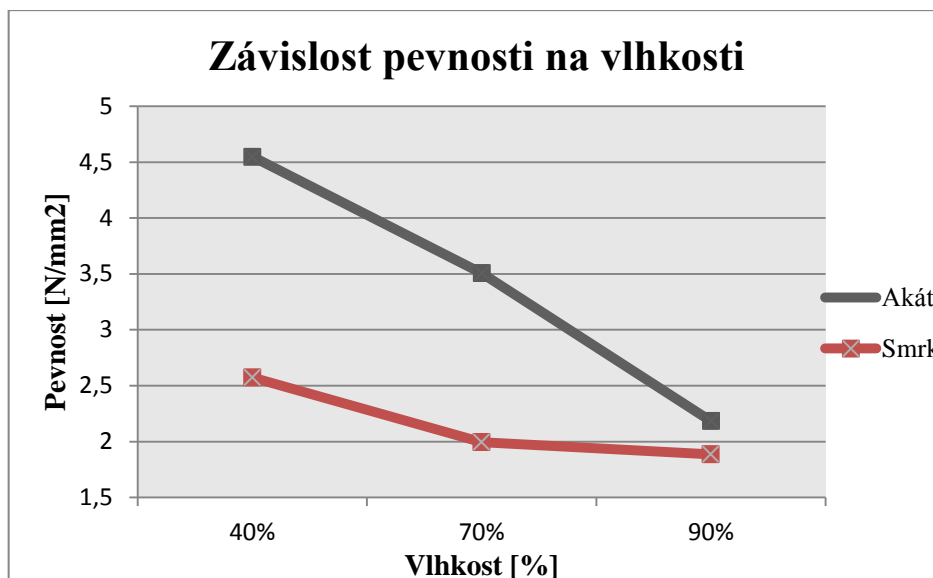
Obr. 14 Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost lepeného spoje ze dřeva smrku.



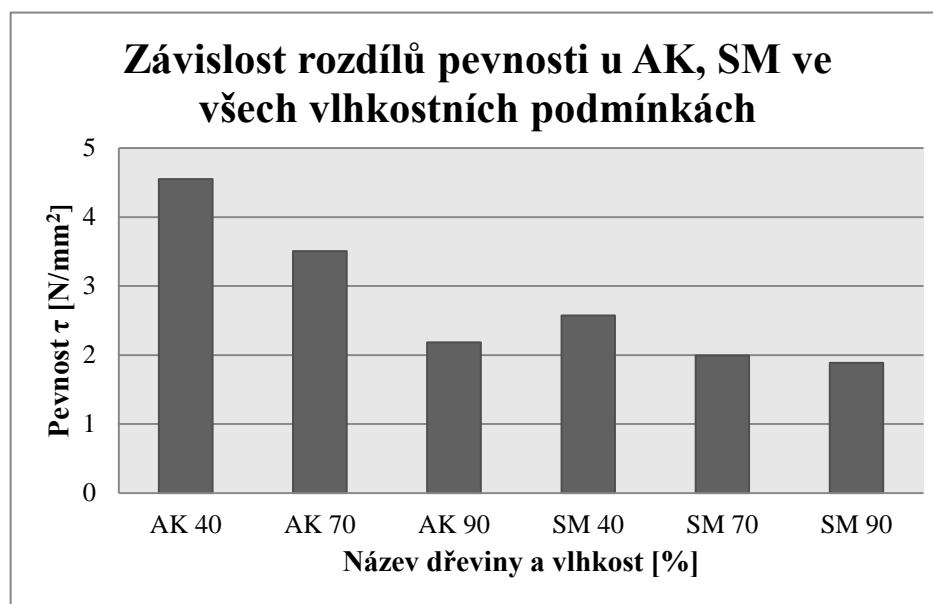
Obr. 15 Porušení spoje ve dřevě u akátu.



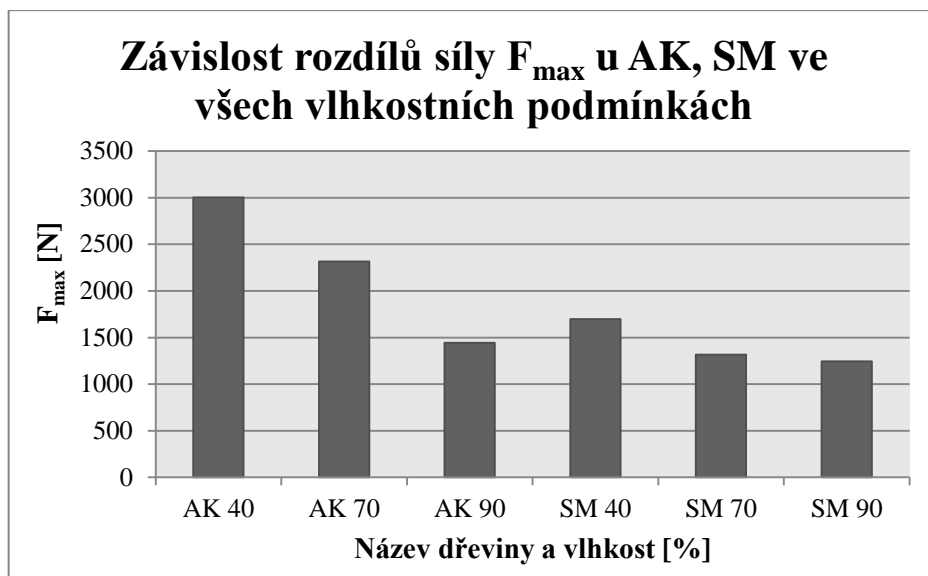
Obr. 16 Porušení spoje ve dřevě u smrku.



Obr. 17 Závislost pevnosti lepených spojů na vlhkosti u SM a AK.



Obr. 18 Závislost pevnosti na vlhkosti u SM, AK pro vlhkostní podmínky 40 %, 70 %, 90 %.



Obr. 19 Závislost síly F_{max} u SM, AK pro vlhkostní podmínky 40 %, 70 %, 90 %.



Obr. 20 Závislost protažení u SM, AK pro vlhkostní podmínky 40 %, 70 %, 90 %.

6. Diskuze a vyhodnocení výsledků

Bakalářská práce sledovala vliv vlhkosti na pevnost lepených spojů z masivního dřeva, které byly namáhány smykovou zkouškou tahem podle ČSN EN 205. Vzorky dřev smrk a akát byly slepeny jednosložkovým polyuretanovým lepidlem Lear třídy trvanlivosti D4. Porovnávacím faktorem u těchto vzorků je vliv vlhkosti za zvýšené teploty, která ovlivňuje pevnost lepených spojů u zahradního dřevěného nábytku.

Z laboratorních výsledků měření plyne, že nejvyšší pevnost lepeného spoje u masivních dřevěných vzorků vystavených normální vlhkosti, tedy vlhkosti 40 %, a teplotě 35 °C byla u vzorků dřeva akátu. U lepených spojů ze smrkového dřeva byla pevnost o 43 % nižší. U 70 % vlhkosti byla pevnost lepených spojů ze dřeva akátu vyšší oproti smrkovým lepeným spojům o 35 %. A při 90 % vlhkosti byla pevnost lepených spojů ze dřeva akátu vyšší o 16%. Hodnoty pevnosti lepených spojů se se zvyšující se vlhkostí snižovaly. Vyšší hodnoty pevnosti lepených spojů byly naměřeny u vzorků ze dřeva akátu, což je ovlivněno především hustotou dřeva.

Hodnoty maximální síly F_{max} potřebné k porušení lepeného spoje u vzorků ze dřeva akátu se 40 % vlhkostí byly vyšší v porovnání s lepenými spoji ze smrkového dřeva, jejichž hodnoty byly o 44 % nižší. U 70 % vlhkosti byla maximální síla u dřeva smrku o 43 % nižší než u vzorků z akátového dřeva. A u 90 % vlhkosti byly naměřeny u lepených spojů z akátového dřeva opět vyšší hodnoty oproti lepeným spojům ze smrkového dřeva, jejichž hodnoty byly nižší o 16 %.

Dále bylo pozorováno tahové protažení při maximálním zatížení, které bylo u lepených vzorků ze dřeva smrku s 40 % vlhkostí o 1 % delší než u lepených vzorků ze dřeva akátu. U smrkových vzorků se 70 % vlhkostí bylo protažení kratší o 7 % oproti vzorkům ze dřeva akátu. A u smrkových vzorků s 90 % vlhkostí bylo protažení o 15 % větší než u dřeva akátu.

Jelikož je akátové dřevo tvrdší než dřevo smrkové, lze konstatovat z výsledku měření, že u lepených spojů z akátového dřeva bylo potřebné větší vynaložení energie při smykové zkoušce tahem potřebné k dosažení maximální síly F_{max} průměrně o 57 % oproti lepeným spojům ze smrkového dřeva.

U testovaných vzorků byl sledován také způsob porušení lepených spojů, ke kterému docházelo ve většině případů ve dřevě, ale u pár vzorků došlo k porušení v lepeném spoji a v lepidle, což mohlo být zapříčiněno materiálovými vadami.

Z krabicového grafu a výsledků statistického testu ANOVA je patrné, že u lepených vzorků ze dřeva smrku si jsou střední hodnoty mezi vzorky s 40 %, 70 % a 90 % vlhkostí nejbližší. U vzorků dřeva smrku se 40 % vlhkostí lze zároveň pozorovat největší variabilitu hodnot ze všech testovaných vzorků. U vzorků 90 % dřeva akátu je variabilita hodnot nejmenší oproti všem ostatním vzorkům. Zároveň lze konstatovat, že vzorky ze dřeva smrku vykazují v porovnání s akátovými vzorky větší variabilitu hodnot. Střední hodnoty AK a SM s vlhkostí 40 %, AK a SM s vlhkostí 70 %, SM a AK s vlhkostí 90 % jsou mezi jednotlivými dřevinami poměrně rozdílné. Nejmenší rozdílnost středních hodnot lze však pozorovat u lepených vzorků SM a AK s 90 % vlhkostí. U lepených vzorků se 40 % vlhkostí lze pozorovat velkou variabilitu hodnot v porovnání s ostatními vlhkostmi vzorků.

Výsledky laboratorní měření potvrdily, že čím vyšší je hustota dřeva, tím vyšší je pevnost lepených dřevěných spojů. Vyšší pevnost byla u lepených spojů z akátového dřeva. Smrk má průměrně o necelých 80 % nižší hustotu oproti akátu (počítáno podle hodnot z Gandelové⁵⁸ při ρ_{12} , kdy u akátu $\rho_{12} = 800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u smrku $\rho_{12} = 450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Dále se z výsledků měření potvrzuje tvrzení, že čím vyšší je vlhkost dřeva, tím nižší je pevnost lepených spojů. V neposlední řadě lze konstatovat, že akát je díky svým vlastnostem vhodnější dřevinou z hlediska pevnosti lepených spojů v porovnání se smrkem k výrobě zahradního nábytku, jehož vlastnosti mohou být sníženy vlivem výskytu pryskyřičných kanálků.

⁵⁸ GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva (cvičení)*. 2., nezměněn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7375-168-5.

7. Závěr

Práce byla zaměřena na měření pevnosti lepených spojů, které byly vystaveny rozdílným klimatickým podmínkám, kdy nejlepších výsledků dosáhly vzorky z masivního dřeva akátu, které vykazovaly vyšší hodnoty pevnosti lepeného spoje oproti vzorkům dřeva smrkového. Výsledky bakalářské práce potvrdily, že čím vyšší je hustota dřeva, tím vyšší je pevnost lepeného spoje.

Laboratorním měřením bylo zjištěno, že při smykové zkoušce tahem jsou lepené spoje z akátového dřeva odolnější vůči vlhkosti za zvýšené teploty oproti lepeným vzorkům ze smrkového dřeva. Na základě dosažených výsledků v bakalářské práci bylo potvrzeno, že čím vyšší je vlhkost dřeva, tím nižší je pevnost lepených spojů.

Závěrem lze tedy konstatovat, že lepené spoje z akátového dřeva slepené jednosložkovým polyuretanovým lepidlem Lear D4 odolávají působení klimatickým vlivům lépe a jsou proto vhodnější k použití na výrobu zahradního dřevěného nábytku v porovnání s lepenými spoji ze smrkového dřeva.

8. Summary

The thesis was aimed at measuring the strength of glued joints that were exposed to the different climatic conditions and the best results were achieved by solid wood samples of robinia which showed higher bond strength in comparison with spruce samples. Results of thesis confirmed that the higher density of the wood, the higher is the strength of bonded joints.

It was found from measurements that by tensile shear strength test are bonded joints of robinia wood more resistant to the humidity at elevated temperature than samples of spruce wood. Based on the results obtained in this thesis it was confirmed that the higher the wood humidity, the lower the strength of bonded joints.

It could be claimed that the bonding joints of robinia wood glued on-component polyurethane adhesive Lear D4 are more resistant to the climatic conditions and therefore are more suitable to be used in garden wooden furniture manufacture in comparison with bonded joints of spruce wood.

9. Seznam použité literatury

BOUBLÍK, V. *Lepidla a jejich příprava*. 2., nezměn. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 190 s. Polytechnická knižnice.

DRÁPELA, J. *Výroba nábytku: technologie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 484 s.

EISNER, K. a kol. *Příručka lepení dřeva*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 287 s. Řada dřevařské literatury.

EISNER, K., BERGER, V. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958, 193 s. Řada dřevařské literatury.

FREJDIN, A. *Pevnosť a životnosť lepených spojov*. 1., slov. vyd. Bratislava: Alfa, 1988, 282 s. Edícia chemickej literatúry.

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

GANDELOVÁ, L., ŠLEZINGEROVÁ, J. *Stavba dřeva*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s. Edícia drevárskej, celulozárskej a papiernickej literatúry.

MÜLLEROVÁ, A. *Zahradní nábytek: [umíte si vybrat?]*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, 82 s. ISBN 978-80-7366-082-6.

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

OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982, 283 s. Polytechnická knižnice (SNTL).

SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

STOKKE, D., WU, Q., HAN, G. *Introduction to wood and natural fiber composites*. 1. vyd. Chichester: Wiley, 2014, 285 s. ISBN 978-0-470-71091-3.

TESAŘOVÁ, D. a kol. *Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.

TRÁVNÍK, A. *Technologické operace výroby nábytku*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2005, 178 s. ISBN 80-7157-865-7.

9.1 Seznam použitých norem

ČSN 910000. *Nábytek – názvosloví*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN 913001. *Nábytek pro venkovní použití. Zahradní nábytek – technické požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

ČSN EN 12765. *Klasifikace reaktoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

ČSN EN 204. *Klasifikace lepidel pro nekonstrukční stavební díly ke spojování dřeva a dřevitých materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

ČSN EN 205. *Zkušební postupy pro lepidla na dřevo pro nekonstrukční stavební díly. Stanovení pevnosti lepeného spojení při tahovém namáhání*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN 322. *Desky ze dřeva. Zjišťování vlhkosti*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

ČSN EN 827. *Lepidla. Stanovení obsahu sušiny za smluvních podmínek a do konstantní hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

9.2 Seznam internetových zdrojů

CHEMIE.DE. *Polyurethan Klebstoffe* [online]. Berlin: CHEMIE.DE Information Service GmbH, 1997-2016 [cit. 17. 4. 2016] Dostupné z: http://www.chemie.de/lexikon/Klebstoff.html#Polyurethan-Klebstoffe_.28PUR.29

FEICA. *Bonding/Adhesives textbook* [online]. Düsseldorf: FEICA Association of European Adhesives Manufacturers, 2004 [cit. 19. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.feica.com/images/stories/textbookbondingadhesives.pdf>

LEAR, a. s. *Lepidla na dřevo a nábytek* [online]. Brno: LEAR, a. s., 2010 [cit. 9. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.lear.cz/lepidla-vyroba/na-drevo-a-nabytek/>

LEAR, a. s. *Technický list LEAR na dřevo D4* [online]. Brno: LEAR, a. s., 2013 [cit. 9. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.lear.cz/technicke-listy/tLEAR_D4_3_0.pdf

VLADEKO, spol. s.r.o. *Ibiza sestava zahradního nábytku* [online]. Tachlovice: VLADEKO, spol. s. r. o, 2014 [cit. 10. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.vladeko.cz/produkt/ibiza-lavice-5-5>

VLADEKO, spol. s.r.o. *Zahradní nábytek* [online]. Tachlovice: VLADEKO, spol. s. r. o, 2014 [cit. 10. 4. 2016] Dostupné z: <http://www.vladeko.cz/zahradni-nabytek/>

10. Seznam zkratek

ANOVA – jednorozměrná analýza rozptylu

AK – akát

ČSN – česká technická norma

EN – evropská norma

F_{\max} – maximální síla potřebná k porušení vzorku v Newtonech

g – gram

J – Joul

kW - kilowatt

MFT – minimální filmotvorná teplota ve stupních Celsia

mm – milimetr

mm^2 – milimetr čtvereční

MPa – megapascal

N – Newton

N/mm^2 – Newton na milimetr čtvereční

PUR – polyuretan

PVAC – polyvinylacetát

PVC – polyvinylchlorid

SM – smrk

UF – močovinoformaldehydové lepidlo

UV – ultrafialové záření

11. Seznam tabulek

Tab. 1 Třídy trvanlivosti lepidel.'	16
Tab. 2 Technické parametry a aplikace lepidla LEAR D4.	27
Tab. 3 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 40 % a teplotě 35 °C....	33
Tab. 4 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 40 % a teplotě 35 °C.	33
Tab. 5 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 70 % a teplotě 35 °C....	34
Tab. 6 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 70 % a teplotě 35 °C.	34
Tab. 7 Naměřené hodnoty u dřeva smrk vystaveného vlhkosti 90 % a teplotě 35 °C....	34
Tab. 8 Naměřené hodnoty u dřeva akát vystaveného vlhkosti 90 % a teplotě 35 °C.	35

12. Seznam obrázků

Obr. 1 Úhel smáčení povrchu kapkou lepidla.....	10
Obr. 2 Závislost smykové pevnosti v tahu na hustotě.	12
Obr. 3 Způsoby namáhání lepených spojů.....	15
Obr. 4 Základní polohy spojů dřeva podle růstové struktury	17
Obr. 5 Typy lepených spojů.....	17
Obr. 6 Přehled konstrukčních možností lepených spojů.....	18
Obr. 7 Zahradní nábytek ze smrkového dřeva.	24
Obr. 8 Klimatizační komora.	29
Obr. 9 Trhací stroj s připojeným počítačem.	29
Obr. 10 Rozměry vzorků (v mm) a jejich slepení.....	30
Obr. 11 Znázornění působení sil při smykové zkoušce.	32
Obr. 12 Krabicový graf závislosti pevnosti na vlhkosti u AK, SM.....	35
Obr. 13 Výsledek testu ANOVA – pevnost lepeného spoje ze dřeva AK.....	36
Obr. 14 Výsledek testu ANOVA – pevnost lepeného spoje ze dřeva SM.....	36
Obr. 15 Porušení spoje ve dřevě AK.	37
Obr. 16 Porušení spoje ve dřevě SM.	37
Obr. 17 Závislost pevnosti lepených spojů na vlhkosti u SM, AK.....	38
Obr. 18 Závislost pevnosti na vlhkosti u SM, AK.....	38
Obr. 19 Závislost síly F_{max} u SM, AK pro vlhkostní podmínky.....	39
Obr. 20 Závislost protažení u SM, AK pro vlhkostní podmínky.....	39