

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

**Vliv lepidla na pevnost lepených spojů za nízkých teplot**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014/2015

Martin Bouška

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „**Vliv lepidla na pevnost lepených spojů za nízkých teplot**“, vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne:

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat především paní doc. Ing. Daniele Tesařové, Ph.D. při vedení bakalářské práce, její odbornou pomoc a cenné informace při psaní práce. Dále pak panu Ing. Josefu Hlavatému, Ph.D. za pomoc při provádění zkoušek a v neposlední řadě firmě Atelier S a.s. za dodání zkušebních vzorků.

## **Abstrakt**

**Jméno:** Martin Bouška

**Název:** Vliv lepidla na pevnost lepených spojů za nízkých teplot

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem nízkých teplot prostředí a použitého lepidla na pevnost lepených spojů u masivních druhů dřev. Zkoušené spoje u dřev dubu a smrku byly slepeny polyuretanovým lepidlem a směsným močovinomelamin-formaldehydovým lepidlem. Spoje byly vystaveny nízkým teplotám (od 5 °C do -30 °C) a podrobeny smykové zkoušce tahem dle ČSN EN 205. Pro porovnání výsledků pevností při nízkých teplotách byla provedena i zkouška pevnosti lepených spojů za pokojových teplot.

**Klíčová slova:** lepidlo, lepený spoj, nízká teplota, smyková pevnost

**Name:** Martin Bouška

**Title:** Influence adhesive to strength of adhesive joints at low temperatures

This bachelor's thesis deals with the influence low temperatures environment and used adhesive to strength of adhesive joints of massive wood. The tested joins of oak and spruce wood were glued polyurethane adhesive and mixed urea melamine formaldehyde adhesive. The joins were exposed to low temperatures (from 5 °C to -30 °C) and subjected shear tension test according to ČSN EN 205. For comparison a result of strength at low temperatures was performed also test the strength of adhesive joints at room temperatures.

**Keywords:** adhesive, glued joint, low temperature, shear strength

# OBSAH

1	ÚVOD .....	7
2	CÍL PRÁCE .....	8
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	9
3.1.	Teorie lepení .....	9
3.1.1.	Adheze .....	9
3.1.2.	Koheze .....	10
3.1.3.	Smáčivost .....	11
3.1.4.	Polarita .....	12
3.1.5.	Reologie lepidel .....	13
3.2.	Podmínky ovlivňující lepení .....	14
3.2.1.	Podmínky vztahující se k lepenému materiálu .....	15
3.2.2.	Podmínky vztahující se k lepidlu .....	17
3.2.3.	Technologické podmínky lepení .....	18
3.2.4.	Odolnost vůči vodě a povětrnosti .....	18
3.3.	Lepené spoje .....	19
3.3.1.	Mechanické vlastnosti .....	19
3.3.2.	Typy lepených spojů .....	20
3.3.3.	Charakteristika lepených spojů .....	21
3.4.	Podstata lepení .....	22
3.4.1.	Složky lepících směsí .....	23
3.4.2.	Použití lepidel .....	24
3.4.3.	Nanášení lepidla .....	25
3.4.4.	Výhody lepení .....	26
3.4.5.	Nevýhody lepení .....	26
3.5.	Rozdělení lepidel .....	27
3.5.1.	Rozdělení podle účelu .....	27
3.5.2.	Rozdělení podle fyzikálních stavů .....	27
3.5.3.	Rozdělení podle původu .....	27
3.6.	Syntetická lepidla .....	28
3.6.1.	Polyuretanová lepidla .....	28
3.6.2.	Směsná močovinomelaminformaldehydová lepidla .....	29

4	Materiál a metodika .....	31
4.1.	Použitý materiál .....	31
4.1.1.	Dřevo a jeho složení .....	31
4.1.2.	Použité druhy dřev .....	32
4.2.	Příprava vzorků .....	33
4.2.1.	Výroba zkušebních vzorků .....	33
4.2.2.	Výroba zkušebních těles .....	34
4.2.3.	Použitá lepidla .....	34
4.2.4.	Použité stroje a pomůcky .....	35
4.2.5.	Použité přístroje při laboratorní zkoušce .....	35
4.3.	Příprava vzorků před zkouškou .....	36
4.3.1.	Počet zkušebních těles .....	36
4.3.2.	Manipulace před smykovou zkouškou tahem .....	36
4.3.3.	Zkouška pevnosti lepených těles .....	36
4.4.	Postup řešení bakalářské práce .....	37
4.4.1.	Stanovení pevnosti lepeného spoje .....	38
5	Výsledky laboratorního měření .....	39
5.1.	Výsledky tahové zkoušky pevnosti u PUR a MUF lepidel .....	39
6	Diskuze .....	49
7	Závěr .....	52
8	Summary .....	53
9	Použitá literatura .....	54
10	Seznam zkratk .....	56
11	Seznam tabulek .....	57
12	Seznam obrázků .....	58

# 1 ÚVOD

Spojování nejrůznějších materiálů lepením se stalo běžnou a vžitou praxí. Lepení je velmi rychlá a jednoduchá pracovní technologie, kterou může zvládnout bez nákladného zařízení každý. Pracovníci z různých oborů stojí často před problémem, jak slepit jeden materiál s druhým. Na pevnost vzniklého spoje má vliv mnoho činitelů, zejména charakter povrchu spojovaných materiálů, povrchová úprava před lepením, pracovní postup při lepení a samozřejmě použité lepidlo. Lepidlo je třeba volit také podle toho, jakým vlivům a namáháním bude muset spoj odolávat. Nejčastěji je to vlhkost, povětrnostní vlivy, teplota, chemické účinky, koroze, mechanické namáhání atd.

V mnoha případech se lepení vyrovnalo mechanickému spojování materiálů, jako je nýtování, svařování, spájení, připevňování šrouby, hřebíky atd. někdy jsou lepené spoje dokonce mnohem pevnější.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjistit a stanovit, jaký vliv má klimatizace vzorků lepených spojů na jejich pevnost v závislosti na použitém lepidle a druhu dřeviny. Pevnost lepených spojů byla měřena a stanovena smykovou zkouškou tahem dle ČSN EN 205 při různých teplotách prostředí a to při 24 °C, 5 °C, -20 °C a -30 °C. K lepení vzorků bylo použito jednosložkové polyuretanové lepidlo a směsné močovinomelaminformaldehydové lepidlo. Zkušební vzorky byly vyrobeny ze dřeva dubu a smrku.

Úkolem této práce je také analyzovat vliv teploty (které je vystaven lepení spoj) na pevnost lepeného spoje, analyzovat vlastnosti lepených spojů masivních dřev dále vlivy, které ovlivňují pevnost a vyhodnotit dosažené výsledky laboratorního měření a zhodnotit přínosy řešení pro praxi.



## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1. Teorie lepení

Lepení představuje řadu fyzikálně mechanických a technologických procesů, jejichž výsledkem je lepený spoj. Tyto procesy jsou rozhodující mírou ovlivněny fyzikálně chemickými vlastnostmi lepidel i lepených materiálů, především adhezí, kohezí, smáčivostí (smáčením povrchu lepeného materiálu lepidlem) dále čistotou povrchu, povrchovým napětím roztoků, jejich viskozitou atd.

#### 3.1.1. Adheze

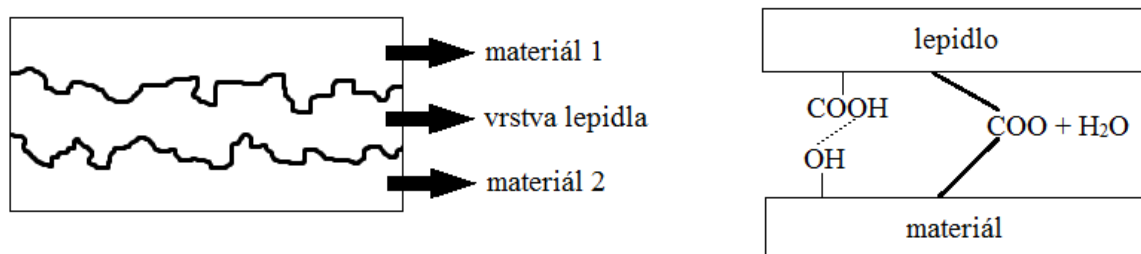
Adheze je přilnavost lepidla k povrchu lepeného materiálu a je základním předpokladem úspěšného lepení. Jestliže lepidlo není schopno dostatečně pevně přilnout k materiálu, spoj nedrží a dochází k rozlepení na rozhraní lepidlo – lepený materiál. V tomto případě je vnitřní soudržnost lepidla (koheze) i vlastní pevnost materiálu vyšší než přilnavost (adheze). Na to, proč vznikají adhezní síly, existují dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- *mechanická vazba*
- *chemická (nebo také specifická) vazba*

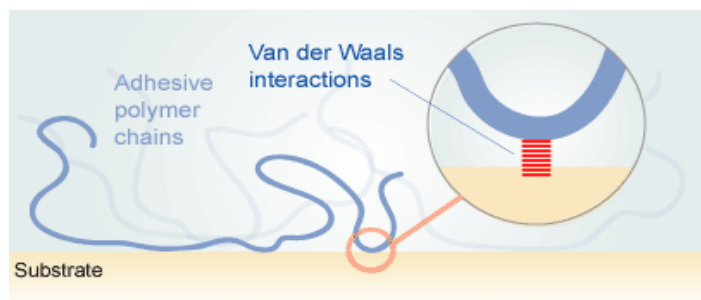
Mechanická vazba se uplatňuje jen u členitých nebo porézních povrchů. Kapalné lepidlo zatéká při lepení do pórů a prohlubní a po jeho ztuhnutí se vytvoří jakýsi pevný zámek mezi hmotou lepidla a lepeným materiálem. Mechanická vazba je velmi důležitá při lepení materiálů, jako jsou dřevo, papír, keramika nebo pěnové plasty. Při lepení leštěných hladkých ploch je mechanická vazba zanedbatelná.

Chemická (specifická) vazba se uplatňuje u porézních i zcela hladkých povrchů. Tato teorie je založena na působení slabých Van der Waalových elektrických přitažlivých sil mezi molekulami lepidla a lepeným materiálem, ale zejména na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Proto se dobře lepí materiály, které mají reaktivní povrch, nebo povrch chemicky upravený tak, aby mohla proběhnout chemická reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentní vazby. Velmi dobře se lepí oxidované povrchy (kovy, oxidované plasty), povrchy přírodních polymerů (dřevo, papír, celulóza) s volnými chemickými skupinami oxy-, hydroxy-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino- (-O, -OH, -CO, -COCH<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>) a jinými.

Správně zvolené lepidlo musí obsahovat volné skupiny, schopné reakce s povrchem lepeného materiálu. Jako vysoce reaktivní skupiny se u lepidel vyskytují například skupiny epoxy-, hydroxy-, karboxy- (kyseliny), isokyanáto- a další. ([http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf))



Obr. 1 – Mechanická vazba lepidla s povrchem (vlevo)  
Chemická vazba lepidla s povrchem (vpravo),(vlastní zdroj)

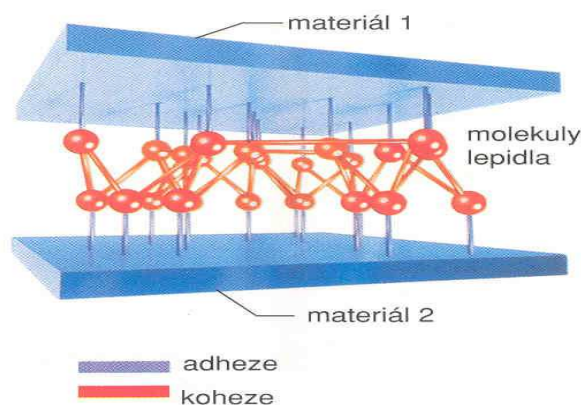


Obr. 2 – Znárodnění Van der Waalsových sil (Tesařová D.,  
Úvod do lepení [.ppt prezentace], 2014)

### 3.1.2. Koheze

Koheze je vnitřní soudržnost molekul lepidla, která je podmíněna velikostí a strukturou makromolekul po vytvoření tuhého filmu lepidla, tedy po jeho vytvrzení. Částice lepidla v pevném lepeném spoji jsou drženy silami chemických vazeb a mezimolekulárními silami. Na hodnotě koheze závisí zejména dobré mechanické vlastnosti lepidla a také pevnost spoje. Jestliže se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, znamená to, že adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze. V kapalinách vystupuje koheze zejména na povrchu a nazývá se *povrchové napětí*. V lepidlech se povrchové napětí uplatňuje současně s viskozitou. Oba činitele určují lepivost lepidla. Vnější znakem je tzv. *tažnost lepidla* neboli délka vlákna. Délka vlákna se zkouší obvykle tahem mezi prsty. Jestliže se vytažují vlákna, je lepidlo dlouhé a obvykle silně lepí. Lepidlo je tím delší, čím vyšší je viskozita a menší povrchové napětí.

Krátké lepidlo má malou viskozitu a velké povrchové napětí. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla (dvousložkové epoxidy mají vysokou kohezi; měkké akryláty pro výrobu trvale lepivých samolepících etiket mají nízkou kohezi) a na tepelném namáhání lepeného spoje (většina jednosložkových lepidel jsou termoplasty – měknou při zvyšování teploty). (Boublík 1966)

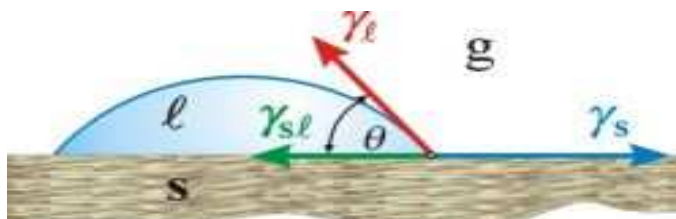


Obr. 3 – Schematické znázornění adheze a koheze (Tesařová D., Úvod do lepení [.ppt prezentace], 2014)

### 3.1.3. Smáčivost

U kapalin jde především o velikost povrchového napětí styčných ploch, které vzniká přitažlivostí mezi částicemi kapaliny a částicemi sousedního pevného tělesa. Velikost povrchového napětí určuje také míru smáčivosti. Smáčivost se měří okrajovým úhlem, který se vytvoří na hranici kapaliny a pevného tělesa. Čím je smáčivost lepší, tím je okrajový úhel menší. Vodné lepidlo smáčí vždy dobře papír. Při špatné smáčivosti je okrajový úhel velký. Je-li větší než  $90^\circ$ , změní se smáčivost v odpudivost. Tato okolnost je velmi důležitá. Vysvětluje odpudivost mezi mastným povrchem a vodou apod. Proto se mohou fólie spojovat pouze lepidly v organických rozpouštědlech. Dobrá smáčivost je jednou ze základních podmínek dobré lepivosti lepidla. Materiál se může dobře spojovat jen takovým lepidlem, které má vůči němu dobrou smáčivost, tzn., že dobře smáčí jeho povrch. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a lepidla a s povrchovým napětím lepidla a povrchu. Protože lepidla (vhodná pro lepení dřeva) obsahují spoustu reakce schopných chemických skupin, jsou molekuly lepidla jednostranně elektricky orientovány – jsou polární. Dobře smáčí polární povrchy, dochází zde k podobné přitažlivosti jako mezi severním a jižním pólem dvou magnetů.

Polární povrchy jsou například dřevo, papír a jiné deriváty celulózy, mírně povrchově oxidované kovy, přírodní textilie, ale například i sklo a další. Naopak nepolární povrchy jsou mnohé plasty, vosk a syntetické textilie. (Boublík 1966)



Obr. 4 – Úhel smáčení pro kapaliny (Tesařová D., Úvod do lepení [.ppt prezentace], 2014)

### 3.1.4. Polarita

Polarita povrchu látek je příčinou vzniku tak zvané povrchové energie, která se vyjadřuje veličinou *povrchové napětí*. Čím je vyšší hodnota povrchového napětí, tím je pevný povrch nebo kapalina polárnější. Je-li povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného povrchu, dojde k rozliti kapaliny po povrchu (smočení). Je-li naopak povrchové napětí kapaliny vyšší než napětí povrchu, kapalina se nerozlije a kapka kapaliny se drží na povrchu jako kulička. Nesmáčí-li kapalné lepidlo lepený povrch, adheze bude slabá a lepený spoj se rozpadne. Pro vyjádření povrchového napětí se používá v SI soustavě jednotka  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ , častěji se však používá jednotka tisíckrát menší,  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$  ( $10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$ ), hodnoty jsou pak stejné jako hodnoty vyjádřené ve starších jednotkách  $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

*Příklady polárních a nepolárních látek*

<b>Polární látky</b>	<b>Povrchové napětí</b>
Celulóza	> 70 mN.m
Železo	cca 60 mN.m
PVC	40 – 45 mN.m
<b>Nepolární látky</b>	
Polyetylen (PE)	24 – 29 mN.m
Polypropylen (PP)	28 – 34 mN.m
Silikon, teflon	< 20 mN.m

### *Příklady povrchových napětí některých kapalin*

Voda	73 mN.m
Ethanol	23 mN.m
Toluen	28 mN.m

*([http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf))*

### **3.1.5. Reologie lepidel**

Reologie je nauka o deformaci a tečení deformovaných těles. Je to vědní obor mechaniky spojitého prostředí, který se věnuje zkoumání a modelování deformačních vlastností látek. Jedná se o to, jak těleso (pevná látka, kapalina nebo plyn) je deformované při vystavení vnějších sil. (Rowell 2005)

U lepidel rozeznáváme tyto fáze:

#### ***Reologie před vytvrnutím***

Snadné nanášení lepidla a také dokonalé smáčení lepeného povrchu zajišťuje vysoká tekutost, popř. nízká viskozita lepidla. Hodnotu viskozity ovlivňuje koncentrace lepidla a velikost jeho makromolekul (přímá závislost) a teplota (nepřímá závislost). Lepidlo však nesmí vnikat do lepeného povrchu nadměrně, aby nevznikl tzv. „chudý spoj“, který nedosahuje požadované pevnosti. (Liptáková, Sedliáčik 1998)

#### ***Reologie při vytvrzování***

Tvrdnutím lepidel v lepeném spoji je provázáno nárůstem kohezní pevnosti. Většinou se při tvrdnutí lepidel uplatňuje více různých vlivů. Z hlediska reologie je důležitá změna viskozity termoreaktivních lepidel při lepení za zvýšené teploty.

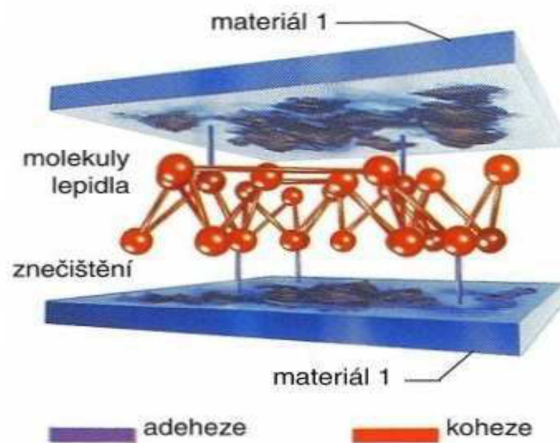
#### ***Reologie po vytvrnutí***

Nepříjemný jev při tuhnutí lepidel je jejich smršťování, které pokračuje i po jejich úplném vytvrzení. Křehká lepidla mohou v důsledku tohoto smršťování popraskat v lepené spáře, což se projeví snížením pevnosti lepeného spoje. Zvláště choulostivá jsou v tomto směru UF lepidla. U některých lepidel, zejména termoplastických, se vyskytuje tzv. „studený tok“; lepené spoje pak nesnášejí trvalé zatížení. Vhodnou kombinací, např. PVAC disperze či melaminu a UF lepidla, lze tento nepříznivý vliv eliminovat. Dojde nejen k potlačení studeného toku, ale také k větší vodovzdornosti spoje než u samotného PVAC lepidla a na druhé straně je lepidlový film méně křehký. (Drápela a kol. 1980)

### 3.2. Podmínky ovlivňující lepení

Kvalitu spoje a průběh lepení silně ovlivňuje řada okolností.

1. Výhodou při lepení je porézní povrch. Při vytvrzování lepidla vznikají téměř vždy plyny nebo vodní páry, které mohou porézní povrch pohltnout.
2. Dalším důležitým činitelem je povrchové napětí lepidla. Dokonalou přilnavost mají ta lepidla, která velmi dobře smáčejí povrch lepeného materiálu. Tvoří-li se na povrchu spojovaného materiálu kapičky, nebo shluky lepidla, je to znak špatné smáčivosti a současně také špatné lepivosti lepidla pro lepený materiál.
3. Velikost tlaku by měl být přiměřený podmínkám lepení a druhu lepidla. Mírný tlak je při lepení prospěšný. Přispívá k rovnoměrnému rozložení vrstvy lepidla a odstraňuje vzduchové bubliny. Všeobecně platí, že příliš vysoký tlak škodí, jelikož porušuje síly, které působí navzájem mezi jednotlivými molekulami lepidla. Tlak má být kolmý, aby se neposunul jeden ze slepovaných materiálů.
4. Na jakost spoje má vliv také tloušťka naneseného lepidla. Nanesená vrstva má být co nejtenčí. U silnějších vrstev se uplatňují některé vlivy, které zhoršují kvalitu spoje. Mezi jednotlivými vrstvami lepidla jsou podmínky podstatně odlišné od podmínek ve vrstvách mezi lepidlem a lepeným materiálem. Vytvořený nános lepidla má být tedy co nejtenčí a pokud možno souvislý.
5. Kromě toho se uplatňují také některé chemické vlivy. Je to stupeň polymerace použitého lepidla, jeho kyselost a vliv některých chemických nečistot. Pevnost spoje snižují látky pohlčené na povrchu lepených hmot, např. kysličník uhličitý, vodní pára, mastnota, prach apod. Před každým lepením je nutno povrch lepených hmot důkladně očistit, odmastit, popřípadě neutralizovat. K čištění se používají rozpouštědla (benzen, benzín, aceton, etylalkohol), roztoky sody apod. Očištěné plochy se opláchnou čistou vodou a osuší se. Porézní materiál se obvykle omývá teplou vodou. Jakost spoje zhoršují také zbytky dříve použitých lepidel. Nikdy se proto na ně nenanáší nová vrstva lepidla. Zbytky starých lepidel se rozpustí nebo odstraní mechanicky. (*Boublík 1966*)



Obr. 5 – Znečištění lepený povrch (Trhoň 2011)

### 3.2.1. Podmínky vztahující se k lepenému materiálu

#### a) Struktura a pórovitost dřeva

Způsoby lepení jednotlivých druhů dřeva se sice od sebe podstatně liší, přesto však jsou do jisté míry závislé na druhu lepeného dřeva. Některá dřeva jsou měkká (smrk, jedle, lípa), jiná tvrdá (dub, buk, ořech), hustá či pórovitá. Čím je dřevo hustší, tím jsou lepené spoje pevnější. Jakost dřeva se liší také v jednotlivých částech stromu. Kromě toho záleží také na obsahu pryskyřic, tříslovin, gumových látek atd. Vnější části kmene bývají poréznější a spoj se snáze poruší. Ve většině případů platí, že při namáhání se poruší spíše dřevo než spoj v důsledku nedostatečné lepivosti lepidla. Někdy se spojuje také dřevo impregnované proti vlhkosti, hořlavosti, plísním apod. Při volbě lepidla je nutno přihlížet i k těmto okolnostem. (Boublík 1966)

#### b) Chemické složení dřeva

Hlavními složkami dřeva jsou celulóza, hemicelulózy a lignin. Z hlediska lepení je důležitý polární charakter celulózy a hemicelulózy, jejichž hydroxylové skupiny dávají dřevu též polární charakter nutný pro uplatnění adhesivních sil při lepení polárními lepidly. Kromě hlavních složek dřeva jsou důležité některé průvodní látky ovlivňující průběh lepení, např. pryskyřice a vosky, které ztěžují smáčení povrchu dřeva a tak zhoršují kvalitu lepených spojů. (Rowell 2005)

### **c) Vlhkost dřeva**

Dřevní hmota pohlcuje vlhkost až do bodu nasycení vláken, tj. asi do 30 % vlhkosti. Většina lepidel se aplikuje ve formě vodových roztoků, za kterých musí voda uniknout do dřeva, aby lepidlo dokonale vytvrdilo. Nadměrná vlhkost dřeva tento pochod brzdí, až znemožňuje. Mimo to vlhkost dřeva může nadměrně snižovat viskozitu nánosu lepidla, které pak snadno vsakuje do suchého dřeva, čímž se vytváří málo pevný spoj. Pnutí vyplývající ze sesychání dřeva může deformovat dílce slepované při vysoké vlhkosti, popř. i porušit lepený spoj. Vlhkost dřeva by se měla při lepení pohybovat kolem 8 %, neměla by však klesnout pod 4 % a přesáhnout 12 %.

### **d) Vliv povahy povrchu dřeva a jeho opracování**

Předpokladem pro dokonalé smáčení dřeva lepidlem je dokonalá čistota lepeného povrchu. Nepříznivě působí nečistota, zvláště mastnota a prach. Těsné přiblížení lepených ploch k sobě je podmínkou, aby nevznikly málo pevné, hrubé lepené spáry. Z toho vyplývá požadavek dokonalého opracování lepených povrchů s minimálními tloušťkovými tolerancemi, které mohou být překonány v další fázi lepení zvýšením lisovacího tlaku. Pro montážní lepení měkkých dřevin se velikost lisovacího tlaku pohybuje od 0,1 do 0,5 MPa, pro tvrdá se volí tlak v rozsahu od 0,3 do 0,8 MPa.

### **e) Vliv teploty dřeva**

Nepříznivě působí při lepení nízká teplota dřeva. Glutinová lepidla „zamrzají“ a PVAC dispersní lepidla vytvářejí bílý film, který je nekvalitní. Naproti tomu příliš vysoká teplota dřeva, pokud s ní úmyslně nepočítáme a neupravíme podle ní postup lepení, může způsobit nadměrné vsakování lepidla do dřeva a při lepení reaktivními lepidly jejich předčasné vytvrdnutí ještě před aplikací lisovacího tlaku. Tomuto požadavku na dodržení určité teploty pro aplikace říkáme minimální filmotvorná teplota (MFT) a vyjadřuje nejnižší možnou teplotu pro dosažení uceleného filmu. Minimální teplota při lepení by neměla klesnout přibližně pod 13°C. Záleží však na druhu použitého lepidla, např. u disperzních PVAC lepidel je MFT od 10 – 12 °C, u PVC 7 °C a PUR 5 °C.



## f) Chemické účinky lepidla na dřevo

Lepidlo nesmí narušovat dřevo v okolí lepeného spoje. Nepříznivá jsou v tomto smyslu silně kyselá lepidla, např. montážní fenolická lepidla; jejich silně kyselé tvrdidlo narušuje dřevo v okolí lepeného spoje a snižuje tak jeho pevnost. Alkalická lepidla zabarvují některé dřeviny do tmava, např. javor, bříza, buk, dub, třešeň, mahagon a ořech. Podobný účinek jako alkalické roztoky mají i železité soli, které již při velmi nízké koncentraci zbarvují tyto dřeva tmavomodře nebo fialově. (*Drápela a kol. 1980*)

### 3.2.2. Podmínky vztahující se k lepidlu

- Lepidlo musí vytvořit spoje dostatečně pevné a odolné vůči destruktivním činitelům, kterým jsou vystaveny. U výrobků dynamicky namáhaných je třeba volit lepidla dostatečně pružná.
- Barva lepidla musí odpovídat barvě lepených materiálů.
- Lepidlo nesmí reagovat s konečnou povrchovou úpravou.
- Nežádoucí je přílišná tvrdost vytvrzeného lepidla, zejména jsou-li v lepidle minerální látky nadměrně otupující nástroje používané k opracování lepených částí.
- Žádoucí je jednoduchá příprava lepidel k lepení.
- Potřebná je dlouhá životnost natužené směsi, což je doba, kdy lepidlo vytvrzující chemickou reakcí zůstává ve stavu vhodném pro nanášení. V tomto případě je to doba od smíchání tvrdidla a lepidla až po vytvrnutí lepicí směsi.
- Lepicí směs nebo lepidlo musí snadno a rovnoměrně tvořit lepený spoj.
- Pro lepení má velký význam velikost molekul lepidla.
- Lepidlo musí zajišťovat dobrou pevnost lepeného spoje pro dané lepené povrchy.
- Důležitým faktorem je také viskozita lepidla. Příliš viskózní lepidlo je husté, špatně smáčí povrch materiálu, špatně se roztírá a nemá dostatečnou přilnavost. Málo viskózní lepidlo je řídké, vsakuje se do dřeva a nevytvoří dostatečný film lepidla.

Při nedodržení uvedených požadavků vznikají vady lepených spojů! (*Muzikář 2008*)

### **3.2.3. Technologické podmínky lepení**

Technologické podmínky lepení – lisovací teplota, tlak a čas jsou stanoveny technologickými předpisy pro každý druh lepidla. Jejich dodržování je závazné, v opačném případě nelze zajistit požadovanou jakost lepeného spoje. Teplo je při lepení potřebné k prohřátí materiálu a lepené spáry a také pro urychlení přechodu lepidla z tekutého stavu do pevného. Tlak je nutný pro těsné přiblížení lepených povrchů a vznik mezimolekulárních přitažlivých sil. Lisovací čas závisí na druhu lepidla a na teplotě při lepení.

Lisovací tlak musí působit do dosažení tzv. manipulační pevnosti lepeného spoje. Za tuto dobu vznikne dostatečné množství přitažlivých sil a slepené předměty lze uvolnit z lisu nebo stahovacího přípravku bez nebezpečí poškození spoje. Lepené spoje se však před dalším opracováním nechávají ještě určitou dobu klimatizovat, protože dřevo v okolí lepené spáry nabobtná vodou vsáknutou z lepidla a vzniká v něm napětí, které může vést k deformaci dílců. Během klimatizace se voda vypaří a napětí se vyrovná. Současně probíhá při normální teplotě a její doba závisí na druhu lepidla. (*Osten 1996*)

### **3.2.4. Odolnost vůči vodě a povětrnosti**

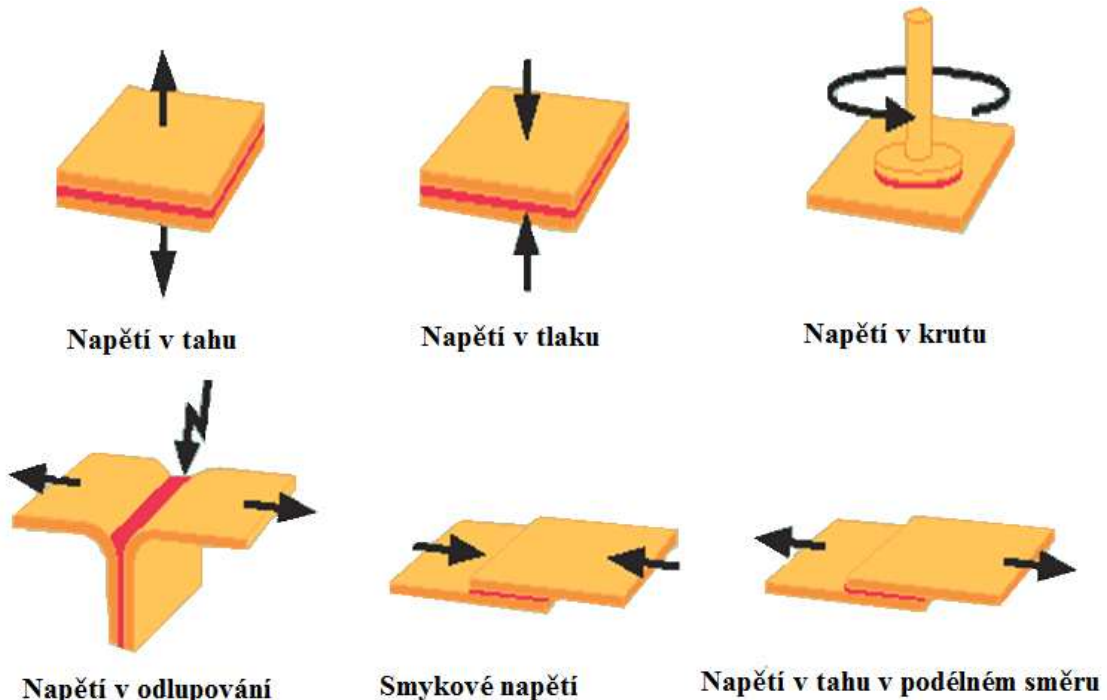
Pro praxi je nejdůležitější odolnost lepených spojů vůči vodě a vlhkosti. Podle odolnosti lepených spojů vůči vodě rozeznáváme lepidla vysoce vodovzdorná, která poskytují spoje odolávající jak účinkům vody studené, tak vařící (např. fenolická, polyuretanová, epoxidová). Lepidla vodovzdorná odolávají účinku vody studené a lepidla neodolávající vodě poskytují spoje, které se po účinku vody rozlepují (např. škrobová, dextrinová, glutinová). (*Eisner a Berger 1958*)

### 3.3. Lepené spoje

Má-li mít lepený spoj dlouhou životnost, musí být konstruován jako lepený spoj. Lepenou konstrukci je nutno rozdělit na části co nejméně složité. Je třeba vyhnout se dvojitému lepení

#### 3.3.1. Mechanické vlastnosti

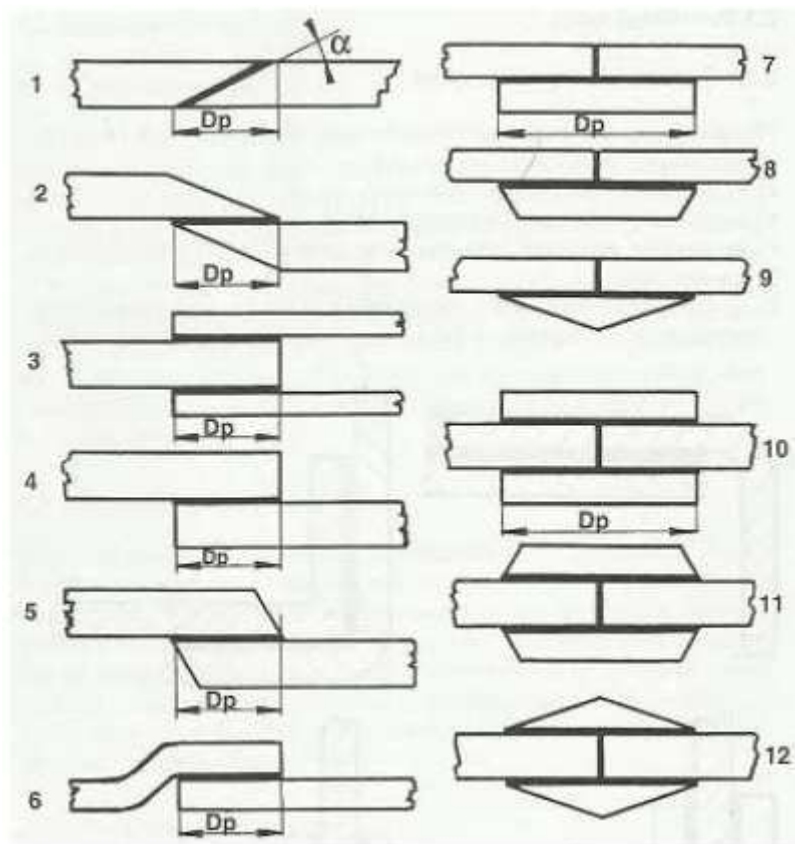
Ve své funkci může být spoj zatěžován buď staticky, například jen vlastní hmotností dílce, nebo dynamicky, například chvěním, opakovanými rázy, kroucením. Staticky může být spoj namáhán ve smyku, v tahu, tlaku a odlupování. Lepidla nejméně odolávají namáhání v odlupování a proto se při konstrukci spoje snažíme tomuto namáhání vyhnout. Dynamickému namáhání nejlépe odolávají spoje z epoxidových lepidel. Pevnost lepeného spoje je dán smršťováním lepidlového filmu a tloušťkou vrstvy lepidla ve spáře. Pevnost lepeného spoje se projevuje při jeho chování za působení vlhkosti, kdy dřevo působením vlhkosti nabobtnává a film lepidla se roztahuje. Dochází tak ke vzniku pnutí, až dojde k odtržení lepidlového filmu. Odtržení lepidlového filmu závisí na jeho pružnosti. (Osten 1996)



Obr. 6 – Způsoby namáhání lepených spojů (Muzikář 2008)

### 3.3.2. Typy lepených spojů

Pevnost lepených spojů značně ovlivňuje způsob spojení dřeva vzhledem k jeho anatomické stavbě, resp. na směru průběhu vláken. Nejčastěji se spojují převážně dílce podélně s příčným směrem vláken. Příčné spojení má značně nižší smykovou pevnost než podélné. Příčina je v neúplném styku lepených dřevěných ploch. Problematické je čelní spojení. Způsobuje únik velkého množství lepidla do otevřených kapilár nerovností povrchu, zapříčiněné vytrhnutím vláken jarního dřeva a tím vytvořením neúplného kontaktu lepených ploch. (Mrňous 2013)



Obr. 7 – Přehled konstrukčních možností lepených spojů (Osten 1996)

1 – spoj tupý, zkosený; 2 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 3 – spoj dvojitě přeplátovaný; 4 – spoj jednoduše přeplátovaný; 5 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 6 – spoj lemový, jednoduše přeplátovaný; 7 – spoj čelní s jednou příložkou; 8 a 9 – spoje s příložkami různého tvaru; 10 – čelní spoj s dvěma příložkami; 11 a 12 – čelní spoje se dvěma zkosenými příložkami

### 3.3.3. Charakteristika lepených spojů

1. *Dokonalý spoj* – lepené plochy na sebe těsně přiléhají. Vytvrzené lepidlo tvoří mezi lepenými povrchy tenký, souvislý film. K porušení je potřeba velké síly a při odtrhávání lepených částí nastává porušení mimo lepený spoj ve dřevě.
2. *Rozlepený spoj* – spoj je místy po celé ploše volný, viditelné spáry v lepeném spoji. Příčinou takového spoje může být nedostatečné opracování lepených povrchů, nedostatečný lisovací tlak při lepení, velké pnutí v lepeném výrobku, chybějící nános lepidla v některých místech nebo předčasné či nedokonalé vytvrzení lepidla.
3. *Chudý spoj* – spoj nemá rozlepená místa, ale k jeho porušení je však potřeba malé síly, přičemž se neporuší dřevo v okolí lepeného spoje. V lepeném spoji se nevytvořil souvislý film lepidla, lepidlo se vsáklo do lepeného povrchu. Příčinou může být nadměrná vlhkost a velká pórovitost dřeva, nedostatečná viskozita lepidla, nedostatečný nános lepidla nebo krátká doba sestavení lepených dílců.
4. *Zrnitý spoj* – spoj je málo pevný, po rozloupnutí má film vytvrzeného lepidla krupicovitou strukturu. Příčinou vzniku takového spoje může být nedostatečně rozpuštěné práškové lepidlo, značný obsah nastavovadel nebo plniva v lepicí směsi či vysoká vlhkost lepeného dřeva.
5. *Zmrzlý spoj* – spoj je málo pevný, při násilném porušení se na jedné z lepených ploch objeví souvislý film, lepicí dobře na podkladu. Jeho povrch je lesklý, druhá z lepených ploch je čistá, beze stop lepidla. Příčinou vzniku takového spoje může být malá vlhkost lepeného dřeva, předčasné vytvrzení nánosu lepidla nebo použití lepidel a lepicích směsí nadměrně rychle tvrdnoucích.
6. *Nezakotvený spoj* – spoj je málo pevný, po násilném rozloupnutí spoje je ve spáře souvislý film lepidla, který však nelpí na lepeném povrchu. Příčinou vzniku takového spoje může být znečištěný lepený povrch od mastnot nebo prachu, malá vlhkost lepeného dřeva, vysoká viskozita lepidla nebo lepicí směsi či předčasné úplné nebo částečné vytvrzení lepidla.
7. *Zdánlivě pevný spoj* – spoj se vyznačuje malou pevností lepeného spoje, přestože při jeho násilném rozloupnutí se spoj porušuje v přímé blízkosti vytvrzeného filmu lepidla ve dřevě a na filmu zůstává souvislá vrstva jemných dřevních vláken. Důvodem může být nevhodně opracovaný lepený povrch nebo malá pevnost lepeného dřeva vlivem napadení dřeva hnilobou. (*Muzikář 2008*)

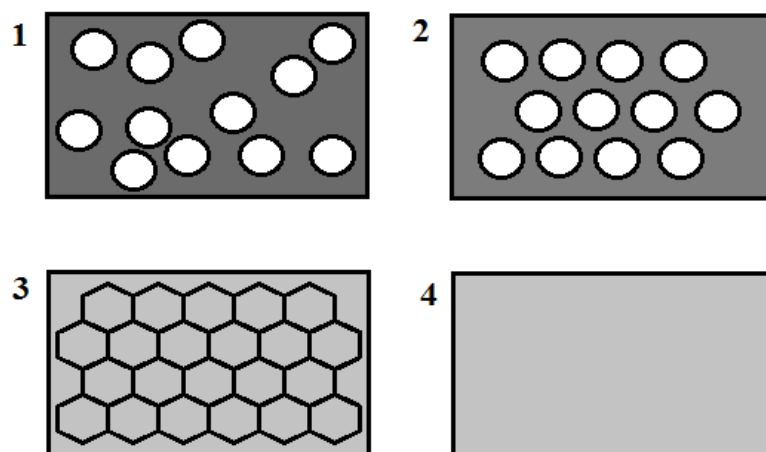
### 3.4. Podstata lepení

Lepení je pevné, trvalé spojení dvou na sebe přiléhajících povrchů pomocí lepidla, které mezi nimi vytváří souvislou, velmi tenkou vrstvičku, pevně na nich držící. 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 použitým lepidlem za normálních podmínek převyšuje smykovou pevnost dřeva, která se průměrně pohybuje mezi 5 až 11 MPa.

Během přechodu tekutého lepidla v tuhý lepicí film prochází lepidlo několika fázemi. Po nanesení na lepený povrch se tekutost lepidla snižuje unikáním tekutiny z lepidla do dřeva a částečným odpařováním rozpouštědla nebo chemickou reakcí složek lepidla. Lepidlo začíná želatinovat a jeho povrch se stává lepkavým. V další fázi lepidlo tuhne a současně se zvyšuje jeho koheze. Tuhnutí lepidla nastává v důsledku:

- odpařením rozpouštědla z naneseného lepidla
- odpařením vody z naneseného, vodou ředitelného disperzního lepidla např. PVAC, glutinová (viz obr. 8)
- ochlazením naneseného roztaveného lepidla (tavná lepidla)
- stále lepivá
- tuhnutí vlivem reakce lepidla se vzdušnou vlhkostí (změna chemického složení)
- tuhnutí bez přístupu vzduchu (anaerobní lepidla)
- chemické reakce polymeru po přidání tvrdidla do lepicí směsi
- chemické reakce vyvolané zvýšenou teplotou

Během tuhnutí se lepidlo v lepené spáře smršťuje. Křehká lepidla (např. močovinoformaldehydová) mohou vlivem napětí vznikajícího při smršťování v lepené spáře popraskat, zejména jsou-li nanesena v tlustší vrstvě. Aby tuhý film vytvořený těmito lepidly byl co nejtenčí, musí být lepená plocha dokonale opracovaná, rovná a hladká. Nadměrnému smršťování lepidel v lepené spáře zabraňuje zvýšení jejich sušiny přidáním plnidel do lepicí směsi. (*Drápela a kol. 1980*)



Obr. 8 – Tvorba filmu vodou ředitelných disperzních lepidel (Muzikář 2008)

1 – nános disperzního lepidla (disperze se vznáší ve vodě), 2 – část vody se odpařila a oddifundovala do podkladu (disperze se přiblížily k sobě), 3 – z nánosu disperzního lepidla se odpařila voda, vypařují se zbytky pomalu těkajících rozpouštědel (disperze se přiblížily k sobě, dotýkají se, vznikají mezi nimi vazby), 4 – vznikl pevný lepený film

### 3.4.1. Složky lepicích směsí

Lepicí směsi se připravují podle technologických receptur, které jsou součástí technologických předpisů pro lepení. Technologická receptura určuje složení jednotlivých směsí a poměr složek. Lepicí směs používaná v nábytkářské výrobě se skládá z několika složek:

- 1) *Filmotvorná složka* – je to makromolekulární látka, která je přivedena do tekutého stavu pomocí vody nebo organických rozpouštědel. V nich je buď rozpuštěna, nebo dispergována do koloidního stavu.
- 2) *Tvrdidla* – většina polykondenzačních a polyadičních lepidel vyžaduje přísadu tvrdidel, což jsou sloučeniny, které svým katalytickým účinkem urychlují chemickou reakci tuhnutí lepidla. Tvrdidla se do lepicí směsi přidávají v množství 1 – 4 %, nejčastěji ve formě roztoku nebo prášku, těsně před použitím.
- 3) *Stabilizátory* – látky, které uchovávají vlastnosti lepidel během skladování i zpracování a zachování vlastností lepených spojů během používání
- 4) *Ředidla* – upravují pouze tekutost (viskozitu) lepicí směsi při nanášení na lepený povrch (Muzikář 2008)

- 5) *Plniva* – plniva nemají lepící účinek. Používají se zpravidla pro úsporu drahých surovin, tedy pro zlevnění lepidla a pro snížení pnutí ve vytvrzeném stavu. Jsou to většinou jemné, minerální prášky. Plniva zvyšují viskozitu lepidel, čímž zabraňují jejich vnikání do dřeva a zamezují chudý spoj. Zabraňují také pronikání lepidla skrz krycí dýhu. Tyto přísady také omezují smršťování lepidla a zabraňují tak vzniku škodlivých napětí v lepené spáře.
- 6) *Nastavovadla* – tyto přísady se používají z technických, ale i z ekonomických důvodů a od plniv se liší lepíci vlastnostmi. Nastavování se může provádět až do 100 %. Jejich nedostatkem je, že při vyšším obsahu jak 20 % snižují odolnost lepeného spoje proti vodě. Jako nejčastější nastavovadlo se používá obilná mouka.
- 7) *Zušlechťující přísady* – jsou látky, kterými zlepšujeme některé vlastnosti lepené spáry. Např. do bílkovinných lepidel se pro ochranu před mikroorganismy přidávají fenolické látky a fungicidy, pro zvýšení odolnosti proti vodě paraformaldehyd, do močovinných lepidel se může přidat rezorcín a melamin pro zvýšení vodovzdornosti. (*Liptáková, Sedliačik 1989*)

### 3.4.2. Použití lepidel

Lepidla se při zpracování dřeva uplatňují hlavně v těchto oborech:

- a) v nábytkářství, na předměty určené do uzavřených a suchých prostorů, v nichž nepodléhají klimatickým vlivům. S výjimkou kuchyňského nábytku nemusí být lepidla k těmto účelům vodovzdorná;
- b) ve stavebnictví pro okna a dveře. Jelikož jsou tyto výrobky vystaveny klimatickým vlivům, musí zde být použito vodovzdorných lepidel. Odolná lepidla se vyžadují pro lepení nosníků a konstrukce otevřených hal a pomocných dřevěných zařízení při stavbách, jako např. pro lešení a betonářské bednění;
- c) ve výrobě dopravních prostředků, jako při stavbě vagonů, karoserií, lodí a letadel. Vzhledem na mimořádné mechanické namáhání za různých klimatických poměrů je zde zapotřebí zvláště jakostních a vodovzdorných lepidel;



d) ve výrobě syntetických desek z dýh a z aglomerovaných dřevěných částic, jako jsou dřevotřískové a dřevovláknité desky nebo OSB. Překližky pro nábytek nemusí být lepené zvlášť vodovzdorným lepidlem, ani třískové desky, pokud jsou určeny pro vnitřní upotřebení. Desky pro podlahy, vnější použití apod. vyžadují vysokou odolnost vůči tlaku. (*Boublík 1966*)

Třídy i oblast použití jsou dány evropskými normami ČSN EN 204 a ČSN EN 12765. Aby mohlo být lepidlo zařazeno do jedné ze tříd podle tabulky 1, musí u něj naměřené střední hodnoty pevnosti lepeného spoje dosáhnout minimálních hodnot.

*Tab. 1 – Třídy trvanlivosti lepidel*

Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek 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 občasnou vysokou vlhkostí vzduchu, jestliže nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %
C3 – D3	Interiér s častým krátkodobým působením vysoké tekoucí nebo kondenzované vody nebo dlouhodobým působením vysoké vlhkosti vzduchu; exteriér chráněný před působením povětrnosti
C4 – D4	Interiér s častým silným působením vysoké tekoucí nebo kondenzované vody; exteriér vystavený povětrnosti, který je opatřený přiměřenou povrchovou úpravou

### 3.4.3. Nanášení lepidla

K nanášení viskózních lepidel a lepících tmelů se hodí stěrky s vypilovanými zářezy, jimiž lze vytvořit velmi rovnoměrný nános. Tak se mohou nanášet lepidla kaučuková, disperzní tmely a asfaltové směsi. Jednostranný nános postačí při práci s lepidly s vysokým obsahem filmotvorné látky a dostatečnou životností.

Při průmyslovém nanášení je dále možné nanášet lepidlo strojně a to pomocí rotujících kartáčů, které se vyznačují rovnoměrnou vrstvou lepidla a dobrým roztěrem. Lepidlo pro tento způsob by mělo mít krátké vlákno a nízkou viskozitu. Dalším způsobem jsou válcové nanášečky lepidla.

Důležité je, aby válce byly dokonale rovné a lepidlo mělo správnou viskozitu. Mezi ostatní způsoby nanášení patří stříkací, polévací, navalovací, vytlačovací a nožová zařízení. (Tesařová 2014)

#### 3.4.4. Výhody lepení

- lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály
- aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců
- je možné připravit spoje vodotěsné a plynotěsné, čímž se lepení liší od spojů vytvářených šrouby nebo nýty
- není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru
- lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru
- lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových dílců
- lepením se nezvyšuje hmotnost souboru
- spoje mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené
- lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové houževnatosti

(Osten 1996)

#### 3.4.5. Nevýhody lepení

- klade vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu lepených dílců
- při spojování materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu
- konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné
- většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování
- životnost reaktivních lepících směsí je omezená
- maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době
- odolnost vůči vyšším teplotám je omezená
- spoj z termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla)
- lepení nelze provádět při velmi nízkých teplotách

(Osten 1996)

### 3.5. Rozdělení lepidel

Lepidla tvoří rozsáhlou a chemicky velmi různorodou skupinu. To se také výrazně projevuje ve způsobu jejich třídění do jednotlivých kategorií. Dělí se podle několika hledisek, žádné z nich však nevystihuje úplně přesně jejich povahu. Nové typy lepidel ze syntetických pryskyřic umožnily nová uplatnění a vynutily si současně nové klasifikace. Kromě nejstarších dělení lepidel podle účelu, původu, fyzikálního stavu a způsobu zpracování se lepidla nyní třídí podle dosažení pevnosti spoje, chemického složení, obsahu rozpouštědel, koncentrace vodíkových iontů atd.

#### 3.5.1. Rozdělení podle účelu

Dříve velmi často používané dělení podle účelu poskytuje dnes už jen velmi hrubou orientaci, protože nevymezuje ani přibližně chemickou podstatu lepidla. Podle tohoto dělení rozeznáváme např. lepidla na dřevo, papír, textil, plasty, kov atd.

#### 3.5.2. Rozdělení podle fyzikálních stavů

Způsob použití lepidla, zejména jeho nanášení, předpokládá často určitou formu nebo fyzikální stav lepidla. Rozeznáváme lepidla tekutá, prstovitá, práškovitá, pěnová, tlakocitlivá, filmy a lepicí pásy. Filmy a pásy nejsou sice lepidly v pravém slova smyslu, jsou však běžně používaným spojovacím prostředkem, který spojuje materiály vrstvou lepidla. (*Drápela 1980*)

#### 3.5.3. Rozdělení podle původu

##### 1) Přírodní

- *rostlinného původu* (škroby, mouky, dextriny, pektiny, algináty, rostlinné gumy, přírodní kaučuk, přírodní pryskyřice, deriváty celulosy)
- *živočišného původu* (glutinové klihy z kostí a kůží, kaseinové klihy z mléčné bílkoviny, albuminové klihy z krve jatečných zvířat, rybí klihy)
- *minerálního původu* (vodní sklo, sádra, cementy, asfalt)

##### 2) Syntetická

- *termoreaktivní* (močovinoformaldehydová, močovinomelaminformaldehydová, fenolformaldehydová, melaminformaldehydová, resorcinformaldehydová, epoxidová, polyuretanová, polyesterová, izokyanátová, kyanakrylátová )

- *termoplastická*
  - disperzní vodou ředitelná (polyvinylacetátová, akrylátová, kopolymerní)
  - roztoková (kaučuková, chloroprenová, polyvinylchloridová, PVAC)
  - tavná (ethylvinylacetátová, polyamidová, kaučuková, polyolifenická)

### 3) Ostatní lepidla

- *tlakocitlivá*
- *vteřinová*
- *lepivé tmely*
- *vytvrzující pomocí UV, mikrovlnného nebo infračerveného záření*

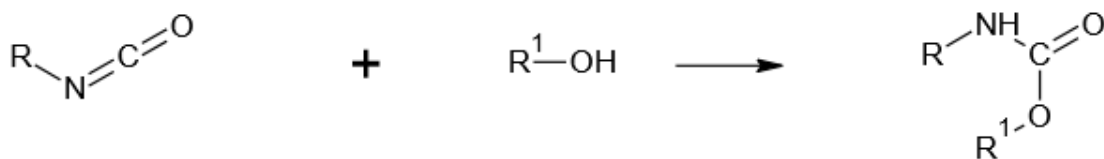
*(Tesařová 2014)*

### 3.6. Syntetická lepidla

Syntetická lepidla předstihují lepidla z přírodních surovin svými vlastnostmi, jako je pevnost lepeného spoje, tepelná, chemická a biologická odolnost. Podrobně jsou popsána pouze lepidla, která jsou použita při řešení bakalářské práce, tedy polyuretanové lepidlo a směsné močovinomelaminformaldehydové lepidlo. *(Liptáková, Sedliačik 1998)*

#### 3.6.1. Polyuretanová lepidla (PUR)

Vyrábějí se kombinací polyizokyanátů s polyestery. Proto lze připravit a vyrábět lepidla s různými vlastnostmi, které vytvrzují v širokém rozmezí teplot. Mezi přednosti polyuretanových lepidel patří pevné, nerozpustné a pružné spoje, jež odolávají nejen dynamickému namáhání, ale i vlhkosti a povětrnostním vlivům. Polyuretanová lepidla náležejí k poměrně drahým lepidlům. Vyznačují se vysokou rychlostí vytvrzování (90 – 120 s.) a smykovou pevností (až 23 MPa). Měrný tlak při lepení by měl být 0,1 až 0,3 MPa. Tepelná odolnost spojů polyuretanových lepidel dosahuje 170 °C. Další výhodou lepidel je možnost zpracovávat je v širokém rozmezí teplot, včetně nízkých teplot kolem 0 °C. Při jejich aplikaci se nesmějí používat rozpouštědla obsahující alkohol a vodu.



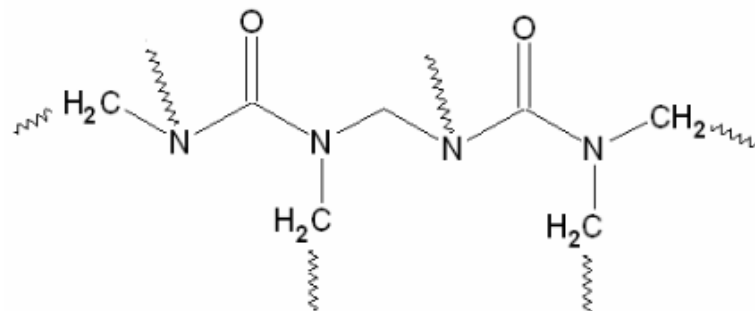
Obr. 9 – Chemický vzorec reakce při přípravě polyuretanů (Kalčíková 2009)

Těmito lepidly můžeme lepit části kovů, dřeva, dekorativních povrchových úprav s dýhami, plastů, nevulkanizovaných gum z nitrokaučuku, chloroprenového a přírodního kaučuku k hliníku, oceli, mosazi s dostatečnou vulkanizací, sklu v medicíně či v obuvnickém průmyslu k lepení umělých kůží s PVC povrchem. Zvláštní skupinou polyuretanových lepidel tvoří jednosložková sekundová lepidla, která zasychají a vytvrzují pouze vzdušnou vlhkostí. Nanášejí se na jeden lepený povrch. Spoj je odolný vůči vlhkosti a do 70 °C vůči teplu. Velkou nevýhodou těchto lepidel je jejich toxicita, protože obsahují zdraví škodlivá nehořlavá rozpouštědla. (Tesařová a kol. 2014)

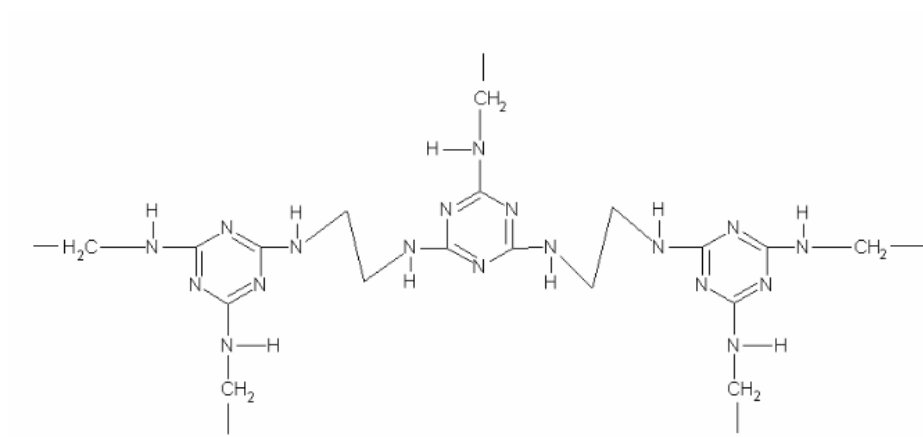
### 3.6.2. Směsná močovinomelaminformaldehydová lepidla (MUF)

Vyrábějí se společnou reakcí formaldehydu s močovinou a melaminem, případně smísením hotového formaldehydového lepidla. Důležitými parametry jsou obsah melaminu a molární poměr formaldehydu k aminoskupinám. Obsah melaminu je nastaven podle požadované třídy klimatické odolnosti výrobku. Molární poměr má vliv i na aplikační podmínky, zejména na teplotu a čas vytvrzení lepidla.

Omezená skladovatelnost MUF lepidel mívá za následek, že bývá zpracováno na výrobky, které jsou určeny do interiéru, což je značně neekonomické. Zde se naskýtá řešení možnosti obohacení formaldehydových lepidel pomocí práškového melamin-formaldehydového lepidla. Dneska jsou MUF lepidla vyráběna ve větším množství než lepidla melamin-formaldehydová z důvodu relativně vysokých nákladů na melamin. Jejich vývoj pokročil do té míry, že často není rozdíl v lepivosti a oblasti použití mezi MUF a MEF lepidle. (Rowell 2005)



Obr. 10 – Schéma močovinoformaldehydové pryskyřice (Kalčíková 2009)



Obr. 11 – Schéma melaminformaldehydové pryskyřice (Kalčíková 2009)

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1. Použitý materiál

#### 4.1.1. Dřevo a jeho složení

Z chemického hlediska je dřevo složitý komplex chemických látek, především biopolymerů. Chemické složení dřeva ovlivňuje praktické využití dřeva, tak i jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Dřevo se skládá především z celulosy, hemicelulosy a ligninu a tvoří hlavní složky dřeva. Jejich procentní zastoupení ve dřevě je 90 – 97 %, zbylých 3 – 10 % tvoří doprovodné složky dřeva, převážně to je uhlík, kyslík, vodík a dusík.

- 1) *Celulosa* – je nejrozšířenější organická látka na zemi. Tvoří „kostru“ buněčných stěn rostlinných organismů. Celulosa tvoří dlouhé vláknité makromolekuly, které jsou složeny z  $\beta$  – D glukopyranosových jednotek. Vláknité makromolekuly celulosy se mohou prostřednictvím intermolekulových vodíkových vazeb, tj. vazeb mezi OH skupinami sousedních makromolekul celulosy, za současného působení Van der Waalsových interakcí, spojovat a vytvářet nemolekulovou strukturu. Polymerační stupeň celulosy je 5 – 14 tisíc. Zastoupení celulosy je u jehličnanů 46 – 55 %, u listnáčů 41 – 48 %. Mezi chemické vlastnosti celulosy patří nerozpustnost ve vodě a běžných rozpouštědlech, hydrolyzace silnými anorganickými a organickými kyselinami. Vyšší podíl krystalických částic v celulose má za následek vyšší hustotu, pevnosti v tahu, pružnost či rozměrovou stabilitu.
- 2) *Hemicelulosa* – jedná se o směs heteropolysacharidů ve dřevě s polymeračním stupněm 100 – 200. Tvoří tmelící složku mezi vláknitými strukturami celulosy a ligninem. Hemicelulosu dělíme na xylany, manany a galaktany. Zastoupení hemicelulosy je u jehličnanů 23 – 25 % a u listnáčů 26 – 35 %. Hemicelulosa slouží jako přírodní adhezivum, k výrobě lepidel či plastických hmot.
- 3) *Lignin* – je po celulose nejzastoupenější přírodní biopolymer. Makromolekuly ligninu jsou prostorově rozloženy, takže mohou dobře vyplňovat prostory mezi vláknitými strukturami polysacharidů. Lignin dodává dřevu specifické vlastnosti, zvyšuje mechanickou pevnost, tuhost, snižuje propustnost dřeva a zvyšuje ochrannou funkci rostlinných pletiv. Zastoupení ligninu u jehličnanů je 24 – 33 % a u listnáčů 19 – 28%. (*Gandelová a kol. 2009*)

#### 4.1.2. Použité druhy dřev

Při zkoušce byly použity vzorky vyrobené z masivních druhů dřev, konkrétně z dubu a smrku.

##### **Dub (*Quercus*)**

Duby jsou u nás nejvíce zastoupenou listnatou dřevinou (přes 6,5 %), což představuje 166 603 ha dubových porostů. V našich lesích se nejvíce vyskytuje dub letní (*Quercus robur*) a dub zimní (*Quercus petraea*), jejich dřevo se z hlediska upotřebení nerozlišuje. V České republice jsou duby nejvíce plošně zastoupenou dřevinou. Dubové dřevo má vylišeno jádro a běl, běl je úzká nažloutlá až světlehnědá, jádro světle až tmavohnědé. Dřevo s typickou kruhovitě pórovitou stavbou se zřetelnou hranicí mezi letokruhy i hranicí mezi jarním a letním dřevem. Makropóry (široké jarní cévy) tvoří v zóně jarního dřeva zřetelné póry, na podélných řezech zřetelné rýhy. Mikropóry (úzké letní cévy) tvoří na příčném řezu v zóně letního dřeva světlé radiální pásy (radiální seskupení cév). Dřeňové paprsky zřetelné na všech řezech, na příčném řezu tvoří viditelné pásy kolmé k letokruhům, na radiálním řezu křivolaká lesklá zrcadla a na tangenciálním řezu až několik cm vysoké tmavší pásy. Dřevo dubu je středně těžké, hustota u dubu letního  $\rho_0$  680 kg·m<sup>3</sup>,  $\rho_{12}$  725 kg·m<sup>3</sup> a středně tvrdé (67,5 MPa), pro velký obsah tříslovin patří k našim nejtrvanlivějším dřevinám. Co se týče chemického složení, obsahuje dub cca 39 % celulosy, 36 % hemicelulosy a 21 % ligninu. Vzhledem k horší propustnosti buněčných stěn se obtížněji suší a impregnuje, dobře se však opracovává. Patří k nejkvalitnějším užitkovým dřevům. Upotřebitelnost dubového dřeva je velmi široká. Používá se ve stavebnictví jako konstrukční materiál (dřevostavby, vodní stavby, lodě), v nábytkářství (masivní nábytek, dýhy), ve stavebním truhlářství (okna, dveře, vnitřní i venkovní obklady, podlahy, schody, parkety, sloupy, apod.), v řezbářství, soustružnictví, bednářství (sudy na víno a alkohol) apod. (Šlezingerová, Gandelová 2008)

##### **Smrk (*Picea sp.*)**

Smrk má z jehličnanů největší plošné zastoupení – 53,8 %, porostní plocha je asi 1 391 970 ha. Dřevo smrku je po poloměru kmene jednotně zbarveno, nemá vylišené jádro a běl, u čerstvé skáceného dříví lze makroskopicky vylišit vyzrálé dřevo.



Dřevo je žlutobílé až světle žlutohnědé; letokruhy jsou zřetelné s pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem v rámci letokruhu; pryskyřičné kanálky jsou drobné, patrné pouze na podélných řezech jako svislé tmavší pásy. Dřevo slabě voní, na podélných řezech je slabě lesklé. Patří k měkkým (26 MPa) a lehkým ( $\rho_0$  420 kg·m<sup>3</sup>,  $\rho_{12}$  450 kg·m<sup>3</sup>) dřevům. Smrkové dřevo obsahuje přibližně 46 % celulosy, 27 % hemicelulosy a 26 % ligninu. Je méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům, dobře se opracovává, suší, hůře se impregnuje. Smrkové dřevo patří k našim nejdůležitějším užitkovým dřevinám. Používá se ve stavebnictví jako stavební i konstrukční materiál (střešní a mostní konstrukce, stožáry, sloupy, podlahy, stropy, lešení, atd.), v nábytkářství a stavebním truhlářství (masivní nábytek, rámové konstrukce, okna, dveře, obklady, atd.), k výrobě dých a velkoplošných materiálů (překližek, dřevotřískových a dřevovláknitých desek), pro chemické zpracování (buničina, papír, apod.), pro výrobu hudebních nástrojů (rezonanční smrk s velmi úzkými letokruhy a vysokým podílem letního dřeva). Cenné je lískovcové dřevo, které zvyšuje dekorační hodnotu smrkové dřeva. (Šlezingerová, Gandelová 2008)

## **4.2. Příprava vzorků**

### **4.2.1. Výroba zkušebních vzorků**

Vzhledem k tomu, že zkušební vzorky dodala firma Atelier S a.s., je zde uveden pouze zjednodušený popis výroby.

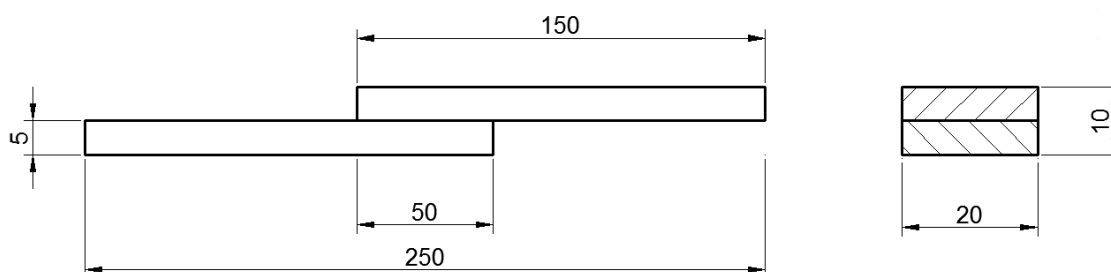
Zkušební vzorky by měly mít dle normy ČSN EN 205 následující rozměry: délka vzorku =  $150 \pm 2$  mm, šířka vzorku  $20 \pm 0,2$  mm, tloušťka vzorku  $5 \pm 0,1$  mm.

Nejprve bylo nutné deskové řezivo (prkna) omítnout a zkrátit na přířezy menší rozměrů, pro jednodušší manipulaci. Poté se přířezy srovnaly a ohoblovaly přibližně na tloušťku 22 mm, následně se pomocí egalizační pásové brusky dosáhlo přesné tloušťky  $20 \pm 0,2$  mm (čímž jsme vytvořili šířku vzorku). Takto připravené přířezy se následně rozřezali na pásy přibližně 7 mm tlusté. Protože by bylo takto nařezané pásy obtížné hoblovat na požadovanou tloušťku, byla opět využita egalizační pásová bruska, pomocí které jsme dosáhly tloušťky pásu  $5 \pm 0,1$  mm. Poslední nutnou operací bylo takto šířkově a tloušťkově připravené pásy pomocí formátovací pily nakrátit na požadovanou délku vzorku, tj.  $150 \pm 2$  mm. Takto vyrobené vzorky byly připraveny ke slepení.

#### 4.2.2. Výroba zkušebních těles

U interiérových zkoušek a rychle tuhoucích lepidel se mohou použít zkušební tělesa s jednoduchým přeplátováním podle obr. 12. Při uchycování těchto zkušebních těles do tahového zkušebního stroje se musí zajistit, aby vkládaná síla působila centrálně a v rovině vrstvy lepidla. Dosáhne se toho použitím distančních vložek nebo vhodným uspořádáním držáků v čelistech. Při lepení zkušebních těles se doporučuje, aby lepené části nebyly k sobě přiloženy stejným směrem letokruhů. (ČSN EN 205)

Takto slepená tělesa pomocí PUR a MUF lepidel byla vložena do lisu, a pod tlakem 1,5 MPa a teplotě 60 °C (pro PUR) a 105 °C (pro MUF) lisována asi 10 minut.



Obr. 12 – Zkušební těleso (vlastní galerie CAD)

#### 4.2.3. Použitá lepidla

1) LEAR D4 – je jednosložkové polyuretanové lepidlo vytvrzující působením vlhkosti. Vhodné pro vysoce vodovzdorné montážní a plošné lepení dřeva (měkké, tvrdé i exotické dřeviny), odolnost vůči vodě kategorie D4. Lepidlo je určeno pro lepení obtížně lepitelných truhlářských dílců, například lepení dřevěných rámců, lakovaných ploch (PU nebo polyesterové laky) navzájem nebo k jiným, i nesavým povrchům (melaminové povrchy, kovy). Obsah sušiny je 49 – 52 %. (<http://www.lear.cz/lepidla-vyroba/na-drevo-a-nabytek/lepidla-polyuretanova/lear-na-drevo-d4/>, 8. 2. 2015)

2) KRONOCOL MUP – 125 – je vodný roztok močovinomelaminformaldehydového roztoku. Je určen pro využití v dřevařském průmyslu při výrobě povrchově upravených desek (dýhování, opláštění, lepení termosetické fólie), pro výrobu překližek, atd. U MUF lepidel platí, že pro vytvrzení je nutné do směsi lepidla přidat tužidlo a pro tvorbu lepeného spoje vyžadují zvýšenou teplotu a vysoký lisovací tlak. Do směsi se také přidává mouka, jakožto nastavovadlo, které zvyšuje objem a samo má určité lepicí schopnosti. (*Technické listy lepidla Kronocol MUP 125*)

#### 4.2.4. Použité stroje a pomůcky

##### Hydraulický lis

Rozměr desek: 500 x 500 mm

Maximální zdvih lisu: 300 mm

Maximální svěrná síla: 40 t

Pracovní teplota topných desek: do 250 °C

Hmotnost: 2000 kg



*Obr. 13 – Hydraulický lis*

*([http://www.polymertest.cz/cz/](http://www.polymertest.cz/cz/gumarenske-laboratore.php)*

*gumarenske-laboratore.php,8. 2. 2015)*

##### Laboratorní váhy KERN

Maximální hmotnost: 3000 g

Minimální hmotnost: 0,5 g

Linearita:  $\pm 0,03$  g

Reprodukovatelnost: 0,01 g

#### 4.2.5. Použité přístroje při laboratorní zkoušce

##### Trhací zařízení INSTRON 3365

Maximální síla zatížení = 5 kN

Maximální posuv trhacích kleštín = 1000 mm/min

Maximální vertikální testovací prostor = 1193 mm

##### Klimatizační teplotní komora HEATWEVE 204

Nastavitelný rozsah: - 160 °C až 260 °C

Odchylka:  $\pm 0,1$  °C

Přesnost nastavení: 0,1 °C

##### Lahev s kapalným dusíkem

Hmotnost prázdné lahve: 15 kg

Hmotnost dusíku: 18 kg



*Obr. 14 – Trhací zařízení INSTRON s klimatizační komorou a lahví s kapalným dusíkem (galerie autora)*

### **4.3. Příprava vzorků před zkouškou**

#### **4.3.1. Počet zkušebních těles**

Podle ČSN EN 205 se má použít dostatečný počet zkušebních těles, aby se pro každý způsob kondicionování získalo dostatečný platných výsledků. Za neplatné se považují vzorky, které obsahovaly vady, nesprávný nános lepidla, nebo jevíly nedostatky pro zkoušku pevnosti.

Polovina vyrobených vzorků pro zkoušku byla ze smrku, druhá polovina vzorků z dubu. Polovina smrkových a dubových těles byla slepena MUF lepidlem, druhá polovina PUR lepidlem.

#### **4.3.2. Manipulace před smykovou zkouškou tahem**

Ke smykové zkoušce tahem dle ČSN EN 205 byly připraveny čtyři sady vzorků (DB MUF, SM MUF, DB PUR, SM PUR). Každá sada byla rozdělena na čtvrtiny a jednotlivé čtvrtiny vzorků uloženy v těchto různých podmínkách:

- 1) normální podmínky (24 °C, vlhkost 50 %)
- 2) snížená teplota – lednice (5 °C, vlhkost 50 %)
- 3) snížená teplota – výparník (-20 °C, vlhkost 0 %)
- 4) snížená teplota – mrazák (-30 °C, vlhkost 0 %)

V těchto podmínkách zůstaly vzorky 50 dní. Po vyndání byly vzorky ihned zkoušeny zkouškou pevnosti lepených spojů při těchto teplotách.

#### **4.3.3. Zkouška pevnosti lepených těles**

Lepené vzorky byly vystaveny smykové zkoušce tahem a byla u nich měřena pevnost lepeného spoje. Tato zkouška probíhala podle normy ČSN EN 205.

K porovnání pevnosti lepených spojů byla měřena maximální tahová síla, která je potřebná pro porušení nebo přetržení lepeného spoje, dále pevnost lepeného spoje a také tahové protažení při maximálním zatížení do bodu, než došlo k porušení vzorku v lepeném spoji nebo dřevě. Délkové protažení lepeného spoje bylo nutné sledovat, především z důvodu klimatických změn, jelikož se mohly jednotlivé hodnoty lišit. Veškeré hodnoty a data byly zaznamenávány do počítače připojeného k trhacímu zařízení.

#### 4.4. Postup řešení bakalářské práce

Zkouška pevnosti lepeného spoje probíhala dle normy ČSN EN 205. Zkušební tělesa bylo nutné upevnit do čelistí trhacího stroje a to v délce 40 – 50 mm a zajistit, aby síla působila centrálně a v rovině slepu. Následně se zadaly do připojeného počítače vstupní informace a parametry v programu Instron Bluethill. Poté následovala samotná zkouška „trhání“ zkušebního vzorku.

Nejprve byly trhány vzorky, které byly vystaveny normální podmínkám (24 °C) a podmínkám při teplotě a 5 °C, jelikož nebylo nutné příliš měnit teplotu okolí. Následovala zkouška trhání vzorků vystavených nízkým teplotám. Předtím však bylo nutné upevnit na trhací stroj klimatizační komoru a pomocí zkapalněného dusíku vytvořit uvnitř kabiny teplotu – 30 °C. Po provedení zkoušky byla teplota snížena na teplotu – 20 °C pro další sadu vzorků. Při výměně vzorků z čelistí stroje bylo nutné pracovat co nejrychleji, protože při každém otevření klimatizační komory se teplota uvnitř komory zvýšila nejméně o 15 °C a bylo nutné čekat, než se komora opět ochladí.

K přetržení zkušebních těles docházelo buď v lepeném spoji, nebo ve dřevě, záleželo však na druhu použitého lepidla a dřevině. Veškeré hodnoty o průběhu zkoušky zaznamenával program Instron Bluethill s následným grafickým znázorněním. Pokud došlo v průběhu zkoušky ke zjištění nějaké vady (chudý spoj, nedokonalé slepené, vada dřeva), byly tyto vzorky z měření vyřazeny.



Obr. 15 – Čelisti trhacího stroje  
(galerie autora)



Obr. 16 – Klimatizační komora  
(galerie autora)



Obr. 17 – Klimatizační komora při teplotě – 30 °C (galerie autora)



Obr. 18 – Pohled do klimatizační komory při teplotě – 30 °C (galerie autora)

#### 4.4.1. Stanovení pevnosti lepeného spoje

Při zkoušce pevnosti lepeného spoje na trhacím stroji byla měřena maximální síla  $F_{max}$ , která je potřebná k porušení zkušební vzorku. Pomocí  $F_{max}$  je pak možné vypočítat pevnost  $\tau$  v  $N/mm^2$  podle rovnice:

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

kde  $F_{max}$  = největší vynaložená síla v Newtonech [N]

$A$  = slepená zkušební plocha v  $[mm^2]$ , u vzorků tj.  $1000 \text{ mm}^2$

$l_2$  = délka slepené zkušební plochy v milimetrech (mm)

$b$  = šířka slepené plochy v milimetrech (mm)

ČSN EN 205 (65 8508)

## 5 VÝSLEDKY LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

Výsledky laboratorního měření jsou uvedeny v tabulce 2, str. 39, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty maximální síly potřebné k porušení vzorku, pevnosti lepeného spoje, energie spotřebovaná do dosažení maximální síly  $F_{\max}$  a tahové protažení lepeného spoje při maximálním zatížení pro dubové a smrkové vzorky lepené polyuretanovým a močovinomelaminformaldehydovým lepidlem vystaveným nízkým teplotám (5 °C, - 20 °C a - 30 °C). Pro porovnání jsou zde i hodnoty při pokojové teplotě (24 °C).

### 5.1. Výsledky tahové zkoušky pevnosti u PUR a MUF lepidel

*Tab. 2 – Průměrné naměřené hodnoty u dřeva dubu a smrku, lepených PUR a MUF lepidlem a vystavených smykové zkoušce tahem při teplotách 24 °C, 5 °C, -20 °C, -30 °C.*

Vzorek	Lepidlo	Teplota °C	$F_{\max}$ N	Pevnost N/mm <sup>2</sup>	Energie J	Protažení mm
DB	MUF	24	3652,64	3,6526	1,3196	1,252
DB	MUF	5	3209,46	3,2094	1,313	1,245
DB	MUF	- 20	3677,02	3,6772	2,3861	2,386
DB	MUF	- 30	3397,68	3,3976	1,9796	1,979
DB	PUR	24	3235,72	3,2357	1,0495	1,108
DB	PUR	5	2983,57	2,9835	1,0379	1,098
DB	PUR	- 20	3304,46	3,3044	2,1802	2,182
DB	PUR	- 30	3240,62	3,2406	1,9729	1,972
SM	MUF	24	2335,18	2,3351	0,845	0,926
SM	MUF	5	2319,02	2,3192	0,9331	0,979
SM	MUF	- 20	2422,35	2,4223	2,0997	2,099
SM	MUF	- 30	2330,46	2,3304	1,7064	1,706
SM	PUR	24	2929,53	2,9253	1,0333	1,033
SM	PUR	5	2418,13	2,4181	0,8531	0,996
SM	PUR	- 20	2710,72	2,7107	2,3000	2,3
SM	PUR	- 30	2573,18	2,5731	1,7664	1,766



*Obr. 19 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 24 °C (galerie autora)*



*Obr. 20 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 5 °C (galerie autora)*





Obr. 21 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 20°C (galerie autora)



Obr. 22 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 30°C (galerie autora)



*Obr. 23 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 24 °C (galerie autora)*



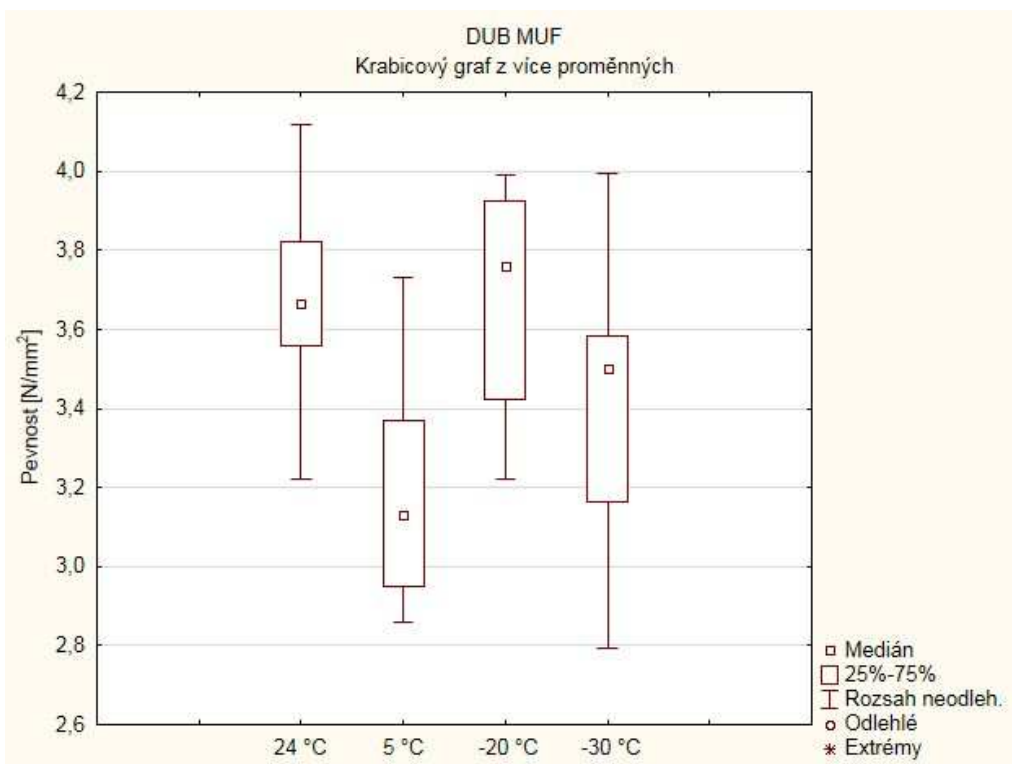
*Obr. 24 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 5 °C (galerie autora)*



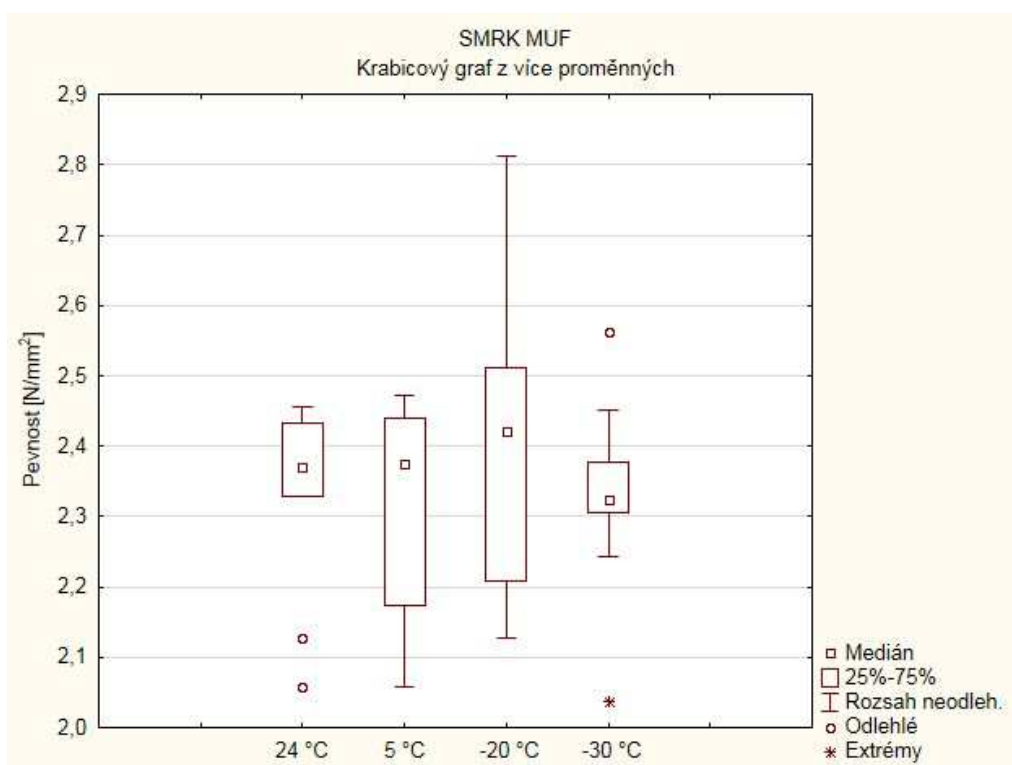
Obr. 25 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 20 °C (galerie autora)



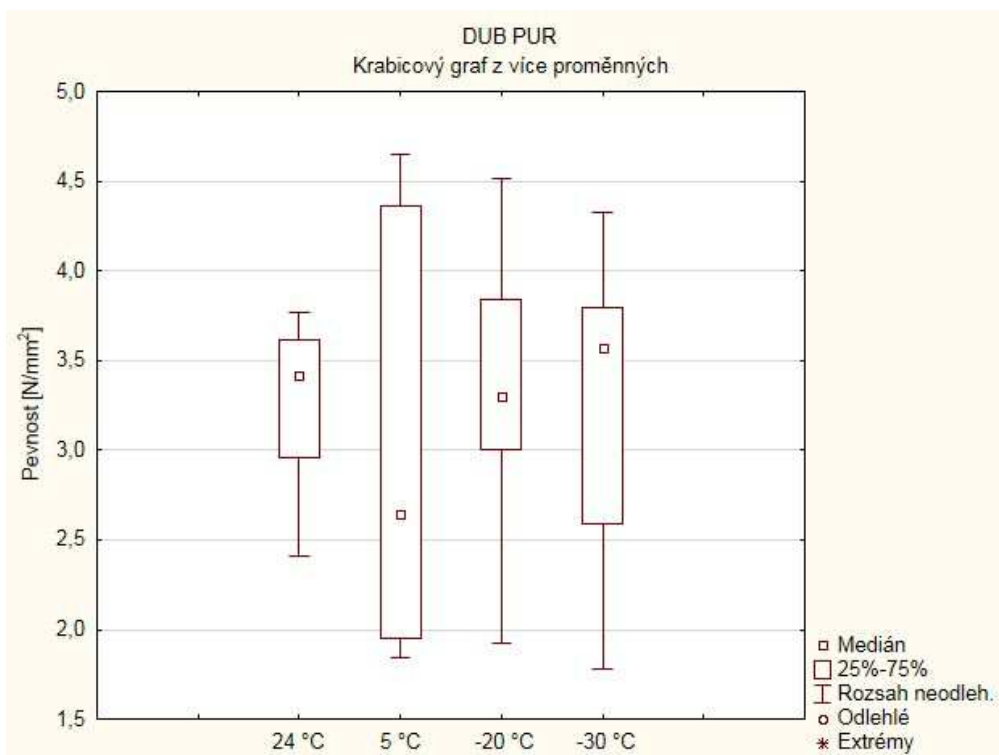
Obr. 26 – Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 30 °C (galerie autora)



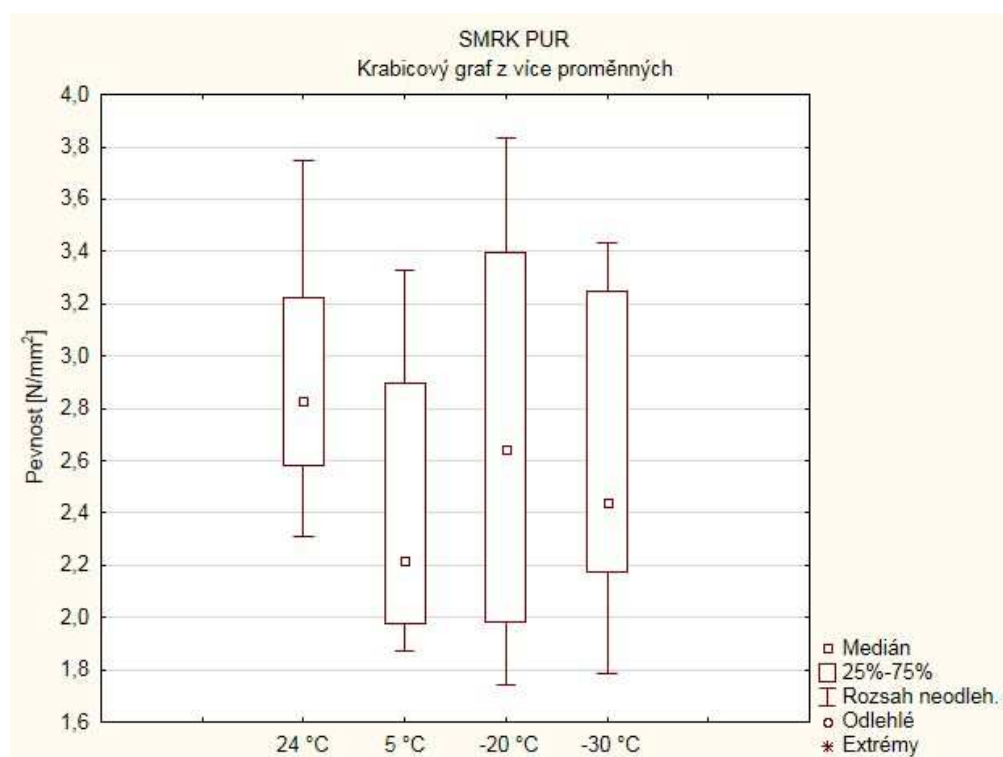
Obr. 27 – Krabicových graf pro pevnost lepeného spoje dubu a MUF lepidla



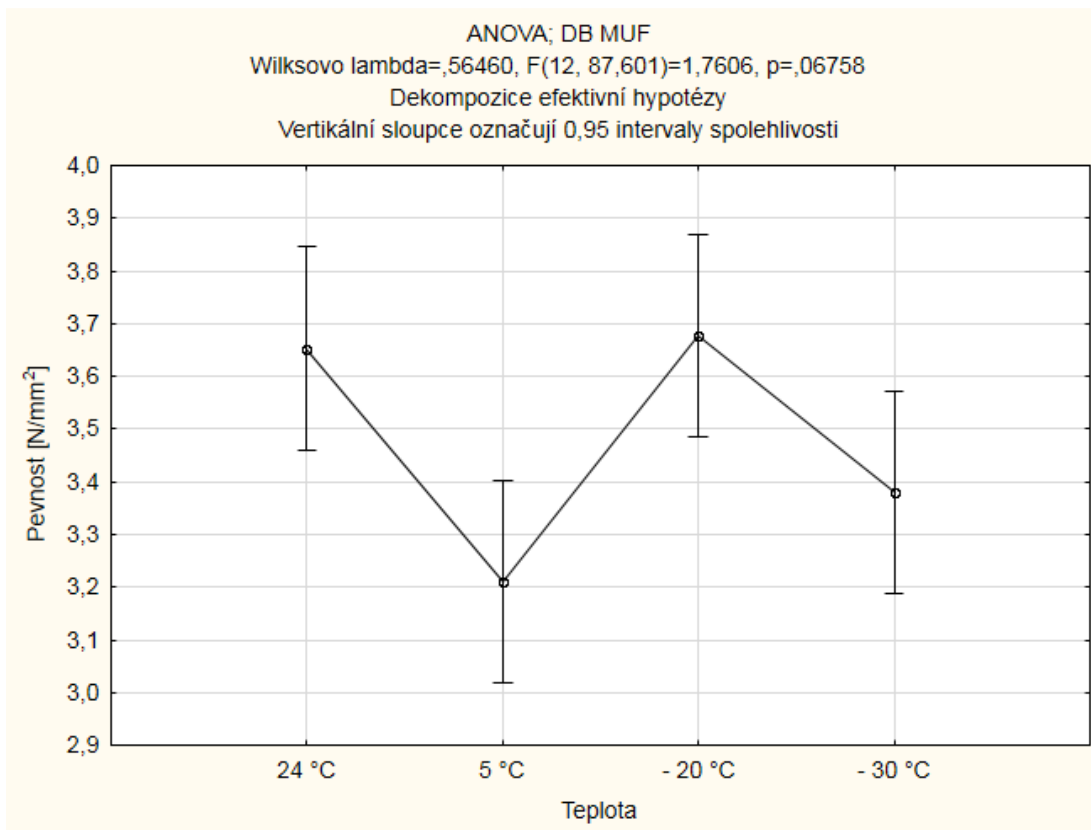
Obr. 28 – Krabicových graf pro pevnost lepeného spoje smrku a MUF lepidla



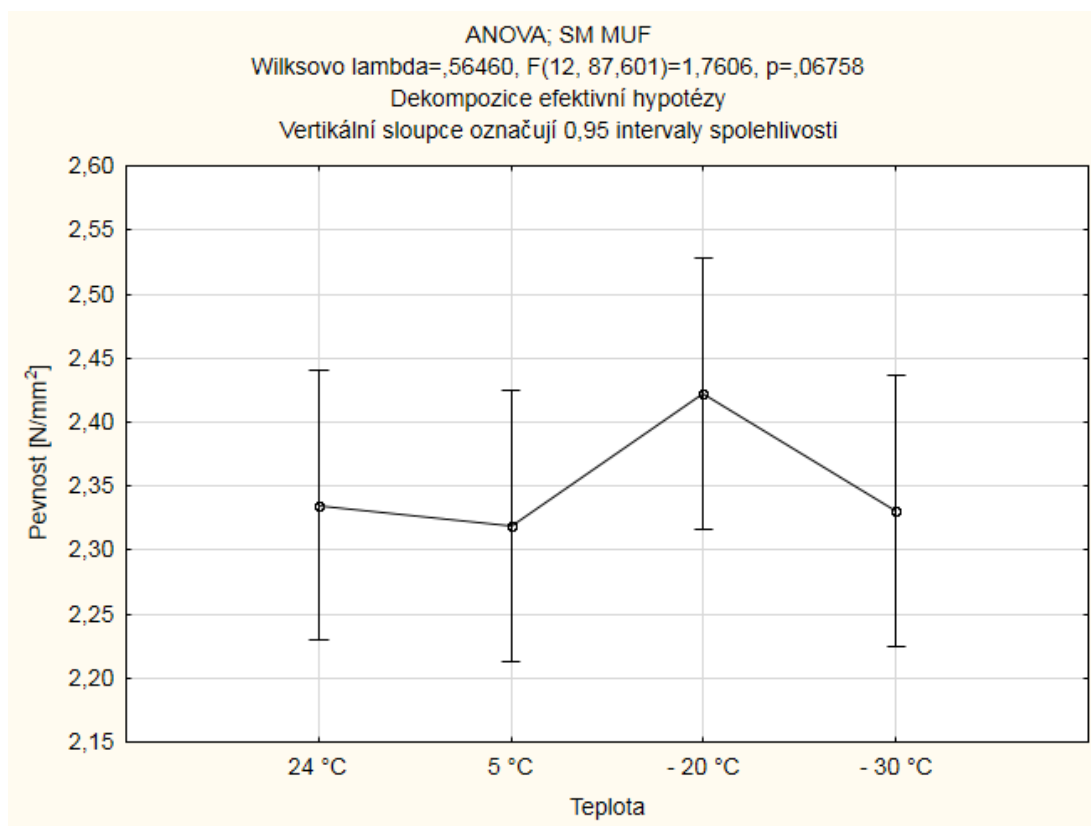
Obr. 29 – Krabicových graf pro pevnost lepeného spoje dubu a PUR lepidla



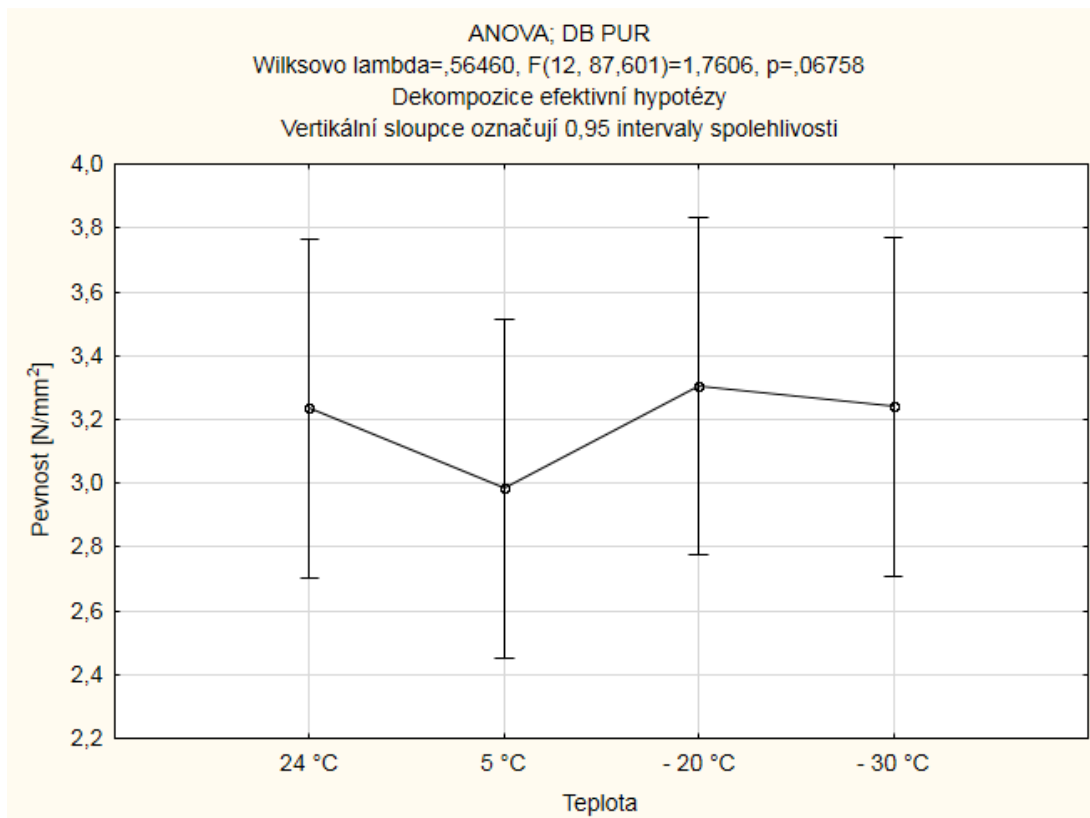
Obr. 30 – Krabicových graf pro pevnost lepeného spoje smrku a PUR lepidla



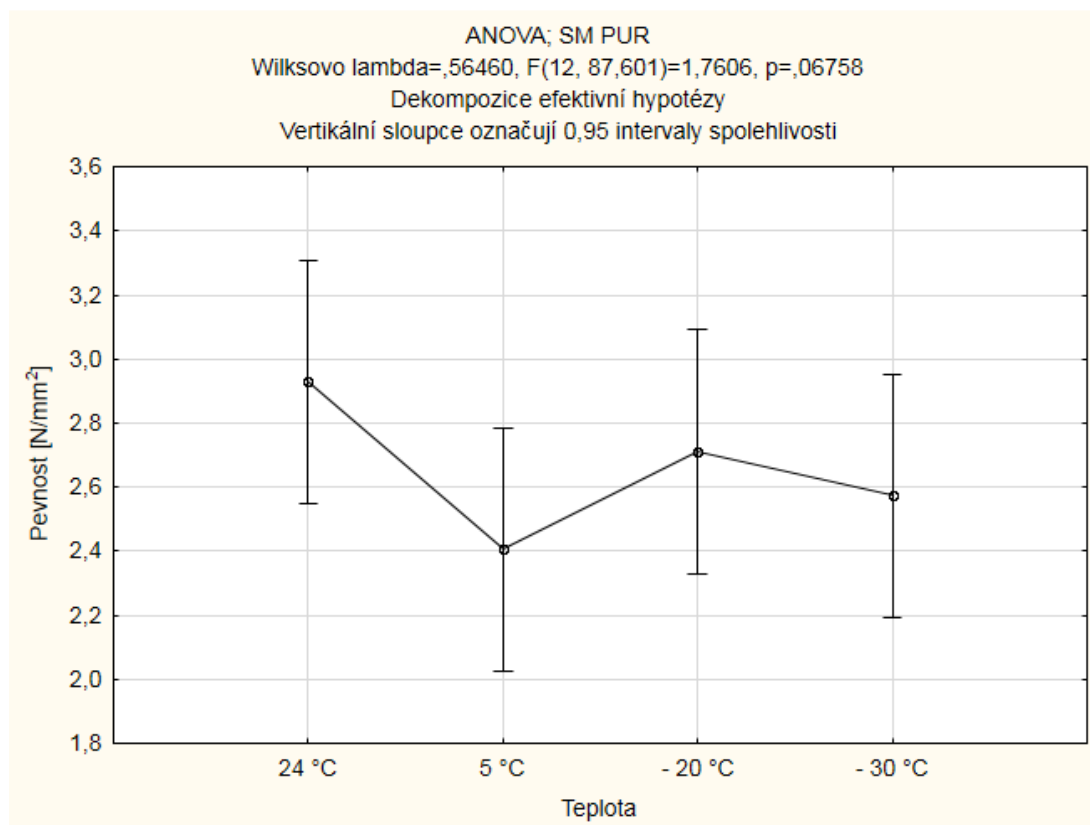
Obr. 31 – Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost dubu lepeného MUF



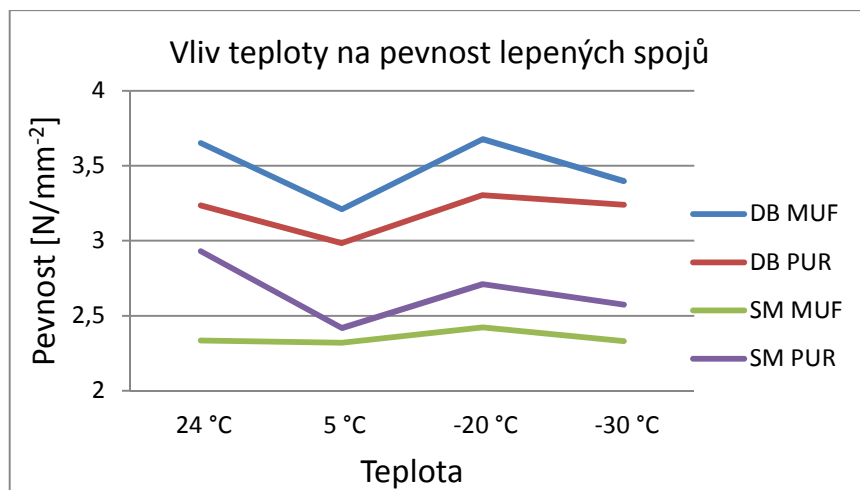
Obr. 32 – Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost smrku lepeného MUF



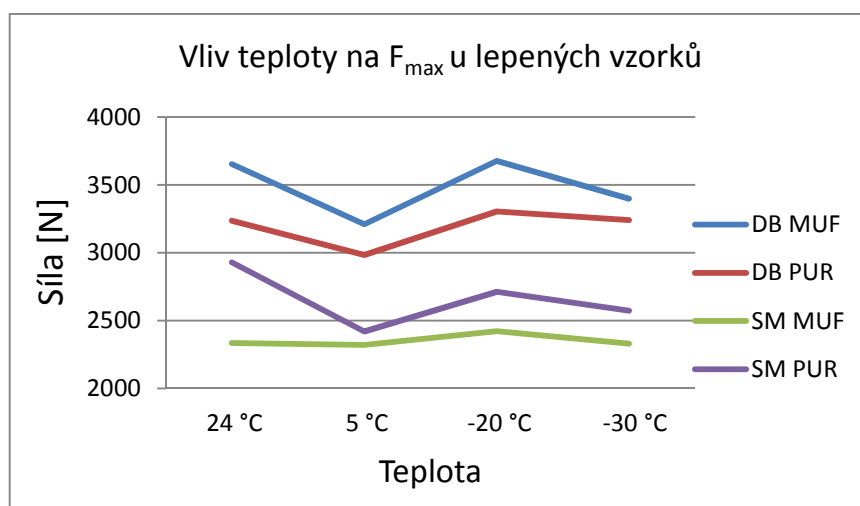
Obr. 33 – Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost dubu lepeného PUR



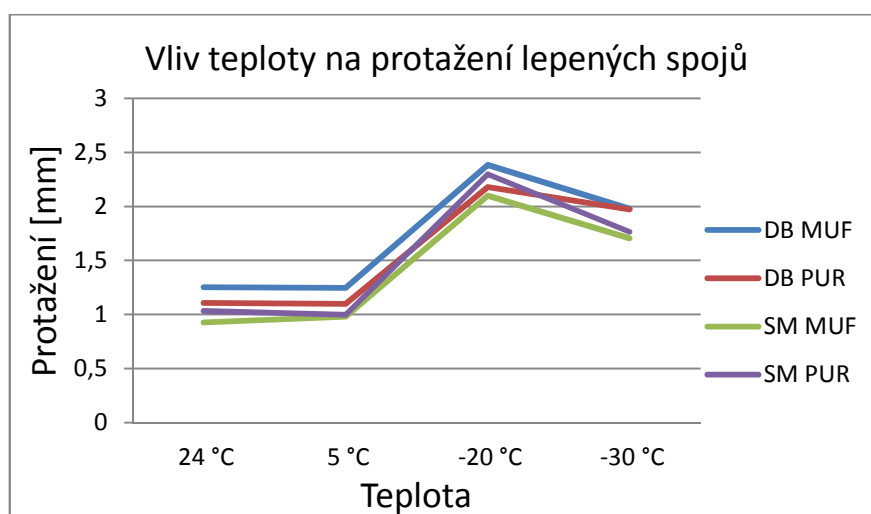
Obr. 34 – Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost smrku lepeného PUR



Obr. 35 – Závislost pevnosti lepených spojů na teplotě klimatizace vzorků lepených spojů



Obr. 36 – Závislost síly potřebné k přerušení lepených spojů na teplotě klimatizace vzorků lepených spojů



Obr. 37 – Závislost protažení lepeného spoje na teplotě klimatizace lepených spojů



## 6 DISKUZE

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem lepidla a nízkých teplot na pevnost lepených spojů, které byly vystaveny smykové zkoušce tahem podle ČSN EN 205 při jejich klimatizaci. Vzorky dubu a smrku byly slepeny jednosložkovým polyuretanovým lepidlem (LEAR D4) a směsným močovinomelaminformaldehydovým lepidlem (Kronocol MUP 125) proto, aby došlo k porovnání těchto lepidel a dřevin, jelikož jsou často používána.

Porovnávacím faktorem u těchto dvou lepidel je vliv nízkých teplot, zejména z toho důvodu, jakým způsobem ovlivňují pevnost lepených spojů. Dosažené výsledky měření pevnosti lepených spojů je zapotřebí porovnat s pevností lepených spojů za pokojové teploty.

Z výsledků laboratorního měření vyplývá, že při normální pokojové teplotě (24 °C) dosahovaly největší pevnosti vzorky dubu lepené MUF lepidlem (průměrná hodnota 3,6526 N.mm<sup>-2</sup>) a PUR lepidlem (průměrná hodnota 3,2357 N.mm<sup>-2</sup>), (tab. 2, str. 39). Naopak u vzorků smrku vykazovalo větší pevnost lepidlo PUR (průměrná hodnota 2,3351 N.mm<sup>-2</sup>) oproti lepidlu MUF (průměrná hodnota 2,9253 N. mm<sup>-2</sup>), (tab. 2, str. 39). Celkově však měly vzorky smrku o 23 % nižší pevnost než vzorky dubu. Při snížené teplotě (konkrétně při 5 °C) docházelo u vzorků dubu lepeného MUF a PUR lepidlem a smrku lepeného PUR lepidlem k výraznému snižování pevnosti a to až o 12,5 %, výjimku tvoří vzorky smrku lepeného MUF lepidlem, kde se pevnost prakticky nezměnila (snížení pevnosti pouze o 0,68 %), (obr. 35, str. 48). Důvodem, proč docházelo při teplotě 5 °C k tak výraznému poklesu pevnosti, bylo to, že voda obsažená ve dřevě a lepidle, má při této teplotě největší hustotu a její objem se snižuje (známe též jako „anomálie vody“). Proto dochází ke smršťování lepidla v lepené spáře a k úbytku pevnostních vazeb v lepeném spoji.

U vzorků, které byly vystaveny nízké teplotě (-20 °C) naopak docházelo k opačnému jevu a to ke zvyšování pevnosti lepených spojů (oproti pevnostem při 5 °C). Příčinou bylo to, že obsah vody ve dřevě a lepidle byl minimální a nedocházelo tak k jejímu smršťování a snižování pevnostních vazeb. Tento trend platil u všech vzorků, avšak největší zratelná změna pevnosti byla u vzorků dubu lepeného MUF lepidlem, kde se pevnost lepeného spoje zvýšila o 14,57 % při snížení teploty z 5 °C na -20 °C (průměrná hodnota 3,6772 N. mm<sup>-2</sup>), (tab. 2, str. 39). Pevnost lepeného spoje

byla dokonce při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  vyšší, než při pokojové teplotě ( $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ale pouze o 0,67 % (obr. 35, str. 48).

Vzorky dubu lepené PUR lepidlem vykazovaly při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o 10,75 % vyšší pevnost než při teplotě  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a zároveň měly při této teplotě vyšší hodnoty pevnosti než při pokojové teplotě ( $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a to o 2,08 %. U vzorků smrku měly výraznější změnu pevnosti vzorky lepené PUR lepidlem, kde se pevnost při snížení z  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  zvýšila o 12,1 %. Naproti tomu, nejmenší rozdíl ve změně pevnosti při snížení teploty z  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  měly vzorky smrku lepené MUF lepidlem, kde se pevnost spoje zvýšila jen o 4,44 %. Celkově vykazovaly při této teplotě vzorky dubu lepeného MUF o 34,13 % větší pevnost než vzorky smrku lepeného MUF a vzorky dubu lepeného PUR měly pevnost o 18 % větší než vzorky smrku lepeného PUR (obr. 35, str. 48), což je dáno hustotou dřeva. Hustota smrku je  $\rho_0\ 420\ \text{kg}\cdot\text{m}^3$ ,  $\rho_{12}\ 450\ \text{kg}\cdot\text{m}^3$  a hustota dubu  $\rho_0\ 680\ \text{kg}\cdot\text{m}^3$ ,  $\rho_{12}\ 725\ \text{kg}\cdot\text{m}^3$ .

Při snižování teploty na  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , docházelo k opětovnému snižování pevnosti. Tento trend platil opět u všech vzorků. U vzorků dubu lepeného MUF lepidlem se pevnost spojů snížila o 7,61 % (v porovnání se vzorky při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a u vzorků lepených PUR lepidlem o 1,94 %. U smrkových vzorků lepených MUF lepidlem měly lepené spoje o 3,8 % menší pevnost než při  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a u vzorků lepených PUR lepidlem měly lepené spoje menší pevnost o 5,08 % (obr. 35, str. 48).

Celkově měly vzorky dubu lepeného MUF a PUR lepidlem a vzorky smrku lepeného PUR lepidlem výrazné změny pevnosti v závislosti na změně teploty prostředí, což vyplývá i ze statického vyhodnocení (obr. 27 až 34, str. 44 až 47). Naopak u vzorků smrku lepeného MUF lepidlem nebyly změny pevností tak výrazné. Z laboratorních výsledků dále vyplývá, že nejlepších výsledků pevnosti při změně teplot dosahují vzorky dubu lepeného MUF lepidlem a nejhorších výsledky pevnosti mají vzorky smrku lepeného MUF lepidlem. Všechny tyto výsledky můžeme sledovat na obr. 35 – závislost pevnosti lepených spojů na teplotě klimatizace na str. 48.

Délkové protažení při maximálním zatížení bylo také jednou ze sledovaných veličin. Hodnoty všech vzorků při změně teploty jsou téměř stejné a to bez výraznějších změn či výkyvů. Při změně teploty z  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se hodnoty délkového protažení téměř neměnily (průměrná hodnota 1,08 mm). Ke změně hodnot docházelo při snižování teploty na  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kde se délkové protažení u všech vzorků razantně zvýšilo a to až o 50 %.

Důvodem, je podobně jako u pevností při této teplotě malý obsah vody ve dřevě a lepidle a zvýšení pevnostních vazeb mezi dřevem a lepidlem. Při snížení teploty na -30 °C došlo u všech vzorků k poklesu pevnosti přibližně o 18 % (obr. 37, str. 48)

K porušení dřevěných vzorků docházelo nejčastěji buď ve dřevě, nebo přímo v lepeném spoji. Teplota neměla na způsob poškození vliv. U dubových a smrkových vzorků lepených MUF docházelo k porušení nejčastěji ve dřevě (73 % vzorků). Je to způsobeno tím, že adheze a koheze lepidla je větší, než pevnost lepeného materiálu (viz obr. 19, 20, 21, 22 na str. 40 a 41). Dále docházelo k porušení na hranici dřeva a lepeného spoje (25 % vzorků). To mohlo být způsobeno vyšší vlhkostí vzorků, nedostatečným nánosem lepidla nebo menší pevností lepeného materiálu. U zbylých 2 % vzorků došlo k porušení mimo lepený spoj. Důvodem je pravděpodobně vyšší pevnost těchto určitých zkoušených vzorků lepených spojů než pevnost dřeva. U smrkových a dubových vzorků lepených PUR lepidlem docházelo k porušení především v lepené spáře (67 % vzorků). V tomto případě je to způsobeno tím, že adheze a pevnost lepidla je větší než koheze (viz obr. 23, 24, 25, 26 na str. 42 a 43). U zbylých 31 % vzorků došlo k porušení na hranici lepeného spoje a materiálu a ve 2 % byly vzorky porušeny mimo lepenou spáru.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit a stanovit, jaký vliv mají nízké teploty na pevnost lepených spojů v závislosti za použití různých lepidel a druhů dřev.

Z laboratorních výsledků vyplývá, že nízké teploty pevnost lepených spojů ovlivňují a že se pevnost lepených spojů v důsledku toho značně mění. Nejlepších výsledků pevností v závislosti na změně teploty dosahovaly vzorky dubu, které byly lepeny močovinomelaminformaldehydovým lepidlem. Naopak při lepení smrkových vzorků tímto lepidlem, byly výsledky pevností nejnižší. Při použití polyuretanového lepidla měly lepší výsledky pevnosti vzorky dubu oproti vzorkům smrkovým. Při změně teploty docházelo k výrazným změnám pevností u jednotlivých vzorků. U všech vzorků docházelo ke snížení pevnosti, pokud teplota prostředí klesla k 5 °C, avšak při dalším snižování teploty na -20 °C pevnost opět rostla a byla srovnatelná s pevnostmi při pokojové teplotě (24 °C). Pouze u vzorků smrku lepeného močovinomelaminformaldehydovým lepidlem nedocházelo k tak výrazným změnám jako u ostatních lepených vzorků.

Ze zjištěných výsledků je tedy patrné, že pro lepení dubu, či jiných, tvrdých, pórovitých dřev, které budou vystaveny nízkým teplotám, je tedy vhodnější použít močovinomelaminformaldehydové lepidlo než zkoušený typ polyuretanového lepidla. Pokud nejsou kladeny zvýšené nároky na pevnost, je možné využít i polyuretanová lepidla, která bývají někdy levnější variantou oproti MUF lepidlům (záleží však na typu zkoušeného lepidla) a vytvrzují v širokém rozmezí teplot, včetně nízkých teplot kolem 0 °C. Pro lepení smrku, či jiných měkkých dřevin, které budou vystaveny nízkým teplotám, je vhodnější použít polyuretanová lepidla, jelikož dosahovaly větších pevností lepených spojů při změně teploty, než lepidla močovinomelaminformaldehydová.

## 8 SUMMARY

The purpose of this work was to investigate and determine how the air conditioning influence the bond strength in depending on the adhesive used and wood species. Bonded joints were measured and determined shear test of tensile according ČSN EN 205 at different temperatures of surroundings and it at 24 °C, 5 °C, -20 °C and -30 °C. For bonding oak and spruce samples were used one-component polyurethane adhesive and mixed urea melamine formaldehyde adhesive. The laboratory results show that low temperatures affect the strength of bonded joints. The best results strength depends on the change temperatures reached samples which were bonded urea melamine formaldehyde adhesive. Conversely, when glued spruce samples this adhesive, the results of strength were lowest. When using polyurethane adhesive, the samples of oak had better results of strength than spruce samples. For all samples occurred to decrease of strength, if the ambient temperature has dropped to 5 °C, but in further reducing the temperature to -20 °C, the strength was growing again and was comparable with strength at room temperature (24 °C). Only samples of spruce glued urea melamine formaldehyde adhesive haven't such significant changes as for other bonded samples.

From the obtained results it is evident that for bonding oak and other hard, porous wood, that will be exposed to cold temperatures it is preferable to use the urea melamine formaldehyde adhesives. If they aren't increased demands for strength, it is possible to use polyurethane adhesives, which are usually cheaper alternative compared to urea melamine formaldehyde adhesives and cured in wide range of temperatures, including the low temperatures of around 0 °C. For bonding spruce or other softwoods, that will be exposed to cold temperatures it is preferable to use polyurethane adhesives, because they reached bigger strength adhesive joints when the urea melamine formaldehyde adhesives.

## 9 POUŽITÁ LITERATURA

1. BOUBLÍK, V., 1966. *Lepidla a jejich příprava*. II. vydání. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 192 s., ISBN: 04-952-66.
2. DRÁPELA, J., 1980. *Výroba nábytku: Technologie*. I. vydání. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 484 s.
3. EISNER, K., BERGER, V., 1958. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 196 s.
4. GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ, J., 2009. *Nauka o dřevě*. III. nezměněné vydání. Brno: Mendelova univerzita, 176 s., ISBN: 978-80-7375-312-2
5. KALČÍKOVÁ, G., 2009. *Posouzení vlivu monomerů formaldehydových pryskyřic na životní prostředí*. Diplomová práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. 90 s.
6. LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIČIK, M., 1989. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. I. vydání. Bratislava, Alfa, 519 s., ISBN: 80-05-00116-9.
7. MUZIKÁŘ, Z., 2008. *Materiály II: pro OU truhlář*. I. vydání. Praha, Informatorium, 175 s., ISBN: 978-80-7333-061-3.
8. OSTEN, M., 1996. *Práce s lepidly a tmely*. III. vydání. Praha, Grada Publishing, 129 s., ISBN: 80-17169-338-3.
9. ROWELL, Rogger M., 2005. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 487 s., ISBN 0-8493-1588-3.
10. ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 2008. *Stavba dřeva*. II. nezměněné vydání. Brno: Mendelova univerzita, 129 s., ISBN: 978-80-7375-168-5
11. TESAŘOVÁ, D., a kol., 2014. *Povrchové úpravy dřeva*. I. vydání. Praha, Grada, 134 s., ISBN: 978-80-247-4715-6
12. TRHOŇ, V., 2011. *Vliv povrchu na pevnost lepeného spoje*. Diplomová práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 100 s.

## **NORMY A TECHNICKÉ LISTY**

13. ČSN EN 204 (66 8503) Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace. 2001. 8 s.

14. ČSN EN 205 (66 8508) Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání. 2003. 16 s.

15. ČSN EN 12765 (66 8523) Klasifikace reaktoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace. 2001. 8 s.

16. Technické listy lepidla Kronocol MUP 125

## **INTERNETOVÉ ZDROJE**

17. [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)

18. <http://www.lear.cz/lepidla-vyroba/na-drevo-a-nabytek/lepidla-polyuretanova/lear-na-drevo-d4/>

19. <http://www.polymertest.cz/cz/gumarenske-laboratore.php>

## 10 SEZNAM ZKRATEK

MUF	- močovinomelaminformaldehydové lepidlo
PUR	- polyuretanové lepidlo
SM	- smrk
DB	- dub
ČSN	- česká technická norma
EN	- evropská norma
OSB	- deska s orientovanými třískami
PVAC	- polyvinylacetát
PVC	- polyvinylchlorid
$\text{N/mm}^{-2}$	- Newton na milimetr čtverečný
MFT	- minimální filmotvorná teplota
mN.m	- milinewton na metr
MPa	- megapascal
$F_{\max}$	- maximální síla potřebná k porušení vzorku [N]



## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Třídy trvanlivosti lepidel .....	26
Tab. 2:	Průměrné naměřené hodnoty u dřeva dubu a smrku, lepených PUR a MUF lepidlem a vystavených smykové zkoušce tahem při teplotách 24 °C, 5 °C, -20 °C, -30 °C.....	40

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Mechanická a chemická vazba lepidla s povrchem .....	10
Obr. 2:	Znázornění Van der Waalsových sil .....	10
Obr. 3:	Schematické znázornění adheze a koheze .....	11
Obr. 4:	Úhel smáčení pro kapaliny .....	12
Obr. 5:	Znečištění lepený povrch .....	15
Obr. 6:	Způsoby namáhání lepených spojů .....	19
Obr. 7:	Přehled konstrukčních možností lepených spojů .....	20
Obr. 8:	Tvorba filmu vodou ředitelných disperzních lepidel .....	23
Obr. 9:	Chemický vzorec reakce při přípravě polyuretanů .....	29
Obr. 10:	Schéma močovinoformaldehydové pryskyřice .....	30
Obr. 11:	Schéma melaminformaldehydové pryskyřice .....	30
Obr. 12:	Zkušební těleso .....	34
Obr. 13:	Hydraulický lis .....	35
Obr. 14:	Trhací zařízení INSTRON s klimatizační komorou a lahví s kapalným dusíkem .....	35
Obr. 15:	Čelisti trhacího stroje .....	37
Obr. 16:	Klimatizační komora .....	37
Obr. 17:	Klimatizační komora při teplotě – 30 °C .....	38
Obr. 18:	Pohled do klimatizační komory při teplotě – 30 °C .....	38
Obr. 19:	Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 24 °C .....	40
Obr. 20:	Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 5 °C .....	40
Obr. 21:	Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 20 °C .....	41
Obr. 22:	Porušení vzorků dubu a smrku, lepených MUF lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 30 °C .....	41

Obr. 23: Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 24 °C .....	42
Obr. 24: Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě 5 °C .....	42
Obr. 25: Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 20 °C .....	43
Obr. 26: Porušení vzorků dubu a smrku, lepených PUR lepidlem a vystaveným smykové zkoušce tahem při teplotě - 30 °C .....	43
Obr. 27: Krabicových graf pro vzorky dubu lepených MUF lepidlem .....	44
Obr. 28: Krabicových graf pro vzorky smrku lepených MUF lepidlem .....	44
Obr. 29: Krabicových graf pro vzorky dubu lepených PUR lepidlem .....	45
Obr. 30: Krabicových graf pro vzorky smrku lepených PUR lepidlem .....	45
Obr. 31: Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost dubu lepeného MUF .....	46
Obr. 32: Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost smrku lepeného MUF .....	46
Obr. 33: Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost dubu lepeného PUR .....	47
Obr. 34: Výsledek statistického testu ANOVA – pevnost smrku lepeného PUR .....	47
Obr. 35: Závislost pevnosti lepených spojů na teplotě klimatizace vzorků lepených spojů .....	48
Obr. 36: Závislost síly potřebné k přerušení lepených spojů na teplotě klimatizace vzorků lepených spojů .....	48
Obr. 37: Závislost protažení lepeného spoje na teplotě klimatizace lepených spojů .....	48