

**Česká Zemědělská Univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Posouzení kvality PUR lepidla pro nosné dřevěné konstrukce  
metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém  
namáhání**

Diplomová práce

Autor: Bc. Tomáš Kytka

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Kytka

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Posouzení kvality PUR lepidla pro nosné dřevěné konstrukce metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání**

Název anglicky

**Quality assessment of PUR adhesive for load bearing timber structures by the method of determining longitudinal shear strength at tensile stress**

---

### Cíle práce

Cílem práce je posouzení kvality polyuretanových lepidel pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí. Pro posouzení je použita zkušební metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. Požadavkem společnosti MATRIX a.s. je charakterizovat vhodnost použití vybraných polyuretanových lepidel pro lepení nosných dřevěných konstrukcí.

### Metodika

1. Literární rešerše teorie lepení a aktuálního stavu lepení dřeva
2. Stanovení metodologického postupu testování
3. Příprava zkušebních těles
4. Realizace pevnostních zkoušek
5. Statistické zpracování dat a vyhodnocení výsledků
6. Závěr

**Doporučený rozsah práce**

60 – 70

**Klíčová slova**

Adhesivum, dřevo, polyuretan, pevnost v tahu

**Doporučené zdroje informací**

- Adams, R.D., Comyn, J., Wake, W.C. Structural Adhesive Joints in Engineering. Heidelberg: Springer Verlag, Germany, 1997. 360. ISBN 978-0-412-70920-3 Frihart, Ch.R. (2015). Wood Adhesives: Past, Present, and Future, Forest Products Journal 65(1/2), pp. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.13073/65.1-2.4>
- Liptáková, E., and Sedliačik, M. Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. Bratislava: ALFA, Vydavateľstvo Technickej a Ekonomickej Literatúry, 1989. ISBN 80-05-00116-9
- Mittal, K.L. Progress in Adhesion and Adhesives. Miami: Wiley-Scrivener Publishing, 485. 2018. ISBN 978-1-11952637-7
- Osten, M. Práce s lepidly a tmely. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986. ISBN 04-330-75
- Petrie, E.M. Handbook of Adhesives and Sealants, 2nd Edition. New York: McGraw-Hill Companies, 2007. 800. ISBN-10: 978-0-07147916-5
- Pizzi, A., Mittal, K.L. Handbook of Adhesive Technology, 3rd Edition. New York: Taylor and Francis Group, 2018. 644. ISBN: 978-1-4987-3644-2
- Rowel, R.M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Washington: CRC Press. 2005. 703. ISBN 0-8493-1588-3
- Ülker, O. Wood Adhesives and Bonding Theory, Adhesives – Applications and Properties, 2016. 288. DOI: 10.5772/65759
- Zhao, L. F., Liu, Y., Xu, Z. D., Zhang, Y. Z., Zhao, F., and Zhang, S. B. (2011). State of research and trends in development of wood adhesives, Forestry Studies in China 13(4), pp. 321–326. DOI: 10.1007/s11632-013-0401-9

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2019

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Posouzení kvality PUR lepidla pro nosné dřevěné konstrukce metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 18.4.2019

Podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práci, Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za pomoc, odborné rady a cenné informace při vedení mé práce.

Dále bych rád poděkoval přátelům a kolektivu LZB FLD ČZU. Velký dík patří také mé rodině za jejich podporu.

## **Abstrakt**

Cílem práce je posouzení kvality vybraných polyuretanových lepidel pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí. Pro posouzení kvality pevnosti lepeného spoje byla použita zkušební metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. Výsledkem práce je charakteristika a posouzení vhodnosti použití vybraných polyuretanových lepidel pro lepení nosných dřevěných konstrukcí.

## **Klíčová slova**

Adhesivum, dřevo, polyuretan, pevnost v tahu

## **Abstract**

The main aim of this work is to assess the quality of selected polyurethane adhesives for the application of load-bearing timber structures. A shear strength test method was used to assess the strength of the bonded joint. The result of the work is the characteristics and assessment of the suitability of the use of selected polyurethane adhesives for gluing the load-bearing timber structures.

## **Key words**

Adhesive, wood, polyurethane, tensile strength



## Obsah

1. Úvod.....	16
2. Cíle práce .....	17
3. Literární rešerše .....	18
3.1. Teorie lepení dřeva.....	18
3.1.1. Adheze.....	18
3.1.2. Koheze.....	20
3.1.3. Smáčivost.....	21
3.1.4. Polarita .....	21
3.1.5. Reologie lepidel .....	22
3.2. Podmínky ovlivňující lepení .....	23
3.2.1. Podmínky vztažené k lepenému materiálu.....	23
3.2.2. Podmínky vztažené k lepidlu .....	25
3.2.3. Technologické podmínky lepení .....	26
3.2.4. Odolnost vůči vodě a povětrnosti .....	27
3.3. Lepené spoje.....	27
3.3.1. Mechanické vlastnosti .....	27
3.3.2. Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje .....	28
3.3.3. Typy lepených spojů .....	29
3.3.4. Struktura lepeného spoje .....	29
3.3.5. Charakteristika lepených spojů.....	30
3.4. Podstata lepení.....	31
3.4.1. Složky lepících směsí.....	33
3.4.2. Použití lepidel.....	35
3.4.3. Nanášení lepidel .....	36
3.4.4. Výhody lepení.....	37
3.4.5. Nevýhody lepení.....	37



<b>3.5.</b>	<b>Rozdělení lepidel.....</b>	<b>38</b>
3.5.1.	Rozdělení podle účelu .....	38
3.5.2.	Rozdělení podle původu .....	38
3.5.3.	Rozdělení podle fyzikálních stavů .....	39
3.5.4.	Rozdělení podle způsobu dosažení pevnosti spoje .....	40
3.5.5.	Rozdělení podle teploty při zpracování .....	40
3.5.6.	Rozdělení podle chemické reakce lepidla .....	41
3.5.7.	Rozdělení lepidel podle charakteru po vytvrdnutí .....	41
3.5.8.	Rozdělení podle vodovzdornosti.....	41
<b>3.6.</b>	<b>Syntetická lepidla .....</b>	<b>41</b>
3.6.1.	Polyuretanová lepidla.....	41
<b>3.7.</b>	<b>Vlastnosti dřeva .....</b>	<b>43</b>
3.7.1.	Vlhkost dřeva .....	43
3.7.1.1.	Metody měření vlhkosti.....	43
3.7.2.	Mechanické vlastnosti dřeva.....	43
3.7.2.1.	Mechanické namáhání.....	44
3.7.2.2.	Napětí a deformace .....	44
3.7.2.3.	Pevnost dřeva.....	44
3.7.2.4.	Pevnost dřeva v tahu a ve smyku.....	44
3.7.2.5.	Faktory ovlivňující pevnost dřeva .....	45
<b>3.8.</b>	<b>Typy zkoušek pro stanovení pevnosti lepeného spoje .....</b>	<b>46</b>
<b>3.9.</b>	<b>Specifikace použitých dřevin .....</b>	<b>48</b>
3.9.1.	Dub.....	48
3.9.2.	Buk .....	49
<b>4.</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>50</b>
4.1.	Výběr adhesiv .....	50
4.2.	Metodologický postup zkoušek .....	51

<b>4.3.</b>	<b>Výroba a příprava zkušebních těles .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.</b>	<b>Průběh zkoušky .....</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>Výsledky a statistické vyhodnocení .....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>Seznam literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>71</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>76</b>
<b>10.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>77</b>

## **Seznam tabulek a obrázků**

### **Tabulky:**

Tabulka č. 1 Úprava vzorků dle ČSN EN 302-1 .....	46
Tabulka č. 2 Rozdělení do servisních tříd dle ČSN EN 302-1 .....	47
Tabulka č. 3 Skupiny pro smykovou pevnost tahem ČSN EN 302-1 .....	47
Tabulka č. 4 Charakteristika vlastností testovaných adhesiv .....	51
Tabulka č. 5 Doba expozice a typ prostředí pro testování zkušebních tělísek .....	57
Tabulka č. 6 Stanovení počtu zkoušek a zkušebních tělísek .....	58
Tabulka č. 7 Rozdělení pomocí kódování .....	60
Tabulka č. 8 Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje buku .....	62
Tabulka č. 9 Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje dubu .....	62
Tabulka č. 10 Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku korelační analýzou .....	67
Tabulka č. 11 Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje dubu korelační analýzou .....	67
Tabulka č. 12 Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku a dubu korelační analýzou .....	68

### **Obrázky:**

Obrázek č. 1 Adheze a koheze .....	20
Obrázek č. 2 Deformace jednostranně přeplátovaných spojů v důsledku působení sil a rozložení napětí po délce přeplátování .....	28
Obrázek č. 3 Struktura lepeného spoje .....	29
Obrázek č. 4 Tvorba filmu disperzních ředidel .....	33
Obrázek č. 5 Dub .....	48
Obrázek č. 6 Buk .....	49
Obrázek č. 7 Zkušební tělesa podle ČSN EN 302-1 .....	52
Obrázek č. 8 Panely a lamely z dubu a buku .....	53
Obrázek č. 9 Klimatizační komora Memmert HPP 750 .....	54
Obrázek č. 10 Přípravky pro lisování .....	55
Obrázek č. 11 Splená a vytvrzená zkušební tělesa .....	56
Obrázek č. 12 Máčení a vaření těles před zatížením závažím .....	56

Obrázek č. 13. Kondiciovaná zkušební tělíska .....	57
Obrázek č. 14. Zkušební stroj a čelisti s nastavitelnými držáky .....	59
Obrázek č. 15 Graf č. 1 Pevnost ve smyku lepeného spoje buku .....	63
Obrázek č. 16 Graf č. 2 Pevnost ve smyku lepeného spoje dubu .....	65
Obrázek č. 17 Graf č. 3 Pevnost ve smyku lepeného spoje buku a dubu.....	66
Obrázek č. 18 Výsledky smykových pevností druhého měření .....	69

### **Seznam použitých zkratk a symbolů**

PVAC	polyvinylacetátové lepidlo
UF	močovinoformaldehydová lepidlo
MFT	Minimální filmotvorná teplota
ČSN EN	Česká státní norma harmonizovaná s evropskými normami
PUR	Polyuretan
OSB	Deska s orientovanými třískami
PF	Fenolformaldehydové lepidlo
MF	Melaminformaldehydové lepidlo
PVC	Polyvinylchlorid
TDI	Toluen-diisokyanát
MDI	Difenylmethan – diisokyanát
$\sigma$	Normálové napětí
$\tau$	Tangenciální napětí
$\varepsilon$	Normálová deformace
$\gamma$	Tangenciální deformace
$\sigma_p$	Mez pevnosti
$F_{max}$	Nejvyšší vyvinutá síla

## **1. Úvod**

Lepení je proces, jenž zná lidstvo již poměrně dlouhou dobu. Od starých Egypťanů, přes rozvoj chemie v období průmyslové revoluce, až do dnešních dní provází lepení člověka po celý život, byť to na první pohled nemusí být patrné.

Vývoj v oblasti lepidel doznal značného pokroku. S novými druhy lepidel přišly i možnosti využití, dříve nemyslitelné. Mezi takové patří i lepení nosných vazníků střeš, stropů, či jiných konstrukcí.

Tato práce vznikla na podnět společnosti MATRIX a.s., která hledá nové možnosti využití listnatých dřevin, především buku a dubu pro výrobu produktů s vyšší přidanou hodnotou v rámci plánované realizace lepeného programu. Se současnou situací v České republice, kdy naše lesy sužují vlny veder, nízké zásoby podzemních vod, či kůrovcové kalamity, již smrkové monokulturní porosty nemohou dlouhodobě odolávat takové zátěži a je pravděpodobné, že se do budoucna změní druhová skladba lesních porostů.

Proto již dnes, s dostatečným předstihem, hledají firmy napříč republikou taková řešení, která jim umožní pozvolný přechod od produkce postavené výlučně na smrku, do takové produkce, kde již bude skladba používaných dřevin jiná.

## **2. Cíle práce**

Cílem práce je posouzení kvality a klasifikace polyuretanových lepidel pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí na bázi buku a dubu. Pro klasifikaci adhesiv je použita zkušební metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání dle ČSN EN 302-1. Požadavkem společnosti MATRIX a.s. je charakterizovat vhodnost použití vybraných polyuretanových lepidel pro plánovaný lepený program.

### **3. Literární rešerše**

V této kapitole jsou rozebrány poznatky získané studiem literatury a jiných zdrojů.

#### **3.1. Teorie lepení dřeva**

Existuje teoretické tvrzení, že dostatečným přiblížením materiálů na molekulární vzdálenost, nebylo by potřeba spojování materiálů pomocí různých technologií, ale materiály by se spojily samy pomocí vzájemné přitažlivosti. V praxi však nelze z mnoha příčin toto tvrzení užít (Osten, 1986).

Mezi povrchy kapalné a pevné látky je lepší přilnavost než mezi dvěma povrchy látek pevných, proto se využívají ke spojování součástí také lepidla (adheziva). Lepidlo je látka umožňující přilnutí povrchů pevných předmětů, čímž je zajištěno jejich trvalé a pevné spojení. Za lepení lze považovat řadu technologických a fyzikálně mechanických procesů, jejichž výsledkem je lepený spoj. Fyzikálně chemické vlastnosti lepidel a lepených materiálů zásadně ovlivňují tyto procesy, přičemž mezi nejvýznamnější patří především adheze, koheze, smáčivost (povrchu lepeného materiálu lepidlem), čistota povrchu, povrchové napětí roztoků a jejich viskozita (Sedliačik, 1992).

##### **3.1.1. Adheze**

Adheze znamená přilnavost lepidla k povrchu lepených materiálů, přičemž platí, že pokud není lepidlo schopno přilnout dostatečně pevně k adherentu, spoj není pevný a může docházet k rozlepení lepeného spoje na rozhraní lepidlo – lepený materiál. V takovém případě je koheze (vnitřní soudržnost lepidla) a pevnost materiálu větší, než přilnavost (adheze). Princip, jakým vznikají adhezní síly mezi lepidlem a lepeným povrchem, je všeobecně podložen několika teoretickými modely, avšak jen první dva jsou všeobecně přijímané (Liptáková, Sedliačik, 1989; Vašíček, 2013).

##### **Model mechanické vazby**

Tuto vazbu je možné použít jen při lepení porézních, nebo členitých povrchů. Podstatou je, že lepidlo v kapalném stavu zatéká při lepení do pórů a nerovností povrchu a po vytvrzení se vytvoří pevný zámek mezi lepidlem a lepeným materiálem. Mechanická vazba je důležitá a lze ji uplatnit u materiálů jako

dřevo, keramika, papír, nebo pěnové plasty. Tuto vazbu je možné zanedbat při lepení hladkých, nebo leštěných povrchů (Eisner a kol. 1966).

### **Model chemické vazby**

Chemická vazba se uplatňuje u zcela hladkých, i porézních povrchů. Tato teorie se zakládá na slabých Van der Waalsových elektrických přitažlivých silách mezi molekulami lepidla a lepeným materiálem, nejvíce však na přímém chemickém působení lepidla na lepené povrchy. Materiály, jež mají reaktivní, nebo chemicky upravený povrch tak, aby se mohla uskutečnit chemická reakce mezi povrchem a lepidlem za vzniku kovalentní vazby se lepí zpravidla dobře. Rovněž se dobře lepí povrchy oxidované (např. kovy, či oxidované plasty), nebo povrchy přírodních polymerů (dřevo, celulóza, papír) s volnými chemickými skupinami oxy-, hydroxy-, amino-, karbonyl-, karboxymethyl- a jinými. Lepidlo zvolené pro proces lepení by mělo obsahovat volné skupiny, které jsou schopné reakce s povrchem lepeného materiálu, přičemž mezi vysoce reaktivní skupiny patří zejména skupiny epoxy-, hydroxy-, karboxy-, isokyanáto- a další (Boublík, 1966; Král, Hrázský, 2005).

### **Elektrostatická teorie**

Tato teorie předpokládá, že dotykem dvou rozdílných substancí ve spoji vznikají dvě vrstvy jako kondenzátor, jehož rozdílně nabitě strany se přitahují. Po provedení podrobnějších studií však nebyla prokázána spojitost mezi velikostí elektrostatického náboje a pevností spojení (Vašíček, 2013; Král, Hrázský, 2005).

### **Difúzní teorie**

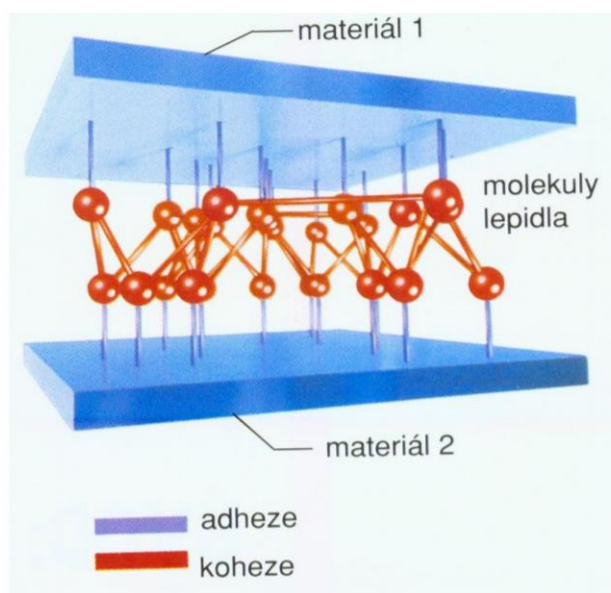
Předpokládá, že pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí materiálů přes rozhraní. Některé látky mohou navzájem difundovat a podmínky difuze (teplota, čas, viskozita, relativní molekulová hmotnost, aj.) ovlivňují pevnost spoje. Tato teorie nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale v praxi se často a úspěšně lepí, např. kov-sklo (Vašíček, 2013; Král, Hrázský, 2005).



### 3.1.2. Koheze

Slovo koheze (soudržnost) pochází z latiny a znamená „spojení“. Koheze představuje vlastní pevnost vrstvy lepidla a všeobecně schopnost jakéhokoli předmětu držet pohromadě v jednom kusu díky působení kohezních sil, které jsou důsledkem iontových, kovalentních či kovových jednoduchých vazeb mezi atomy či dvojných vazeb mezi molekulami a pomocí vzájemného propojení polymerovaných molekul. Pokud je lepený spoj roztržen ve vrstvě lepidla, značí to, že pevnost lepeného materiálu i adheze je větší než koheze. Kohezní pevnost závisí především na charakteru lepidla a na tepelném namáhání lepeného spoje. Koheze lepidla v lepeném spoji musí být v ideálním případě vyšší než koheze lepeného materiálu, takže při zkoušení pevnosti lepeného spoje nesmí dojít k porušení v lepené spáře, ale v lepeném materiálu (Pokorný, 2000; Osten, 1972).

Součet adheze a koheze je lepidlost lepidla. Ta závisí na mnoha okolnostech, především na povrchu lepených materiálů, na jejich povaze, struktuře, pórovitosti, na době klížení, schnutí, na teplotě a vlhkosti, na použitém rozpouštědle apod.



Obrázek č. 1 Adheze a koheze, zdroj: ust.fme.vutbr.cz (25.2.2019)

### **3.1.3. Smáčivost**

Kromě mechanické a chemické vazby je mimořádně důležitá také smáčivost lepeného povrchu kapalným lepidlem. Smáčivost je schopnost kapky lepidla roztéct se po povrchu lepeného materiálu. U kapalin se všeobecně jedná o velikost povrchového napětí dotýkajících se ploch, jež vzniká mezi kapalinou a sousedním pevným tělesem. Velikost povrchového napětí také určuje míru smáčivosti. Smáčivost se měří okrajovým úhlem, který se vytvoří na hranici kapaliny a pevného tělesa. Čím je okrajový úhel menší, tím je smáčivost lepší a naopak. Je-li okrajový úhel větší než  $90^\circ$ , změní se smáčivost na odpudivost. Jednou ze základních podmínek lepidlosti lepidla je dobrá smáčivost, protože pokud se lepidlo není schopno rovnoměrně rozprostřít po lepeném povrchu, žádná adhezní vazba nevznikne (Pánek, 2015; Muzikář, 2008).

Smáčivost také souvisí s polaritou lepeného povrchu a s povrchovým napětím lepidla a povrchu. Jelikož lepidla obsahují spoustu chemických skupin schopných reakce, molekuly lepidla jsou polární – jednostranně elektricky orientovány. Polární povrchy se dobře smáčí a vzniká zde podobná přitažlivost jako mezi jižním a severním pólem dvou magnetů. Mezi polární povrchy lze zařadit například papír, dřevo a jiné deriváty celulózy, přírodní textilie, mírně povrchově oxidované kovy, ale například i sklo a další. Naopak mezi nepolárními povrchy jsou mnohé plasty, vosky a syntetické textilie (Pokorný, 2000; Sedliačik M, Sedliačik J, 1966).

### **3.1.4. Polarita**

Příčinou vzniku tak zvané povrchové energie je polarita povrchu látek, kterou lze vyjádřit jako veličinu povrchové napětí. Čím je povrch nebo kapalina polárnější, tím je vyšší povrchové napětí. Pokud je povrchové napětí kapaliny vyšší než napětí povrchu, kapalina se nerozlije a kapka kapaliny se drží na povrchu ve formě kuličky. Avšak pokud je povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného povrchu, dojde k rozliti kapaliny po povrchu (smočení). Pokud nesmáčí kapalně lepidlo povrch lepených ploch, bude adheze slabá a lepený spoj se rozpadne. Jednotka povrchového napětí se používá mN.m, dříve dyn/cm. Hodnota obou jednotek je shodná (McMurry, 2000).

### **3.1.5. Reologie lepidel**

Reologie je nauka o deformaci a tečení deformovaných těles v čase. Jedná se o vědní obor mechaniky, věnující se zkoumání a modelování vlastností látek a jejich deformací v průběhu času, a to, jakým způsobem je těleso, ať už pevná látka, či kapalina, nebo plyn deformován po vystavení vnějším silám (Rowel, 2005).

U lepidel lze rozlišit tyto fáze reologie:

#### **Reologie před vytvrzením**

V této fázi se lepidlo nanáší snadno, přičemž dokonalé smáčení povrchu zajišťuje nízká viskozita lepidla. Hodnotou viskozity se ovlivňuje koncentrace lepidla, velikost makromolekul lepidla (v přímé závislosti) a teplota (nepřímá závislost). Nežádoucí efekt nastává, pokud lepidlo nadměrně vniká do lepeného povrchu, čímž vzniká tzv. chudý spoj, který nedosahuje požadované pevnosti (Drápela a kol., 1980).

#### **Reologie při vytvrzování**

Tvrdnutí lepidel v lepeném spoji provází nárůst vnitřní soudržnosti molekul lepidla (koheze). V této fázi je důležitá také změna viskozity termoreaktivních lepidel při lepení za zvýšené teploty (Eisner, Berger, 1958).

#### **Reologie po vytvrzení**

Při vytvrzování lepidel dochází k jejich smršťování, což pokračuje i po jejich plném vytvrzení. Z tohoto důvodu mohou křehká lepidla popraskat v lepené spáře, čímž se sníží pevnost lepeného spoje. Obzvláště náchylná k popraskání jsou močovinoformaldehydová lepidla. Některá termoplastická lepidla vykazují jev tzv. studeného toku, přičemž takové spoje pak snášejí trvalé zatížení jen velmi obtížně. Tento jev lze například u PVAC lepidel eliminovat jejich kombinací s jinými lepidly, např. melaminovými, či močovinoformaldehydovými lepidly (UF). Tato kombinace nejen, že potlačí tento jev, ale zvýší tím i vodovzdornost lepidla a sníží křehkost lepeného spoje (Liptáková, Sedliačik, 1989).

### **3.2. Podmínky ovlivňující lepení**

Lepení ovlivňuje velké množství faktorů, především však lepený povrch a jeho úprava. Čím poréznější povrch je, tím lépe pohlcuje plyny, nebo vodní páry vznikající při vytvrzování lepidel. Velký význam má také již zmiňované povrchové napětí a s tím související smáčivost povrchu. Dalším důležitým faktorem je tlak při lepení a vytvrzování lepidel. Ten by měl být přiměřený podmínkám a druhu použitého lepidla. Všeobecně přispívá k rovnoměrnému rozložení vrstvy adhesiva a odstraňuje přebytečné vzduchové bublinky. Příliš vysoký tlak naopak škodí, jelikož porušuje síly navzájem působící mezi molekulami lepidla. Tloušťka naneseného lepidla má také velký vliv a měla by být co nejtenčí, jelikož mezi jednotlivými vrstvami lepidla panují odlišné podmínky, než ve vrstvách mezi lepidlem a lepeným povrchem (Muzikář, 2008).

#### **3.2.1. Podmínky vztažené k lepenému materiálu**

Materiál a jeho vlastnosti silně ovlivňují výsledný lepený spoj. Mezi významné vlastnosti patří zejména:

##### **Struktura a pórovitost dřeva**

Všeobecně platí, že čím je dřevo hustší, tím je lepený spoj pevnější. Tvrdé kruhovitě pórovité dřeviny, jako například akát, dub, jasan, nebo ořech mají velké póry, do nichž může lepidlo zatéct a vytvořit tak pomocí teorie lepení pomocí mechanické vazby jakési zámky, které zajistí dobrý a pevný lepený spoj. Na druhou stranu tyto kapiláry mohou odvádět vysoce viskózní lepidlo pryč z lepeného spoje a tím vytvořit tzv. chudý spoj. Dřeviny roztroušeně pórovité nemají strukturu tak striktně dělenou, jako dřeviny kruhovitě pórovité a lepený povrch je homogennější.

Velký vliv při lepení dřeva má chemické složení dřeva, případně obsah extraktivních látek (např. pryskyřice, třísloviny, nebo gumové látky) ve dřevě. Při namáhání lepeného dřeva se spíše poruší dřevo než lepený spoj v důsledku malé lepidlosti lepidla. Vliv druhu dřeviny souvisí s určováním lisovacího tlaku, přičemž pro lepení měkkých dřevin se volí lisovací tlak od 0,1 do 0,5 MPa a pro tvrdé dřeviny v rozmezí 0,3 až 0,8 MPa (Boublík, 1966, Osten, 1986).

## **Chemické složení dřeva a chemické účinky lepidla na dřevo**

Dřevo se skládá z mnoha složek, přičemž největší obsah připadá na celulózu, hemicelulózy a lignin. Pro lepení dřeva je směrodatný polární charakter celulózy a hemicelulóz, jejichž hydroxylové skupiny udávají dřevu polární charakter, který je třeba pro uplatnění adhezivních sil při lepení polárními lepidly. Velký vliv má také obsah extraktivních látek (např. pryskyřice, třísloviny, vosky, aj.) ve dřevě, které zhoršují smáčivost povrchu a tím snižují kvalitu lepených spojů.

Adhesivum by nemělo narušovat adherent v okolí lepeného spoje. Touto nevýhodou se vyznačují silně kyselá lepidla, například fenolická lepidla, jejíž silně kyselá tvrdidla narušují dřevo v okolí lepeného spoje a snižují tak jeho pevnost. Alkalická lepidla mohou způsobit reakci s tříslovinami a jinými látkami ve dřevě a dřevo touto reakcí zbarvit. Podobný účinek jako alkalická lepidla mají i roztoky železitých solí, jenž i při nízké koncentraci zbarvují dřevo do tmavě modrých, nebo fialových odstínů (Drápela a kol., 1980; Uhlíř, 1997; Muzikář, 2008).

## **Vlhkost dřeva**

Dřevo je látka hygroskopická a obsah vody navázané ve dřevě je dán relativní vzdušnou vlhkostí a teplotou prostředí. Taková vlhkost ve dřevě se nazývá rovnovážná vlhkost. Mezní hranicí pro příjem vody vázané je tzv. mez hygroskopicity, nebo také označovaná jako mez nasycení buněčné stěny a je rozdílný pro každou dřevinu. Za průměrnou hodnotu se však považuje 30 %. Většina lepidel se nanáší ve formě vodných roztoků, z nichž musí voda uniknout, ať už do dřeva, nebo do okolního prostředí, aby mohlo lepidlo dokonale vytvrdnout. Nadměrná vlhkost obsažená ve dřevě však tyto procesy brzdí, nebo je úplně znemožní. Vysoká vlhkost naopak svědčí lepidlům na bázi polyuretanu. Ty naopak vytvrzují reakcí s vodou, tudíž jim zvýšená vlhkost dřeva nevadí. Vlhkost také ovlivňuje rozměrovou stabilitu dřeva a jeho bobtnání, či sesychání. Pnutí vyplývající z takovýchto rozměrových změn může deformovat slepované dílce a při velkých změnách porušit lepený spoj. Vlhkost dřeva při lepení by se měla pohybovat okolo 8 %, přičemž by neměla klesnout pod 4 % a přesáhnout 12 % (Trávník, 2005; Sedliačik, 1992).

## **Kvalita povrchu a jeho opracování**

Předpoklad pro dokonalé smáčení dřeva adhesivem je dokonalá čistota lepeného povrchu, přičemž zde působí nepříznivě nečistoty zejména mastnota a prach. Podmínkou vzniku kvalitní lepené spáry je těsné přiblížení lepených ploch, čímž jsou kladeny nároky na jejich povrch. Ten musí být dokonalé opracován s minimálními tloušťkovými tolerancemi a odchylkami od normy. Ty však mohou být překonány v dalších fázích, např. při lisování zvýšením lisovacího tlaku. Pro lepení měkkých dřevin se volí lisovací tlak od 0,1 do 0,5 MPa a pro tvrdé dřeviny v rozmezí 0,3 až 0,8 MPa (Trávník, 2005).

## **Vliv teploty dřeva**

Nízká teplota působí negativně například pro glutinová lepidla, kdy „zamrzají“ a např. PVAC disperzní lepidla vytvářejí bílý nekvalitní film. Vysoká teplota naproti tomu může způsobit při lepení reaktivními teplem vytvrzujícími lepidly jejich předčasné vytvrzení před aplikací lisovacího tlaku, či nadměrné vsakování lepidla do dřeva. Pokud však se zvýšenou teplotou záměrně počítáme a upravíme podle toho technologický postup lepení, můžeme získat úsporu času při vytvrzování a vyšší pevnost lepeného spoje. Požadavek na dodržení určité teploty pro aplikaci lepidla se nazývá minimální filmotvorná teplota (MFT) a je vyjádřena jako nejnižší možná teplota pro dosažení uceleného filmu. Teplota při lepení dřeva by neměla klesnout pod 13 °C, záleží však na použitém lepidle (Trávník, Svoboda, 2007; Eisner, 1966).

### **3.2.2. Podmínky vztažené k lepidlu**

Adhesivum musí vytvořit dostatečně pevné a odolné spoje, které jsou odolné vůči namáháním, jimž jsou vystaveny. U výrobků, u nichž se předpokládá dynamické namáhání, je třeba zvolit lepidla, která jsou dostatečně pružná. Nežádoucí je rovněž příliš vysoká tvrdost vytvrzeného lepidla, obzvláště, jsou-li v lepidle obsaženy minerální látky, které nadměrně otupují nástroje použité k opracování lepeného materiálu. Lepidlo by také nemělo reagovat s konečnou povrchovou úpravou a barva lepidla by měla odpovídat barvě lepeného materiálu, přičemž některá lepidla vytvrzením mohou zprůsvitnět a barva vytvrzeného spoje je k nerozeznání od lepeného materiálu (Boublík, 1966; Osten, 1972).

Mezi žádoucí vlastnosti lepidla patří jednoduchá příprava lepidel k lepení a dlouhá životnost lepidla ve stavu vhodném k nanášení. Tato doba je důležitá zejména u dvousložkových lepidel, kdy po přidání tvrdidla do lepidla dochází chemickou reakcí k vytvrnutí. Při přípravě dvousložkových lepidel je nutné dodržovat předepsané poměry jednotlivých složek a postup přípravy. Lepidlo by také mělo zajistit dobrou pevnost lepeného spoje pro lepené povrchy, pro které je určeno (Dolejš, Kadleček, 1986).

Viskozita lepidla je důležitý faktor, jenž nelze opomenout. Příliš viskózní lepidlo špatně smáčí lepený povrch a je husté, nemá dostatečnou přilnavost a špatně se roztírá. Naopak málo viskózní lepidlo je řídké, nevytvoří dostatečný film lepidla a příliš se vsakuje do dřeva. Viskozitu lze upravovat zahuštěním, kdy se zvyšuje sušina lepidla, nebo naopak zředěním. Při nedodržení výše uvedených požadavků na lepidla mohou vzniknout vady lepených spojů, ovlivňující další vlastnosti (Osten, 1972; Kamenický, Rizmanová, 1989).

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

Pod pojmem technologické podmínky lepení se skrývají tři veličiny – lisovací teplota, tlak a čas. Tyto veličiny jsou uvedeny v technologických předpisech pro každý druh lepidla. Jejich dodržování je závazné, jinak nelze deklarovat požadovanou jakost lepeného spoje (Liptáková, Sedliačik, 1989).

Teplota je při lepení potřebná k prohřátí jednak lepeného materiálu, tak i lepené spáry a její využití spočívá také v urychlení přechodu lepidla z kapalné do pevné fáze a tím k jeho vytvrzení. Tlak je potřebný k těsnému přiblížení lepených povrchů a vzniku mezimolekulárních přitažlivých sil. Tlak použitý při lepení se nazývá lisovací tlak. Lisovací tlak je závislý na druhu lepidla a na teplotě při lepení, přičemž musí působit do doby, než lepidlo dosáhne tzv. manipulační pevnost lepeného spoje. Za tento čas vznikne množství přitažlivých sil, díky čemuž lze vyjmout lepené předměty z lisu bez nebezpečí poškození spoje. Takový lepený spoj však ještě není plně vytvrdnutý a nemá konečnou pevnost. Proto se ještě nechávají lepené spoje klimatizovat a dotvrdnout (Trávník, Svoboda, 2007).

Dřevo v okolí lepené spáry vlivem lepení nabobtná vodou vsáknutou z lepidla a můžou zde vzniknout napětí, které mohou vést až k deformaci dílce.

Klimatizace lepeného spoje zajistí, že se přebytečná voda vypaří, nebo spotřebuje na další síťování lepidla a napětí se vyrovnají. Klimatizace probíhá při normální teplotě a doba potřebná ke klimatizaci lepeného spoje závisí na druhu lepidla (Muzikář, 2008).

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

Odolnost lepených spojů proti působení vody a povětrnostním vlivům je v praxi důležitá. Například podle normy ČSN EN 204, resp. ČSN EN 12765 lze lepidla rozdělit do 4 kategorií (D1 – D4, resp. C1 – C4) a to podle odolnosti proti vodě. Mezi vysoce vodovzdorná lepidla patří například lepidla na bázi fenolických, polyuretanových, nebo epoxidových pryskyřic. Tyto lepidla odolávají účinkům vody studené i vařící. Lepidla vodovzdorná pak odolávají účinku studené vody. Mezi lepidla, která neodolávají účinkům vody a po jejich vystavení zvýšené vlhkosti se rozlepují, mohou patřit například lepidla škrobová, dextrinová, nebo glutinová (Eisner, Berger, 1958; Trávník, 2005).

### **3.3. Lepené spoje**

Za lepení lze považovat řadu technologických a fyzikálně mechanických procesů, jejichž výsledkem je lepený spoj. Lepidlo je látka umožňující přilnutí povrchů pevných předmětů, čímž je zajištěno jejich trvalé a pevné spojení. Splnění požadavku na dlouhou životnost spoje je zajištěno specifickou konstrukcí spoje označovaného jako lepený spoj (Osten, 1986).

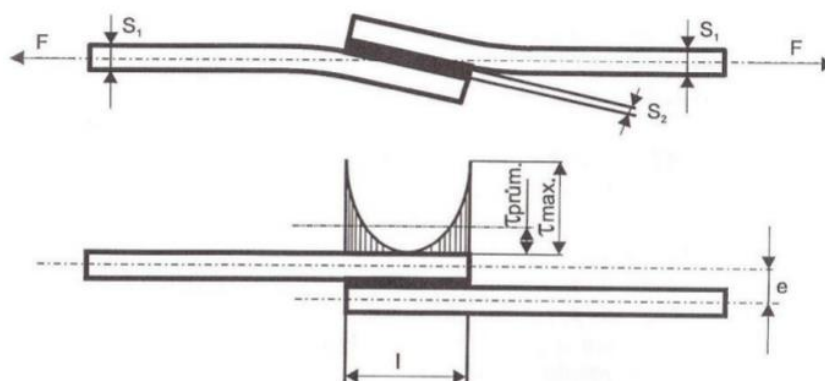
#### **3.3.1. Mechanické vlastnosti**

Lepený spoj může, a zpravidla i je namáhán několika způsoby. Mezi první způsob namáhání lze zařadit namáhání statické, kdy na lepený spoj působí například jen vlastní tíha lepeného materiálu, nebo může být namáhán v tahu, smyku, tlaku a odlupování. Druhým způsobem zatížení je namáhání dynamické, kdy může docházet například ke chvění, nebo aplikací opakovaných rázů, či kroucením. Tyto druhy namáhání působí jen v určitých místech spoje, čímž dochází k lokálnímu přetížení a poškození filmu. Všeobecně lepidla odolávají nejméně namáhání na odlupování, proto je třeba se tomuto namáhání v konstrukci lepeného spoje vyhnout a navrhnout vhodnější konstrukční řešení (Peterka, 1980; Eisner a kol. 1966).



V praxi se lze většinou setkat s kombinací různých druhů namáhání. Pokud je spoj namáhán kombinací tahu a ohybu, koncentruje se tahové napětí především na jedné straně lepeného spoje, což může způsobit nežádoucí namáhání odlupováním. U spojů jednostranně přeplátovaných se koncentruje tahové napětí především na obou koncích přeplátování, čímž způsobuje je rovněž způsobováno napětí odlupováním. Při zvyšujícím se zatížení spoje dochází k porušování konců přeplátování směrem do středu spáry. Velký vliv zde hraje i excentrické působení sil a ohybová pevnost lepených materiálů (Osten, 1982; Liptáková, Sedláčik, 1989).

Pevnost lepeného spoje je dána smršťováním filmu lepidla a tloušťkou vrstvy lepidla ve spáře. Tuto pevnost ovlivňuje mnoho faktorů, mezi hlavními pak působení vlhkosti, která může způsobit natolik velké pnutí ve filmu lepidla, že může dojít až k odtržení celého filmu (Pokorný, 2000).



Obrázek č. 2 Deformace jednostranně přeplátovaných spojů v důsledku působení sil a rozložení napětí po délce přeplátování, zdroj: lepidla.cz (25.2.2019)

### 3.3.2. Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje

Důležitý faktor ovlivňující pevnost lepené spáry je tloušťka lepidla. Teoreticky lze stanovit, že se optimální tloušťka lepidla pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,25 mm. Každé lepidlo má však stanovenou maximální pevnost při různé tloušťce lepidla za stejných podmínek. Není možné jednoznačně určit, optimální vrstvu lepidla, která by byla vhodná pro všechny druhy lepidel. Obvykle však hodnota tloušťky naneseného lepidla leží v intervalu teoretických hodnot a doporučená tloušťka lepené vrstvy pro daný typ lepidla udává výrobce lepidla v návodu (Pokorný, 2000, Osten, 1986).

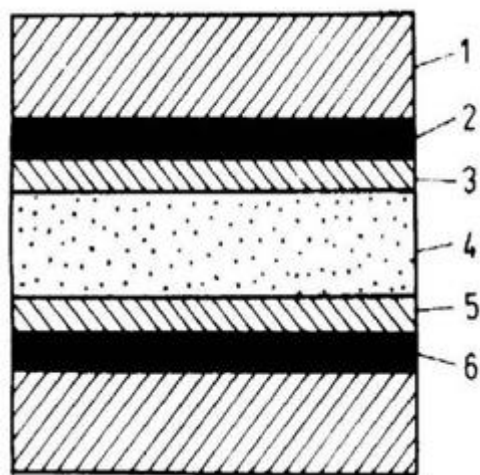
Pro pružná lepidla a tmely je hodnota tloušťky lepidla vyšší. Při nedodržení předepsané hodnoty vrstvy lepidla může dojít k poklesu pevnosti a ovlivnění vlastností lepeného spoje. U lepidel s nízkou viskozitou (řidká lepidla), kde by při procesu lepení mohlo dojít k vytlačení lepící směsi, lze užít distanční drátky pro udržení konstantní tloušťky lepidla (Osten, 1986).

### 3.3.3. Typy lepených spojů

Pevnost lepeného spoje je značně ovlivněna způsobem spojení dřeva vzhledem k jeho struktuře a směru vláken. Příčné spojení dřeva pomocí lepidla má značně nižší smykovou pevnost než spojení podél vláken. Příčinou nižší pevnosti může být v neúplném styku lepených ploch, kde je problematické spojení čelních ploch. U takového spoje uniká velké množství lepidla do nerovností povrchu a otevřených kapilár, zapříčiněného vytrhnutím vláken jarního dřeva a následným vytvořením neúplného kontaktu lepených ploch (Liptáková, Sedliačik, 1989).

### 3.3.4. Struktura lepeného spoje

Každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný spoj dvou lepených materiálů lze z hlediska vnitřní struktury považovat za komplex tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev (lepidla.cz).



Kde:

- 1) Lepený podklad (adherent)
- 2) Adhezivní zóna lepidla
- 3) Přejídná adhezivní zóna lepidla
- 4) Nános lepidla – kohezní zóna
- 5) Přejídná kohezní zóna
- 6) Adhezivní zóna lepidla

Obrázek č. 3 Struktura lepeného spoje, zdroj: lepidla.cz (25.2.2019)

### **3.3.5. Charakteristika lepených spojů**

Lepené spoje lze charakterizovat a rozdělit do několika skupin. Lepené spoje dělíme na:

#### **Dokonalý spoj**

Je takový spoj, kdy k sobě lepené plochy těsně přiléhají a vytvrzené lepidlo tvoří mezi lepenými povrchy tenký, souvislý film. K porušení takového spoje je třeba velké síly a porušení nastává mimo lepený spoj ve dřevě (Muzikář, 2008).

#### **Rozlepený spoj**

Je spoj, který je místy, nebo po celé ploše volný a lze spatřit viditelné spáry v lepeném spoji. Rozlepený spoj může vzniknout nedostatečným opracováním lepených povrchů, nedostatečným lisovacím tlakem při lepení, velkým pnutím v lepené spáře, chybějícím nánosem lepidla, či předčasným, nebo jinak nedokonalým vytvrzením lepidla (Eisner a kol., 1966).

#### **Chudý spoj**

Je spoj, k jehož porušení je třeba menší síly, než u dokonalého spoje a porušení nastává v okolí lepeného spoje, nikoliv ve dřevě. Příčinou chudého spoje může být fakt, že se nevytvořil souvislý film lepidla, nebo se lepidlo vsáklo do povrchu lepeného povrchu. To může být zapříčiněno přílišnou vlhkostí lepeného materiálu, velkou pórovitostí dřeva, nedostatečnou viskozitou lepidla, nedostatečným nánosem, či krátkou dobou sestavení lepených dílců (Muzikář, 2008).

#### **Zmrzlý spoj**

Je typ málo pevného spoje, kdy se při porušení lepeného spoje na jedné z lepených ploch objeví souvislý film, zatímco na druhé z lepených ploch není nános žádný a je beze stop lepidla. Takový spoj může vzniknout vlivem malé vlhkosti lepeného materiálu, předčasným vytvrzením nánosů lepidla, nebo použitím rychle tvrdnoucích lepidel (Muzikář, 2008).

### **Nezakotvený spoj**

Je málo pevný spoj, který má po rozlepení spoje souvislý film lepidla v lepené spáře, který však nedrží na lepeném povrchu. Takový spoj může vzniknout především v důsledku znečištěných lepených ploch od mastnoty, nebo prachu, vlivem malé vlhkosti lepeného materiálu, vysokou viskozitou lepidla, nebo předčasným částečným, či úplným vytvrzením lepidla (Eisner a kol., 1966).

### **Zdánlivě pevný spoj**

Je spoj, vyznačující se malou pevností, přestože je při rozlepení lepeného spoje porušen v přímé blízkosti vytvrzeného filmu a na filmu zůstává souvislá vrstva jemných dřevních vláken. Příčina vzniku takového spoje zpravidla bývá špatně opracovaný lepený povrch, či malá pevnost dřeva, například vlivem napadení dřeva hnilobou (Muzikář, 2008).

### **Zrnitý spoj**

Je spoj, jenž je málo pevný a po rozlepení má vytvrzený film lepidla krupicovou strukturu. Vznik takového spoje může být zapříčiněn nedostatečným rozpuštěním práškového lepidla, velkým množstvím nastavovadel, či plniv v lepicí směsi, nebo vysoká vlhkost lepeného materiálu (Eisner a kol., 1966).

## **3.4. Podstata lepení**

Lepení je proces, při němž vzniká pevný, nerozebíratelný spoj dvou na sebe přiléhajících povrchů pomocí lepidla. To mezi nimi vytváří souvislou, tenkou vrstvu. Od lepení dřeva se vyžaduje, aby pevnost spoje byla vyšší než pevnost lepeného materiálu, což v praxi znamená, že při destrukci lepeného spoje se poruší dříve lepený materiál než lepidlo samotné. Při správně provedeném lepení a s vhodně použitým lepidlem má lepený spoj za normálních podmínek vyšší pevnost, než je pevnost dřeva ve smyku, která se průměrně pohybuje mezi 5 až 11 MPa v závislosti na dřevině (Zemiar a kol, 2009; Osten M., 1986).

V průběhu přechodu tekutého lepidla do tuhého lepícího filmu prochází lepidlo několika fázemi. V tekutém stavu jsou lepidla koloidní roztoky, což je roztok částic o velikosti 1 – 10 nm. Při vytvrzování lepidla dochází k přechodu ze stavu sol do stavu gel, což souvisí se zvyšováním viskozity, zvýšením koheze, objemovými kontrakcemi lepidla a zasíťováním molekul lepidla. Objemové kontrakce lze při vytvrzování lepidla snížit, a to tlakem ztenčit lepenou spáru a tím snížit pnutí ve spáře. Po vytvrzení pak nastává praskání lepidlového filmu, což lze omezit přidáním plniv do lepící směsi. Reologické vlastnosti lepidel se projevují především při působení vlhkosti a to roztahováním, či smršťováním lepidlového filmu, přičemž současně s roztahováním vzniká vnitřní pnutí, které způsobí odtržení lepidlového filmu (Drápela a kol., 1980, Ducháček, 1996).

Příprava lepidel k lepení závisí od druhu použitého lepidla. Lepidla disperzní (PVAC), nebo rozpouštědlová lepidla, či lepící fólie nevyžadují žádnou úpravu před samotným lepením. Tavná lepidla je třeba zahřát na vysokou teplotu. Pro lepidla reagující například s vodou (PUR) stačí kontakt lepidla s vodou obsaženou ve dřevě, nebo reakce se vzdušnou vlhkostí. U lepidel vytvrzujících chemickou reakcí je třeba přidat další přísady (tvrdidla), aby započala chemická reakce. Tohoto efektu se využívá u dvousložkových lepidel. U reaktoplastických lepidel je vytvrzování vyvolané zvýšenou teplotou (Osten, 1986; element-shop.cz).

Tuhnutí lepidla může nastat vlivem několika reakcí. Pro glutinová a polyvinylacetátová, nebo rozpouštědlová lepidla je charakteristické unikání tekutiny, zpravidla vody, do dřeva. Tuhnutí tavných lepidel probíhá při snížení teploty. Chemickou reakcí složek lepidla vytvrzují reaktoplastická lepidla. Proces vytvrzování lze u některých druhů urychlit pomocí UV záření. Například lepidla pro lepení skla, případně kombinace sklo – kov, obsahující uretan metakrylát esterovou pryskyřici nemají žádné rozpouštědlo, ale reagují fotochemickou polymerací pomocí UV záření (Osten, 1986; element-shop.cz).

Způsoby vytvrzování lepidel lze tedy rozdělit na:

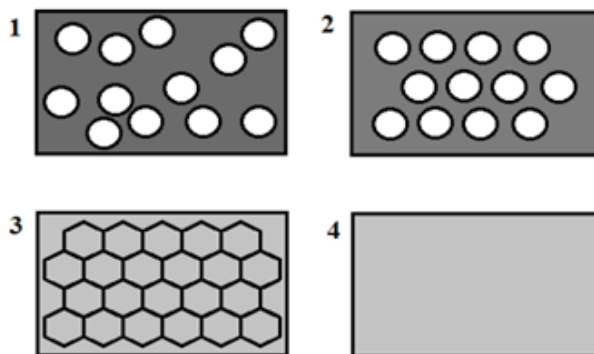
**1) Fyzikální způsob**

Kdy dochází k odpaření vody, nebo ochlazení taveniny.

**2) Chemický způsob**

Chemickou reakcí, kdy se vytvoří z molekul makromolekuly a dojde k jejich spojení. Chemický způsob vytvrzování u syntetických lepidel probíhá ve třech základních fázích:

- 1) Stav „a“ – rezol
- 2) Stav „b“ – rezitol (počátek síťování)
- 3) Stav „c“ – rezit (ukončeno síťování makromolekul, neměnný stav, spoj odolává teple (eluc.kr-olomoucky.cz).



Obrázek č. 4 Tvorba filmu disperzních ředidel, zdroj: Muzikář, 2008

Kde:

- 1) Nános lepidla (molekuly disperze dispergovány v rozpouštědle)
- 2) Odpařování rozpouštědla (přiblížení molekul disperze)
- 3) Odpaření vody (molekuly disperze se přibližují a vznikají vazby)
- 4) Vznik pevného lepeného filmu

**3.4.1. Složky lepících směsí**

Lepící směsi se zpravidla připravují podle technologických receptur, které jsou součástí technologických předpisů určených pro lepení dřeva. Technologické receptury určují poměr složek lepidla a složení jednotlivých směsí. U lepidel používaných v dřevozpracujícím průmyslu můžeme složky lepících směsí rozdělit na několik druhů (Osten, 1972).

### **Filmotvorná složka**

Je to zpravidla makromolekulární látka, která je uvedena do tekutého stavu pomocí organických rozpouštědel, vody, nebo zvýšením teploty. Filmotvorná složka je v těchto rozpouštědlech buď dispergována do koloidního stavu, nebo rozpuštěna (Liptáková, Sedliačik , 1989).

### **Tvrdidla**

Používají se pro většinu polykondenzačních a polyadičních lepidel, která vyžadují přísadu tvrdidel. Tvrdidla jsou sloučeniny, která urychlují chemickou reakci tuhnutí lepidla svým katalytickým účinkem. Do lepicích směsí se zpravidla přidávají v množství od 1 do 4 % hmotnosti lepicí směsi, nejčastěji pak ve formě prášku, nebo roztoku, a to vždy těsně před použitím lepidla (Škeřík, 1984).

### **Stabilizátory**

Jsou látky, uchovávající vlastnosti lepidel během skladování a zpracovávání. Zároveň zachovávají vlastnosti lepidel během používání (Liptáková, Sedliačik, 1989).

### **Zpěňovadla**

Jsou látky, jejichž úkolem je zvětšení objemu lepicí směsi. Toho lze docílit našleháním lepicí směsi s přídatkem zpěňovadel. Takto upravené lepidlo může zvětšit svůj objem až trojnásobně. Použitím zpěňovadel lze dosáhnout tenčí lepené spáry, snížení průsaku lepidla a jeho spotřebu (eluc.kr-olomoucky.cz).

### **Plniva**

Jsou to látky, které samy o sobě nemají lepicí účinek. Jejich použití tkví v úspoře drahých surovin (filmotvorné látky, aj.), snížení pnutí ve vytvrzeném stavu a zlevnění lepidla. Jedná se většinou o jemné, minerální prášky. Všechna plniva zvyšují viskozitu lepidel a tím brání lepidlu ve vsakování se do dřeva, čímž se zamezí vznik chudého lepeného spoje. Tohoto efektu se užívá především u dýhování, kdy zabraňují pronikání lepidla přes tenkou krycí dýhu. Mezi další vlastnosti, které plniva ovlivňují, patří smršťování lepidel, kdy zabraňují vzniku škodlivých napětí v lepené spáře (Sedliačik , 1992).

## **Ředidla**

Jsou to látky, upravující viskozitu lepicích směsí při nanášení na lepený povrch (Muzikář, 2008).

## **Retardéry**

Tyto látky lze použít pro zabránění předčasného vytvrzení před dosažením požadovaného lisovacího tlaku (Osten a kol., 1986).

## **Nastavovadla**

Jsou to látky, používané z technických i ekonomických důvodů a oproti plnidlům se liší zejména tím, že mají lepicí vlastnosti. Nastavování pomocí nastavovadel se může provádět neomezeně, avšak pokud jejich podíl v lepicí směsi přesáhne 20 %, sníží se zejména odolnost lepeného spoje proti vodě. Pro svou dostupnost a cenu se jako nastavovadlo nejčastěji používají obilná, nebo kukuřičná mouka, kaolín, nebo křída. Nejlevnějším nastavovadlem je vzduch, který lepidlo zpění, čímž se dosáhne tenčí nanášecí vrstvy a lepidlo tak neproniká na povrch dýhovaných materiálů (Sedliačik M., Sedliačik J., 1998).

## **Zušlechťující přísady**

Mezi zušlechťovací látky lze zařadit takové látky, které vylepšují vlastnosti lepicí směsi. U lepidel na bázi bílkovin se přidávají fenolické látky a fungicidy pro ochranu před mikroorganismy, nebo pro zvýšení odolnosti proti vodě lze přidat paraformaldehyd. U močovinoformaldehydových lepidel se přidávají pro zvýšení vodovzdornosti například rezorcín, nebo melamin (Sedliačik M., Sedliačik J., 1998).

### **3.4.2. Použití lepidel**

Lepidla dnes mají velice široké uplatnění, přičemž při lepení dřeva je lze nalézt převážně v těchto oborech:

## **Nábytkářství**

U předmětů určených do uzavřených a suchých prostor, v nichž nepodléhají klimatickým vlivům, s výjimkou nábytku do kuchyní, nebo koupelen nemusí být lepidla vodovzdorná.



### **Stavebně truhlářské výrobky**

Zejména pro okna, dveře, schody. Tyto výrobky jsou zpravidla vystaveny klimatickým vlivům, proto by měly být lepeny vodovzdornými lepidly.

### **Stavebnictví**

Pro lepení lepených nosníků nebo nosných konstrukcí je třeba použít odolná, vodovzdorná lepidla, která nejsou na bázi termoplastických polymerů. V případě požáru by se konstrukce zvýšenou teplotou rozlepila a způsobila destrukci celé nosné konstrukce (Boublík, 1966).

### **Výroba dopravních prostředků**

Zejména při konstrukci vagónů, karoserií, lodí a letadel. Z důvodu mimořádného mechanického namáhání takových výrobků za různých klimatických poměrů je třeba použít ty nejodolnější a nejpevnější lepidla (Peterka, 1980).

### **Výroba velkoplošných materiálů**

K výrobě velkoplošných materiálů se používají lepidla, které svými vlastnostmi určují následné použití takových desek. Například desky z aglomerovaných materiálů, jako jsou, dřevovláknité, dřevotřískové desky nebo OSB desky se zpravidla používají močovinoformaldehydová lepidla s přísadami různých příměsí pro zlepšení vlastností desek. Překližky určené pro vnitřní použití nemusí být lepené vodě odolnými lepidly, avšak stavební překližky jsou zpravidla lepeny fenolformaldehydovými lepidly, která jsou vodovzdorná (Král, Hrázský, 2005).

#### **3.4.3. Nanášení lepidel**

Pro ruční nanášení viskózních lepidel se mohou použít různé druhy stěrek, ať už s rovným břitem, nebo s vypilovanými zářezy, které slouží pro rovnoměrný nános lepicí směsi na lepený materiál. Pro ruční nanášení lepidel je možno použít různé druhy štětců, ručních válečků, nebo vytlačováním z kartuší (Muzikář, 2008).

Pro průmyslové nanášení lepicích směsí se používají nanášečky lepidla. Ty jsou nejčastěji konstrukce válcové, nebo s rotujícími kartáči. Nanášečky lepidel se používají zejména proto, že na lepeném dílci vytvoří rovnoměrný nános, a to buď

jednostranně, nebo oboustranně, záleží na konstrukci nanášečky. Nevýhodou strojního nánosu lepidla pomocí nanášeček je pak fakt, že lepidlo musí mít nízkou viskozitu. Mezi další způsoby strojního nanášení lepidel patří stříkací, polévací, navalovací, nebo vytlačovací zařízení (Drápela, 1979).

#### **3.4.4. Výhody lepení**

Mezi hlavní přednosti lepení patří fakt, že umožňuje spojovat stejné, či různorodé materiály, přičemž aplikací lepidel není narušena integrita spojovaných dílců. Lepené spoje lze vyrobit i ve vodotěsném, či plynotěsném provedení, čímž se liší od klasických konstrukčních spojů. Lepení také nenarušuje profil, ani celkový estetický vzhled lepeného souboru. V konstrukcích zvyšuje lepený spoj tuhost i vzpěrovou pevnost souboru. Také zabraňuje vzniku koroze kovových dílců a tlumí vibrace. Pomocí úpravy složek lepicí směsi lze snadno docílit vysoké pevnosti spoje, zejména pro namáhání ve smyku a rázové houževnatosti. Lepením se nezvyšuje hmotnost lepeného souboru, na rozdíl od konstrukčních spojovacích prvků. Lepené spoje mohou být bezbarvé, nebo barevně přizpůsobené (test. zsbr.cz; Osten, 1986).

#### **3.4.5. Nevýhody lepení**

Lepení vyžaduje vysoké požadavky na čistotu a rovnost lepených povrchů dílců. U kovů, nebo nepolárních plastů, tedy materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi, je nutné nejprve speciálně upravit povrch lepených dílců. Lepení vytváří nedemontovatelný konstrukční spoj. Nevýhodou je také to, že lepidla potřebují určitý čas, aby dostatečně vyzrála a dosáhla tak maximální pevnosti spoje. Častou nevýhodou je pak také omezená odolnost proti vyšším teplotám. Spoje lepené termoplastickými lepidly jsou citlivé vůči dlouhodobému statickému namáhání, a to z důvodu tečení polymerní složky lepidla ve spoji (Pokorný, 2000; Osten, 1986).

Při lepení dvousložkovými lepidly, případně reaktoplastickými lepidly je životnost lepicí směsi omezená. Proces lepení nelze ve většině případů vykonávat při velmi nízkých teplotách. Přesné specifikace vždy udává výrobce lepidla. Pro průmyslové využití lepení je třeba drahých zařízení (nanášečky, přípravky, lisy, atd) (test.zsbr.cz; Osten, 1986).

### **3.5. Rozdělení lepidel**

Lepidla patří mezi rozsáhlou skupinu chemicky velice různorodou skupinu sloučenin, což se odráží i ve způsobu jejich třídění a zařazování do jednotlivých skupin a kategorií. Lepidla lze dělit z několika hledisek, avšak žádné z nich nevystihne zcela přesně jejich charakter. Nové druhy lepidel ze syntetických pryskyřic totiž umožnily zcela nová uplatnění a vynutily si tím novou klasifikaci. Vedle starého dělení lepidel podle původu, účelu, způsobu zpracování a dosažení fyzikálního stavu se lepidla nově mohou třídit i podle chemického složení, způsobu dosažení pevnosti spoje, či obsahu rozpouštědel atd. (Liptáková, Sedliačik, 1989; Kamenický, Rizmanová, 1989).

#### **3.5.1. Rozdělení podle účelu**

Je rozdělení často používané v minulosti, které už však dnes poskytuje jen hrubou orientaci, protože nijak nevymezuje chemickou podstatu lepidel. Podle tohoto dělení však lze rozdělit lepidla na lepidla na dřevo, papír, textil, kovy, plasty, aj. (Drápela a kol., 1980)

#### **3.5.2. Rozdělení podle původu**

Rozdělení lepidel podle původu je rozdělení, které vychází z použitého materiálu pro výrobu lepidel (Liptáková, Sedliačik, 1989; Drápela, 1980).

##### **1) Přírodní**

###### **1.1) Rostlinného původu**

(mouky, škroby, dextrin, pektiny, algináty, rostlinné slizy a gumy, přírodní pryskyřice, přírodní kaučuk, deriváty celulózy)

###### **1.2) Živočišného původu**

(glutinové klišy kostní a kožní, albuminové klišy, kaseinové klišy, rybí klišy)

###### **1.3) Minerálního původu**

(sádra, vodní sklo, cement, asfalt)

## 2) Syntetická

### 2.1. **Termoreaktivní (termosetická, reaktoplastická)**

#### 2.1.1. **Polykondenzační**

(fenolkreozolformaldehydová (PF), močovinoformaldehydová (UF), melaminformaldehydová (MF), fenolrezorcínformaldehydová, dikyandiamidformaldehydová)

#### 2.1.2. **Polyadiční**

(epoxidová, polyesterová, polyuretanová)

### 2.2. **Termoplastická**

#### 2.2.1. **Disperzní vodou ředitelná**

(akrylátová, polyvinylacetátová, kopolymerní)

#### 2.2.2. **Roztoková**

(chloroprenová, kaučuková, polyvinylchloridová, polyvinylacetátová)

#### 2.2.3. **Tavná**

(polyamidová, ethylvinylacetátová, polyolifenická, kaučuková)

### 2.3. **Polysyntetická**

(převážně na bázi derivátů celulózy)

### 2.4. **Dvousložková**

(epoxidová, na bázi polyuretanů, nebo isokyanátů)

### 2.5. **Ostatní**

(tlakocitlivá, vteřinová, lepidlo tmely, lepidla vytvrzující pomocí mikrovlnného, UV, nebo infračerveného záření)

### 3.5.3. **Rozdělení podle fyzikálních stavů**

Podle způsobu použití lepidla, především jeho nanášení, se předpokládá určitý fyzikální stav, nebo forma lepidla. Proto lze rozlišit lepidla na tekutá, pastovitá, práškovitá, granulová, tlakocitlivá, pěnová, lepicí pásy a filmy, které sice nejsou lepidly v pravém slova smyslu, avšak jsou běžně používané jako spojovací prostředek, spojující materiály pomocí vrstvy lepidla (Drápela, 1980).

### **3.5.4. Rozdělení podle způsobu dosažení pevnosti spoje**

Při procesu zpracovávání lepidel je velmi důležité, jakým způsobem se dosáhne pevnosti lepeného spoje. V podstatě jde o to, jakým způsobem se lepidlo převede ze stavu solu v gel (Osten, 1986; Rowel, 2005).

#### **1) Aktivace vysoušením**

Při aktivaci vysoušením dojde k odpaření vody, nebo organického rozpouštědla. Například u PVAC lepidel.

#### **2) Aktivování rozpouštědlem**

Některá lepidla po zaschnutí nelepí, proto se suchý nátěr navlhčí, nebo aktivuje pomocí rozpouštědla (PVC).

#### **3) Aktivace teplotou**

Ochlazením, nebo vytvrzením za vyšší teploty (MF, PF).

#### **4) Aktivace tlakem**

U lepidel, která jsou po zaschnutí citlivá na tlak. K jejich spojení dojde za působení zvýšeného tlaku, například kontaktní lepidla na chloroprenové bázi.

#### **5) Aktivace chemickou reakcí**

Pomocí katalyzátorů, iniciací teplem, světlem, nebo kombinací faktorů (dvousložková lepidla).

#### **6) Aktivace zářením**

K vytvrzení dochází pomocí působení UV záření, mikrovlnného, nebo infračerveného záření.

### **3.5.5. Rozdělení podle teploty při zpracování**

#### **1) Normální teplota (20 – 30 °C)**

#### **2) Zvýšená teplota (30 – 100 °C)**

#### **3) Za horka (> 100 °C)**

Použití vyšších teplot při procesu lepení může být v některých případech velice výhodné. Zahřátím dojde ke snížení viskozity, urychlení odpaření rozpouštědla (zejména pak u termoplastických lepidel), iniciaci a urychlení polymerace u termoreaktivních lepidel (Liptáková, Sedliačik, 1989).

### **3.5.6. Rozdělení podle chemické reakce lepidla**

- 1) Kyselá
- 2) Zásaditá
- 3) Neutrální
- 4) Polární
- 5) Nepochární (Boublík, 1966)

### **3.5.7. Rozdělení lepidel podle charakteru po vytvrnutí**

- 1) Reversibilní (působením vody je lze znovu rozpustit – kostní a kožní klíh)
- 2) Ireversibilní (syntetická a minerální pojiva) (Liptáková, Sedliačik, 1989).

### **3.5.8. Rozdělení podle vodovzdornosti**

- 1) Vysoce vodovzdorná (odolávají studené i vařící vodě)
- 2) Vodovzdorná (odolávají studené vodě)
- 3) Nevodovzdorná (Sedliačik, 1992)

## **3.6. Syntetická lepidla**

Syntetická lepidla tvoří nejvýznamnější skupinu lepidel v dřevozpracujícím průmyslu. Přibližně od roku 1930 postupně nahrazují přírodní lepidla a uplatňují se tam, kde se jiné druhy lepidel neosvědčily. Jejich vývoj také ovlivnil vznik nových materiálů, které umožňují účelněji hospodárněji využívat dřevní hmotu a dřevní odpad. Syntetická lepidla svými vlastnostmi předstihují lepidla rostlinná (Kamenický, Rizmanová, 1984).

V další kapitole jsou podrobně popsány jen ty lepidla, které se vztahují k diplomové práci. Jedná se o polyuretanová lepidla.

### **3.6.1. Polyuretanová lepidla**

Polyuretan (PUR) je polymer, který se skládá z řetězce organických jednotek spojených vazbami karbamátu (uretanu). Výroba polyuretanu je možná více způsoby, avšak průmyslově se využívá reakce isokyanátových skupin se sloučeninami, které obsahují aktivní vodík. Patří mezi skupinu lepidel vzniklých polyadicií. Polyuretany jsou díky svým vlastnostem používány v řadě odvětví a jejich použití se nadále rozšiřuje díky vývoji nových druhů a snížením ceny (Liptáková, Sedliačik, 1989; Mleziva, 1993).

Historie polyuretanu sahá do dob před II. Světovou válkou, kdy jej v Německu vynalezl Dr. Otto Bayer společně se svými spolupracovníky. Roku 1941 se začaly vyrábět dva druhy polyuretanů, první (Perlon U) pro přípravu syntetických vláken, druhý (Igamid U) pro výrobu plastů. Jejich uplatnění se našlo také při výrobě lepidel, pěnových hmot, laků, nátěrů aj. (academia.edu).

Polyuretanová lepidla byla původně vyvinutá jako dvousložková. Byla založena na principu chemické reakce vícesytných alkoholů (polyolů) s vícefunkčními isokyanáty. Tato reakce probíhala poměrně rychle a při polymerizaci spojila všechny složky do husté polymerní sítě. Z důvodu urychlení procesu lepení ve výrobě, byla vyvinuta jednosložková polyuretanová lepidla. Byla vyrobena tak, že se nechal polyol reagovat s nadbytkem isokyanátu. V pryskyřici tak zůstávaly nezreagované izokyanátové skupiny, které jsou, podobně jako kyanoakryláty citlivé na vodu, alkoholy, aminy, kyseliny a další chemické látky obsahující tzv. aktivní vodík (Rowel, 2005; Černá, Gregor, 1989).

Působením vzdušné vlhkosti dojde k rozkladu izokyanátové skupiny, čímž se zahájí prudká polymerační reakce a kapalné lepidlo ztuhne. Tato reakce však není tak rychlá jako u kyanoakrylátů (lidově zvaného vteřinové lepidlo) a postupuje rychlostí 4 mm za 24 hodin do hloubky lepidla. Jednosložkové polyuretany je proto třeba uchovávat v suchu (Nálepa, 1990; Broockman, 2009).

Výroba polyuretanu probíhá reakcí isokyanátů s alkoholy, uretany = estery kyseliny karbamové. V praxi se však musí reakce provádět reakce isokyanátů s polyhydroxysloučeninami v bezvodém prostředí, protože může dojít k odštěpení CO<sub>2</sub> a ke vzniku močovinových vazeb. Kombinací různých polyisokyanátů s polyalkoholy mohou vzniknout produkty nejrůznějších vlastností (Leitsh a kol., 2016; Desai a kol., 2003; chemistry.ujep.cz).

Základními surovinami pro výrobu polyuretanů jsou polyisokyanáty, polyoly, extendery a katalyzátory. Drtivá většina produkce polyuretanů je založena na aromatických polyisokyanátech, z nichž dominují toluen-diisokyanát (TDI) a difenylmethan-diisokyanát (MDI) (Pizzi, Mittal, 2003; Veselý, 1992).

V praktické části této práce byly použity polyuretanová lepidla na bázi 4,4'-methylendifenyl diisokyanátu. Ten se v praxi používá i pro přípravu elastomerů a pro tvrdé a polotvrdé integrální pěny.

### **3.7. Vlastnosti dřeva**

V této kapitole jsou popsány vybrané vlastnosti dřeva, které souvisí s tématem problému lepení dřeva.

#### **3.7.1. Vlhkost dřeva**

Vlhkost dřeva označuje množství vody nacházející se ve dřevě a je vyjádřena poměrem hmotnosti vody ku hmotnosti absolutně suchého dřeva. Označuje se jako absolutní vlhkost. Vlhkost dřeva lze vyjádřit i jako poměr hmotnosti vody ku hmotnosti mokrého dřeva, nazývá se relativní vlhkost. Oba druhy vlhkosti se nejčastěji vyjadřují v % (Požgaj a kol., 1993; Novák, 1970).

##### **3.7.1.1. Metody měření vlhkosti**

Zjišťování vlhkosti dřeva lze provést podle několika metod. Tyto metody lze rozdělit do dvou základních skupin. Přímé metody zjišťování vlhkosti zjišťují skutečné množství vody obsažené ve dřevě vážením. Patří sem gravimetrická, destilační a jodometrická metoda. Metody pro nepřímé zjištění vlhkosti slouží ke zjištění obsahu vody ve dřevě na základě jiných veličin. Patří sem hygrometrická, elektrofyzikální, optická, radiometrická, akustická a termofyzikální metoda (Gandelová a kol., 2002; Vanin, 1949).

#### **3.7.2. Mechanické vlastnosti dřeva**

Mechanickými vlastnostmi charakterizujeme schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Patří sem pevnost, pružnost, plastičnost a houževnatost dřeva, tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému zlomu a štípatelnost, opotřebovatelnost, impregnovatelnost a ohýbatelnost. Jako většina fyzikálních vlastností jsou i mechanické vlastnosti anizotropního charakteru. Je to dáno především chemickou a anatomickou strukturou dřeva (Gandelová a kol., 2002).



### **3.7.2.1. Mechanické namáhání**

Za mechanické namáhání lze označit působení sil na dřevo s dočasným, nebo trvalým následkem pro dřevo. Druhů namáhání je hned několik, mechanické, tepelné, vlhkostní, přičemž jsou často kombinované, jako nejčastější, mechanicko vlhkostní (Požgaj a kol., 1993).

### **3.7.2.2. Napětí a deformace**

Působí-li mechanické namáhání na dřevo, vzniká napětí. Definuje se jako velikost sil, které působí na plochu. Působí-li síla kolmo na plochu, vzniká normálové napětí ( $\sigma$  – sigma). Působí-li síla v rovině průřezu, vzniká tangenciální napětí ( $\tau$  - tau). Pružnost dřeva je schopnost dřeva dosáhnout původních rozměrů po odstranění sil. Pevnost dřeva je schopnost odolávat proti trvalému porušení. Deformací rozumíme změnu tvaru a rozměrů dřeva vzniklou působením sil. Síly, které dřevo prodlouží, či zkrátí, nazýváme normálové deformace ( $\varepsilon$  - epsilon) a síly, které dřevo zkosí pak tangenciální deformace ( $\gamma$  - gama) (Vanin, 1949).

### **3.7.2.3. Pevnost dřeva**

Za pevnost dřeva lze označit schopnost dřeva odolávat takovému napětí, které neporuší soudržnost tělesa. Pokud napětí překročí tuto mez, dojde k porušení tělesa. Takové napětí označujeme jako mez pevnosti  $\sigma_p$  (Požgaj a kol, 1993).

V experimentální části této diplomové práce byla prováděná zkouška podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání, proto zde bude rozebrána jen tato problematika.

### **3.7.2.4. Pevnost dřeva v tahu a ve smyku**

Pevnost dřeva v tahu podél vláken je považována za největší. Průměrná pevnost dřeva vtahu se udává 120 MPa. Porušením takového tělesa dojde ke zpretrhání podélných vláken celulózy, které mají vysokou pevnost. Roztržená část dřeva s vyšší pevností má spíše vláknitou, nebo třískovou strukturu, zatímco dřevo s nižší pevností schodovitou, či téměř hladkou. Dřevo se při takovém namáhání chová jako křehký materiál s malou deformací (Novák, 1970).

Pevnost dřeva v tahu podél vláken u smrku je průměrně 103 MPa při vlhkosti 12% a 79 MPa při vlhkosti nad 30%. U dubu je průměrná pevnost v tahu podél vláken 132 MPa při 12% a 100 MPa při více, než 30% vlhkosti (Gandelová, 2002).

Pevnost dřeva v tahu napříč vláken je naopak tou nejmenší pevností, jaké dřevo dosahuje. Průměrná hodnota takové pevnosti se udává 1,5 až 5 MPa. Takto nízká pevnost vychází z orientace vazebných sil ve dřevě, kde převládají vodíkové můstky a Wan der Waalsovy vazby, které jsou všeobecně považovány za slabé vazby. Pevnost dřeva v tahu napříč vláken u smrku je průměrně 1,7 - 2,2 MPa při vlhkosti 12%. U dubu je průměrná pevnost v tahu podél vláken 5,8 MPa při 12% (Šlezingerová, Gandelová, 1998).

Pevnost dřeva ve smyku je závislá podle směru, v jakém působí na těleso. Smyk lze zjistit působením dvou stejně velkých sil, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů. Pro tuto práci je důležitá jen pevnost dřeva ve smyku podél vláken, kdy se uvádí, že průměrná pevnost dřeva při 12% vlhkosti je přibližně 10 – 12 MPa. U smrku je pak taková pevnost průměrně 6,9 MPa, zatímco u dubu 10,2 – 12,2 MPa (Perelygin, 1957; Gandelová, 2002).

#### **3.7.2.5. Faktory ovlivňující pevnost dřeva**

Pevnost dřeva ve všech směrech a namáháních je ovlivňována jinými vlastnostmi dřeva. Mezi takové patří zejména struktura a anatomická stavba dřeva, rovnoletost, podíl letního dřeva, šířka letokruhů, výskyt dřeňových paprsků, výskyt jádra a běli, hustota a vlhkost (Perelygin, 1957; Gandelová, 2002).

Vlhkost je důležitým faktorem a neměla pro praktické účely překračovat hodnotu meze hygroskopicity, protože při změně vlhkosti o 1% v rozsahu vody vázané, dochází ke změně pevnosti dřeva průměrně o 3 – 4%. Dřevo, s vlhkostí nad bodem nasycení vláken má téměř 3,8x menší pevnost a jeho deformace jsou větší téměř sedmkrát (Požgaj a kol, 1993).

### **3.8. Typy zkoušek pro stanovení pevnosti lepeného spoje**

Pro stanovení pevnosti lepeného spoje existuje hned několik norem. Hlavní rozdíl mezi normami je v tom, zda je výrobek určen pro konstrukční použití, nebo pro použití nekonstrukčního charakteru. Na zjišťování pevnosti výrobků určených pro nekonstrukční použití se vztahuje norma ČSN EN 205. U výrobků určených pro nosné konstrukce se zjišťuje pevnost lepeného spoje podle normy ČSN EN 302-1. Obě normy zohledňují, zda se jedná o prostý lepený spoj s tenkou vrstvou lepidla, či zda se jedná o spoj určený pro speciální použití s tlustou vrstvou lepidla. Obě normy mají také shodné rozměry zkušebních těles a výpočet pevnosti. Rozdíl těchto dvou norem je však v přípravě vzorků. Zatímco norma ČSN EN 205 pro nekonstrukční použití stanovuje, že zkušební vzorky mají být kondicionované na rovnovážnou vlhkost 12% a zkouška pevnosti probíhat při této vlhkosti, norma ČSN EN 302-1 pro konstrukční použití stanovuje více možných úprav vzorků podle označení skupin, viz tabulka č. 1.

**Tabulka č. 1 Úprava vzorků dle ČSN EN 302-1**

Označení	Úprava
A1	Žádná jiná úprava než kondicionování při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %
A2	4 dny máčení ve studené při teplotě 20 ± 5 °C Vzorky testované v mokřém stavu
A3	4 dny máčení ve studené při teplotě 20 ± 5 °C Poté kondicionování ve standardním klimatu [20 °C / 65 %] do původního objemu. Vzorky testované v suchém stavu
A4	6 hodin máčení ve vařící vodě 2 hodiny máčení ve studené vodě (20 ± 5 °C) Vzorky testované v mokřém stavu
A5	6 hodin máčení ve vařící vodě 2 hodiny máčení ve studené vodě (20 ± 5 °C) Poté kondicionování ve standardním klimatu [20 °C / 65 %] do původního objemu. Vzorky testované v suchém stavu
A6	72 hodin při 50 °C zabalené v hliníkové folii Vzorky testovány horké v teplotně kontrolované kabině při 50 ± 2 °C
A7	72 hodin při 70 °C zabalené v hliníkové folii Vzorky testovány horké v teplotně kontrolované kabině při 70 ± 2 °C
A8	72 hodin při 90 °C zabalené v hliníkové folii Vzorky testovány horké v teplotně kontrolované kabině při 90 ± 2 °C

Tato tabulka je důležitá pro další normu, vztahující se k polyuretanovým lepidlům. ČSN EN 15 425 je norma pro jednosložková polyuretanová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce a specifikuje klasifikaci a funkční požadavky. Tato norma rozlišuje tzv. **servisní třídy**. Je to obdoba rozdělení termoplastických lepidel pro nekonstrukční použití (třídy trvanlivost D1-D4) použité v normě ČSN EN 204. Rozdíl je však v tom, že se nejedná o krátkodobý kontakt s vodou, jako je tomu u ČSN EN 204, ale o kontakt dlouhodobý s tím, že hlavní charakteristickou hodnotou je relativní vlhkost vzduchu při teplotě 20 °C, která nesmí přesáhnout mez stanovenou normou po více než několik týdnů v roce. Přehled podmínek pro zařazení do jednotlivých servisních tříd je uveden v tabulce níže.

**Tabulka č. 2 Rozdělení do servisních tříd dle ČSN EN 302-1**

	Servisní třída 1	Servisní třída 2	Servisní třída 3
Rel. Vlhkost vzduchu	65 %	85 %	> 85 %
Při teplotě	20 °C	20 °C	20 °C

Polyuretanová lepidla pro konstrukční použití jsou pak podle této normy klasifikovány podle typu (klimatických podmínek) na:

**Typ adheziva I** – použitelné v servisních třídách 1, 2, a 3

**Typ adheziva II** – použitelné pouze v servisní třídě 1

Norma ČSN EN 15 425 pro jednosložková polyuretanová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce dále specifikuje, které skupiny se mají použít při testování lepidel podle normy ČSN EN 302-1 pro lepidla pro konstrukční použití.

Pro zjištění pevnosti zkouškou smykové pevnosti tahem norma definuje tři skupiny, a to A1, A2 a A5.

**Tabulka č. 3 Skupiny pro smykovou pevnost tahem dle ČSN EN 302-1**

Označení	Úprava
A1	Žádná jiná úprava než kondicionování při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %
A2	4 dny máčení ve studené při teplotě 20 ± 5 °C Vzorky testované v mokřím stavu
A5	6 hodin máčení ve vařící vodě 2 hodiny máčení ve studené vodě (20 ± 5 °C) Poté kondicionování ve standardním klimatu [20 °C / 65 %] do původního objemu. Vzorky testované v suchém stavu

### **3.9. Specifikace použitých dřevin**

Všechny dřeviny mají své specifické fyzikální a mechanické vlastnosti, proto je třeba při lepení znát nejen vlastnosti lepidel, ale také adherentu, lepeného materiálu, v tomto případě dřeva. Složení dřeva lze rozdělit na tři základní složky, a to celulózu, hemicelulózu a lignin. Vedle těchto základních složek jsou ve dřevě obsaženy v minoritním podílu také různé bílkoviny, cukry, anorganické soli, tuky, třísloviny, pryskyřice a jiné. Lepidla mohou s těmito látkami obsaženými ve dřevě reagovat a například silně kyselá, nebo alkalická lepidla mohou rozložit svým složením velké makromolekuly na menší, čímž se sníží pevnost dřeva v okolí lepeného materiálu (Trávník, 2008). Dále budou popsány jen ty dřeviny, o kterých pojednává tato diplomová práce. Jsou jimi:

#### **3.9.1. Dub**

Dub, latinsky *Quercus robur*. Je kruhovitě pórovitá dřevina. Vlivem vysokého obsahu tříslovin lze zařadit dřevo dubu mezi velmi trvanlivá dřeva. Zároveň je dub velmi pevné a středně tvrdé dřevo. Tyto vlastnosti vycházejí z jeho hustoty, která se pohybuje v absolutně suchém stavu okolo  $680 \text{ kg/m}^3$ . Dřevo dubu je charakteristické širokými jarními cévami a cévami letního dřeva viditelnými díky seskupení do světle zvlněných radiálních řad. Patří do skupiny jádrových dřevin a jeho běl je úzká, světle hnědá, jádro žlutohnědé až tmavě hnědé. Dřeňové paprsky jsou dobře viditelné na všech řezech. Čerstvé dřevo vydává díky obsahu tříslovin výrazný zápach (Zeidler, 2012; Šlezingerová, Gandelová, 1998).



Obrázek č.5 Dub (výřez, příčný, tangenciální a radiální řez), zdroj: Zeidler, 2012

### 3.9.2. Buk

Buk, latinsky *Fagus sylvatica*. Je roztroušeně pórovitá dřevina, která patří mezi nejvíce zastoupené dřeviny na území ČR. Řadí se mezi středně těžká, středně tvrdá dřeva. Trvanlivost bukového dřeva a jeho odolnost proti biotickým škůdcům je nízká. Problematické je také sušení, kdy vzniká množství výsušných trhlin a dochází k borcení dřeva. Naopak paření, moření, nebo impregnovatelnost buku jsou velice dobré, díky čemuž má výborné předpoklady pro ohýbání, nebo jako surovina pro výrobu dých a překližek. Buk je snadno rozpoznatelná dřevina, díky výskytu mnohovrstevných 1 – 5 mm vysokých dřevných paprsků, viditelných na všech řezech. Barva bukového dřeva je pleťově růžová, starší stromy obvykle mají nepravé jádro (Zeidler, 2012; Šlezingerová, Gandelová, 1998).



Obrázek č.6 Buk (výřez, příčný, tangenciální a radiální řez), zdroj: Zeidler, 2012

## **4. Metodika**

### **4.1. Výběr adhesiv**

Testovány byly dva nové typy PUR adhesiv, určené pro lepení nosných konstrukčních spojů dubového a bukového dřeva do interiéru i exteriéru. Výběr PUR adhesiv byl stanoven na základě konzultace požadavků kladených na adhesiva v budoucím výrobním programu společnosti MATRIX a.s. Požadavkem bylo zvolit a otestovat takový typ adhesiva, jehož aplikace bude z technologického hlediska a procesu lepení ve výrobě relativně efektivní a méně náročná. Zároveň bylo požadavkem výběr takového typu adhesiva, které by mohlo být použitelné i v interiéru bez případného rizika uvolňování zdraví škodlivých látek do okolního prostředí. Proto byly vybrány systémy pro lepení na bázi jednosložkových PUR, a to i za cenu, že tato adhesiva jsou až třikrát dražší než systémy na bázi formaldehydu. Jejich vytvrzení probíhá při relativně vyšší vlhkosti, resp. čím vyšší je vlhkost PUR adhesiva, tím vytvrzuje rychleji. Zároveň se nemusí zvyšovat teplota při vytvrzení a díky jedné složce je docílena technologicky snadná aplikace.

Prvním typem testovaného adhesiva je jednosložkové na bázi PUR pod komerčním označením **Kestopur 1010**, které bylo vyvinuto společností Kiilto (Finsko) (viz tab. č. 4, příloha 1). Chemické složení tohoto adhesiva je polyether polyol počáteční molární hmotností od 2000 g/mol do 3000 g/mol (405 g) + katalyzátor (0.8 g) + polyisokyanát na bázi on 4,4,-difenylmethan-diisokyanát (620 g) + UV-stabilizátory (10.3 g). Adhesivum vytvrzuje při zvýšené vlhkosti.

Druhým typem je jednosložkové PUR adhesivum pod komerčním označením **Kestopur G10**, které vyvinulo společnost Kiilto (Finsko) (viz tab. č. 4, příloha 2) Chemické složení tohoto adhesiva je polyether polyol počáteční molární hmotností od 1000 g/mol do 2000 g/mol (405 g) + katalyzátor (0.5 g) + polyisokyanát na bázi on 4,4,-difenylmethan-diisokyanát (540 g). Adhesivum vytvrzuje při zvýšené vlhkosti.

**Tabulka č. 4 Charakteristika vlastností testovaných adhesiv (zdroj: autor práce)**

<b>Typ adhesiva</b>	<b>PUR 01</b>	<b>PUR 02</b>
Komerční označení	1010	G10
Viskozita při 20 °C (mPas)	10 000	15 000
Minimální procesní teplota (°C)	+ 15	+ 18
Otevřený čas (min.)	max 10	max 10
Vlhkost dřeva (%)	6 – 20	9 – 18
Tlak lisování (MPa)	0,6 – 1	0,6 – 1
Hustota (g/dm <sup>3</sup> )	1,2	1,2
Lisovací čas (min.)	min. 30	min. 20
Spotřeba pro plošné lepení (g/m <sup>3</sup> )	160 – 200	160 – 200

Hodnoty přebrány z technických listů, viz přílohy.

#### **4.2. Metodologický postup zkoušek**

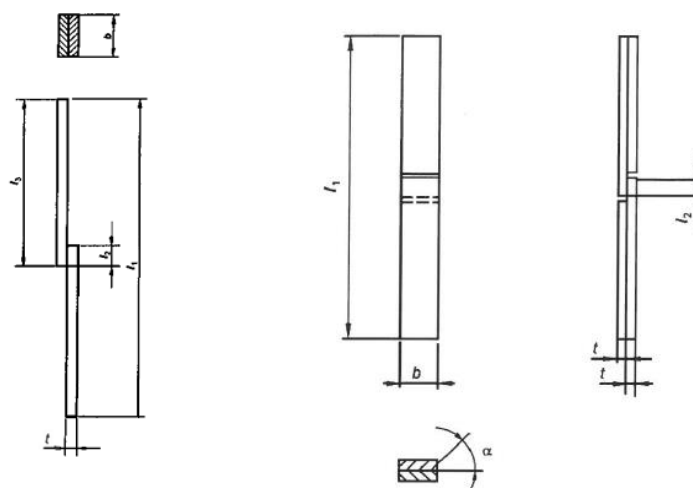
Cílem je stanovit vhodný metodologický postup pro získání velikosti podélné pevnosti zvolených adhesiv pro jejich klasifikaci při použití adhesiv na konstrukční lepené spoje dřeva dubu a buku do interiéru a exteriéru. Pro stanovení charakteristik adhesiv a jejich klasifikace byla na základě literární rešerše stanovena metodika testování dle norem ČSN EN 302-1 (2013) a ČSN EN 15425 (2017). Tato norma stanovuje postup pevnostních zkoušek metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání.

Postup této zkoušky pro stanovení podélné pevnosti ve smyku pro jednosložková PUR lepidla pro nosné dřevěné konstrukce je dle ČSN EN 302-1 (2013) metodologicky podobný, jako postup stanovení podélné pevnosti ve smyku pro lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace dle ČSN EN 204 (2001) a ČSN EN 205 (2003). Avšak postup dle ČSN EN 302-1 (2013) stanovuje náročnější podmínky pro dobu expozice a typ prostředí testovaných vzorků lepených spojů před zkouškou pro stanovení podélné pevnosti.



### 4.3. Výroba a příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa pro stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání udává norma ČSN EN 302-1. Tyto vzorky mají předepsané rozměry. Délka lamely 80 mm, šířka lamely 20 mm, tloušťka lamely 5 mm, délka dvou slepených lamel 150 mm, délka lepené spáry 10 mm, šířka lepené spáry 20 mm, úhel svírající letokruhy s lepenou plochou lamely 30 – 85°. Vlhkost zkušebních vzorků by měla být 12 % (po klimatizování při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 % po dobu 7 dní). Nános lepidla by měl být alespoň na jedné lamele z lepeného souboru a měl by být rovnoměrně rozprostřen po celé ploše lepené spáry tak, aby byly při lisování vytlačeny přebytky lepidla ven. Pro rychle tuhnoucí lepidla se spíše než tělesa lepená z panelů a následně prořezávaná mohou použít i tělesa s jednoduchým přelepem.



Obrázek č. 7 Zkušební tělesa podle ČSN EN 302-1

Kde

$l_1$	Délka zkušebního tělesa	(150 ± 2 mm)
$l_2$	Délka přelepu	(10 ± 0,2 mm)
$l_3$	Délka panelu pro přípravu zkušebního tělesa	(80 ± 2 mm)
$t$	Tloušťka panelu	(5 ± 0,1 mm)
$b$	Šířka zkušebního tělesa	(20 ± 0,2 mm)
$\alpha$	Úhel mezi lepenou spárou a letokruhy	(30 – 85°)

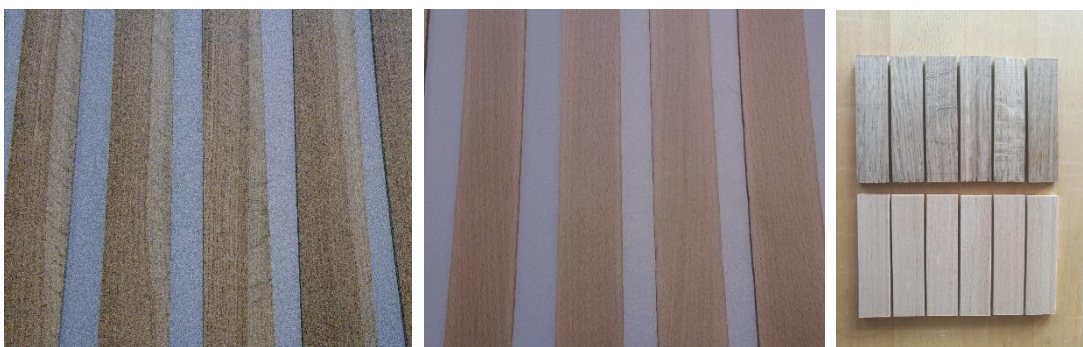
### **Výroba vzorků:**

Laboratorní vzorky z buku a dubu byly vyrobeny v Laboratoři zpracování biomateriálů na Fakultě lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze.

Z bukových a dubových fošen byly vyřezány na kotoučové formátovací pile SCM si 400 Class lišty o rozměru 500 x 50 x 8mm tak, aby byl průběh vláken těchto lišt co nejvíce radiální, či se nepatrně odkláněl od kolmé roviny. Tyto vzorky byly následně tloušťkovány na tloušťkovací frézce SCM s630 Class. Nejprve z jedné strany, posléze z druhé, dokud nebyl povrch obou ploch rovnoběžný a dokonale obrobený. Tloušťkováním se zmenšila tloušťka lišt na 5 mm, požadovaných normou ČSN EN 302-1. Z těchto lišt byly následně vyřezány na výše zmíněné formátovací pile lišty o jmenovité šířce 20 mm, opět, jak specifikuje norma. Na formátovací pile byly posléze zkráceny lišty na délku 80 mm, jak požaduje norma, tak, aby vznikly lamely pro lepení zkušebních tělísek.

První polovina z celkového počtu 288 zkušebních těles byla vyrobena ze dřeva buku. Z tohoto počtu 144 vzorků bylo u počtu 72 vzorků pro plochu lepené spáry ponecháno vyzrálé dřevo, u počtu dalších 72 vzorků pak dřevo běle. U poloviny z těchto vzorků pak bylo pro lepené spoje použito adhesivum typu PUR 1010, a druhé skupiny 72 vzorků adhesivum typu PUR G10.

Druhá polovina z celkového počtu 288 zkušebních těles byla vyrobena ze dřeva dubu. Z tohoto počtu 144 vzorků bylo u počtu 72 vzorků pro plochu lepené spáry ponecháno jádrové dřevo, u počtu dalších 72 vzorků pak dřevo běle. U poloviny z těchto vzorků pak bylo pro lepené spoje použito adhesivum typu PUR 1010, a druhé skupiny 72 vzorků adhesivum typu PUR G10 (viz tab. 6).



**Obrázek č.8 Panely a lamely z dubu a buku (zdroj: autor práce)**

## Příprava zkušebních těles

Při přípravě zkušebních těles pro pevnostní zkoušky metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání se postupovalo dle normy ČSN EN 302-1 (2013).

Polovina zkušebních těles byla vyrobena dle normy ČS EN 302-1 (viz obr. 7) z bukového dřeva (*Fagus sylvatica*) s hustotou dřeva  $700 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ , druhá polovina pak ze dřeva dubu (*Quercus petraea*) s hustotou dřeva  $680 \pm 50 \text{ kg/m}^3$  (viz. tab.6). Dle normy ČS EN 302-1 je požadovaným druhem dřeviny pro výrobu zkušebních těles dřevo buku, a to z důvodu jeho vysoké pevnosti zamezující při zkoušce stanovení podélné pevnosti ve smyku vzniku defektu v lepeném spoji, a ne ve dřevě.

V této práci je pro stanovení a porovnání podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání použito pro výrobu zkušebních těles i dřevo dubu. Dále pak byla pevnost lepeného spoje hodnocena z hlediska rozdílu části použitého dřeva pro lepený spoj, tj. rozdíl pevnosti u bělového dřeva a vyvrátého dřeva buku a dále pak u bělového a jádrového dřeva dubu (viz tab. 6).

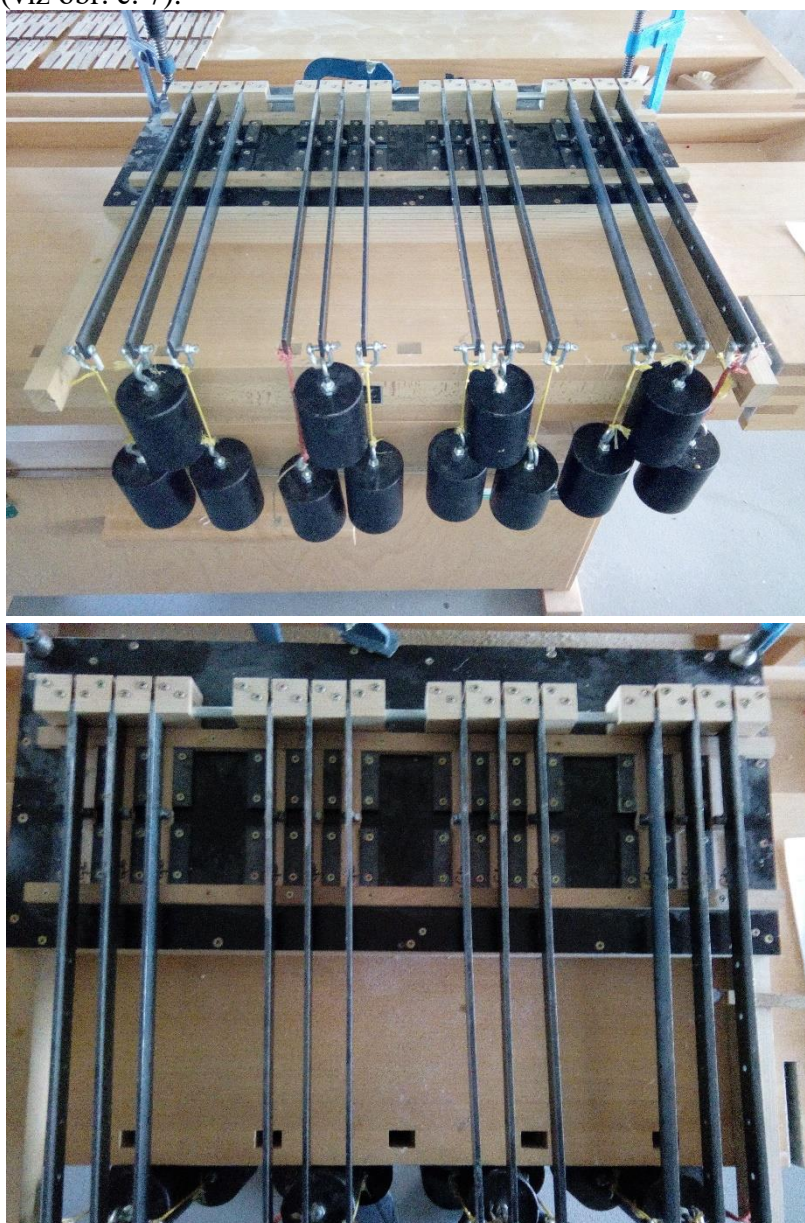
Lamely, určené ke slepení byly umístěny v klimatizační komoře typu Memmert HPP 750 (Memmert GmbH, Německo) při teplotě  $20 \pm 2 \text{ °C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $65 \pm 5 \text{ °C}$ . Náhodný vzorek byl vybrán a zvážen. Tato hodnota váhy se na vzorek napsala tužkou a vzorek byl umístěn do klimatizační komory k ostatním. Každý den byla u tohoto vybraného vzorku měřena váha vzorku, než se ustálila na stejné hodnotě  $\pm 0,5$  gramu. Toto kondicionování probíhalo 7 dní.



Obrázek č.9 Klimatizační komora Memmert HPP 750 (zdroj: autor práce)

Před lepením byly z komory vybráno vždy 24 ks lamel, plochy lamel očištěny a označeny. Nános adheziva byl proveden pomocí špachtle a dokonale rozetřen po celém lepeném povrchu.

Lepení probíhalo v laboratorním lise (přípravku) s předem nastavenými zarážkami tak, aby výsledný lepený zkušební vzorek odpovídal rozměrům uvedených v normě. Zkušební tělesa byla pro vytvrzení adheziva v přípravku lisována tak, aby byl lepený spoj po dobu 7 dní zatěžován silou  $0,8 \pm 0,1 \text{ N/mm}^2$  konstantně po celé jeho ploše. Vzniklá lepená spára disponovala tloušťkou max. do 0,1 mm (viz obr. č. 7).



Obrázek č.10 Přípravek pro lisování – pohled zepředu a shora (zdroj: autor práce)



**Obrázek č.11 Splená a vytvrzená zkušební tělesa (zdroj: autor práce)**

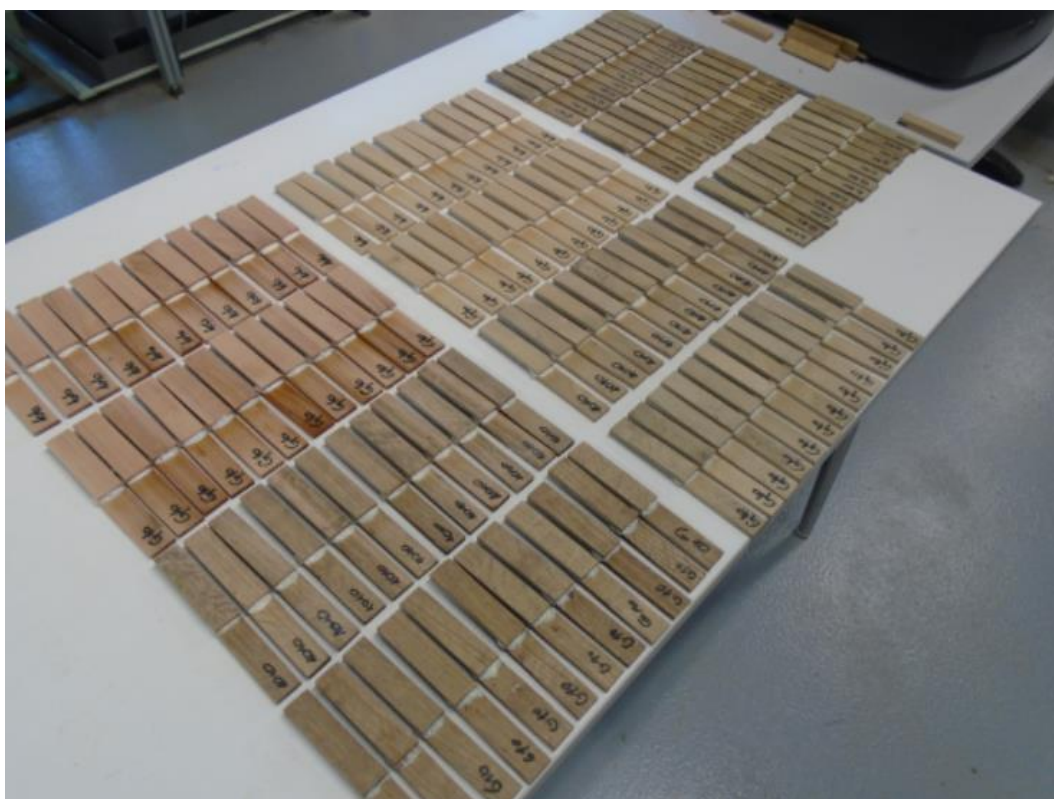
Před zkouškou byly zkušební vzorky kondicionovány dle postupů A1, A2 a A5 (viz tab. 5). Podmínky pro lepení (doba otevření, lisovací tlak) byly v souladu s údaji specifikovanými výrobcem lepidel (viz. tab. 4). Lepení bylo prováděno při teplotě  $20 \pm 2$  °C a takové relativní vlhkosti vzduchu, aby se zabránilo změně vlhkosti dřeva. Vlhkost byla měřena hmotnostní metodou.



**Obrázek č.12 Máčení a vaření těles před zatížením závažím (zdroj: autor práce)**

Tabulka č. 5. Doba expozice a typ prostředí pro testování zkušebních tělísek (ČSN EN 302-1)

Označení	Doba expozice a typ prostředí
A1	Vzorky lepeného dřeva po 7 dní klimatizovat při 20±2°C a 65±5% Následně vzorky testovat
A2	Na 4 dny vzorky lepeného dřeva ponořit do vody o 20±5°C Následně vzorky testovat ve vlhkém stavu
A3	Na 4 dny vzorky lepeného dřeva ponořit do vody o 20±5°C Následně vzorky testovat ve vlhkém stavu
A4	Po 6 hod. ponořit do vařící vody Na 2 hod. ponořit do vody o 20±5°C Následně testovat ve vlhkém stavu
A5	Po 6 hod. ponořit do vařící vody Na 2 hod. ponořit do vody o 20±5°C Po 7 dní klimatizovat při 20±2°C na 65±5% Následně testovat v suchém stavu



Obrázek č. 13. Kondicionovaná zkušební tělíška (zdroj: autor práce)

Tabulka č. 6. Stanovení počtu zkoušek a zkušebních tělísek (zdroj: autor práce)

Označení dle doby a času expozice vzorku	Typ adhesiva	Druh dřeviny	Část dřeviny	Počet platných měření	Počet připravených zkušebních těles
A1	PUR 1010	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A2	PUR 1010	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A5	PUR 1010	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A1	PUR G 10	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A2	PUR G10	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A5	PUR G10	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A1	PUR 1010	Buk	Běl	10	12
A2	PUR 1010	Buk	Běl	10	12
A5	PUR 1010	Buk	Běl	10	12
A1	PUR G 10	Buk	Běl	10	12
A2	PUR G10	Buk	Běl	10	12
A5	PUR G10	Buk	Běl	10	12
A1	PUR 1010	Dub	Jádro	10	12
A2	PUR 1010	Dub	Jádro	10	12
A5	PUR 1010	Dub	Jádro	10	12
A1	PUR G 10	Dub	Jádro	10	12
A2	PUR G10	Dub	Jádro	10	12
A5	PUR G10	Dub	Jádro	10	12
A1	PUR 1010	Dub	Běl	10	12
A2	PUR 1010	Dub	Běl	10	12
A5	PUR 1010	Dub	Běl	10	12
A1	PUR G 10	Dub	Běl	10	12
A2	PUR G10	Dub	Běl	10	12
A5	PUR G10	Dub	Běl	10	12

#### **4.4. Průběh zkoušky**

Zkouška stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání metodologicky proběhla dle normy ČSN EN 302-1 (2013). Testovacím zařízením byl univerzální zkušební trhací stroj typu TIRA test 2850 od výrobce TIRA GmbH (Německo) s konstantním posuvem.



**Obrázek č.14 Zkušební stroj a čelisti s nastavitelnými držáky (zdroj: autor práce)**

Zkušební tělíska byla upevněna na obou koncích do čelistí trhacího stroje v délce 40 – 50 mm. Následně byla namáhána tahovou silou, dokud nedošlo k jejich porušení. Zaznamenána byla nejvyšší vyvinutá síla v  $F_{max}$  v Newtonech (N). Konstantní rychlost posuvu nastavena na 50 mm/min. a nesměla být překročena. Bylo kontrolováno, zdali dojde k porušení lepeného spoje v časovém limitu od 30 do 90 s (ČSN EN 302-1). Po porušení lepeného spoje byl každý otestovaný vzorek zkontrolován, aby došlo k porušení lepeného spoje v lepené spáře, a ne ve dřevě.



Výsledkem charakterizujícím pevnost lepeného spoje je hodnota pevnosti ve smyku  $\tau$ , která se vypočítá dle vzorce

$$\tau = \frac{F_{\max}}{l_2 \times b} \quad \text{Zdroj: ČSN EN 302-1}$$

Kde:

$\tau$  Je pevnost ve smyku v N/mm<sup>2</sup>

$F_{\max}$  Je největší vyvíjená síla v Newtonech (N)

$l_2$  Je délka spojeného zkušební povrchu v milimetrech (mm)

$b$  Je šířka spojeného zkušební povrchu v milimetrech (mm)

Každá skupina obsahovala 12 slepených těles tak, aby bylo dosaženo vždy minimálně 10 platných výsledných hodnot pevností. Všechna tělesa navíc byla označena číselným kódem, aby bylo zajištěno, jasné rozdělení do skupin.

**Tabulka č. 7 Rozdělení pomocí kódování (zdroj: autor práce)**

		Označení kódem			
		Dřevina	Lepidlo	Úprava	Porušení
Číslo	1	Dub	PUR 1010	A1	V lepidle
	2	Buk	PUR G10	A2	Ve dřevě
	3	-	-	A5	-

Příklad: 1211 – Zkušební těleso vyrobené z dubu, lepené lepidlem Kestopur G10, klimatizované na 12% vlhkosti, roztržené v lepidle.

Pro informační charakteristiku pevnosti dřeva ve smyku byly otestovány i vzorky z nelepeného masivního dřeva. Přičemž nebyla pevnost dřeva ve smyku stanovena dle postupu normy ČSN 49 0118, ale byla realizována stejně jako u testovaných lepených spojů dle ČSN EN 302-1 a měla pouze informační charakter.

## **5. Výsledky a statistické vyhodnocení**

Hlavním cílem práce je posouzení kvality polyuretanových lepidel pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí. Pro posouzení vhodnosti použití daného adhesiva pro lepené konstrukční spoje v prostředí o určité relativní vlhkosti vzduchu a teploty po určitou dobu je použit jeden typ zkušební metody, a to stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání, kde výsledkem testů jsou hodnoty pevností lepených spojů. Na základě těchto hodnot pevností lepeného spoje ve smyku jsou testovaná adhesiva dále klasifikována dle normy ČSN EN 15 1425. Tato norma stanovuje použitelnost jednosložkových polyuretanových adhesiv při daných klimatických podmínkách a na základě zařazení adhesiv do servisních tříd je stanoven typ adhesiva – typ I anebo typ II.

Pro naměřené hodnoty podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání byly vypočítány základní popisné statistiky (viz tab. č. 8 a tab. č. 9). Následně byla data graficky zpracována do krabicových grafů (viz grafy č. 1, 2 a 3 – obr. č. 15, 16 a 17). Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností ve smyku lepeného spoje byl použit test korelační analýzy (viz tab. č. 10, 11 a 12). Pro statistické výpočty byl použit software Statistica (StatSoft CR s.r.o.).

### **Klasifikace použitých adhesiv dle ČSN EN 15 425**

Na základě výsledných hodnot pevností ve smyku při tahovém namáhání lepených spojů u dřeviny buku (viz tab. č. 8) byla testovaná adhesiva Kestopur 1010 a Kestopur G10 klasifikována do servisních tříd. Adhesiva byla klasifikována na základě porovnání výsledných průměrných hodnot pevností ve smyku lepených spojů s mezními hodnotami pevností pro jednosložková polyuretanová adhesiva pro nosné dřevěné konstrukce stanovených normou ČSN EN 15 425 – tab. 3, a to pouze dřeva buku. Při tloušťce lepené spáry do 0,1 mm oba dva typy adhesiv splňují pevnost stanovenou pro adhesivum Typu I i Typu II. Adhesivum Kestopur 1010 a Kestopur G10 mohou být použita pro lepení nosných dřevěných konstrukcí ve všech servisních třídách definovaných ČSN EN 15 425:

**Servisní třída 1:** Klimatické podmínky jsou charakterizované obsahem vlhkosti ve dřevě, které odpovídají teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu do 65% po dobu několika týdnů v roce.

Tato třída charakterizuje typické prostředí interiéru, průměrný obsah vlhkosti použité dřeviny nepřekročí 12%.

**Servisní třída 2:** Klimatické podmínky jsou charakterizované obsahem vlhkosti ve dřevě, které odpovídají teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu do 85% po dobu několika týdnů v roce.

Tato třída charakterizuje typické prostředí exteriéru, průměrný obsah vlhkosti použité dřeviny nepřekročí 20%.

**Servisní třída 3:** Klimatické podmínky jsou vyšší, než je tomu u servisní třídy 2.

Tato třída charakterizuje typické prostředí exteriéru.

**Tabulka č.8 Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje buku (zdroj: autor práce)**

Buk - Pevnost ve smyku v N/mm <sup>2</sup>									
Proměnná	Popisné statistiky								
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.	Směrod. (Chyba)
Buk vyzrálé dřevo Kestopur 1010 A1	10	14,55200	15,11300	9,65500	18,15400	7,80782	2,794247	19,20181	0,883619
Buk vyzrálé dřevo Kestopur 1010 A2	10	4,20245	4,12600	2,54800	5,63600	0,78237	0,884516	21,04763	0,279709
Buk vyzrálé dřevo Kestopur 1010 A5	10	13,16440	13,46150	10,02200	17,29700	6,92915	2,632328	19,99581	0,832415
Buk vyzrálé dřevo Kestopur G10 A1	10	15,56070	16,13350	9,22600	18,98500	8,85837	2,976302	19,12704	0,941189
Buk vyzrálé dřevo Kestopur G10 A2	10	5,52846	5,59200	3,32700	7,20500	1,57109	1,253430	22,67232	0,396369
Buk vyzrálé dřevo Kestopur G10 A5	10	11,49550	12,93750	4,33700	17,90800	24,35163	4,934737	42,92755	1,560501
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A1	10	13,64680	13,50300	9,98600	17,95100	7,88251	2,807580	20,57318	0,887835
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A2	10	3,90780	3,47650	2,55500	5,83100	1,35914	1,165823	29,83322	0,368665
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A5	10	13,19590	13,64200	8,00800	17,35400	9,28137	3,046535	23,08698	0,963399
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A1	10	15,16610	15,22900	11,44700	18,23100	4,24275	2,059794	13,58157	0,651364
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A2	10	5,43020	5,76600	3,00100	7,14500	1,74101	1,319474	24,29881	0,417254
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A5	10	11,83420	12,85150	5,63300	17,98800	17,08353	4,133223	34,92608	1,307040
Buk dřevo nelepené A1	10	11,44160	11,49850	9,66200	13,40600	1,47858	1,215968	10,62761	0,384523
Buk dřevo nelepené A2	10	10,68330	10,50850	9,22300	11,98900	0,97259	0,986202	9,23125	0,311864
Buk dřevo nelepené A5	10	10,87180	10,59950	10,01700	12,01700	0,48323	0,695150	6,39407	0,219826

**Tabulka č.9 Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje dubu (zdroj: autor práce)**

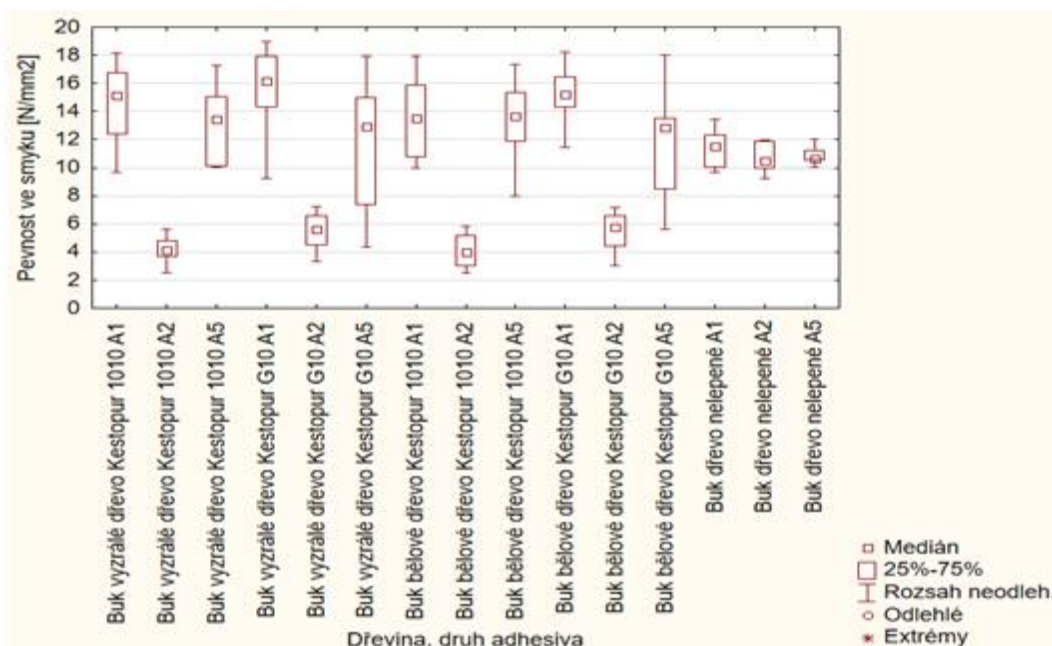
Dub - Pevnost ve smyku v N/mm <sup>2</sup>										
Proměnná	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr	Medián	Součet	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.	Směrod. (Chyba)
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A1	10	10,40010	10,48800	104,0010	6,739000	13,19100	4,68159	2,163698	20,80459	0,684221
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A2	10	4,02910	3,82500	40,2910	2,876000	5,86000	1,03091	1,015339	25,20014	0,321078
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A5	10	11,13410	11,23600	111,3410	9,605000	12,47700	1,12299	1,059714	9,51774	0,335111
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A1	10	10,11690	10,36000	101,1690	4,534000	14,74100	10,37454	3,220954	31,83736	1,018555
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A2	10	4,38160	4,22900	43,8160	2,257000	6,55300	1,46610	1,210828	27,63438	0,382897
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A5	10	11,21430	10,86100	112,1430	7,235000	14,10100	4,89484	2,212428	19,72863	0,699631
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A1	10	10,73470	10,66900	107,3470	6,739000	13,19100	4,31850	2,078100	19,35872	0,657153
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A2	10	4,24290	4,05500	42,4290	2,988000	5,57800	0,59263	0,769828	18,14390	0,243441
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A5	10	11,47440	11,24350	114,7440	9,113000	14,16700	2,28945	1,513093	13,18668	0,478482
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A1	10	10,35170	9,96650	103,5170	6,211000	14,98600	8,94957	2,991583	28,89944	0,946022
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A2	10	4,22020	4,33700	42,2020	2,368000	5,78900	1,43510	1,197958	28,38627	0,378827
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A5	10	11,28060	10,86100	112,8060	8,111000	14,63200	5,39960	2,323705	20,59913	0,734820
Dub dřevo nelepené A1	10	10,84160	11,31850	108,4160	7,662000	13,40600	2,67582	1,635794	15,08813	0,517284
Dub dřevo nelepené A2	10	10,98330	10,96200	109,8330	9,223000	12,00300	0,97662	0,988239	8,99765	0,312509
Dub dřevo nelepené A5	10	11,05180	11,10200	110,5180	9,275000	12,59700	0,98634	0,993144	8,98627	0,314060

## Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje buku

Z výsledků grafu č.1 (viz obr. č. 15) je patrné, že v případě dřeviny buku bylo dosaženo nejvyšších pevností po kondicionování zkušebních těles dle postupu A1. Při tomto postupu byla zkušební tělesa po 7 dní klimatizována při  $20\pm 2^\circ\text{C}$  a  $65\pm 5\%$  a tudíž nebyla v přímém a dlouhodobém kontaktu s vodou ani zvýšené teploty. Proto lepené spoje v těchto případech vykazovaly nejvyšší pevnost.

Z grafu č. 1 (viz obr. č. 15) je patrná menší pevnost lepeného spoje v případě lepení bělové části dřeva buku v porovnání k pevnosti lepeného vyzrálého dřeva u adhesiva Kestopur 1010. Naopak je patrná nepatrně vyšší pevnost lepeného spoje v případě lepení bělové části dřeva buku v porovnání k části vyzrálého dřeva u adhesiva Kestopur G10. Tyto výsledky pevností však nejsou na základě výsledků testu korelační analýzy statisticky významné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $P < 0,05$ ) a hodnoty se vzájemně významně liší pouze v rámci statistické chyby.

Nejnižších hodnot pevností lepeného spoje bylo dosaženo u buku při kondicionování lepených zkušebních těles dle postupu A2. Důvodem nízké pevnosti je dlouhodobé ponoření lepených spojů (po 4 dny) do vody o teplotě  $20\pm 5^\circ\text{C}$  a následné testování jejich pevnosti ve vlhkém stavu, což mělo negativní vliv na pevnost lepených spojů.



Obrázek č.15 Graf č. 1 Pevnost ve smyku lepeného spoje buku (zdroj: autor práce)

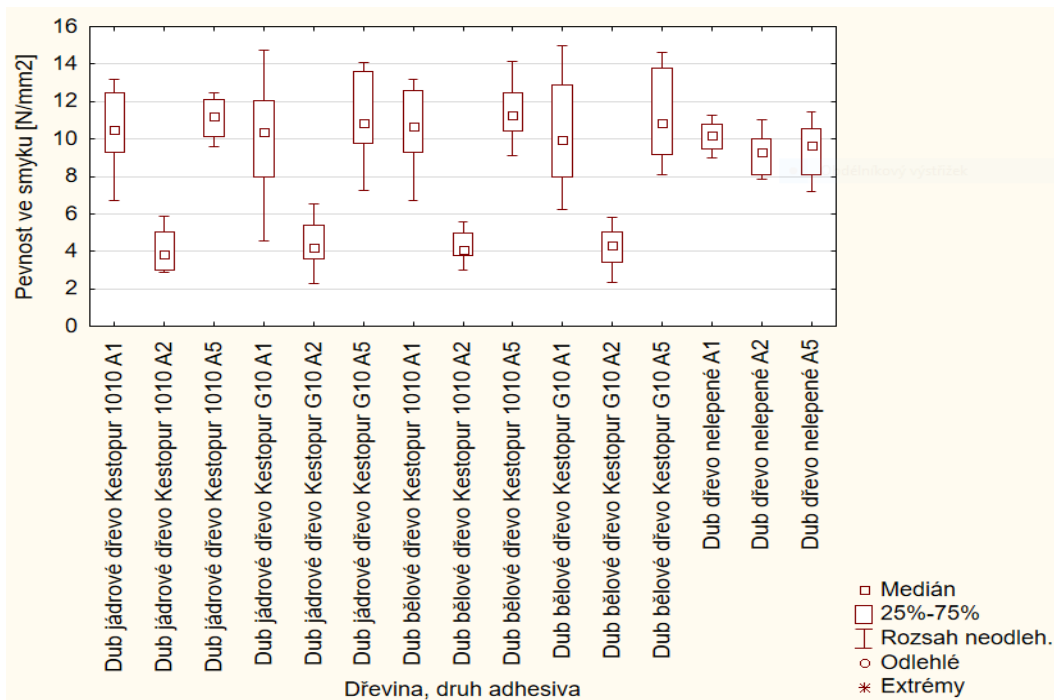
## Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje dubu

Nejvyšší pevnost lepených spojů u dřeviny dubu (graf č. 2) vykazovaly lepené spoje při použití obou adhesiv Kestopur 1010 a Kestopur G10 a která byla kondicionována dle postupu A5. Při tomto postupu je lepený spoj vystaven kontaktu s vroucí vodou po dobu 6 hodin, následně po dobu 2 hodin máčení ve studené vodě ( $20 \pm 5$  °C) a následně po 7 dní klimatizovány ( $20 \pm 5$  °C;  $65 \pm 5$  %). Možným vysvětlením dosažení tak vysoké pevnosti je, že při zvýšené vlhkosti a teploty PUR adhesiv dojde k jejich dodatečnému zesíťování proto lepené spoje v těchto případech vykazují nejvyšší pevnost.

Druhou nejvyšší pevnost vykazovala u obou typů adhesiv zkušební tělesa, která byla po 7 dní klimatizována při  $20 \pm 2$  °C a  $65 \pm 5$  % dle postupu A1 a tudíž nebyla v přímém a dlouhodobém kontaktu s vodou ani zvýšené teplotě.

Z grafu č. 2 (viz obr. č. 16) je patrná menší pevnost lepeného spoje v případě lepení jádrové části dřeva dubu v porovnání k pevnosti lepeného bělového dřeva u obou adhesiv Kestopur 1010 a Kestopur G10. Tyto výsledky pevností však nejsou na základě výsledků testu korelační analýzy statisticky významné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $P < 0,05$ ) a hodnoty se vzájemně významně liší pouze v rámci statistické chyby. Důvodem nižší pevnosti lepeného spoje jádra může být vyšší obsah terpenů a dalších látek, které obsahuje dřevo jádra.

Nejnižších hodnot pevností lepeného spoje vykazovaly zkušební tělesa dubu při kondicionování lepených zkušebních těles dle postupu A2. Důvodem nízké pevnosti je dlouhodobé ponoření lepených spojů (po 4 dny) do vody o teplotě  $20 \pm 5$  °C a následné testování zkušebních těles ve vlhkém stavu, což mělo negativní vliv na pevnost lepených spojů.



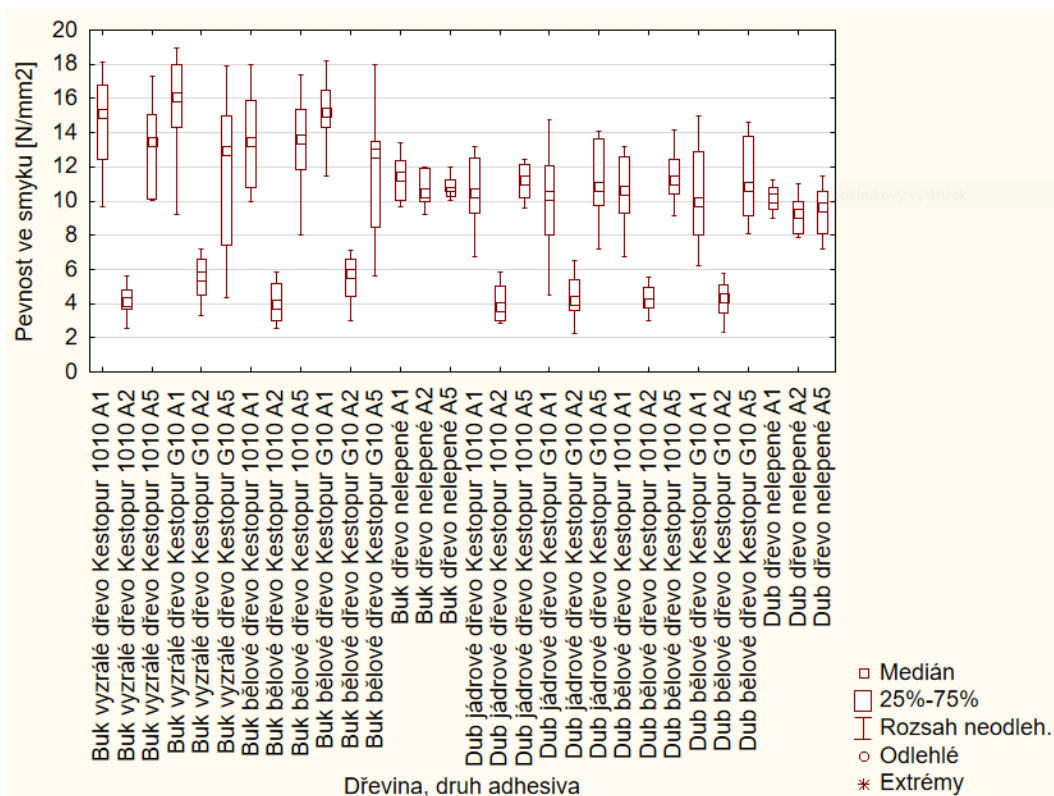
Obrázek č.16 Graf č. 2 Pevnost ve smyku lepeného spoje dubu (zdroj: autor práce)

### Vyhodnocení pevností lepeného spoje buku a dubu

Z grafu č. 3 (viz obr. č. 17) je patrná u všech typů zkoušek nižší pevnost lepených spojů dřeva dubu než buku. Důvodem nižší pevnosti lepených spojů u dubu je nižší adheze lepidla k povrchu dubu vlivem jeho hrubší struktury a přítomnosti terpenů u jádra dubu.

Pro porovnění k lepeným spojům byly realizovány zkoušky stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání masivního dřeva buku a dubu bez lepeného spoje při shodných postupech A1, A2 a A5.

Patrná menší pevnost lepených spojů dřeva dubu než u dřeva buku. Nutné je podotknout, že v tomto případě nebyla pevnost dřeva ve smyku stanovena dle postupu normy ČSN 49 0118, ale byla realizována stejně jako u testovaných lepených spojů dle ČSN EN 302-1 a měla pouze informační charakter pro porovnění pevnosti lepených spojů s pevností ve smyku podél vláken masivního dřeva. Výsledky pevností ve smyku masivního dřeva korepondují s výsledky studie autorů Jiang a kol. 2016.



Obrázek č.17 Graf č. 3 Pevnost ve smyku lepeného spoje buku a dubu (zdroj: autor práce)

Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností ve smyku lepeného spoje byl použit test korelační analýzy (tab. č. 10). Hodnoty zvýrazněné červeně vykazují závislost proměnných na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $P < 0,05$ ) a hodnoty se vzájemně významně liší. Ostatní hodnoty se prokazatelně statisticky vzájemně neliší, resp. liší se pouze v rámci statistické chyby.

**Tabulka č. 10 Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku korelační analýzou  
(zdroj: autor práce)**

Dub	Korelace (síla testu) Označ. korelace jsou významné na hlad. p < .05000 N=10 (Celé případy vynechány u ChD)														
	Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A1	Dub jádrové dřevo Kestopur R 1010	Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A5	Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A1	Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A2	Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A5	Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A5	Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A1	Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A2	Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A5	Dub bělové dřevo Kestopur G10 A1	Dub bělové dřevo Kestopur G10 A2	Dub bělové dřevo Kestopur G10 A5	Dub dřevo nelepené A1	Dub dřevo nelepené A2
Proměnná	1,000000	-0,251098	-0,259057	-0,484350	-0,481532	-0,185016	<b>0,945367</b>	0,018845	-0,367586	-0,474758	0,046704	-0,257598	0,066316	0,261476	-0,199085
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A1															
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A2	-0,251098	1,000000	-0,043101	0,172672	0,112024	0,160580	-0,285870	-0,179900	0,099007	0,246916	0,077193	0,290583	-0,288420	-0,376739	-0,150674
Dub jádrové dřevo Kestopur 1010 A5	-0,259057	-0,043101	1,000000	-0,302025	<b>0,716194</b>	<b>0,662569</b>	-0,154818	-0,161497	<b>0,837432</b>	-0,255434	0,422293	0,542288	0,105307	-0,221794	0,300063
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A1	-0,484350	0,172672	-0,302025	1,000000	0,326034	-0,050136	-0,297239	-0,243037	-0,321613	<b>0,978764</b>	0,106775	0,101918	0,046020	-0,491575	0,089964
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A2	-0,481532	0,112024	<b>0,716194</b>	0,326034	1,000000	0,499027	-0,225023	-0,310738	<b>0,699198</b>	0,392491	0,556887	0,515031	-0,012816	-0,538821	0,428208
Dub jádrové dřevo Kestopur G10 A5	-0,185016	0,160580	<b>0,662569</b>	-0,050136	0,499027	1,000000	-0,159287	-0,079215	<b>0,644564</b>	-0,017178	0,190968	<b>0,966680</b>	-0,177958	<b>-0,708147</b>	0,141960
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A1	<b>0,945367</b>	-0,285870	-0,154818	-0,297239	-0,225023	-0,159287	1,000000	-0,111316	-0,318540	-0,271549	0,259489	-0,219647	0,165261	0,130392	-0,091876
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A2	0,018845	-0,179900	-0,161497	-0,243037	-0,310738	-0,079215	-0,111316	1,000000	0,024059	-0,263424	-0,550003	-0,162418	0,212066	0,082196	-0,382606
Dub bělové dřevo Kestopur 1010 A5	-0,367586	0,099007	<b>0,837432</b>	-0,321613	<b>0,699198</b>	<b>0,644564</b>	-0,318540	0,024059	1,000000	-0,243271	0,284243	0,597004	-0,236633	-0,301073	0,285493
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A1	-0,474758	0,246916	-0,255434	<b>0,978764</b>	0,392491	-0,017178	-0,271549	-0,263424	-0,243271	1,000000	0,264569	0,159121	0,042322	-0,532799	-0,004138
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A2	0,046704	0,077193	0,422293	0,106775	0,556887	0,190968	0,259489	-0,550003	0,284243	0,264569	1,000000	0,266374	0,179232	-0,198167	-0,121102
Dub bělové dřevo Kestopur G10 A5	-0,257598	0,290583	0,542288	0,101918	0,515031	<b>0,966680</b>	-0,219647	-0,162418	0,597004	0,159121	0,268374	1,000000	-0,272265	<b>-0,790199</b>	0,084198
Dub dřevo nelepené A1	0,066316	-0,288420	0,105307	0,046020	-0,012816	-0,177958	0,165261	0,212066	-0,236633	0,042322	0,179232	-0,272265	1,000000	0,024567	-0,081346
Dub dřevo nelepené A2	0,261476	-0,376739	-0,221794	-0,491575	-0,538821	<b>-0,708147</b>	0,130392	0,082196	-0,301073	-0,532799	-0,198167	<b>-0,790199</b>	0,024567	1,000000	0,204120
Dub dřevo nelepené A5	-0,199085	-0,150674	0,300063	0,089964	0,428208	0,141960	-0,091876	-0,382606	0,285493	-0,004138	-0,121102	0,084198	-0,081346	-0,204120	1,000000

**Tabulka č. 11 Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje dubu korelační analýzou  
(zdroj: autor práce)**

Buk	Korelace (síla testu) Označ. korelace jsou významné na hlad. p < .05000 N=10 (Celé případy vynechány u ChD)														
	Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A1	Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A2	Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A5	Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A1	Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A2	Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A5	Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A1	Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A2	Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A5	Buk bělové dřevo Kestopur G10 A1	Buk bělové dřevo Kestopur G10 A2	Buk bělové dřevo Kestopur G10 A5	Buk dřevo nelepené A1	Buk dřevo nelepené A2	Buk dřevo nelepené A5
Proměnná	1,000000	0,516983	0,397579	0,575020	0,531831	0,123489	0,422120	-0,280136	-0,176419	0,300299	0,436124	0,013539	0,629428	-0,008478	-0,397173
Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A1															
Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A2	0,516983	1,000000	-0,183771	0,266742	0,526285	-0,106369	-0,005864	<b>-0,633235</b>	0,193142	0,262145	0,464321	-0,153224	0,615058	0,233268	0,032794
Buk vzrálé dřevo Kestopur 1010 A5	0,397579	-0,183771	1,000000	0,326276	0,067423	0,319814	-0,228524	0,200516	0,013952	-0,064164	-0,135433	0,297243	0,050340	-0,299952	-0,604567
Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A1	0,575020	0,266742	0,326276	1,000000	0,079158	0,240385	0,287697	-0,100514	-0,309103	<b>0,846442</b>	-0,006962	0,199594	0,063963	0,183940	0,005071
Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A2	0,531831	0,526285	0,067423	0,079158	1,000000	-0,183356	0,115460	<b>-0,648932</b>	-0,504818	-0,166336	<b>0,920278</b>	-0,304347	<b>0,698238</b>	0,245688	0,111241
Buk vzrálé dřevo Kestopur G10 A5	0,123489	-0,106369	0,319814	0,240385	-0,183356	1,000000	0,302408	-0,258898	-0,101870	-0,087240	-0,318540	<b>0,984726</b>	0,017130	0,232467	-0,041711
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A1	0,422120	-0,005864	-0,228524	0,287697	0,115460	0,302408	1,000000	-0,199864	-0,507425	0,227640	0,281420	0,211137	0,125351	0,152310	0,001922
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A2	-0,280136	<b>-0,633235</b>	0,200516	-0,100514	<b>-0,648932</b>	-0,258898	-0,199864	1,000000	0,280453	0,137225	-0,491308	-0,168490	<b>-0,711697</b>	-0,197611	-0,348285
Buk bělové dřevo Kestopur 1010 A5	-0,176419	0,193142	0,013952	-0,309103	-0,504818	-0,101870	-0,507425	0,280453	1,000000	-0,129029	-0,536502	-0,023161	-0,126711	-0,324984	-0,469354
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A1	0,300299	0,262145	-0,064164	<b>0,846442</b>	-0,166336	-0,087240	0,227640	0,137225	-0,129029	1,000000	-0,103564	-0,071060	-0,183160	0,207079	0,158018
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A2	0,436124	0,464321	-0,135433	-0,006962	<b>0,920278</b>	-0,318540	0,281420	-0,491308	-0,536502	-0,103564	1,000000	-0,433638	0,485084	0,350995	0,102961
Buk bělové dřevo Kestopur G10 A5	0,013539	-0,153224	0,297243	0,199594	-0,304347	<b>0,984726</b>	0,211137	-0,168490	-0,023161	-0,071060	-0,433638	1,000000	-0,063970	0,203108	0,002454
Buk dřevo nelepené A1	0,629428	0,615058	0,050340	0,063963	<b>0,698238</b>	0,017130	0,125351	<b>-0,711697</b>	-0,126711	-0,183160	0,485084	-0,063970	1,000000	-0,190923	0,068288
Buk dřevo nelepené A2	-0,008478	0,233268	-0,299952	0,183940	0,245688	0,232467	0,152310	-0,197611	-0,324984	0,207079	0,350995	0,203108	-0,190923	1,000000	0,371329
Buk dřevo nelepené A5	-0,397173	0,032794	-0,604567	0,005071	0,111241	-0,041711	0,001922	-0,348285	-0,469354	0,158018	0,102961	0,002454	0,068288	0,371329	1,000000



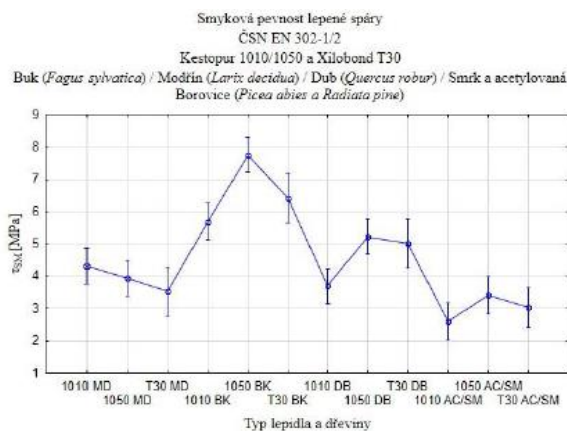


## 6. Diskuse

Požadavkem společnosti MATRIX a.s. bylo charakterizovat vhodnost použití vybraných polyuretanových lepidel pro lepení nosných dřevěných konstrukcí. Důvodem byl záměr společnosti zaměřit svůj budoucí výrobní program na zpracování suroviny buku a dubu pro výrobky s vysokou přidanou hodnotou. Důvodem navrhované změny výrobního programu je očekávaný nedostatek suroviny jehličnatých dřevin v průběhu středně dobého časového horizontu. Výběr polyuretanových lepidel vychází z požadavků na technologickou nenáročnost jejich aplikace, šetrnost vůči lidskému zdraví a životnímu prostředí. Nevýhodou jejich použití je jejich relativně vyšší cena.

Na základě realizovaných testů pro stanovení pevnosti ve smyku dle ČSN EN 15 425 bylo stanoveno, že adhesiva Kestopur 1010 a Kestopur G10 jsou vhodná pro použití i v exteriéru při dlouhodobém působení vyšší relativní vlhkosti vzduchu. Avšak v rámci této práce byla polyuretanová adhesiva klasifikována pouze namáháním ve smyku dle ČSN EN 15 425. Nosné konstrukční spoje podléhají dle použití spoje přísným kontrolám postupů dle dalších norem, např. rozlupčivosti. Proto by měla být testovaná adhesiva v budoucnu podrobena více zkouškám dle postupů dalších norem.

Zkoušky provedené na buku lze porovnat i s jinými výzkumy realizovanými v oblasti lepení dřeva. V roce 2016 posoudil Bc. Petr Ženatý bukové a dubové vzorky lepené polyuretanovými lepidly a shodou náhod použil lepidlo Kestopur 1010. Výsledky jeho práce korespondují s výsledky této práce.



Obrázek č.18 Výsledky smykových pevností druhého měření (zdroj: Bc. Ženatý, 2016)

## **7. Závěr**

V rámci literární rešerše byly analyzovány podmínky, které mají vliv na kvalitu lepeného spoje, teorie a podstata lepení. Výsledkem literární rešerše je pak soubor informací, díky nimž byl vytvořen metodologický postup stanovení pevnosti ve smyku tahovou zkouškou dle ČSN EN 302-1 pro klasifikaci nových jednosložkových polyuretanových lepidel typu Kestopur 1010 a Kestopur G10 pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí. Na základě výsledných hodnot pevností lepených spojů ve smyku byla obě testovaná adhesiva zařazena dle ČSN EN 15 425 pro účel použití při daných klimatických podmínkách, kterým je lepený spoj vystaven, do servisních tříd 1, 2 i 3, což odpovídá typu adhesiva I.

V rámci řešené práce bylo zjištěno, že adhesiva Kestopur 1010 a Kestopur G10 jsou vhodná pro lepené spoje dřevěných konstrukcí jak v interiéru, tak i v exteriéru při dlouhodobém působení vyšší relativní vlhkosti vzduchu.

V rámci práce byly stanoveny pevnosti lepených spojů ve smyku u dřeva buku. Testy pevností byly z důvodu možnosti porovnání realizovány i u dřeva dubu a dále pak byla tato pevnost porovnána s pevností masivního dřeva buku a dubu nelepeného. Cílem bylo získání představy o pevnostních charakteristikách testovaných adhesiv při použití i na jiné dřeviny, než je buk.

## **8. Seznam literatury a použitých zdrojů**

### **Literatura:**

BOUBLÍK, V. Lepidla a jejich příprava. II. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1966. 192 s. ISBN 04-952-66.

BROCKMANN, W. Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 978-3-527-31898-8.

ČERNÁ, B.; GREGOR, R. Syntetické polymerní hmoty. 1. vyd. Brno : Masarykova univerzita, 1989. 122 s. ISBN 80-210-0129-1.

DUCHÁČEK, V. Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy. 1. vyd. Praha : Vysoká škola chemickotechnologická, 1996. 56 s. ISBN 80-7080-265-0.

DOLEJŠ, A.; KADLEČEK, F. Technologie pro dřevoobory: pro 1. ročník středních odborných škol. Druhé. Praha: SNTL, 1986.

DRÁPELA, J. a kol. Výroba nábytku: Technologie. 1. vyd. Spálená 51, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.

EISNER, K., BERGER, V.; HAVLÍČEK, V.; OSTEN, M. Příručka lepení dřeva. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1966, 287s.

EISNER, K.; BERGER, V. Lepidla v dřevařském průmyslu. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Typové číslo L19-B2-V31/82033 114

GANDELOVÁ, L.; ŠLEZINGEROVÁ, J.; HORÁČEK, P. Nauka o dřevě. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. ISBN 80-7157-577-1.

JIANG, Y., SCHAFFRATH, J., KNORZ, M., WINTER, S. Bonding of various wood species – studies about their applicability in glued-laminated timber, Technische Universität München, 2016.

KAMENICKÝ, J.; RIZMANOVÁ, M. Materiály: pro 1. až 3. ročník SOU učebních oborů zpracování dřeva. Druhé. Praha: SNTL, 1989.

- KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J. Kompozitní materiály na bázi dřeva, Část 2: Dýhy, překližky a lepené materiály. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2005. ISBN 80-7157-878-9
- LIPTÁKOVÁ E.; SEDLIAČIK, M. Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. 1. vyd. Hurbanovo nám.3, 815 89 Bratislava: ALFA, 1989, 520s. ISBN 80-05-00116-9.
- MLEZIVA, J. Polymery-výroba, struktura, vlastnosti a použití. 1. vyd. Brno : Sobotáles, 1993. 528 s. ISBN 80-901570-4-1.
- MURRY Mc, J. Organic Chemistry, Eight Edition, 2012, Brooks/Cole, a Cengage Learning Company, ISBN 978-0-8400-5453-1.
- MUZIKÁŘ, Z., Materiály II: pro OU truhlář, 1. vydání, Praha, Informatorium, 2008, ISBN:978-80-7333-061-3
- NÁLEPA, K. Stručné základy chemie a fyziky polymerů. 1. vyd. Olomouc: rektorát Univerzity Palackého v Olomouci, 1990. 163 s.
- NOVÁK, V. 1970. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL. 748 s. ISBN 04-821-70.
- OSTEN, M. Lepení plastických hmot. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.
- OSTEN, M. Práce s lepidly a tmely. 3. vyd. Praha1: SNTL, 1986. 285 s.
- PÁNEK, M. Nátěry na dřevo a jejich testování. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2015. ISBN 978-80-213-2548-7.
- PERELYGIN, L.M. 1957. Náuka o dreve. Moskva: Sovietskaja Nauka. 444 s. ISBN 63-552-65.
- PETERKA, J. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. 1. Vyd. Praha, SNTL, 1980. 788 s.
- PIZZI, A., MITTAL, K. Handbook of adhesive technology. 2nd, rev. And expanded. New York: M. Dekker, 2003. ISBN 08-247-0986-1
- POKORNÝ, J. Lepení a tmelení v dílně i domácnosti. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2000. 104 s. ISBN 80-7169-857-1

POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 485s, 1. vyd. Bratislava: Priroda: Bratislava, 1993. ISBN 80-07-00960-4.

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

SEDLIAČIK, M. Nové kompozície polykondenzačných lepidiel a ich aplikácie v drevárskom priemysle. 1. vyd. Strážske: ZSVTS Chemko, 1992, 202 s. ISBN 80-228-0207-7.

SEDLIAČIK, M.; SEDLIAČIK, J. Chemické látky v drevárskom priemysle. I. vydání. Zvolen : TU Zvolen, 1998. 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

ŠLEZINGEROVÁ, J.; GANDELOVÁ, L. Stavba dreva. 1. vyd. Brno: MZLU, 1998. ISBN 80-715-7137-7.

ŠLEZINGEROVÁ, J.; GANDELOVÁ, L. Stavba dreva. 1. vyd. Brno: MZLU, 2002. 187 s. ISBN 80-7157-137-7

TRÁVNÍK, A. Technologické operace výroby nábytku 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005, 223 s. ISBN 978-80-7157-865-9

TRÁVNÍK, A., SVOBODA, J. Technologické procesy výroby nábytku 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007, 223 s. ISBN 978-80-7375-056-5

UHLÍŘ, A. Technologie výroby nábytku II. 2. vyd. Praha: Informatorium, 1997, 255 s. ISBN 80-86073-09-2

VANIN, S.I. 1949. Nauka o dřevě. Moskva: Goslesbušizdat. 428 s.

VESELÝ, K. Polymery. 1. vyd. Brno : Česká společnost průmyslové chemie, 1992. 178 s. ISBN 80-02-00951-7.

ZEMIAR, Ján. Technológia výroby nábytku. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2064-6.

ŽENATÝ, P. Posouzení kvality lepení kombinovaných masivních materiálů na bázi dřeva. Bakalářská práce, vedoucí práce: KRÁL, P. Brno, 2016

### **Normy:**

- ČSN EN 15 425: Lepidla – Jednosložková polyuretanová (PUR) lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční požadavky
- ČSN EN 204: Klasifikace termoplastických lepidel pro nekonstrukční aplikace - Stanovení pevnosti lepeného spojení při tahovém namáhání
- ČSN EN 205: Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání
- ČSN EN 302-1: Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání
- ČSN EN 12765: Klasifikace reaktoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace
- ČSN 49 0118: Dřevo. Mezza pevnosti v šmyku v směru vláken

### **Internetové zdroje:**

- DESAI, S. D., PATEL, J. V., SINHA, V. K. *Polyurethane adhesive system from biomaterial-based polyol for bonding wood* International Journal of Adhesion & Adhesives [online]. 2003, vol. 23, issue 5, [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/222682771\\_Polyurethane\\_adhesive\\_system\\_from\\_biomaterial-based\\_polyol\\_for\\_bonding\\_wood](https://www.researchgate.net/publication/222682771_Polyurethane_adhesive_system_from_biomaterial-based_polyol_for_bonding_wood)
- LEITSH, E. K., HEATH, W. H., TORKEKELSON J. M. *Polyurethane/polyhydroxyurethane hybrid polymers and their applications as adhesive bonding agents* International Journal of Adhesion & Adhesives [online]. 2016, vol. 64, s. 1-8 [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749615001372>
- ZEIDLER A. Lexikon dřeva, 2012 [online]. [cit. 25.2.2019]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4041658-Ceska-zemedelska-univerzita-v-praze-fakulta-lesnicka-a-drevarska-lexikon-dreva.html>

- ELUC. Lepidla. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1946>
- LEDERER, J. POLYURETANY [online]. [cit. 25.2.2019]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Polyuretany.pdf>
- Postup lepení UV lepidly. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://www.element-shop.cz/user/19844/upload/stuff/files/21720180-lepeni-uv-lepidly-loxeal.pdf>
- Spojování dřeva – lepením. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: [http://test.zsbr.cz/wp-content/uploads/2016/07/VY\\_32\\_INOVACE\\_326.pdf](http://test.zsbr.cz/wp-content/uploads/2016/07/VY_32_INOVACE_326.pdf)
- Nauka o materiálech. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat8.php>
- Polyuretany. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Polyuretany.pdf>
- Lepidla – lepení PLNH. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/15387126/>
- Adheze. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3106804/>
- Technologie a technika lepení – základní informace. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- Lepení materiálů. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- Lepení dřeva, dýhování, lepení fólií a laminátů, tvarování se současným lepením. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12162708/>
- Z historie polymerů, David Kozler. [online]. [cit. 25.2.2019]. dostupné z: [https://www.academia.edu/32091592/Z\\_historie\\_polymer%C5%AF](https://www.academia.edu/32091592/Z_historie_polymer%C5%AF)



## **9. Seznam příloh**

Příloha č. 1 Technický list lepidla Kestopur 1010

Příloha č. 2 Technický list lepidla Kestopur G10

Příloha č. 3 Fotky zkušebních těles

## 10. Přílohy

### Příloha č. 1 Technický list lepidla Kestopur 1010

Date 16.11.2017



Page 1/1

# Kestopur 1010



Kestopur 1010 je jednosložkové, polyuretanové lepidlo určené k výrobě nosných dřevěných výrobků. Splňuje požadavky normy EN 15425 a je schválen pro výrobu prvků označených CE podle EN 14080.



- Armované vláknem
- Nízká tvorba pěny
- Tixotropní

#### OBLAST POUŽITÍ

Kestopur 1010 je jednosložkové, vlhkostí vytvrzující polyuretanové lepidlo pro lepení dřevěných materiálů. Splňuje požadavky normy EN 15425 a je schválen pro výrobu lepeného dřeva označeného CE podle normy EN 14080, výroby délkově nastaveného dřeva označeného CE podle EN 15497 a CE-označeného CLT (křížového laminátu) podle EN 16351.

Může být také použit i pro výrobu jiných dřevěných výrobků a aplikací, které vyžadují mimořádně dobrou odolnost proti vlhkosti.

Kestopur 1010 neobsahuje rozpouštědla a formaldehyd. Splňuje klasifikaci emisí M1 pro stavební materiály.

#### NÁVOD K POUŽITÍ

Povrchy, které se mají lepit, musí být čisté a bez prachu. Vhodné pro aplikaci tryskou. Lepidlo naneste rovnoměrně na jednu nebo na dvě strany. K určení potřebného času lisování a zajištění pevnosti lepidla musí být provedeny odpovídající zkoušky před použitím v plné výrobě.

Při použití lepidla Kestopur 1010 použijte ochranné rukavice. Při aplikaci lepidla a při teplotě nad +40 °C noste ochrannou dechovou masku.

Nevytvrzené lepidlo odstraňte suchou látkou a očistěte povrchy acetonem nebo čističem Kestopur. Vytvrzené lepidlo lze odstranit pouze mechanicky nebo čističem vytvrzených PUR lepidel.

#### DODATEČNÉ INFORMACE

Informace uvedené v tomto technickém listu jsou založeny na našich zkouškách a našich praktických znalostech. Technické údaje jsou definovány za standardních podmínek. Rozdíly v místních pracovních podmínkách ovlivní výkon a výsledek produktu. Výsledek je také silně ovlivněn pracovními metodami. Garantujeme vysokou kvalitu našich výrobků podle našeho systému managementu jakosti. Z důvodu nesprávného používání výrobku nebo převládajících podmínek, nad kterými nemáme žádnou kontrolu, nelze přijmout žádnou odpovědnost. Nemůžeme tedy být zodpovědní za konečný výsledek. Uživatel výrobku musí otestovat vhodnost výrobku pro zamýšlené použití.

#### ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A BEZPEČNOST

Zabraňte zbytečnému kontaktu s pokožkou a vystavení čerstvému výrobku, použijte rukavice. Viz bezpečnostní list materiálu. Informace o likvidaci produktu a balení naleznete na adrese [www.kiilto.com](http://www.kiilto.com).

Typ	Polyuretan
Hustota/Specifická hmotnost	ca. 1.2 kg/dm <sup>3</sup>
Barva	Transparentní, světlé po vytvrzení. Obsahuje indikátor viditelný pod UV světlem.
Viskozita	ca. 10.000 mPas (Brookfield RVT, 5/20, 20 °C)
Otevírací čas	max. 10 min při 180 g / m <sup>2</sup> , vlhkost dřeva 15%, teplota 20 °C, Vlhkost vzduchu 50%)
Klasifikace a certifikace	EN 15425 I 70 GP 0,3 AUS/NZ 4364:2010 type I
Spotřeba	140–180 g/m <sup>2</sup> Zubový spoj 160–200 g/m <sup>2</sup> Plošné lepení
Lisovací čas	Od 30 min.
Pracovní podmínky	Teplota v hale nejméně 15 °C (podle EN 14080, EN16351, EN 15497)
Aplikační teplota	18 - 30 °C (podle EN 14080; EN16351; EN15497)
Vlhkost vzduchu	Při lepení 40 - 75% a po stisknutí ≥ 30% (podle EN 14080, EN 16351)
Vlhkost dřeva	6 - 20% (doporučujeme cca 15% vlhkosti)
Tloušťka spáry	max. 0,3mm
Skladování	Může být skladován na suchém a chladném místě (+ 10-20 °C). Při skladování v neotevřeném originálním balení při teplotě +20 °C je trvanlivost 4 měsíce.

## Příloha č. 2 Technický list lepidla Kestopur G10

Date 05.06.2018



Strana 1/2

# Kestopur G 10



Kestopur G10 je jednosložkové PU-lepidlo pro výrobu technických dřevěných výrobků. Splňuje požadavky normy EN 15425 a je schválen pro výrobu lepidla označeného CE podle EN 14080.



- Krátký lisovací čas
- Dlouhý otevřený čas
- Bez vláken
- Optimální tvorba pěny

### OBLAST POUŽITÍ

Kestopur G10 je jednosložkové polyuretanové lepidlo vytvrzující vlhkost pro lepení dřeva. Lepidlo bylo testováno MPA University of Stuttgart, nezávislou zkušební laboratoří a vyhovuje EN 15425: 2017 I 70 GP 0,3 (lepidlo typu I) požadavky na smrk, borovice a jedle. Lepidlo neobsahuje vlákna, rozpouštědla nebo formaldehyd. Splňuje klasifikaci emisí M1 pro stavební výrobky. Tento technický list byl napsán ve spolupráci s MPA University of Stuttgart.

### Oblasti použití:

EN 14080: 2013 CE-označené lepidlo  
EN 16351: 2015 Výroba CLT  
EN 15497: 2014 Strukturované, délkově nastavené dřevo  
Výroba technických výrobků ze dřeva. Lepení vrstveného dřeva.

### NÁVOD K POUŽITÍ

Při výrobě podle shora uvedené harmonizované normy EN musí být dodrženy hodnoty podle výrobních norem pro všechny parametry.

Povrchy, které se mají lepit, musí být čisté a bez prachu. Vhodné pro aplikaci tryskou. Lepidlo naneste rovnoměrně na jednu nebo dvě strany.

Při použití lepidla Kestopur G 10 použijte ochranné rukavice. Při stříkání lepidla a při teplotě nad +40 ° C noste dechovou masku.

Otevřená doba a doba lisování silně závisí na převládajících podmínkách lepení, jako je vlhkost dřeva a vzduchu, teplota vzduchu a dřeva, tloušťka lepené spáry, absorpční schopnost dřeva a množství aplikovaného lepidla, takže dané hodnoty lze považovat pouze za vodítko. Před výrobou v plném rozsahu je třeba provést předběžné testy, které definují dostatečnou dobu lisování a pevnost lepeného spoje.

Lepidlo musí být při aplikaci tlaku stále lepivé a po stisknutí musí být v lepené spáře vždy zaznamenáno vytlačování lepidla. Maximální povolená tloušťka lepené spáry je 0,3 mm. Doba lisování je 4 hodiny, pokud není zaručena tenká vazba.

Čerstvé lepidlo lze odstranit pomocí suchého hadříku a povrchy vyčistit acetonem nebo přípravkem Kiilto Cleaner 301. Vytvrzené lepidlo je možné odstranit pouze mechanicky.

TYP	Polyuretan
HUSTOTA/SPECIFICKÁ HMOTNOST	ca. 1,2 kg/dm <sup>3</sup>
BARVA	SVĚTLÁ, PO VYTVRDNUTÍ BÍLÁ
VISCOSITY	15000 mPas (Brookfield, RVT 20 °C)
OTEVŘENÝ ČAS	max. 10 min (nános 180 g/m <sup>2</sup> , vlhkost dřeva 15 %, teplota 20 °C, RH 50 %)
KLASIFIKACE A CERTIFIKACE	EN 15425 I 70 GP 0,3 AUS/NZ 4364:2010 type I
SPOTŘEBA / NANOS	140 – 180 g/m <sup>2</sup> zubový spoj 160 – 200 g/m <sup>2</sup> plošné lepení
LISOVACÍ ČAS	Min. lisovací čas 20 min (Nános ≤ 200 g / m <sup>2</sup> , smrk, vlhkost dřeva 12%, lisování a vytvrzování 20 ° C / 65% relativní vlhkosti a pravidelná lepená spára o tloušťce max. 0,1 mm)
LISOVACÍ TLAK	0,6 - 1,0 N/mm
PRACOVNÍ PODMINKY	Teplota v hale min. 18 ° C. Skladování po zalisování, před přemístěním do otevřeného úložného prostoru: 2 h při 20 ° C Relativní vlhkost: Při lepení 40 - 75% a po stisknutí ≥ 30% (podle EN 14080, EN 16351)
APLIKAČNÍ TEPLOTA	Minimální teplota pro lepení 18 °C
VLHKOST VZDUCHU	Při lepení 40 - 75% a po stisknutí ≥ 30% (podle EN 14080, EN 16351)
VLHKOST DŘEVA	9 - 18 %
TRVANLIVOST	Připraveno pro kontrolu kvality po 16 hodinách.
SKLADOVÁNÍ	Může být skladováno na suchém a chladném místě (+ 10 / +20 ° C). Při skladování v neotevřeném originálním balení při teplotě +20 ° C je trvanlivost 4 měsíce.



#### **DODATEČNÉ INFORMACE**

Naše pokyny vycházejí z rozsáhlých výzkumů a zkušeností a podle mezinárodních postupů můžeme být odpovědní pouze za jednotnou kvalitu výrobku. Vzhledem k velké rozmanitosti materiálů a podmínkám, za kterých se naše výrobky používají, nelze vzít na sebe odpovědnost za získané výsledky ani za škody způsobené použitím výrobku. Před použitím výrobku, zejména při zavádění nových materiálů, výrobních strojů nebo metod, musí uživatel provést zkoušky, aby zjistil, že výrobek je vhodný pro zamýšlené použití.

#### **ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A BEZPEČNOST**

Zabraňte zbytečnému kontaktu s pokožkou a vystavení nevytvrzenému lepidlu, použijte bezpečnostní rukavice. Viz bezpečnostní list materiálu. Informace o likvidaci produktu a balení naleznete na adrese [www.kiilto.com](http://www.kiilto.com).

**Příloha č. 3 Fotky zkušebních těles**

Dub, Úprava A1, Lepidlo 1010



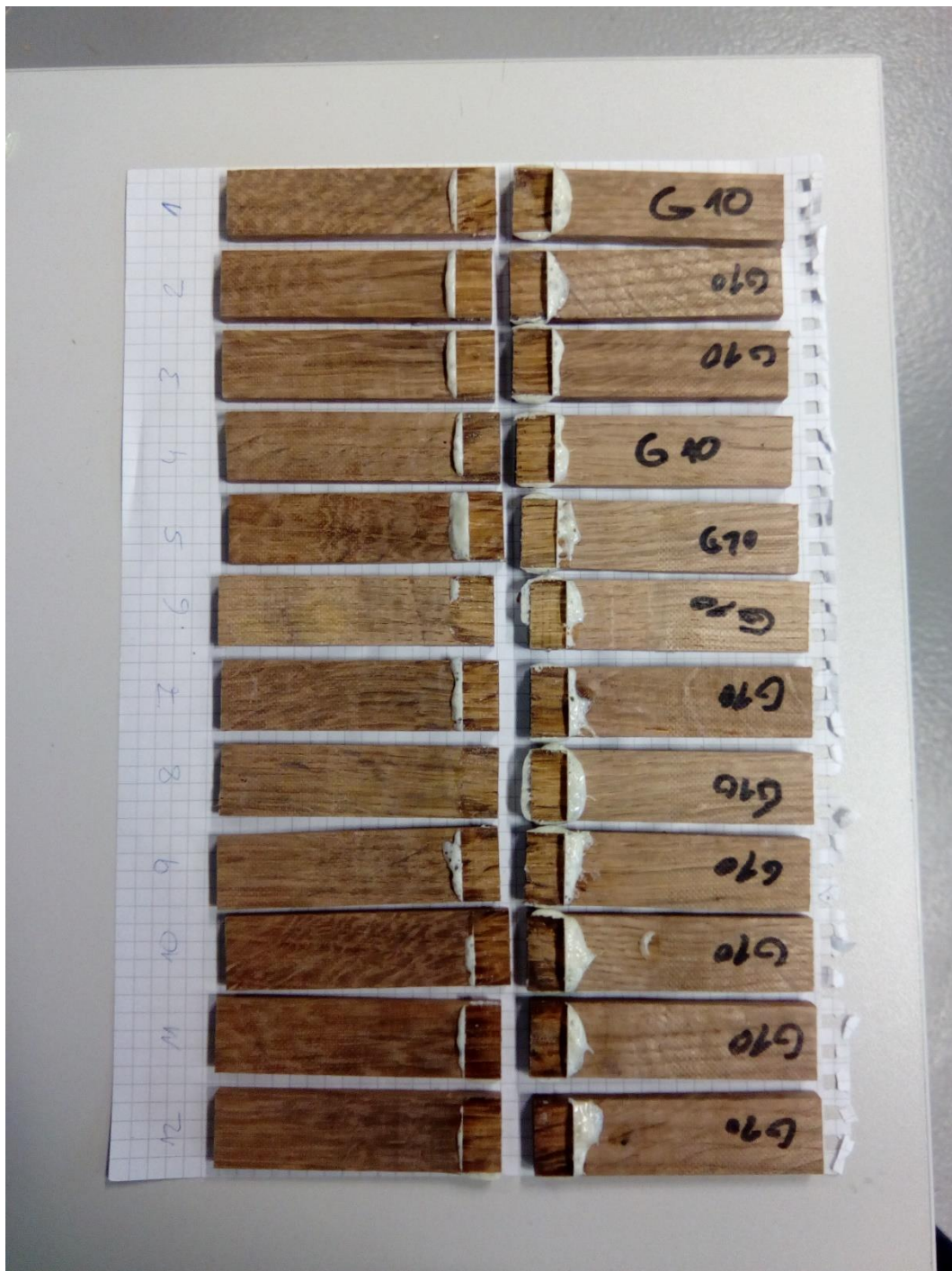
Dub, Úprava A1, Lepidlo G10



Dub, Úprava A2, Lepidlo 1010



Dub, Úprava A2, Lepidlo G10

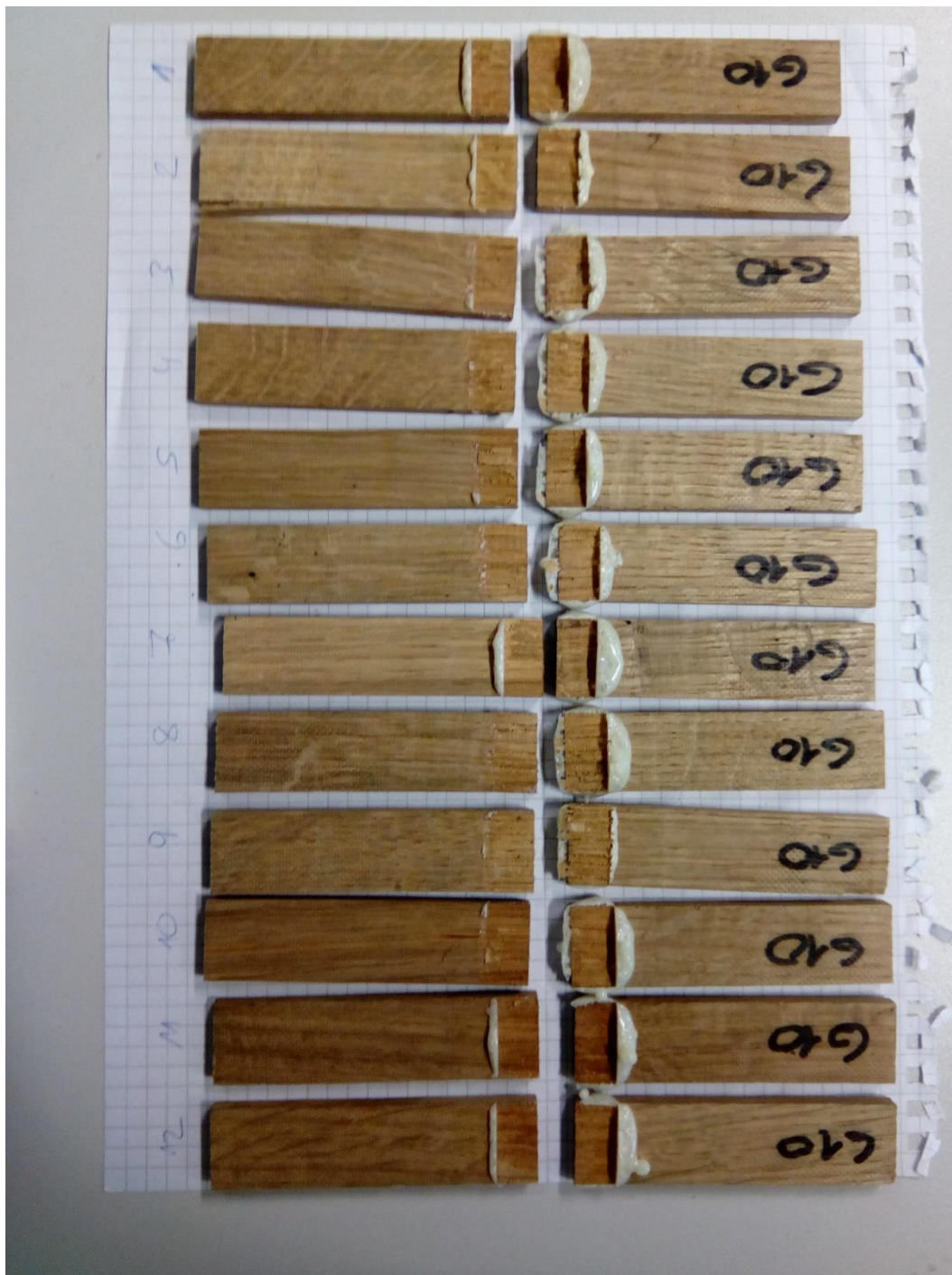




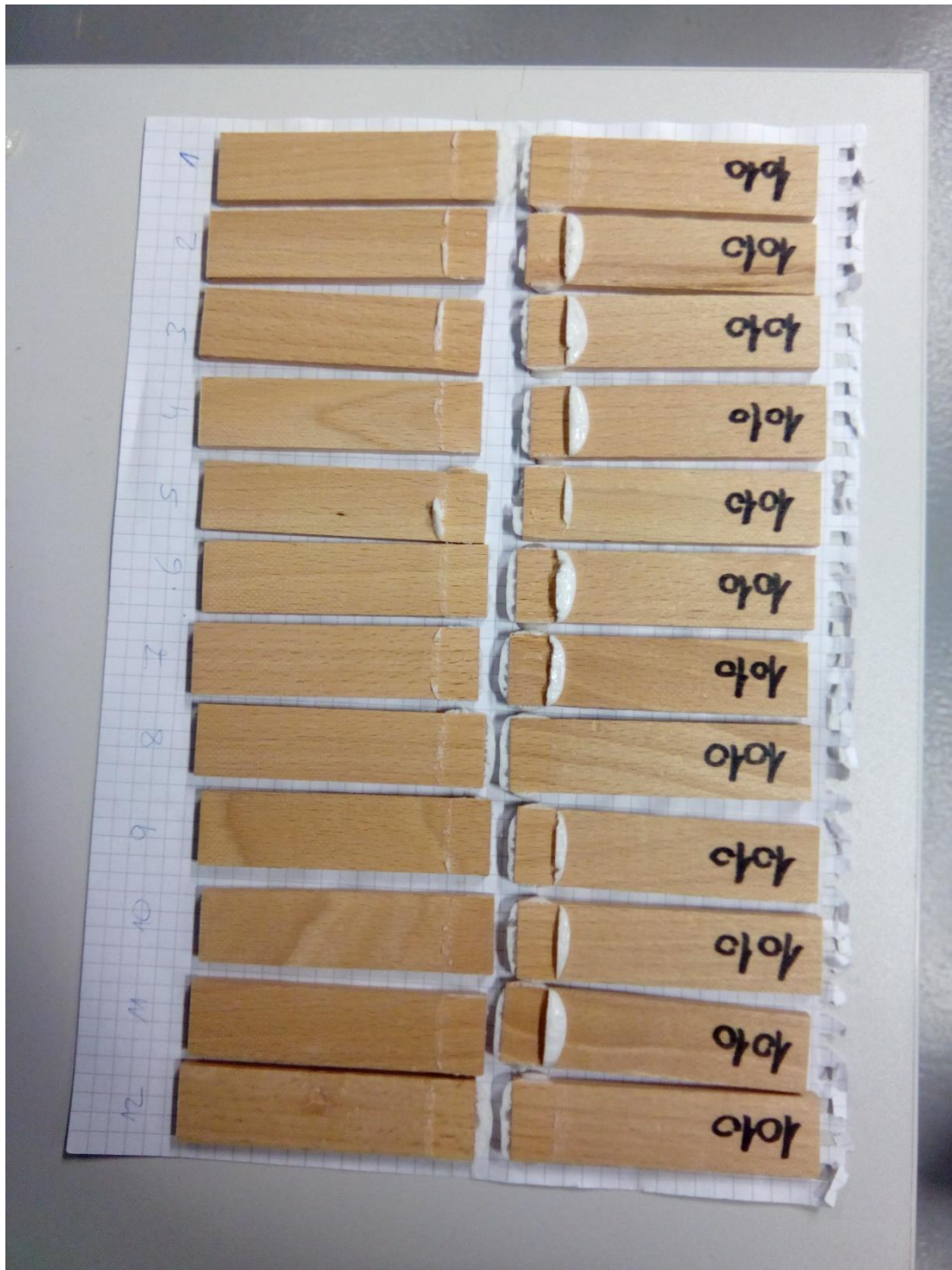
Dub, Úprava A5, Lepidlo 1010



Dub, Úprava A5, Lepidlo G10



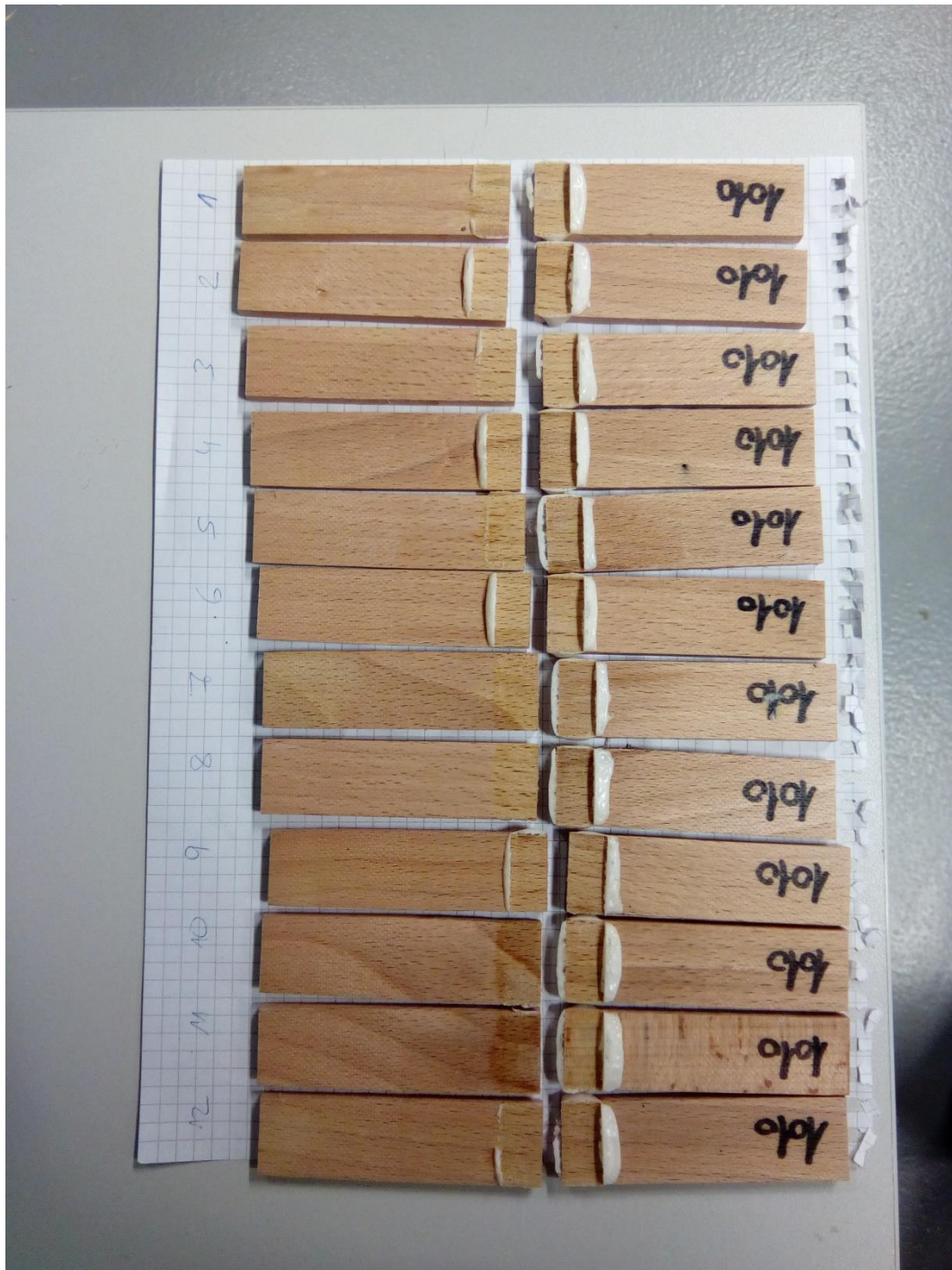
Buk, Úprava A1, Lepidlo 1010



Buk, Úprava A1, Lepidlo G10



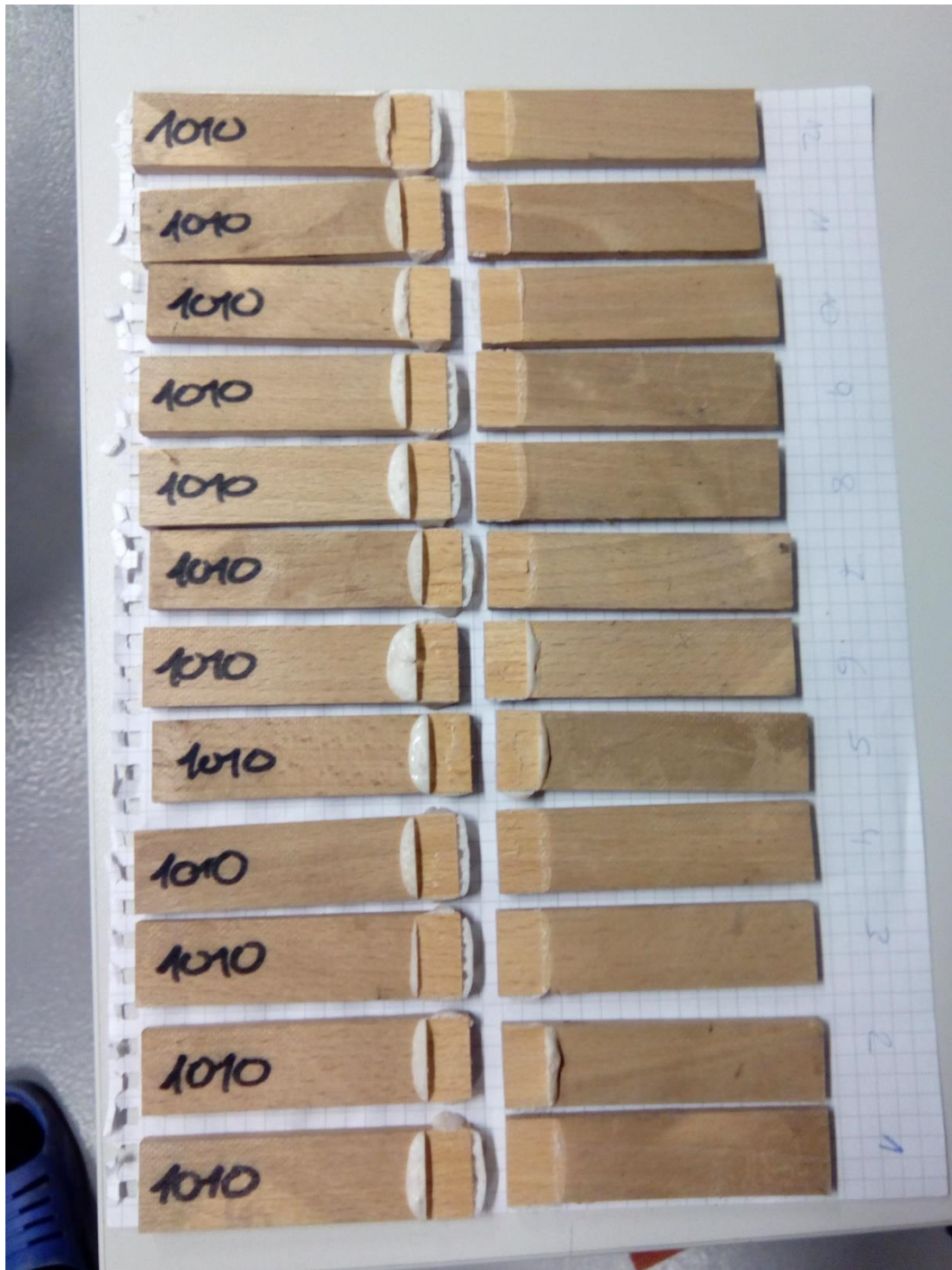
Buk, Úprava A2, Lepidlo 1010



Buk, Úprava A2, Lepidlo G10



Buk, Úprava A5, Lepidlo 1010



Buk, Úprava A5, Lepidlo G10

