ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ
KATEDRA ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A BIOMATERIÁLŮ

Posouzení kvality vybraných fenolických a aminových lepidel pro nosné dřevěné konstrukce metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: KRYŠTOF KUBISTA
VEDOUCÍ PRÁCE: ING. PŘEMYSL ŠEDIVKA, PH.D.

Praha 2020

Kryštof Kubista

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kryštof Kubista

Dřevařství

Název práce

Posouzení kvality vybraných fenolických a aminových lepidel pro nosné dřevěné konstrukce metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání

Název anglicky

Quality assessment of selected phenolic and amine adhesives for load-bearing timber structures by the method of tensile stress longitudinal strength determination

---

Cíle práce

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

Metodika

- Literární rešerše teorie lepení a aktuálního stavu lepení dřeva
- Stanovení vhodného metodického postupu testování
- Příprava zkušebních těles
- Realizace pevnostních zkoušek
- Zpracování naměřených dat a vyhodnocení výsledků
- Závěr

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Dřevo, fenolické adhesivum, aminové adhesivum, 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

Michal, 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., Michal, 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

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 28. 05. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Posouzení kvality vybraných fenolických a aminových lepidel 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 bakalářské 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..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné připomínky. Dále bych svůj dík chtěl vyjádřit panu Jaromíru Krbilovi za poskytnutí lepidel a přátelům z kolektivu LZB FLD ČZU. Zejména děkuji rodině a blízkým za jejich podporu a trpělivost.

Abstrakt

Tato práce se věnuje posouzením kvality vybraných fenolických a aminových lepidel pro aplikaci nosných dřevěných konstrukcí. K posouzení kvality lepeného spoje byla použita zkušební metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. Výsledkem práce je charakteristika vybraných fenolických a aminových lepidel a posouzení vhodnosti aplikace pro lepení nosných dřevěných konstrukcí.

Klíčová slova: Dřevo, fenolické adhezivum, aminové adhezivum, pevnost v tahu

Abstract

This work is devoted to assessing the quality of selected phenolic and amine adhesives for the application of load-bearing wooden structures. A test method for determining the longitudinal shear strength under tensile stress was used to assess the quality of the glued joint. The result of the work is the characteristics of selected phenolic and amine adhesives and the assessment of the suitability of the application for gluing load-bearing wooden structures.

Key words: Wood, phenolic adhesive , amine adhesive, tensile strenght

Obsah

1 Úvod **10**
2 Cíle práce **11**
3 Literární rešerše **12**
3.1 Teorie lepení dřeva 12
3.2 Koheze 12
3.3 Adheze 12
3.3.1 Mechanická adheze 13
3.3.2 Chemická adheze 13
3.4 Smáčivost 14
3.5 Podstata lepení 14
3.6 Reologie lepidel 14
3.6.1 Reologie lepidla před vytvrzením 14
3.6.2 Reologie lepidla při vytvrzování 15
3.6.3 Reologie lepidla po vytvrzení 15
3.7 Vytvrzování lepidel 15
3.7.1 Fyzikální způsob vytvrzování 16
3.7.2 Chemický způsob vytvrzování 16
3.8 Faktory ovlivňující kvalitu lepení 16
3.8.1 Faktory vztahující se k lepidlům 16
3.8.2 Faktory vztahující se k lepení dřeva 18
3.9 Lepené spoje 19
3.9.1 Mechanické vlastnosti lepeného spoje 19
3.9.2 Typy lepených spojů 21
3.10 Využití lepidel v praxi 24
3.10.1 Stavebnictví 24
3.11 Výhody a nevýhody lepidel 25
3.12 Lepidla používaná pro lepení nosných dřevěných konstrukcí 25
3.12.1 Syntetická lepidla 27
3.12.2 Melamin-močovino-formaldehydová lepidla 28
3.12.3 Močovino-formaldehydová lepidla 29
3.13 Vlastnosti dřeva 29

3.13.1 Mechanické vlastnosti 30
3.13.2 Pevnost 30
3.14 Dřeviny použité v práci 31
4 Metodika 33
4.1 Výběr lepidel 33
4.2 Výroba zkušebních těles 34
4.3 Příprava zkušebních těles 39
4.4 Průběh trhací zkoušky 43
5 Výsledky a statistické vyhodnocení 45
5.1 Klasifikace adhesiv podle ČSN EN 301 45
5.2 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje dubu 47
5.3 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje buku 48
5.4 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje dubu a buku 49
5.5 Vizulální analýza vzorků 53
6 Diskuze 54
7 Závěr 55
8 Seznam použitých zdrojů 56
9 Seznam příloh 59
10 Přílohy 60
10.1 Příloha 1 Technický list použitého melamin-močovino-formaldehydového lepidla 1247 60
10.2 Příloha 2 Technický list použitého močovino-formaldehydového lepidla 1206 65
10.3 Příloha 3 Fotografie zkušebních těles 69

Seznam obrázků a tabulek:

Obrázek 1: Znázornění principu adheze **13**

Obrázek 2: Způsob namáhání lepeného spoje **20**

Obrázek 3: Schéma lepeného spoje **21**

Obrázek 4: Grafické znázornění momentu únosnosti nosníků vůči jejich váze **26**

Obrázek 5: Rozdělení syntetických lepidel. Zde zvýrazněný okruh lepidel použitých v této práci. **28**

Obrázek 6 : Vzhled zkušebních těles dle ČSN EN 302-1 ..... **35**

Obrázek 7: Připravené lišty k nařezání na pásky, zde z dřeva dubu **38**

Obrázek 8: Nařezané pásky, zde ze dřeva dubu a rozdělené na jádrové a bělové dřevo **38**

Obrázek 9: Hotové zkušební vzorky, zde ze dřeva dubu rozdělené na jádrové a bělové dřevo **39**

Obrázek 10: Uložení zkušebních tělísek do klimatizační komory **40**

Obrázek 11: Příprava zkušebních tělísek. Zde uložení do speciálního přípravku pro výrobu zkušebních tělísek na zkoušku smykové pevnosti v tahu **41**

Obrázek 12: Ponoření zkušebních tělísek do vody **42**

Obrázek 13: Vaření zkušebních tělísek **43**

Obrázek 14: Uložení zkušebních tělísek ve zkušebním stroj **43**

Obrázek 15 : Pevnost ve smyku lepeného spoje dubu **48**

Obrázek 16 : Pevnost ve smyku lepeného spoje buku **49**

Obrázek 17: Pevnost ve smyku lepeného spoje dubu a buku **50**

Tabulka 1: Porovnání požární odolnosti chráněného a nechráněného dřevěného prvku v závislosti na jeho průřezu **26**

Tabulka 2 : Souhrn vlastností použitých lepidel **34**

Tabulka 3: Počet zkušebních tělísek a zkoušek **37**

Tabulka 4 : Způsoby expozice pro testování zkušebních tělísek **41**

Tabulka 5: Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje dubu **46**

Tabulka 6: Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje buku **46**

Tabulka 7: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje dubu korelační analýzou **51**

Tabulka 8: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku korelační analýzou **51**

Tabulka 9: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku a dubu korelační analýzou **51**

1 Úvod

Lepené konstrukce z lamelového dřeva jsou známy již od poloviny 19. století a první patent na jejich průmyslovou výrobu získal Otto Hetzer v roce 1906. Vývoj těchto nosníků a lepeného lamelového dřeva je ovlivňován vývojem lepidel, které se pro jejich výrobu používají. Jeden z milníků je například rok 1942, kdy se se pro jejich lepení začalo používat fenol-rezorcinové lepidlo, které je odolné proti vlhkosti.

Dřevěné nosníky jsou a jistě budou stále více používané ve stavebnictví pro jejich dobré vlastnosti a ekonomickou i poměrně ekologickou výrobu. Stejně jako firma MATRIX a.s., na jejíž podnět tato práce vznikla, i jiné firmy zabývající se výrobou dřevěných lepených nosníků, hledají nové materiály a lepidla pro jejich výrobu z důvodu, aby snad co nejvíce reagovaly na narůstající poptávku, ale i na klimatické změny, které mohou do budoucna ovlivnit dostupnost materiálu.

Lepené dřevěné nosníky se vyrábí převážně ze smrkového dřeva, avšak v současné době se řeší problémy smrkových monokultur, jako je kůrovcová kalamita a sucho. Proto se předpokládá, že v budoucnu proběhne změna druhové skladby našich lesů a čím dál více budou muset dřevozpracující podniky využívat buk, dub a jiné dřeviny, které budou místo smrků vysazovány.

2 Cíle práce

Cílem práce je stanovení kvality a klasifikace vybraných fenolických a aminových adhesiv pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí na bázi buku a dubu. Pro hodnocení vhodnosti adhesiv je použita zkušební metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání dle ČSN EN 302-1. Dalším cílem je klasifikace testovaných adhesiv dle ČSN EN 301 a posouzení jejich vhodnosti pro potenciální uplatnění pro plánovaný lepený program výroby konstrukčního dřeva společnosti MATRIX a.s.

3 Literární rešerše

3.1 Teorie lepení dřeva

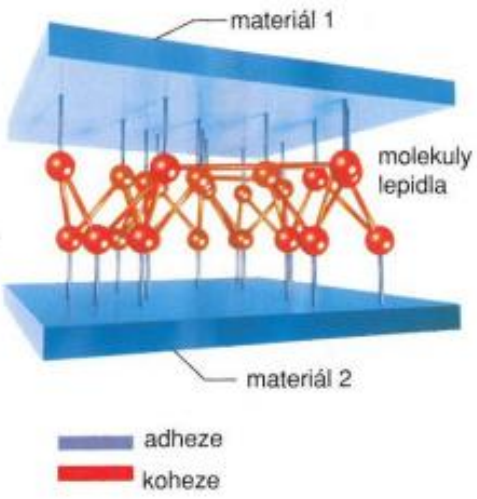
Lepením se rozumí nedemontovatelné spojení dvou různých ploch pomocí lepidla. Lepidlo je látka, která vlastní soudržností (kohezí) a přilnavostí (adhezí) k materiálu pevně spojuje plochy dvou povrchů. Součet adheze a koheze se nazývá lepivost, tedy když má lepidlo vysokou adhezní a kohezní sílu můžeme lepidlo označit za velmi lepivé. Určuje se silou, kterou musíme vyvinout, aby abychom lepené plochy od sebe odtrhly. Dobré lepidlo je tedy to, které vydrží namáhání a nepraskne spoj, ale spojovaný materiál (Boublík 1966; Frihart 2012).

3.2 Koheze

Vnitřní soudržnost lepidla se nazývá koheze. Udává, jak je lepidlo samo o sobě pevné. Kohezní pevnost závisí na druhu lepidla a na druhu namáhání. Pokud se lepený spoj poruší ve vrstvě lepidla, aniž by byl lepený materiál poškozen, znamená to, že lepidlo mělo nízkou kohezi. Naopak kdyby se roztrhl lepený materiál, aniž by byla poškozena lepená spára, znamená to, že lepidlo má kohezi vysokou a vydrželo dané namáhání. Z toho můžeme usoudit, že lepidlo mělo větší adhezi než kohezi (Kovačič 1980; Doležal 2015).

3.3 Adheze

Adheze je schopnost lepidla přilnout k materiálu. Pokud lepidlo správně nepřilne k materiálu a nevzniknou potřebné vazby, může dojít k rozlepení lepeného spoje mezi lepidlem a materiálem. V tomto případě lze říci, že koheze byla větší než adheze (Boublík 1966).



Obrázek 1: Znázornění principu adheze (zdroj: GRÜNDMÜLLER 1998)

3.3.1 Mechanická adheze

Tento druh adheze je účinný u porézních nebo jinak členitých povrchů. Mechanická adheze pracuje na principu zatékání naneseného kapalného lepidla na povrch a následné zatékání do pórů kde následně vytvrzuje a vytvoří pevnou vazbu mezi lepidlem a materiálem. Tato metoda lze využít u pórovitých materiálu jako je například dřevo, papír, různé druhy pěn, nebo také keramiky (M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998).

3.3.2 Chemická adheze

Chemickou adhezi lze využít jak u porézních materiálu, tak i u materiálů, které jsou hladké. Principem je využití působení slabých Van der Walsových přitažlivých sil mezi molekulami materiálu a lepidla a v první řadě přímé působení lepidla na lepený povrch. Proto dobře lepí povrchy, které jsou samy o sobě reaktivní jako například kovy, nebo oxidované plasty, povrchy přírodních polymerů jako je dřevo. Tyto materiály mají volné oxy- , amino- , karbonyl- , hydroxy- chemické skupiny. Správně zvolené lepidlo by mělo být schopné s těmito skupinami utvořit vazbu a tím slepit materiál (Kovačič 1980).

3.4 Smáčivost

Jedna z nejdůležitějších vlastností lepidla je smáčivost. Smáčivost je schopnost lepidla rozprostřít se po povrchu lepeného materiálu. Měří se pomocí kontaktního úhlu lepidla a plochy lepeného materiálu. Čím je kontaktní úhel menší, tím je smáčivost větší. Špatná smáčivost znamená, že kontaktní úhel je moc velký, pokud přesáhne úhel 90° jedná se o odpudivost. Smáčivost souvisí s velikostí povrchového napětí lepidla a lepeného povrchu a jeho polaritou. Protože lepidla mají skupiny schopné reakce, jsou molekuly lepidla orientovány jednostranně, tedy jsou polární. Lepidla dobře smáčí polární povrchy jako je například dřevo, papír a jiné deriváty celulózy, oxidované kovy ale i sklo. Mezi nepolární materiály, které lepidlo samo o sobě špatně smáčí, patří některé druhy plastů nebo vosky, proto se tyto materiály před lepením upravují tak aby byly polárnější. To se provádí oxidací, která se vyvolá u lepeného materiálu například naleptání kyselinou fungující jako oxidační činidlo, nebo koronizací elektrickou jiskrou (Boublík 1966; Ülker 2016).

3.5 Podstata lepení

Lepení je proces pevného spojování materiálů neboli adherendů, při kterém se dosahuje trvalé spojení stejných, případně různých materiálů prostřednictvím lepidel neboli adhesiv. Při lepení dřeva se vyžaduje, aby lepený spoj byl pevnější než samotný lepený materiál, tedy když se poruší dřevo a nikoli lepidlo. Možné je tvrzení že dobře slepený spoj by měl vydržet 5-11 MPa v závislosti na druhu a kvalitě dřeviny (Osten 1986).

3.6 Reologie lepidel

Reologie je nauka, která se zabývá problematikou tečení a deformací deformovaných těles a látek v čase. Zkoumá, jak se látky deformují v průběhu času při vystavění vnějším silám.

U lepidel můžeme rozlišovat tři reologické fáze a to před vytvrzením, při vytvrzování a po vytvrzení lepidla.

3.6.1 Reologie lepidla před vytvrzením

Lepidla před vytvrzením jsou v tekutém stavu. Jsou to koloidní roztoky (nepravé roztoky), což je roztok částic o velikosti 1 až 10 nm, jedná se o koloidní částice. Díky

povrchovému napětí jsou částice v tomto roztoku udržovány ve vznosu a nedochází k sedimentaci vlivem gravitace. Tyto koloidní roztoky je vyznačují vyšší viskozitou (vnitřní tření). Vyšší viskozita zajišťuje dobré vyplnění lepené spáry lepidlem. Aby lepidlo dobře smáčelo, lepený povrch přidávají se smáčedla. Dále se do lepidla přidávají různá nastavovadla a plniva aby lepidlo zůstalo ve spáře. Tyto aditiva nám zajišťují to, aby spoj nebyl chudý (Tesařová 2008; Drápela 1980).

3.6.2 Reologie lepidla při vytvrzování

Při vytvrzování lepidla dochází k přeměně do stavu gelu. Zvyšuje se při ní viskozita a díky zesíťování molekul i ke zvýšení koheze. Proces gelace je u každého druhu lepidla různý. Může k němu dojít například chladnutím (např. tavná lepidla), odpařováním vody (vodou ředitelná lepidla), polykondenzací (močovino-formaldehydové a fenol-formaldehydové pryskyřice) anebo odpařováním rozpouštědel obsažených v tekutém lepidlu (Boublík 1966; Tesařová 2008; Drápela 1980).

3.6.3 Reologie lepidla po vytvrzení

I při vytvrzení lepidla dochází k objemové kontrakci lepidla (smršťování). Proto je u většiny lepidel potřeba lisování a ztenčení lepidlového filmu. Při tomto smršťování dochází k vnitřnímu pnutí, což může být problém u lepidel, které jsou po vytvrzení křehké, můžou lehce popraskat a tím radikálně snížit pevnost lepeného spoje. Mezi tyto lepidla patří například melamin-formaldehydová nebo močovino-formaldehydová lepidla. Když se lepený film ztenčí, vnitřní pnutí bude menší a eliminuje se tento problém (Boublík 1966; Tesařová 2008; Drápela 1980).

3.7 Vytvrzování lepidel

Způsob vytvrzování je u každého lepidla rozdílné. Například u PVAC lepidel vytvrzení probíhá odpařováním vody, PU lepidla vytvrzují vypařením rozpouštědla a vázáním vzdušné vlhkosti. Tavná lepidla vytvrzují ochlazením lepidla. U močovino-formaldehydových nebo, melamin-formaldehydových lepidel vytvrzení probíhá chemickou reakcí. Můžeme tak rozdělit vytvrzování lepidel na fyzikální způsob a chemický způsob (Sedliačik 1989; Tesařová 2008; Drápela 1980).

3.7.1 Fyzikální způsob vytvrzování

Mezi fyzikální způsob vytvrzování patří odpaření nebo absorpce vody z lepidla. Do této skupiny patří také ochlazování tavných lepidel (Tesařová; Sedliačik 1989).

3.7.2 Chemický způsob vytvrzování

Tento způsob probíhá tak, že jednotlivé molekuly se chemickou reakcí mění na makromolekuly, které se následně vzájemně propojí. Probíhá ve třech základních fázích.

1) Stav A – rezol
2) Stav B – rezitol (začátek síťování)
3) Stav C – rezit (je ukončeno síťování makromolekul, neměnný stav, spoj odolává teplu

(Tesařová 2008; M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998)

3.8 Faktory ovlivňující kvalitu lepení

Kvalitu lepeného spoje a samotné lepení ovlivňují vlastnosti lepidla i lepeného materiálu. U materiálu je velice důležitá jeho úprava před lepením. Výhodu při lepení je porézní povrch. Při vytvrzování lepidel se uvolňují plyny a páry a právě porézní povrch je schopen tyto výpary pohlcovat (Boublík 1966).

Další faktor je velikost tlaku při lisování. Pro každé lepidlo je vhodný lisovací tlak jiný. Příliš vysoké lisovací tlaky nejsou vhodné z důvodu porušení molekulových sil v lepidlu. Tlak by měl být spíše mírný tak, aby došlo k rovnoměrnému rozprostření lepidla, a odstraňuje případné vzduchové bubliny. Tlak by dále měl směřovat kolmo na lepenou spáru tak, aby nedošlo k postupnému posunutí lepených materiálů a neporušil se lepený spoj v průběhu vytvrzování (Boublík 1966; M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998).

Při lepení se musí brát v potaz různé nečistoty, nebo také uvolňování látek z materiálu do lepidla.

3.8.1 Faktory vztahující se k lepidlům

Finální kvalita lepeného spoje může být ovlivněna u lepidel již jeho skladováním. Některá lepidla musí být skladována při určitých teplotách, aby nedošlo k předčasné degradaci lepidla. Lepidla by se také měla před použitím temperovat na pracovní teplotu. Toto by mohlo ovlivnit tloušťku nánosu nebo jeho rozlití po ploše materiálu. Někdy se

do lepidel přidávají plniva nebo ředidla, podle toho zdali potřebujeme lepidlo spíše řidší anebo hustší (Boublík 1966, Uhlíř 2003).

Dvousložková lepidla se před nanesením musí smíchat s tvrdidlem přesným poměrem těchto dvou složek. Zde hraje roli otevřený čas lepidla po smíchání s tvrdidlem.

Každé lepidlo má tento čas jiný. Pokud by se tento čas nedodržel, mohlo by se stát, že lepený spoj po zalisování neměl dostatečnou pevnost (Trávník, Svoboda 2007).

Další faktor je samotné nanášení lepidla. Zásadní je rovnoměrnost nánosu a jeho tloušťka. Nános muže být jednostranný nebo oboustranný, záleží na charakteru lepidla a lepeného spoje. Lepidla, kde dochází k vytvrzování odpařováním rozpouštědla, nebo jeho difuzí do materiálu by měla být nanášena oboustranně. Reaktivní lepidla, která vytvrzují chemickou reakcí ve všech místech současně se mohou nanášet jednostranně. Obecně se udává že lepidlový film by měl být co nejtenčí (0,5-0,1mm). Ale například u epoxidových pryskyřic je doporučováno mít film o větším nánosu a tloušťce (0,2mm). Tloušťka lepidlového filmu má vliv na vnitřní pnutí v lepidle při vytvrzování ale i po vytvrzení. Příliš silný film může způsobit popraskání lepidla a oslabení koheze lepidla (Boublík 1966; Trávník, Svoboda 2007).

Důležitá část lepení je tlak. Působením tlaku na lepený materiál se lepené plochy zafixují proti posunutí a odchlípení. Toto napomáhá k rovnoměrnému rozprostření po celé lepené ploše. Zároveň se vyrovnávají mírné nerovnosti a lepidlo proniká hlouběji do pórů materiálu. Tento tlak musí být ve všech místech stejný, jinak by docházelo k nerovnoměrnému rozprostření lepidla. Důležitá je také velikost tlaku. Lisovací tlak je pro každé lepidlo jiný a udává se v technickém listu lepidla. Obecně platí, že je vhodný mírný tlak. Příliš vysoké tlaky nejsou vhodné. Pokud se použil příliš velký tlak, mohlo by lepidlo z velké části vytéct, nebo by se vsáklo do materiálu a lepidlový film by byl příliš tenký a nesplňoval by dané mechanické vlastnosti. Vysoký lisovací tlak může způsobit protečení lepidla skrz materiál a znehodnotil by estetiku. Příliš malý tlak způsobuje zase nerovnoměrné rozložení lepidla po ploše a lepený spoj není spolehlivý. Tlak musí působit na plochy materiálu tak dlouho, dokud koheze lepidla nedosáhne stupně postačující k pevnému spojení. Toto je v technickém listu označováno jako lisovací čas (Boublík 1966; Uhlíř 1997).

Dalším faktorem je teplota. Teplo působí na lepidlo jako regulátor viskozity. Uchyluje se vytvrzování termoreaktivních lepidel, nebo disperzních a rozpouštědlových lepidel. Rozlišujeme lepení za normální teploty neboli lepení za studena. Při tomto typu

se lepidlo nechává vytvrzovat při teplotách 15-20°C. dále máme lepení za zvýšené teploty s teplotou nad 25°C s maximem do 100°C a lepení za horka kdy je teplota spáry vyšší než 100°C. při lepení za vyšších teplot se musí dbát na teplotní odolnost lepeného materiálu. Některé materiály se mohou při těchto teplotách roztahovat nebo degradovat. Například u dřeva by mohlo dojít při dlouhodobě vysokých teplotách k vnitřní modifikaci materiálu (Boublík 1966; Uhlíř 1997).

3.8.2 Faktory vztahující se k lepení dřeva

Jeden z faktorů při lepení dřeva je jeho hustota. Čím je lepené dřevo hustší, tím je spoj pevnější. Důležitá je také pórovitost dřeva. Do póru má možnost lepidlo zatéct a po vytvrzení vytvořit jakýsi zámek a tím vytvořit pevný spoj. Dřeviny jako je dub, akát ořech nebo jasan mají velké póry, nebo jejich svazky a tvoří na lepené ploše malé nerovnosti a žlábky kam může lepidlo zatéct a vytvrdit. Lepidlo musí mít ale vyšší viskozitu. Kdyby lepidlo bylo málo viskózní, mohlo by větší množství lepidla zatéct do pórů a vznikl by chudý spoj. Kruhovitě pórovité dřeviny (např. dub, jasan, akát) jsou obecně méně homogenní z důvodu rozložení pórů ve dřevě než dřeviny roztroušeně pórovité (např. buk, bříza, javor) (Boublík 1966; Uhlíř 1997; Trávník, Svoboda 2007).

Důležité při lepení dřeva je brát v potaz jeho vlhkost. Obecně se považuje za ideální vlhkost dřeva při lepení 8-12 %. Dřevo nesmí být přesušené, protože suché dřevo pod 4% vlhkosti absorbuje příliš lepidla. Dalším problémem přesušeného dřeva může být předčasné vytvrzení. Naopak příliš vlhké dřevo může způsobit špatnou adhezi některých lepidel. Vlhké dřevo se může použít pouze u některých druhů lepidel například močovino-formaldehydových či rezorcínových. Dřevo neustále pracuje, tedy rozpíná se nebo se smršťuje v závislosti na jeho vlhkosti. Při lepení za studena obecně dřevo vlhkost nasává a naopak při lepení za tepla se vlhkost ze dřeva odpařuje (Boublík 1966; Uhlíř 1997; Trávník, Svoboda 2007).

Vliv na lepení můžou mít i látky obsažené ve dřevě. Dřevo se skládá z celulóz, hemicelulóz, ligninu a z extraktivních látek. Celulózy jsou obzvlášť důležité, dávají totiž dřevu polární charakter díky hydroxylovým skupinám a mají tak vliv na polární lepidla v podobě lepší smáčivosti a adheze. Další vliv mohou mít právě extraktivní látky. Mezi ně patří pryskyřice, vosky nebo třísloviny. Některé dřeviny mají extraktivních látek velké

množství a mohou nám ovlivňovat kvalitu lepeného spoje tím, že lepidlo nemusí dobře smáčet lepený povrch nebo může hůře vytvrzovat (Boublík 1966).

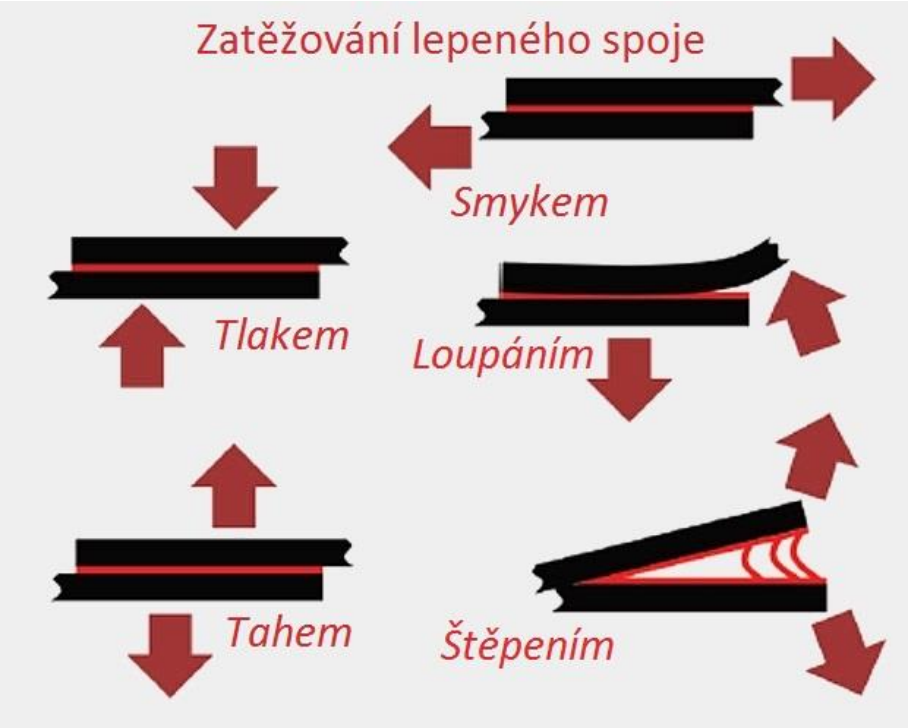
Kvalitu lepeného spoje můžeme ovlivnit také technologií lepení. Podle druhu lepidla volíme úpravu povrchu. Je důležité mít povrch co nejhladší a nejrovnější. Různé zdrsňování povrchu se nedoporučuje. Důležité při lepení je, aby byl povrch čistý bez nečistot. Jakákoli nečistota znehodnocuje lepidlový film a snižuje adhezi. Čistý musí být také stroj anebo nástroj, kterým lepidlo nanášíme. Nečistoty na nástroji například jako zaschlé lepidlo, prach, piliny se mohou dostat do lepidlového filmu a negativně ovlivnit adhezi nebo také těsnost lepené spáry při lisování. Problém způsobuje také speklé lepidlo na povrchu vyhřívaného válečku při nanášení termoplastických lepidel (Boublík 1966, Uhlíř 1997).

3.9 Lepené spoje

Lepený spoj můžeme definovat jako soustavu dvou adherentů spojený adhezivem. Adhezivum je látka, která zajišťuje, aby dva pevné materiály byly pevně a nerozebíratelně spojeny. Lepený spoj by potom měl mít dlouhou životnost a požadované mechanické vlastnosti. Toho dosáhneme tak že zvolíme správné adhezivum, kterým spojíme daný materiál a správné konstrukční řešení. (Petrie 2007)

3.9.1 Mechanické vlastnosti lepeného spoje

Lepený spoj může být namáhán buď staticky, nebo dynamicky. Statické namáhání je například vlastní tíha lepených materiálů, nebo zatěžován vnější silou, avšak rozloženou do určité časové osy. Staticky může být lepený spoj namáhán v tahu, smyku, ohybu a odlupování, viz obrázek č. 2. Lepidlo se může namáhat i v tlaku, avšak se většinou toto namáhání nepočítá, protože lepený spoj v tlaku vydrží mnohem větší zatížení než u ostatních typů namáhání. S tlakovým namáhání by se muselo počítat tehdy, kdy by tlakem byla narušena vnitřní soudržnost lepidla. Tato situace je vzhledem ke dřevu velmi nepravděpodobná. (Petrie 2007)



Obrázek 2: Způsob namáhání lepeného spoje (zdroj: Urban 2018)

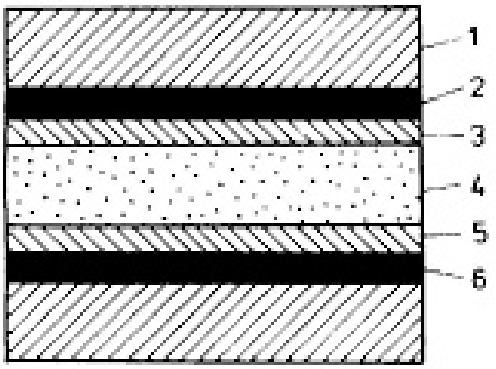
Lepený spoj může být namáhán také dynamicky. Dynamické zatížení může být způsobeno nárazem nebo chvěním či krutem. Toto zatížení působí na lepený spoj okamžitě a dochází k přetížení spoje jen v určitých místech.

Nejvíce je lepený spoj náchylný na odlupování. Odlup je kombinace ohybového a smykového namáhání. To se v praxi řeší konstrukcí lepeného spoje tak, aby lepený spoj byl namáhán ve smyku, protože tento typ namáhání má nejvyšší únosnost.

(Osten, 1982; Liptáková, Sedliačik, 1989)

Lepený spoj můžeme popsat jako soustavu tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev

.



1) Lepený podklad (adherent)

2) Adhezivní zóna lepidla

3) Přechodová adhezní zóna lepidla

4) Nános lepidla – kohezní zóna

5) Přechodová kohezní zóna

6) Adhezivní zóna lepidla

Obrázek 3: Schéma lepeného spoje (zdroj: Petrie 2000)

3.9.2 Typy lepených spojů

Lepené spoje můžeme rozdělit do několika typů, podle toho jak kvalitní lepený spoj je. Při nedodržení správného postupu při lepení může docházet k chybám, které ovlivňují výslednou kvalitu lepeného spoje.

3.9.2.1 Dokonalý spoj

Lepený spoj, který splňuje všechny požadavky. Lepený spoj má tenký, homogenní film. Lepené plochy na sebe těsně doléhají. Pro roztržení tohoto spoje je zapotřebí velká síla a porušení vzniká v lepeném materiálu a ne v lepidle.

3.9.2.2 Rozlepený spoj

Spoj, který lokálně nebo po celém spoji nedoléhá a obsahuje volná místa. Toto může být způsobeno nedostatečným opracováním lepeného povrchu, nedostatečným lisovacím tlakem, nedodržením lisovacího času nebo velkým napětím ve dřevě způsobeném vlhkostí dřeva a následném seschnutí.

3.9.2.3 Chudý spoj

Pro tento spoj je potřeba malé síly pro rozlepení. Může se jevit jako dokonalý spoj, protože nemívá viditelné rozlepená místa. Po roztrhnutém chudém spoji je materiál neporušen. Tento typ spoje vzniká tehdy, když se neutvoří souvislý lepidlový film. Může být způsoben nedostatečnému nánosu, nebo při vsáknutí lepidla do materiálu tak, že na povrchu lepeného spoje nezbyde žádné lepidlo. Tento problém způsobuje například příliš velká viskozita nebo příliš pórovitý materiál. Dále může vznikat při vytlačení lepidla z povrchu například při použití vysokých tlaků nebo při přílišné těsnosti spoje.

3.9.2.4 Zrnitý spoj

Zrnitý spoj má krupicovitou strukturu. Je způsoben například nedostatečným rozpuštěním práškového lepidla, příliš velkým obsahem plniv nebo nastavovadel a jejich nesprávnému rozmíchání nebo použití.

3.9.2.5 Zamrznutý spoj

Tato chyba lepeného spoje je způsobena příliš suchým podkladem (dřevem) a předčasně vytvrzeným lepidlem. Pro rozlepení je zapotřebí malá síla a po rozlepení při jednostranném nánosu můžeme vidět na jedné straně souvislý lepidlový film a druhá strana je prakticky čistá. Při oboustranném nánosu, ale při příliš suchém podkladu, lepidlo vytvrdí na povrchu lepeného spoje. Při porušení se tak lepený spoj poruší v lepidle.

3.9.2.6 Nezakotvený spoj

Vzniká, když lepidlo nepřilne k povrchu, spoj je málo pevný, jeví se při odtrhnutí kdy je vidět v lepené spáře souvislý lepidlový film. Příčinou může být špatně opracovaný povrch nebo špatně očištěný povrch od prachu nebo mastnot.

3.9.2.7 Zdánlivě pevný spoj

Zdánlivě pevný spoj způsobují vady ve dřevě jako například dřevokazné houby, nebo špatně opracovaný povrch. Při rozlepení jsou v lepidlovém filmu vidět vlákna.

(Boublík 1966; M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998; Osten 1974)

3.9.2.8 Složky lepících směsí

Filmotvorná složka

Lepidlo tvoří z velké části hlavně makromolekulární látky. Tyto látky je třeba dostat do kapalného stavu. Většina lepidel není rozpustná ve vodě, proto je třeba tyto

látky dispergovat do koloidního roztoku. Toho se docílí vodou, acetonem nebo jinými ředidly. Tato část lepidla se nazývá filmotvorná složka lepidla. Do této hlavní složky se přidávají různá aditiva podle toho, jaké vlastnosti má dané lepidlo mít (M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998).

Plniva

Plniva se používají kvůli úspoře drahých surovin v lepidle a zlevňují nám materiálovou skladbu. Tyto látky nemají lepivou funkci. Používají se například minerální plniva jako mletý sádrovec, mletý mastek nebo také dřevní moučka.

Nastavovadla

Nastavovadla slouží k omezení smršťování lepidla. To zabraňuje vzniku velkých napětí v lepidle při vytvrzování a vzniku trhlin uvnitř lepidlového filmu. Zároveň zvyšují viskozitu, čímž zabraňují vytékání lepidla při montáži nebo vtékání lepidla do pórů a eliminují se tak některé příčiny chudého spoje. Nastavovadla mohou zlepšovat i roztíratelnost lepidla. Nastavovadla obsahují škrobové látky jako například mouka, která v lepidle bobtná. Dalším nastavovadlem může být i vzduch. Přidáním malého množství alky-aryl-sulfonátu a následným našleháním lepidlo zvýší svůj objem, což má kladné ekonomické, ale i technické účinky. Mezi ně patří nižší nános lepidla na lepený spoj, nezatékání lepidla do pórů nebo také to že do lepené spáry se nezanáší zbytečně voda. Nastavovadla se liší od plniv tím, že mají lepivou funkci (Osten 1982).

Tvrdidla

Slouží jako katalyzátor u dvousložkových lepidel. Tvrdidla nastartují chemickou reakci a lepidlo tak vytvrdí.

Ředidla

Upravují viskozitu lepidel. Používá se například voda nebo aceton.

Stabilizátory

Látky, které pomáhají uchovávat vlastnosti lepidla během skladování, ale i během používání.

(Boublík 1966)

Zušlechťovací látky

Látky, které zlepšují vlastnosti lepeného spoje. Při výrobě aglomerovaných materiálů jsou to například hydrofobizační látky jako parafín, vosky nebo asfalty které se přidávají do lepidla v podobě emulzí.

V případě přírodních lepidel to mohou být látky zabraňující biologickým činitelům degradovat lepidlo. Zde se používá například portlandský cement, anorganické fungicidy nebo roztoky které obsahují ochranné látky (Boublík 1966; M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998).

Ochranu proti horké vodě se může přidávat fenol, melamin či rezorcin. Tyto látky na sebe váží volný formaldehyd.

3.10 Využití lepidel v praxi

Lepidla využívají lidé již od nepaměti. Dříve lidé používali různá přírodní lepidla na bázi pryskyřic, živočišných tuků a klihů. S nástupem průmyslové revoluce se začaly využívat syntetická lepidla jako nitrocelulóza. Nyní se využívají lepidla prakticky v každé domácnosti nebo ve většině průmyslových oborech dřevařského průmyslu.

3.10.1 Stavebnictví

Používají se například k lepení nosníků a CLT panelů. Lepidla se ve stavebnictví používají při montážích parapetů, oken, dveří nebo při montáži kuchyní.

3.10.1.1 Velkoplošné materiály

Používají se při výrobě deskových materiálů na bázi dřeva, jako jsou například CLT panely, DTD, OSB, MDF. Vlastnosti lepidel používaných v tomto oboru jsou ovlivňovány podle způsobu využití materiálu. Lepidlo se může upravovat tak aby například nepodporovalo hoření, bylo vodovzdorné nebo teplovzdorné. Hojně se využívají polyuretany, melamin-formaldehydová lepidla, fenol-formaldehydová lepidla nebo močovino-formaldehydová lepidla. (Böhm, Reisner, Bomba 2012)

3.10.1.2 Truhlářské výrobky

Využívají se zde při lepení spojů při výrobě nábytku, například při lepení spárovek nebo při lepení kolíkových či lamelových spojů. Dále se využívají při klížení oken nebo dveří a jiných rámových konstrukcí. V truhlářských dílnách se používají často PVAC lepidla, polyuretany anebo někdy epoxidové pryskyřice. (Trávník, Svoboda 2007)

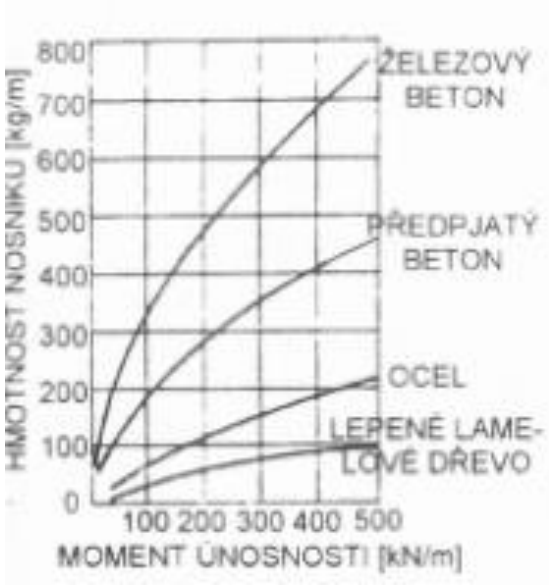
3.11 Výhody a nevýhody lepidel

Mezi velkou výhodu určitě patří to, že nám umožňují vyrábět materiály o velkých plochách. Výroba velkoplošných materiálu na bázi dřeva tuto výhodu využívá. Zároveň umožňuje zpracovat i odpad, čímž usnadňuje a zefektivňuje recyklaci dřevní hmoty. Další výhodou je spojování různých materiálů o různých tloušťkách a velikostech. Při výrobě materiálů na bázi dřeva jako například voštinové desky a jiné lehčené materiály, nám lepidlo umožňuje vyrábět materiály, které jsou pevné a zároveň k ploše nebo objemu i lehké. Lepení v mnoha ohledech ulehčuje a zefektivňuje výrobu nábytku a není třeba porušit materiál při spojování dílců. Lepený spoj má do jisté míry tlumící účinky. Dokáže tlumit vibrace a tím i zvuk nebo nárazy. Z estetického hlediska jsou lepení vhodné u výrobků, u kterých nemá být vidět spoj. Výhodou je určitě i to že u některých lepidel je spoj plynotěsný nebo vodotěsný. (Trávník, Svoboda 2007; Doležal 2015)

Lepení a lepené spoje mají však i své nevýhody. Mezi ně patří například menší pevnost než použití jiných spojovacích prostředků. Lepené spoje jsou citlivé na odlupování a krut. To je ale často řešeno jejich kombinací a konstrukčním řešením spoje. Z hlediska technologie je požadována čistota a rovnost lepených ploch anebo u průmyslové výroby nutnost strojů nebo celých linek. U některých lepidel je nevýhodou snížená voděodolnost a odolnost vůči chemikáliím. Mezi nevýhody jistě patří i nerozebíratelnost spoje. V neposlední řadě je nevýhodou to že spoj je pevný až po vytvrzení lepidla a maximální pevnosti se dosáhne, až po dlouhé době kdy lepidlo dozraje. Syntetická lepidla jsou často pro člověka škodlivá a je zapotřebí dbát na bezpečnostní pokyny. Problém je aktuálně v případě použité zdraví škodlivého formaldehydu, jenž se dnes snaží výrobci co nejvíce omezit. (Sedliačik 1989)

3.12 Lepidla používaná pro lepení nosných dřevěných konstrukcí

Dřevo jako konstrukční materiál má mnoho dobrých vlastností, ale pro potřebu větších rozměrů, zlepšení vlastností a zlepšení tvarové stálosti se lepí různé materiály na bázi dřeva. Tyto materiály se následně používají při konstrukcích například sportovních hal, dřevěných rodinných domů, mostů a jiných objektů. Mnoho těchto materiálů má mnohdy lepší vlastnosti nežli ocelové nosníky. Obrovskou výhodou je v únosnosti nosníků v poměru jejich váze, viz obr. 4. (Lorenz 2003)



Obrázek 4: grafické znázornění momentu únosnosti nosníků vůči jejich váze (zdroj: Lorenz 2003)

Další výhodou je požární bezpečnost těchto materiálů. Dřevěné nosníky musí prohořet do 60 % svého průměru, aby se nosník zbortil s tím, že dřevo odhořívá rychlostí 0,5 – 0,9 mm/min. Tato rychlost se může ještě zpomalit použitím protihořlavých nátěrů viz tab. 1. Oproti oceli mají dřevěné nosníky výhodu, že nevedou teplo a neztrácejí mechanické vlastnosti vlivem teploty. (Vašátko 2009; Netopilová 2010)

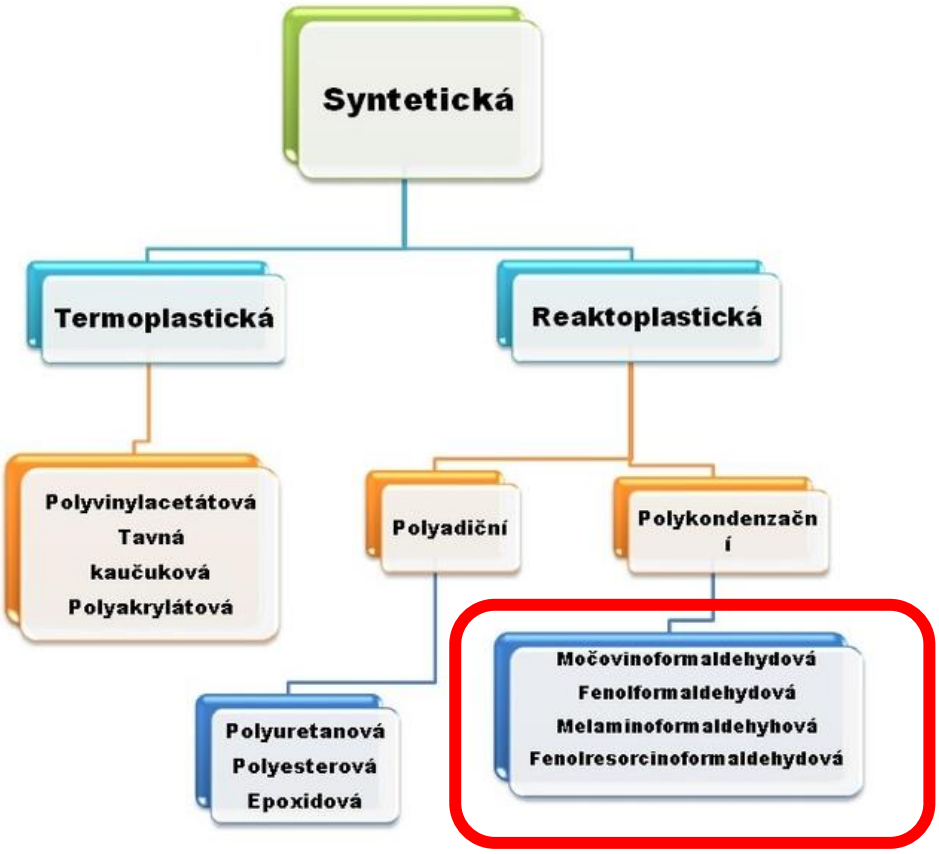
Tabulka 1: porovnání požární odolnosti chráněného a nechráněného dřevěného prvku v závislosti na jeho průřezu (zdroj: Vašátko 2009)

Dřevěný prvek	Průřez prvku [mm]	Požární odolnost nechráněného prvku t_n[min.]	Požární odolnost chráněného prvku t_{ch}[min.]
Nosník z rostlého dřeva	50/100	12,7	27,2
	70/140	17,7	32,2
	100/140	22,6	37,1
	115/200	27,5	42
	140/200	31,5	46
	150/250	25,9	50,4
	200/300	49	63,5
Nosník z lepeného dřeva	50/100	14,5	29
	50/120	15	29,5
	70/140	20,2	34,7
	100/140	25,9	40,4
	115/200	31,4	45,9
	140/200	36	50,5
	150/250	40,9	55,4
	200/300	52,8	67,3
Sloup z rostlého dřeva	100/140	12,9	27,4
	120/120	14	28,5
	140/140	16,2	30,7
	140/200	18,2	32,7
	150/250	21,3	35,8
Sloup z lepeného dřeva	100/140	14,8	29,3
	120/120	16	30,5
	140/140	18,5	33
	140/200	20,8	35,3
	150/250	24,3	38,5

Při výrobě těchto materiálů se výhradně používají syntetická lepidla. Je to z důvodu odolnosti a pevnosti. Lepidla na bázi anorganických látek jako jsou třeba cementy, fosfáty nebo silikáty jsou buďto křehká nebo nemají dostatečnou adhezi ke dřevu. Lepidla z přírodních surovin nejsou tak odolné a jsou o něco dražší, proto se již tolik nepoužívají. Dříve se však používala přírodní lepidla na bázi albuminu nebo kaseinu pro výrobu překližek. Kasein se míchá do kaseinátu sodného, amonného nebo vápenatého. Tyto lepidla se lišila odolností proti vodě a životností. Albuminová lepidla jsou odolná, ale míchají se pro zlepšení vlastností s fenol-formaldehydovými lepidly (M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998; Osten 1972).

3.12.1 Syntetická lepidla

Syntetická lepidla tvoří ve dřevařském průmyslu nejvýznamnější skupinu. Tyto lepidla byla nejvíce vyvíjena ve 20. století a od roku 1930 postupně nahrazovala lepidla přírodní. To umožnilo výrobu materiálů na bázi dřeva i z odpadů jako například jako třískové desky, nebo lepené konstrukce. (M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998)



Obrázek 5: rozdělení syntetických lepidel. Zde zvýrazněný okruh lepidel použitých v této práci. (zdroj: Procházka 2018)

3.12.2 Melamin-močovino-formaldehydová lepidla

Melamin-močovino-formaldehydová (MUF) lepidla jsou vyráběna kombinací melamin-formaldehydu (MF) a močovino-formaldehydu (UF). Samotné melamin-formaldehydové lepidlo je příliš drahé a je jich nedostatek. Melamin-formaldehyd je svou strukturou podobný močovino-formaldehydovým pryskyřicím. Melamin-formaldehyd má dobré vlastnosti zejména v odolnosti proti studené i horké vodě a dobře odolává povětrnostním vlivům. Jak bylo již zmíněno, jejich nevýhodou je jejich nedostatek a vysoká cena. Mezi jejich nedostatky patří i malá stabilita. Při smíchání s močovino-formaldehydem vzniká prakticky močovino-formaldehydové lepidlo, které má lepší voděodolnost a lepší odolnost proti povětrnostním vlivům (Osten 1972; Boublík 1996; Frihart 2012).

Melamin je bílá krystalická látka. Vyrábí se z dusíkatého vápna rekcí s vodou. Tím vznikne dikyandiamid, který se zahřívá na 225-350 °C. Zahřívá se buď přímo, nebo v kapalném amoniaku a tím vzniká melamin. Ten se poté smíchá s formaldehydem a

zahřívá na 80 °C a dalším zahříváním vznikají kondenzáty melamin-formaldehydové pryskyřice, které jsou zpočátku rozpustné ve vodě, ale růstem molekul se stanou nerozpustné.

MF a UF se pro vnik MUF míchali v poměrech 30/70. tyto lepidla však nebyla vhodná do exteriéru. Proto se dnes míchají tyto lepidla v poměru 40/60.

Vytvrzování MUF lepidla probíhá v kyselém nebo neutrálním prostředí při zvýšené teplotě. Tyto lepidla se používají pro výrobu překližek, lamelového dřeva, nebo CLT panelů.

(Osten 1972; Boublík 1996)

3.12.3 Močovino-formaldehydová lepidla

Močovino-formaldehydová (UF) lepidla patří mezi nejpoužívanější lepidla ve dřevařském průmyslu.

UF lepidla se skládají ze dvou základních surovin a to močoviny a formaldehydu. Močovina je bílá krystalická látka, která je rozpustná ve vodě. Močovina se nejčastěji vyrábí z CO_2 a amoniaku (NH_3) při zvýšené teplotě. Formaldehyd je plyn štiplavého zápachu, který je zdravý škodlivý. Vyrábí se dehydrogenací metanolu.

UF lepidla se připravují kondenzací těchto dvou látek v neutrálním nebo slabě alkalickém prostředí. Tím vznikne monometylmočovina. Monometylmočovina je nestabilní látka a podléhá kondenzačním reakcím, kdy vznikají metylénové vazby v kyselém prostředí při kterém je uvolňována voda a formaldehyd, nebo dimetyletétové vazby v alkalickém prostředí prostředí. Vlastnosti UF lepidla jsou ovlivněny molárním poměrem obou reaktantů, reakční teplotou, dobou reakce a pH prostředí. Přechod na stabilnější methylenetérovou strukturu je tím rychlejší, čím je hodnota PH nižší.

UF lepidla se v praxi používají pro výrobu překližek a třískových desek. Jejich nevýhodou je uvolňování formaldehydu. Tato lepidla uvolňují formaldehyd jak při výrobě, tak při skladování, používání a i vytvrzení lepidla. Na tomto problému se již dlouho pracuje. (Osten 1982; Kafka 1989; Frihart 2012)

3.13 Vlastnosti dřeva

V této kapitole bych se chtěl zabývat vlastnostmi dřeva, které souvisí s problematikou lepení dřeva.

3.13.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti se řadí do dvou základních skupin. Na vlastnosti základní a na vlastnosti odvozené. Mezi vlastnosti základní patří pevnost, pružnost, plastičnost a houževnatost. Mezi vlastnosti odvozené patří tvrdost, odolnost proti trvalému zatížení, odolnost proti tečení a odolnost proti únavovému lomu. Tyto vlastnosti jsou dány anatomickou stavbou dřeva. Stejně jako u jiných vlastností dřeva i zde musíme počítat s anizotropií, tedy s tím že v každém směru má dřevo jiné vlastnosti (Požgaj a kol. 1993).

Mechanické namáhání

Mechanické namáhání je proces, při kterém dochází k vzájemnému působení mezi mechanickými vlastnosti a dřevem. Výsledkem tohoto působení jsou dočasné nebo trvalé změny tvaru dřeva. Namáhání můžeme rozdělit na mechanické, vlhkostní chemické, tepelné a namáhání, které tyto typy namáhání kombinují. (Požgaj a kol. 1993)

3.13.2 Pevnost

Pevnost dřeva charakterizuje odpor dřeva proti jeho porušení. Kvůli tomu že dřevo je biologický materiál a každý strom roste jinak, nelze vypočítat jeho teoretická pevnost. Údaje o pevnosti dřeva se zjišťují pomocí zkoušek pevnosti.

Pevnost dřeva v tahu

Pevnost v tahu rozdělujeme s ohledem na ortotropnost dřeva na pevnost v tahu podél vláken, pevnost v tahu kolmo na vlákna v tangenciálním směru a pevnost v tahu kolmo na vlákna v radiálním směru.

Pevnost v tahu ve směru vláken je v porovnání s ostatními typy namáhání nejvyšší. U našich dřevin dosahuje průměrně na 120 MPa. Při porušení tělesa se roztrhnou buňky dřeva a jeví se jako vláknitý nebo rozštípnutý zlom při vysoké pevnosti a jako tupý nebo schodovitý zlom při pevnosti malé. Vysokou pevnost mají na svědomí celulózové řetězce a jejich kovalentní vazby (Gandelová; Horáček 2002).

Naopak pevnost dřeva v tahu napříč vláken je jedna z nejmenších. Pohybuje se průměrně kolem 1,5 do 5 MPa. Fibrily a makrofibrily jsou téměř rovnoběžně uspořádané, už tímto lze předpokládat, že pevnost ve směru jejich uspořádání bude větší. Ve směru kolmo na vlákna totiž působí pouze Van der Waalsové vazby a vodíkové vazby, které jsou slabší nežli kovalentní vazby (Gandelová; Horáček 2002).

Pevnost dřeva ve smyku

Vlivem anizotropie je ve všech směrech smyková pevnost jiná. Čistý smyk se praxi nevyskytuje, vždy ho doprovází i jiné typy napětí, například tahová nebo tlaková.

Pro určení pevnosti ve smyku v této práci je důležité jen namáhání ve smyku podél vláken. Dřevo v tomto namáhání má poměrně malou pevnost s tím, že dřevo má v tangenciální rovině o 10-30% vyšší pevnost než v rovině radiální. Tento rozdíl se zvyšuje stoupajícím zastoupením dřeňových paprsků jako například u buku. Průměrná pevnost dřeva ve smyku podél vláken se udává na 10-12 MPa. (Požgaj a kol. 1993)

3.14 Dřeviny použité v práci

Způsoby lepení jednotlivých dřevin se od sebe výrazně neliší. Je třeba si ale uvědomit, že různé druhy dřeva mohou mít vliv na výslednou kvalitu spoje. Rozdílnou pevnost spoje budou mít tvrdá nebo měkká dřeva. Vliv na spoj má také jejich pórovitost.

Dřevo obsahuje kromě celulózy, hemicelulózy a ligninu také různé extraktivní látky jako bílkoviny, tuky, třísloviny, barviva nebo glykosidy a pryskyřice. Tyto látky nám mohou reagovat s látkami obsaženými v lepidlech a negativně ovlivnit kvalitu lepeného spoje. (M.Sedliačik, J.Sedliačik 1998; Trávník, Svoboda 2007)

Buk lesní (Fagus sylvatica)

Roztroušeně pórovitá dřevina. Řadí se mezi tvrdá a středně těžká dřeva. Bukové dřevo má hustotu při nulové vlhkosti 680 kg/m^3. Přechod mezi vyzrálým dřevem a bělí není rozlišeno. Často se vyskytuje u této dřeviny nepravé jádro, které se jeví jako zešedivění dřeva. Nepravé jádro u buku nemá zásadní vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Nepravá jádra mohou ale zadržovat více vlhkosti, hůře se impregnují a obecně se berou jako estetické vady. Bukové dřevo není příliš odolné proti biotickým činitelům. Bukové dřevo se však dobře impregnuje, paří nebo moří. Problém s bukovým dřevem je při jeho sušení. Dřevo má tendenci se bortit a praskat.

Buk je v našich lesích jedna s nejvíce zastoupených listnatých dřevin. Zároveň přestavuje jednu s nejdůležitějších evropských dřevin. Používá se k výrobě překližek, ohýbaného nábytku, parket a mnoho dalších dřevařských komodit. (Zeidler, Borůvka 2016; Požgaj a kol. 1993)

Dub letní (Quercus robur)

Kruhovitě pórovitá dřevina s heterogenními vlastnostmi dřeva jádra a běli, které je jasně rozlišeno. Dubové dřevo má hustotu při nulové vlhkosti 680 kg/m^3. Dub má

v jarním dřevě zřetelné makropóry. Ty v podélných řezech tvoří jakési rýhy. Ve všech řezech jsou zřetelné dřeňové paprsky.

Dubové dřevo obsahuje velké množství tříslovin, díky kterým má dub svoji specifickou vůni. Tyto třísloviny mají na svědomí, že dub patří k dřevinám s velkou odolností proti biotickým škůdcům. Dubové dřevo se dobře opracovává, ale obtížněji se impregnuje.

Dub je také velmi rozšířenou dřevinou u nás. Používá se v nábytkářství, řezbářství, nebo pro různé parkety, obklady atd.
(Zeidler, Borůvka 2016; Požgaj a kol. 1993)

4 Metodika

4.1 Výběr lepidel

Byly testovány dvě dvousložková fenolická lepidla. Tyto lepidla jsou určena na konstrukční lepení interiéru a exteriéru. Výběr těchto fenolických 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 hlediska technologického procesu ve výrobě efektivní a nenáročná. Dalším požadavkem bylo použití lepidla jak v exteriéru, tak v interiéru. Proto byly vybrány systémy pro lepení na bázi fenolu, a to i za cenu, že tato adhesiva mohou uvolňovat složky formaldehydu do okolního prostředí.

První adhesivum bylo dvousložkové močovinoformaldehydové lepidlo pod označením 1206 společnosti AKZONOBEL . (Švédsko)

Druhé adhesivum bylo dvousložkové melaminmočovinoformaldehydové lepidlo pod označením 1242 společnosti AKZONOBEL. (Švédsko)

Pro obě lepidla bylo použito tvrdidlo pod označením HARDENER 2542 společnosti CASCO ADHEZIVES AB. (Švédsko)

Tabulka 2 : Souhrn vlastností použitých lepidel (zdroj autor práce)

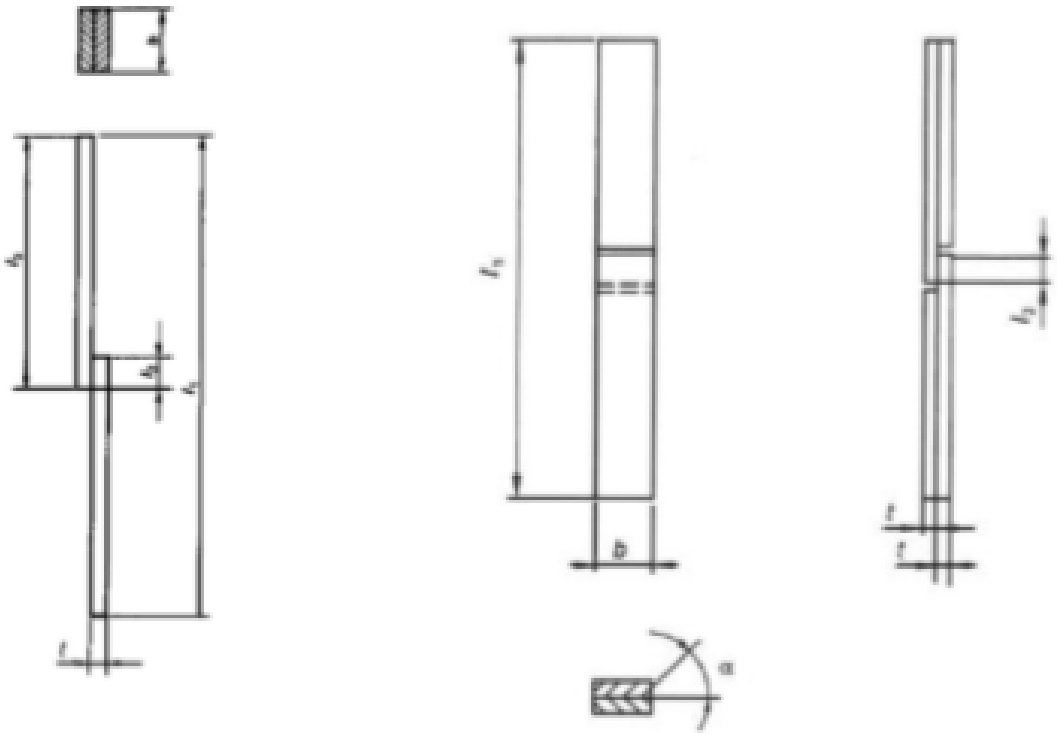
Adhesivum/ tvrdidlo	MUF	UF	Tvrdidlo
Označení	1242	1206	2542
Viskozita	10000-20000 mPas	500-2000 mPas	10000-20000 mPas
Ph	9,5-11	7,5-9	0,8-1,5
Hustota	1250 Kg/m^3	1300 Kg/m^3	1340 Kg/m^3
Otevřený čas	Záleží na teplotě a poměru tvrdidla (40 min – 2,5 h)	Záleží na teplotě a poměru tvrdidla (40 min – 2,5 h)	Nevztahuje se
Ideální vlhkost dřeva	8-15 % (pro lamelové nosníky 10-12 %	5-9 %	Nevztahuje se
Lisovací tlak	Pro měkké dřevo min 0,5 MPa.Pro tvrdé dřevo min 1,0 MPa	Pro měkké dřevo min 0,5 MPa.Pro tvrdé dřevo min 1,0 MPa	Nevztahuje se
Lisovací čas	Záleží na teplotě a poměru tvrdidla (2h 45 min – 10h) viz TL	Záleží na teplotě a poměru tvrdidla (2h 45 min – 10h) viz TL	Nevztahuje se
Spotřeba lepidla na m^2	170 - 450 g. Pro lamelové nosníky 250 - 450 g	Lepení masivního dřeva 150 - 250 g Pro jiný druh lepení viz TL	Nevztahuje se

Cílem bylo stanovit vhodný metodologický postup pro získání hodnot podélné pevnosti zvolených adhesiv pro jejich klasifikaci při použití 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 301 (2018). Tyto normy udávají postup pevnostních zkoušek metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání a stanovují způsob klasifikace fenolických a aminových adhesiv.

4.2 Výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa byla zhotovena na základě normy ČSN EN 302-1. Tělesa mají jasně dané rozměry a to šířku 20 mm, délku 80 mm a tloušťku 5 mm. Odklon vláken by měl

být v rozmezí 30 – 85° u lepené plochy. Zkušební tělesa byla zhotovena z bukového a dubového dřeva, pokaždé z vyzrálého dřeva a běli u buku a z jádra a běli u dubu.



Obrázek 6 : Vzhled zkušebních těles dle 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)

α Úhel mezi lepenou spárou a letokruhy (30 – 85°)

Zdroj: ČSN EN 302-1

Laboratorní vzorky z buku a dubu byly vyrobeny v Laboratoři zpracování biomateriálů na Fakultě lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze. Nejdříve se dlouhé bukové a dubové fošny nakrátily na zkracovací pile PILOUS XRF 580 (Pilous, Česká republika) na metrové přířezy. Takto nakrácené fošny se na

formátovací pile SCM si 400 Class (SCM Group, Italie) rozřezaly na hranoly, které se poté obrobily na srovnávací frézce SCM 1410 Class (SCM Group, Italie) tak, aby vznikl mezi sousedními stěnami hranolu pravý úhel. Dále se tyto hranoly řezaly na formátovací pile SCM si 400 Class (SCM Group, Italie) na lišty o rozměru 500 x 50 x 8mm. Bylo nutné, aby lišty byly nařezány tak, aby lepená plocha byla radiální. Vzniklé lišty se poté natloušťkovaly a egalizovali na tloušťkovací frézce SCM s630 Class (SCM Group, Italie). Lišty byly frézovány z obou stran tak, aby obě strany byly rovnoběžné a hladce obrobené. Lišty se takto egalizovali na tloušťku 5 mm, která je daná normou ČSN EN 302-1. Na formátovací pile SCM si 400 Class (SCM Group, Italie) byly jednotlivé lišty nařezány na šířku 20 mm široké pásky a poté nakráceny na délku 80 mm, aby vzniklo požadované zkušební tělísko, tak jak udává norma. Těchto lamel bylo vyrobeno dostatečně na to, aby mohlo být slepeno celkem 144 zkušebních těles z buku z toho 72 zkušebních těles vyzrálého dřeva a 72 zkušebních těles bělového dřeva. To samé bylo provedeno u dubových vzorků, to znamená, že bylo vyrobeno dostatečné množství lamel na výrobu 144 zkušebních těles, z toho 72 těles z jádra a 72 těles z běli.

Tabulka 3: Počet zkušebních tělísek a zkoušek (zdroj: autor práce)

Označení dle expozice vzorku	Typ adhesiva	Druh dřeviny	Část dřeviny	Počet platných měření	Počet připravených zkušebních těles
A1	MUF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A2	MUF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A5	MUF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A1	UF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A2	UF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A5	UF	Buk	Vyzrálé dřevo	10	12
A1	MUF	Buk	Běl	10	12
A2	MUF	Buk	Běl	10	12
A5	MUF	Buk	Běl	10	12
A1	UF	Buk	Běl	10	12
A2	UF	Buk	Běl	10	12
A5	UF	Buk	Běl	10	12
A1	MUF	Dub	Jádro	10	12
A2	MUF	Dub	Jádro	10	12
A5	MUF	Dub	Jádro	10	12
A1	UF	Dub	Jádro	10	12
A2	UF	Dub	Jádro	10	12
A5	UF	Dub	Jádro	10	12
A1	MUF	Dub	Běl	10	12
A2	MUF	Dub	Běl	10	12
A5	MUF	Dub	Běl	10	12
A1	UF	Dub	Běl	10	12
A2	UF	Dub	Běl	10	12
A5	UF	Dub	Běl	10	12

Obrázek 7: Připravené lišty k nařezání na pásky, zde z dřeva dubu (zdroj: autor práce)

Obrázek 8: Nařezané pásky, zde ze dřeva dubu a rozdělené na jádrové a bělové dřevo (zdroj: autor práce)

Obrázek 9: Hotové zkušební vzorky, zde ze dřeva dubu rozdělené na jádrové a bělové dřevo (zdroj: autor práce)

Polovina vzorků byla vyrobena podle normy ČSN EN 302-1 z bukového dřeva. Druhá polovina byla zhotovena z dubového dřeva. Podle normy ČSN 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 ve dřevě, ale v lepené spáře. Pro tuto zkoušku bylo použito pro výrobu zkušebních těles i dřevo dubu. Pevnost lepeného spoje je potom i hodnocena z hlediska rozdílu části použitého dřeva pro lepený spoj, to znamená, že se rozlišoval rozdíl mezi vyzrálým dřevem a bělí u buku a jádrem a bělí u dubu.

4.3 Příprava zkušebních těles

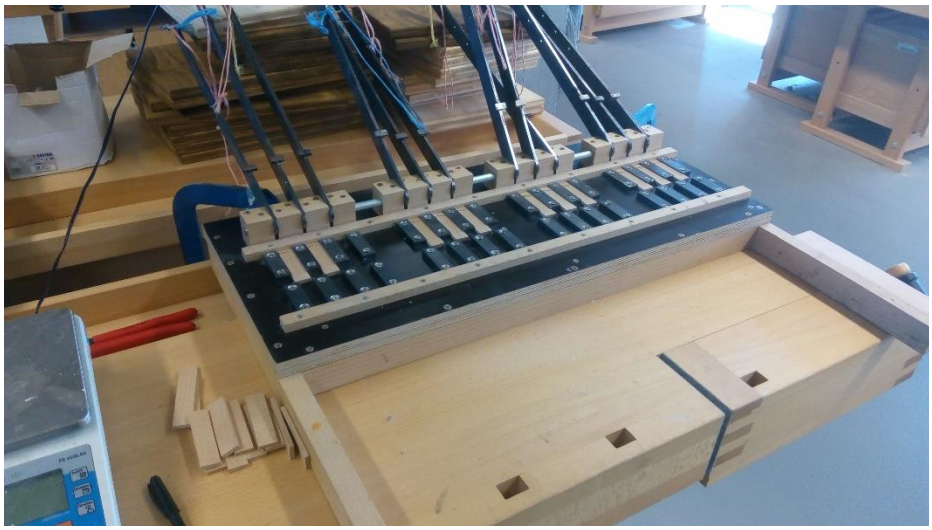
Při přípravě zkušebních těles pro pevnostní zkoušky metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání se postupovalo podle normy ČSN EN 302-1 (2013).

Vyrobené lamely se umístily do klimatizační komory Memmert HPP 750 (Memmert GmbH, Německo) při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 °C. Po určité době byla jedna náhodně vytažená lamela zvážena a hodnota napsána. Tento postup byl opakován každý den, do té doby dokud se váha neustálila na stejné hodnotě s rozptylem 0,5 gramu. Pokud se váha ustálila, znamenalo to, že byl vzorek naklimatizován na požadovanou vlhkost. Klimatizovaní probíhalo po 7 dní. Před

samotným lepením bylo z klimatizační komory vytáhnuto vždy 24 lamel od jedné dřeviny a z jedné části.

Obrázek 10: uložení zkušebních tělísek do klimatizační komory (zdroj: autor práce)

Tyto lamely byly očištěny od prachu a jiných nečistot a popsány kódem který určoval dřevinu, část dřeviny, použité adhesivum a číslo vzorku. Poté bylo namícháno lepidlo v daném poměru, jak udává technický list. Poměry lepidla a tvrdidla se určovali váhovým poměrem. Po namíchání bylo lepidlo naneseno na lepenou plochu lamely a vloženy do speciálního přípravku pro tuto zkoušku. Vzorky byly zatíženy silou pro tvrdé dřeviny podle technického listu, tedy 1,0 MPa po dobu určenou výrobcem. Po vytvrdnutí lepidla byly vzorky vyjmuty z přípravku a vyteklé lepidlo, které by mohlo ovlivnit výsledek měření, bylo šetrně odstraněno. Takto se postupovalo u obou typů lepidel a dřevin.



Obrázek 11: Příprava zkušebních tělísek. Zde uložení do speciálního přípravku pro výrobu zkušebních tělísek na zkoušku smykové pevnosti v tahu (zdroj: autor práce)

Zkušební vzorky se připravovaly na zkoušku podle normy ČSN EN 302-1 (2013) viz tabulka č. 4. Na základě konzultace se prováděly tyto expozice A1, A2 a A5.

Tabulka 4 : Způsoby expozice pro testování zkušebních tělísek (zdroj: 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

Pro A1 se vybrané vzorky vložily na 7 dní do klimatizační komory Memmert HPP 750 (Memmert GmbH, Německo), kde se klimatizovaly při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 °C. Po uběhnutí této doby se vzorky testovaly.

Pro A2 se vybrané vzorky vložili do plastové nádoby s vodou a zatížily tak, aby byly všechny vzorky pod vodou. Bylo zkontrolováno, že voda má teplotu 20 ± 5 °C a následně byla plastová nádoba uložena v místnosti s konstantní teplotou tak, aby zkouška byla v souladu s normou ČSN EN 302-1 (2013). Vzorky byly pod vodou po dobu 4 dnů a následně byly usušeny a v suchém stavu byly testovány.

Obrázek 12: Ponoření zkušebních tělísek do vody (zdroj: autor práce)

Pro A5 se vzorky musely vařit po 6 hodin. Nejdříve se předehřála voda v nerezovém hrnci na bod varu a poté se vybrané vzorky vložily do vroucí vody. Byl zapsán čas začátku expozice a po šesti hodinách varu se vzorky vytáhly a na 2 hodiny se vložily do studené vody o teplotě 20 ± 5 °C. Po dvou hodinách se tyto vzorky vytáhly a vložily se do výše uvedené klimatizační komory, kde byly klimatizovány po 7 dní a po uběhnutí této doby byly testovány v suchém stavu.

Obrázek 13: Vaření zkušebních tělísek (zdroj: autor práce)

4.4 Průběh trhací zkoušky

Zkouška stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání byla provedena dle normy ČSN EN 302-1 (2013). Zkouška proběhla na univerzálním trhacím stroji typu TIRA test 2850 od výrobce TIRA GmbH (Německo) s konstantním posuvem.

Obrázek 14: Uložení zkušebních tělísek ve zkušebním stroj (zdroj: auor práce)

Zkušební tělíska byla upevněna na obou koncích do čelistí trhacího stroje v délce 40 – 50 mm. Konstantní rychlost posuvu byla nastavena na 50 mm/min. a nesměla být překročena. Po nastavení všech parametrů se mohla tahová zkouška spustit. Bylo kontrolováno, zda dojde k porušení lepeného spoje v časovém limitu od 30 do 90 s (ČSN EN 302-1). Po roztrhnutí zkušebního tělíska bylo zkontrolováno, zda byl vzorek porušen ve dřevě anebo v lepené spáře.

Pevnost lepeného spoje charakterizovala hodnota pevnosti ve smyku τ, která se vypočítá dle vzorce:

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

Kde:

τ je pevnost ve smyku v N/mm2

Fmax je největší vyvíjená síla v Newtonech (N)

l2 je délka spojeného zkušebního povrchu v milimetrech (mm)

b je šířka spojeného zkušebního povrchu v milimetrech (mm)

Zdroj: ČSN EN 302-1

Vždy bylo zkoušeno 12 zkušebních těles od každé skupiny vzorků (celkem 24 skupin) tak, aby z každé skupiny vyšlo alespoň 10 platných hodnot pevností.

5 Výsledky a statistické vyhodnocení

Cílem této práce je posouzení kvality lepidel na bázi melamin-močovino-formaldehydu a močovino-formaldehydu pro aplikace nosných dřevěných konstrukcí. Pro posuzování vhodnosti adheziva pro spoje konstrukčního lepení je použita metoda stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. Výsledkem těchto zkoušek jsou hodnoty pevnosti lepených spojů. Podle těchto hodnot pevností jsou daná adhesiva klasifikována dle normy ČSN EN 301. Tato norma stanovuje použitelnost fenolických a aminových adhesiv při vystavení vzorků daným klimatickým podmínkám a na základě zařazení adhesiv do servisních tříd je stanoven typ adhesiva a to typ I, anebo typ II.

Pro naměřené hodnoty podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání byly vypočítány základní popisné statistiky (viz tab. č. 5 a tab. č. 6). Následně byla data graficky zpracována do krabicových grafů (viz 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. 7, 8 a 9). Pro statistické výpočty byl použit software Statistica (StatSoft CR s.r.o.).

5.1 Klasifikace adhesiv podle ČSN EN 301

Vybraná adheziva byla klasifikována na základě výsledných hodnot pevností ve smyku při tahovém namáhání. Byly vybrány hodnoty dřeviny buku viz. tabulka 6. Testovány byly adhesiva ADHESIVE 1206 a ADHESIVE 1247 s použitím tvrdidla HARDENER 2542. Výsledky byly porovnány s mezními hodnotami peností pro fenolická a aminová lepidla při použití na nosné dřevěné kmonstrukce dle ČSN EN 301 tab. 4. Lepidlo ADHESIVE 1247 tedy melamin-močovino-formaldehyfové lepidlo splňuje pevnost stanovenou pro adhesivum typu I i typu II u všech typů zkoušek servisních tříd 1,2,3. Druhé použité lepidlo ADHESEVE 1206 splňuje pevnost pro adhesivum typu II z důvodu rozlepení vzorků při zkoušce A5.

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 (ČSN EN 301).

Tabulka 5: Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje dubu (zdroj: autor práce)

Dub - pevnost ve smyku N/mm^2	Popisné statistiky							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	10	10,4292	10,0710	9,0593	12,6450	1,4217	1,1924	11,4329
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	10	8,4487	8,4961	5,6695	10,3083	2,3115	1,5204	17,9954
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	10	5,2160	5,1889	3,5830	6,9023	1,0808	1,0396	19,9314
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	10	10,8208	10,9080	8,8905	12,4390	1,5661	1,2514	11,5650
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	10	10,0264	9,8168	8,9153	11,6888	0,8307	0,9114	9,0905
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	10	11,5493	11,5380	10,0428	13,2345	1,4299	1,1958	10,3538
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	10	9,1164	9,2983	7,1360	10,4395	1,0851	1,0417	11,4263
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	10	6,5092	6,4176	4,4963	9,0593	2,1973	1,4823	22,7727
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	10	11,1050	11,3020	8,7413	13,6330	2,8351	1,6838	15,1623
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	10	10,3574	10,3249	8,2025	12,4900	2,1301	1,4595	14,0912
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

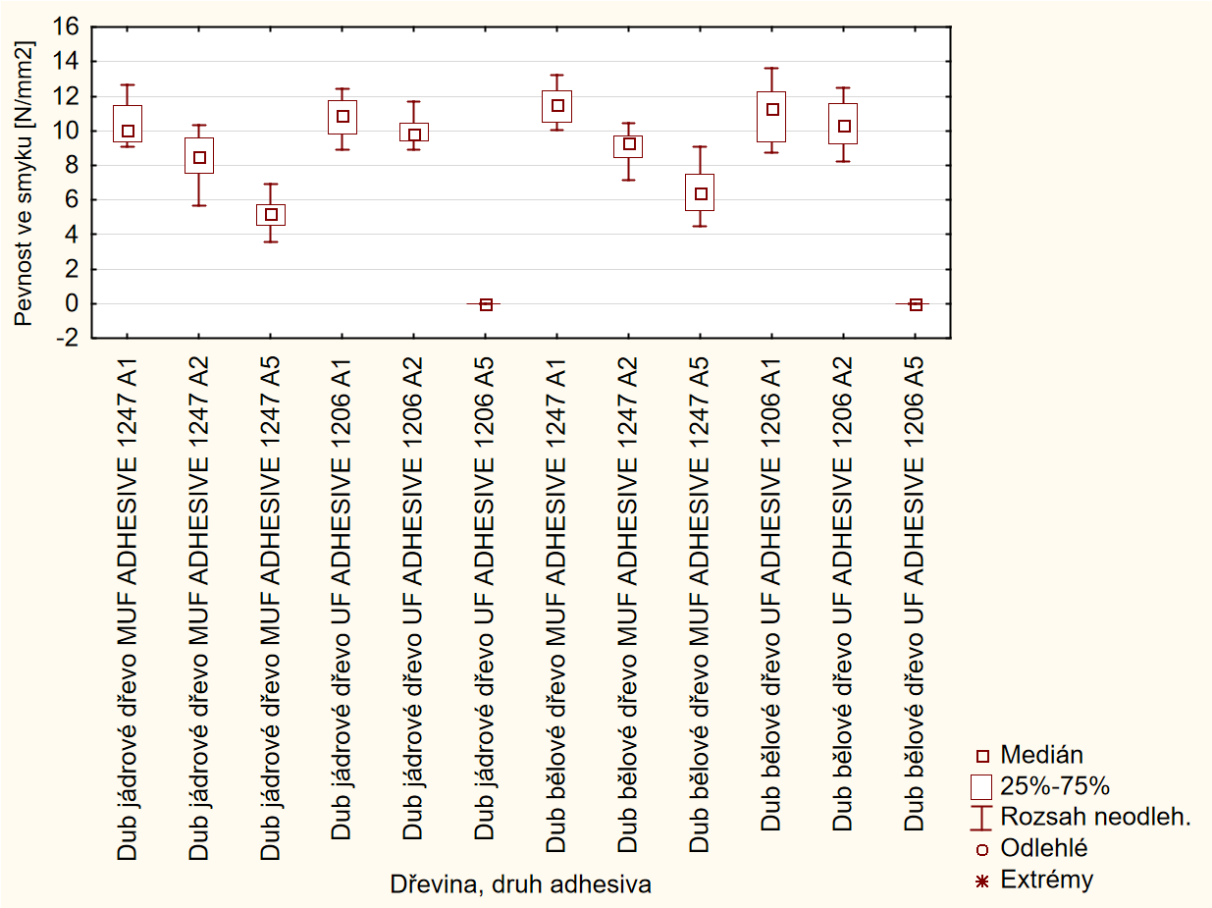
Tabulka 6: Popisné statistiky pevnosti ve smyku lepeného spoje buku (zdroj: autor práce)

Buk - pevnost ve smyku N/mm^2	Popisné statistiky							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	10	14,0842	13,9883	12,5953	15,9533	0,8921	0,9445	6,7060
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	10	13,2548	13,1569	11,7910	14,6105	0,9807	0,9903	7,4714
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	10	8,8767	8,7573	6,4005	12,0923	2,5675	1,6023	18,0513
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	10	16,4994	16,2993	13,7450	18,7113	2,6518	1,6284	9,8697
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	10	11,4789	11,1709	7,7245	15,0825	6,4535	2,5404	22,1308
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	10	13,4887	13,7110	10,1475	16,9195	3,3435	1,8285	13,5560
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	10	9,6098	10,1173	6,9450	12,3135	4,5377	2,1302	22,1668
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	10	9,0928	8,8760	4,8738	13,8073	7,0351	2,6524	29,1703
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	10	13,6156	14,3944	10,3263	16,3800	4,5744	2,1388	15,7083
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	10	14,2063	14,1483	10,3388	17,2173	4,4249	2,1035	14,8072
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

5.2 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje dubu

Nejvyšší pevnost lepených spojů u dřeviny dubu (obr. č. 15) vykazovaly lepené spoje při použití obou adhesiv ADHESIVE 1247 na bázi melamin-močovino-formaldehydu (označení MUF) a ADHESIVE 1206 na bázi močovino-formaldehydu (označení UF) a která byla kondiciována dle postupu A1. Při tomto postupu je lepený spoj po 7 dní klimatizován při okrajových podmínkách 20±5 °C a 65±5 %. Lepené spoje testovaných adhesiv ztrácely pevnost při kondiciování dle postupu A2, přičemž při tomto postupu byly po 7 dní klimatizovány při 20±2°C a 65±5% a vlivem následného přímého a dlouhodobého kontaktu s vodou o teplotě 20±5 °C došlo k narušení chemických vazeb lepeného spoje. Při testování pevnosti lepeného spoje dle postupu A5 došlo ke snížení pevnosti spoje u lepidla ADHESIVE 1247 a výraznému narušení lepeného spoje při použití lepidla ADHESIVE 1206, u něhož lepené spoje vykazovaly nulovou pevnost. 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 podstatně liší pouze v rámci statistické chyby (tab. č.8 a 9). Důvodem nižší pevnosti lepeného spoje u jádrového dřeva může být vyšší obsah terpenů a dalších látek, které obsahuje dřevo jádra.

Lepené spoje jádrového dřeva dubu oběma adhesivy vykazovaly vždy menší pevnost, než tomu je u dřeva bělového. Důvodem nižší pevnosti lepeného spoje jádra dubu může být vyšší obsah terpenů a dalších extraktivních látek, které mají negativní vliv na adhezi lepidla a dřeva.

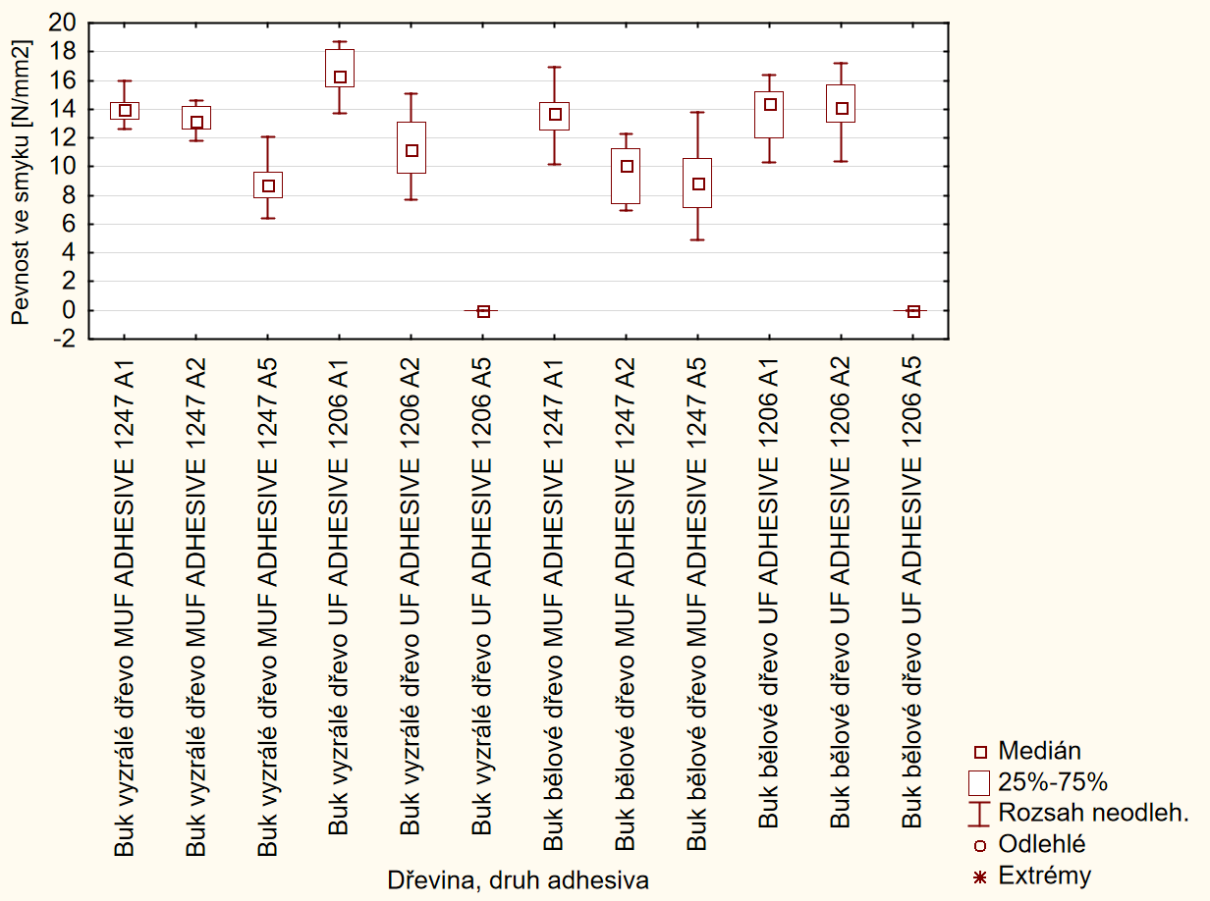


Obrázek 15 : Pevnost ve smyku lepeného spoje dubu (zdroj: autor práce)

5.3 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje buku

Nejvyšší pevnost lepených spojů u dřeviny buku (obr. č. 16) vykazovaly lepené spoje při použití adhesiva typu ADHESIVE 1206 na bázi močovino-formaldehydu (označení UF), které byly kondiciovány dle postupu A1. Jako druhou nejvyšší pevnost vykazovaly lepené spoje při použití obou adhesiv ADHESIVE 1247 na bázi melamin-močovino-formaldehydu (označení MUF), které byly taktéž kondiciovány dle postupu A1. Při tomto postupu je lepený spoj po 7 dní klimatizován při okrajových podmínkách 20±5 °C a 65±5 %. Lepené spoje testovaných adhesiv ztrácely pevnost při kondiciování dle postupu A2, přičemž při tomto postupu byly po 7 dní klimatizovány při 20±2°C a 65±5% a vlivem následného přímého a dlouhodobého kontaktu s vodou o teplotě 20±5 °C došlo k narušení chemických vazeb lepeného spoje. Při testování pevnosti lepeného spoje dle postupu A5 došlo ke snížení pevnosti spoje u lepidla ADHESIVE 1247 a

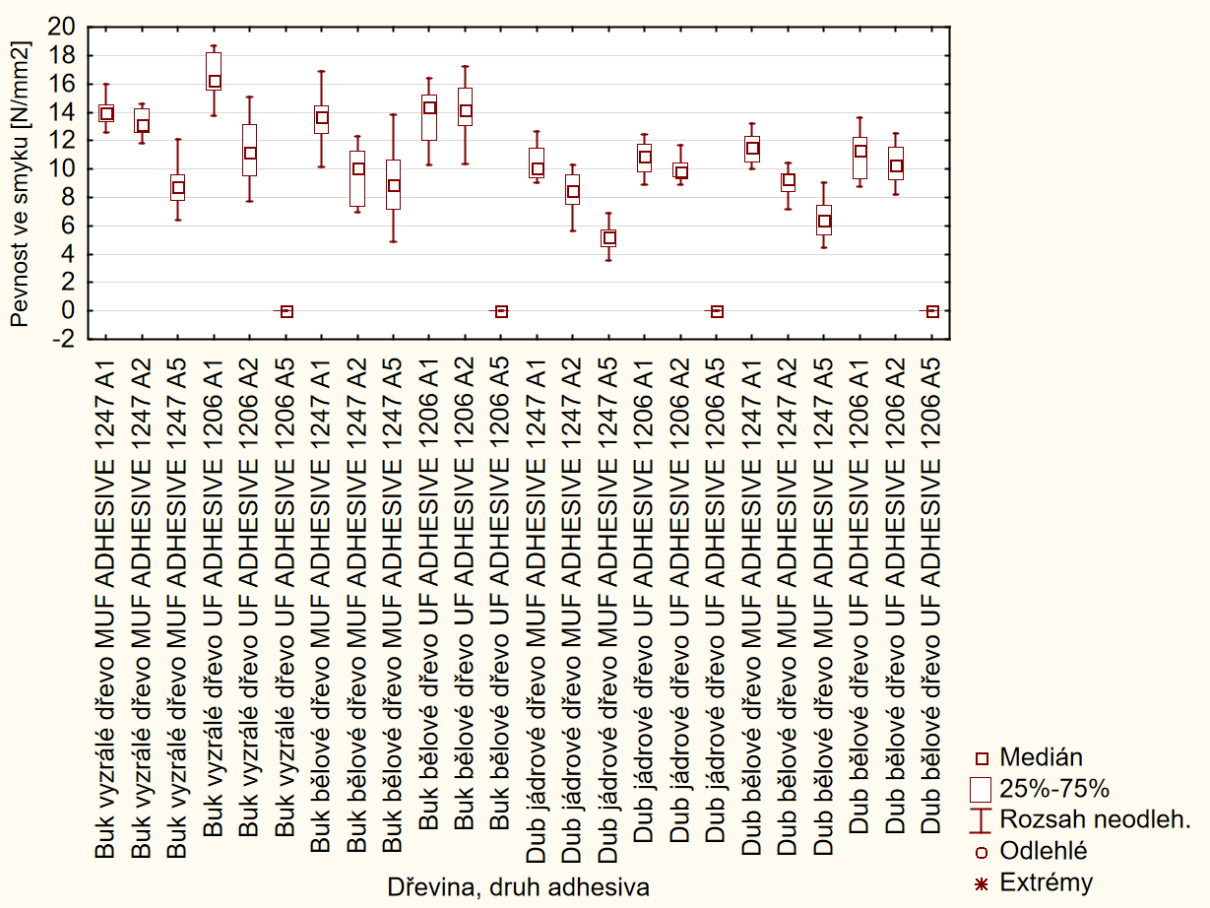
výraznému narušení lepeného spoje při použití lepidla ADHESIVE 1206, u něhož lepené spoje vykazovaly nulovou pevnost. Tyto výsledky pevností však nejsou na základě výsledků testu korelační analýzy statisticky významné na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ ($p < 0{,}05$) a hodnoty se vzájemně podstatně liší pouze v rámci statistické chyby (tab. č.8 a 9). Důvodem nižší pevnosti lepeného spoje jádra může být vyšší obsah terpenů a dalších extraktivních látek, které obsahuje dřevo jádra.



Obrázek 16 : Pevnost ve smyku lepeného spoje buku (zdroj: autor práce)

5.4 Vyhodnocení pevnosti lepeného spoje dubu a buku

Z prezentovaných hodnot pevností lepeného spoje (obr. č. 16) je patrné, že pevnost u dřeva dubu je vždy nižší, než tomu je u lepeného dřeva buku. Důvodem je hrubší povrchová struktura dřeva dubu způsobená póry a horší vlastnosti z hlediska pevnosti v tahu podél vláken (88 MPa) oproti buku (133,5 MPa) (Zeidler, Borůvka 2016), u jádrového dřeva dubu měl pak navíc negativní vliv na adhezi obsah jádrových extraktiv.



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

Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností ve smyku lepeného spoje byl použit test korelační analýzy (tab. č. 7, 8 a 9). Hodnoty, které jsou zvýrazněny 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, respektive liší se pouze v rámci statistické chyby.

Tabulka 7: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje dubu korelační analýzou (zdroj: autor práce)

Proměnná (Dub a dub)	Korelace (síla testu, označené korelace jsou významně odlišné na hladině významnosti p < 0,05000											
	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	1,00000	-0,21212	-0,63636	0,33333	0,22424		0,18788	-0,18788	-0,40606	0,49091	-0,16364	
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	-0,21212	1,00000	0,53939	-0,28485	-0,76970		0,40606	-0,36970	-0,29697	0,03030	0,04242	
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,63636	0,53939	1,00000	-0,27273	-0,74545		-0,12727	0,04242	-0,15152	-0,06667	0,47879	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	0,33333	-0,28485	-0,27273	1,00000	0,40606		-0,46667	0,46667	-0,17576	0,20000	-0,28485	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	0,22424	-0,76970	-0,74545	0,40606	1,00000		-0,39394	0,45455	0,24848	0,00606	-0,45455	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5						1,00000						
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	0,18788	0,40606	-0,12727	-0,46667	-0,39394		1,00000	-0,51515	-0,01818	0,05455	0,06667	
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	-0,18788	-0,36970	0,04242	0,46667	0,45455		-0,51515	1,00000	-0,21212	-0,22424	-0,05455	
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,40606	-0,29697	-0,15152	-0,17576	0,24848		-0,01818	-0,21212	1,00000	-0,00606	-0,46667	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	0,49091	0,03030	-0,06667	0,20000	0,00606		0,05455	-0,22424	-0,00606	1,00000	-0,28485	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	-0,16364	0,04242	0,47879	-0,28485	-0,45455		0,06667	-0,05455	-0,46667	-0,28485	1,00000	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5												1,00000

Tabulka 8: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku korelační analýzou (zdroj: autor práce)

Proměnná (Buk a buk)	Korelace (síla testu, označené korelace jsou významně odlišné na hladině významnosti p < 0,05000											
	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A5	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	1,00000	-0,36970	-0,01818	-0,15152	0,29697		-0,05455	0,18788	-0,56364	-0,18788	-0,45455	
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	-0,36970	1,00000	-0,00606	0,18788	-0,07879		-0,45455	-0,49091	0,09091	-0,10303	-0,27273	
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,01818	-0,00606	1,00000	0,05455	0,05455		0,10303	-0,69697	-0,43030	-0,73333	-0,38182	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	-0,15152	0,18788	0,05455	1,00000	-0,21212		-0,05455	-0,34545	0,44242	0,18788	-0,23636	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	0,29697	-0,07879	0,05455	-0,21212	1,00000		-0,01818	-0,03030	-0,43030	-0,55152	-0,04242	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A5						1,00000						
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	-0,05455	-0,45455	0,10303	-0,05455	-0,01818		1,00000	0,39394	-0,00606	-0,00606	0,34545	
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	0,18788	-0,49091	-0,69697	-0,34545	-0,03030		0,39394	1,00000	0,23636	0,47879	0,34545	
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,56364	0,09091	-0,43030	0,44242	-0,43030		-0,00606	0,23636	1,00000	0,44242	0,10303	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	-0,18788	-0,10303	-0,73333	0,18788	-0,55152		-0,00606	0,47879	0,44242	1,00000	0,53939	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	-0,45455	-0,27273	-0,38182	-0,23636	-0,04242		0,34545	0,34545	0,10303	0,53939	1,00000	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5												1,00000

Tabulka 9: Test závislosti pevností ve smyku lepeného spoje buku a dubu korelační analýzou (zdroj: autor práce)

Proměnná (Dub, buk a dub, buk)	Korelace (síla testu, označené korelace jsou významně odlišné na hladině významnosti p < 0,05000																							
	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A1	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A2	Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A5	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE E 1206 A1	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE E 1206 A2	Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE E 1206 A5	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A1	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A2	Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A5	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A1	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A2	Buk bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A5	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A1	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A2	Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A5	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A1	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A2	Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A5	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A1	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A2	Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE E 1247 A5	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A1	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A2	Dub bělové dřevo UF ADHESIVE E 1206 A5
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	1,00000	-0,36970	-0,01818	-0,15152	0,29697		-0,05455	0,18788	-0,56364	-0,18788	-0,45455		-0,06667	0,44242	0,26061	0,33333	-0,43030		0,10303	0,13939	-0,30909	-0,21212	0,16364	
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	-0,36970	1,00000	-0,00606	0,18788	-0,07879		-0,45455	-0,49091	0,09091	-0,10303	-0,27273		0,67273	-0,21212	-0,28485	0,41818	0,30909		-0,11515	0,06667	-0,27273	0,84242	-0,26061	
Buk vyzrálé dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,01818	-0,00606	1,00000	0,05455	0,05455		0,10303	-0,69697	-0,43030	-0,73333	-0,38182		0,18788	-0,30909	-0,20000	0,24848	-0,04242		0,23636	-0,32121	0,22424	-0,04242	0,20000	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	-0,15152	0,18788	0,05455	1,00000	-0,21212		-0,05455	-0,34545	0,44242	0,18788	-0,23636		0,47879	-0,18788	-0,60000	0,20000	0,40606		-0,17576	-0,33333	-0,15152	0,03030	-0,06667	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	0,29697	-0,07879	0,05455	-0,21212	1,00000		-0,01818	-0,03030	-0,43030	-0,55152	-0,04242		-0,30909	0,68485	0,28485	-0,03030	-0,38182		0,50303	-0,24848	0,05455	0,13939	-0,10303	
Buk vyzrálé dřevo UF ADHESIVE 1206 A5						1,00000																		
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	-0,05455	-0,45455	0,10303	-0,05455	-0,01818		1,00000	0,39394	-0,00606	-0,00606	0,34545		-0,57576	-0,07879	0,33333	-0,33333	-0,17576		-0,21212	-0,34545	0,68485	-0,06667	0,13939	
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	0,18788	-0,49091	-0,69697	-0,34545	-0,03030		0,39394	1,00000	0,23636	0,47879	0,34545		-0,75758	0,15152	0,51515	-0,21212	-0,04242		-0,45455	0,46667	0,15152	-0,35758	0,01818	
Buk bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,56364	0,09091	-0,43030	0,44242	-0,43030		-0,00606	0,23636	1,00000	0,44242	0,10303		0,03030	-0,35758	-0,47879	-0,01818	0,68485		-0,46667	0,15152	0,28485	-0,10303	-0,57576	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	-0,18788	-0,10303	-0,73333	0,18788	-0,55152		-0,00606	0,47879	0,44242	1,00000	0,53939		0,00606	-0,10303	-0,00606	-0,45455	0,13939		-0,22424	0,18788	-0,28485	-0,17576	0,21212	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	-0,45455	-0,27273	-0,38182	-0,23636	-0,04242		0,34545	0,34545	0,10303	0,53939	1,00000		-0,40606	0,24848	0,43030	-0,93939	-0,36970		0,21212	-0,32121	0,10303	-0,10303	0,32121	
Buk bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5												1,00000												
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	-0,06667	0,67273	0,18788	0,47879	-0,30909		-0,57576	-0,75758	0,03030	0,00606	-0,40606		1,00000	-0,21212	-0,63636	0,33333	0,22424		0,18788	-0,18788	-0,40606	0,49091	-0,16364	
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	0,44242	-0,21212	-0,30909	-0,18788	0,68485		-0,07879	0,15152	-0,35758	-0,10303	0,24848		-0,21212	1,00000	0,53939	-0,28485	-0,76970		0,40606	-0,36970	-0,29697	0,03030	0,04242	
Dub jádrové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	0,26061	-0,28485	-0,20000	-0,60000	0,28485		0,33333	0,51515	-0,47879	-0,00606	0,43030		-0,63636	0,53939	1,00000	-0,27273	-0,74545		-0,12727	0,04242	-0,15152	-0,06667	0,47879	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	0,33333	0,41818	0,24848	0,20000	-0,03030		-0,33333	-0,21212	-0,01818	-0,45455	-0,93939		0,33333	-0,28485	-0,27273	1,00000	0,40606		-0,46667	0,46667	-0,17576	0,20000	-0,28485	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	-0,43030	0,30909	-0,04242	0,40606	-0,38182		-0,17576	-0,04242	0,68485	0,13939	-0,36970		0,22424	-0,76970	-0,74545	0,40606	1,00000		-0,39394	0,45455	0,24848	0,00606	-0,45455	
Dub jádrové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5																		1,00000						
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A1	0,10303	-0,11515	0,23636	-0,17576	0,50303		-0,21212	-0,45455	-0,46667	-0,22424	0,21212		0,18788	0,40606	-0,12727	-0,46667	-0,39394		1,00000	-0,51515	-0,01818	0,05455	0,06667	
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A2	0,13939	0,06667	-0,32121	-0,33333	-0,24848		-0,34545	0,46667	0,15152	0,18788	-0,32121		-0,18788	-0,36970	0,04242	0,46667	0,45455		-0,51515	1,00000	-0,21212	-0,22424	-0,05455	
Dub bělové dřevo MUF ADHESIVE 1247 A5	-0,30909	-0,27273	0,22424	-0,15152	0,05455		0,68485	0,15152	0,28485	-0,28485	0,10303		-0,40606	-0,29697	-0,15152	-0,17576	0,24848		-0,01818	-0,21212	1,00000	-0,00606	-0,46667	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A1	-0,21212	0,84242	-0,04242	0,03030	0,13939		-0,06667	-0,35758	-0,10303	-0,17576	-0,10303		0,49091	0,03030	-0,06667	0,20000	0,00606		0,05455	-0,22424	-0,00606	1,00000	-0,28485	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A2	0,16364	-0,26061	0,20000	-0,06667	-0,10303		0,13939	0,01818	-0,57576	0,21212	0,32121		-0,16364	0,04242	0,47879	-0,28485	-0,45455		0,06667	-0,05455	-0,46667	-0,28485	1,00000	
Dub bělové dřevo UF ADHESIVE 1206 A5																								1,00000

5.5 Vizulální analýza vzorků

Po proběhnutí smykové zkoušky bylo na základě vzhledu lomu vyhodnoceno, zda porušení vzorku proběhlo v lepené spáře či ve dřevě. Na základě vizulální anylýzy (viz. příloha) bylo vyhodnoceno, že u vzorků dřeva buku došlo k porušení zpravidla v lepené spáře. Výjímky tvořilo jen minimální množství vzorků s vytrhanými vlákny na povrchu lepené spáry. Zde nebyla pozorována výrazná závislost mezi použitými adhesivy.

U vzorků ze dřeva dubu byla naopak většina vzorků porušena ve dřevě. To se projevilo hlavně u vzorků vystavených typu expozice A1. U vzorků s adhesivem 1247, tedy s melamin-močovino-formaldehydovým lepildem u expozice A2 byl pozorován stejný jev jako u expozice A1. Vzorků s adhesivem 1206, tedy s močovino-formaldehydovým lepidlem, vystavených typu expozice A2, které byly roztrženy ve dřevě, nebo byly výrazně porušeny vlákna, již nebylo takové množství. To bylo pravděpodobně způsobeno poklesem pevnosti lepidla při tomto typu expozice.

6 Diskuze

Výsledky realizovaných měření byly porovnány s výsledky práce Tomáše Kytky s názvem „Posouzení kvality PUR lepidla pro nosné dřevěné konstrukce metodou stanovení podélné pevnosti ve smyku při tahovém namáhání“, která byla zaměřena na stanovení pevnosti lepeného spoje s použitím PUR adhesiv. Z porovnání výsledků prací vyplývá, že u adhesiva Kestopur 1010 použitého na dřevo buku ve zkoušce A1 jsou výsledky srovnatelné s melamin-močovino-formaldehydovým lepidlem. (Kestopur 1010: 114,55 N/mm^2 , MUF: 14,08 N/mm^2). U druhého PUR lepidla Kestopur G10 byla pevnost o něco vyšší (Kestopur G 10 : 15,56 N/mm^2 , MUF: 14,08 N/mm^2). Naopak výsledky pevností u použitého močovino-formaldehydové lepidla v této práci u zkoušky typu A1 u bukového dřeva vyšly nejlépe z výše zmíněných lepidel (16,5 C). Toto močovino-formaldehydové lepidlo však nesplňovalo požadavky na pevnost u zkoušky typu A5, kdy lepený spoj nevydržel a rozlepil se. To bylo pravděpodobně způsobeno chemickou podstatou lepidla, protože močovina je rozpustná ve vodě v závislosti na teplotě (Miller, Ditmarr 1934). Tento fakt vysvětluje i to, proč došlo k mírnému poklesu pevností u močovino-formaldehydového lepidla při expozici A2 oproti expozici A1 (A1: 16,5 N/mm^2 , A2: 11,47 N/mm^2).

U vzorků ze dřeva dubu jsou pevnosti u obou PUR lepidel a v této práci použitých lepidel prakticky stejné. To potvrzuje výrok, že dřevo dubu je při tomto způsobu namáhání křehčí nežli dřevo buku.

V této práci je zkoušena pouze smyková pevnost podél vláken při tahovém namáhání podle ČSN EN 302-1 . Dřevěné nosníky a nosné dřevěnné konstrukce podléhají přísným požadavkům a proto je třeba zkoušet tato adhesiva i podle jiných norem simulující různé způsoby zatížení.

7 Závěr

V této práci byla v literární rešerši rozebrána problematika lepení a na jejím základu byla podle normy ČSN EN 302-1 navržena metodika přípravy vzorků pro zkoušení pevnosti podél vlaken ve smyku při tahovém namáhání.

Po vyzkoušení vzorků bylo na základě zpracovaných výsledků klasifikováno, zdali se jedná o adhesivum typu I nebo typu II. Adhesiva byla klasifikováno dle normy ČSN EN 301.

Na základě výsledků testů bylo stanoveno, že použité melamin-močovinové lepidlo splňuje požadavký na adhezivum typu I a typu II v servisních třídách 1,2 a 3 a je tedy vhodné pro použití v exteriéru. Dále bylo stanoveno, že použité močovino-formaldehydové lepidlo splňuje požadavky na adhezivum typu II z důvodu nesplnění zátěžové zkoušky A5, kdy se vzorek 6 hodin vařil a poté byl uložen na 2 hodiny do studené vody. A tedy podle normy nesplňuje požadavky pro adhezivum typu I.

V práci se také posuzovalo, zdali je zásadní rozdíl mezi lepením bělového a jádrového dřeva. U obou dřevin bělové dřevo vykazovalo vyšší pevnost než u dřeva jádrového. To bylo pravděpodobně způsobeno vyšším obsahem extraktivních látek v jádru. Lepený spoj u dřeva dubu nedosahoval takové pevnosti jako u dřeva buku. Je to z důvodu větší pórovitosti dubového dřeva a větším obsahu extraktivních látek, zároveň se při zkouškách jevilo jako křehčí a nedosahovalo takové pevnosti jako dřevo buku. To se také potvrdilo na základě vizuální analýzy vzorků.

8 Seznam použitých zdrojů

Literatura:

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

BÖHM, M., REISNER,J., BOMBA,J., 2012. *Materiály na bázi dřeva*. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.

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

European Group, 1998.

GANDELOVÁ, Libuše a Petr HORÁČEK. *Nauka o dřevě*. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN isbn80-7157-577-1.

GRÜNDMÜLLER, P. R. e. S.: Loctite worldwide design handbook . Mnichov: Loctite European Group, 1998.

KAFKA, E.,*Dřevařská příručka*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00009-2.

KOVAČIČ, Ľudomír, 1980. Lepenie kovov a plastov. Bratislava: Alfa. Edícia chemickej literatúry. ISBN 63-05-79.

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.

LORENZ, Karel. *Nosné konstrukce II: kovové a dřevěné konstrukce*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN isbn80-01-02740-6.

NETOPILOVÁ, Miroslava, Danica KAČÍKOVÁ a Anton OSVALD. *Reakce stavebních výrobků na oheň*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 9788073850937.

OSTEN, M. Lepení plastických hmot. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.

OSTEN, M. Práce s lepidly a tmely. 3. vyd. Praha1: SNTL, 1986. 285 s.

PETRIE, Edward M. *Handbook of adhesives and sealants*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007. ISBN 0071479163.

POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 485s, 1. vyd. Bratislava: Priroda: Bratislava, 1993. ISBN 80-0700960-4.

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

TESAŘOVÁ, Daniela. Plasty, lepidla a nátěrové hmoty: Podpora výuky a učební texty. Mendelova univerzita v Brně, 2005.

TRÁVNÍK, A., SVOBODA, J. Technologické procesy výroby nábytku 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007, 223 s. ISBN 97880-7375-056-5

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

ZEIDLER, Aleš a Vlastimil BORŮVKA. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN isbn978-80-213-2674-3.

Internetové zdroje:

PROCHÁZKA, 2018. Lepidla. [online]. [cit.25-3-2020]. Dostupné z: https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/1946

DOLEŽAL, 2015 ,Technologie a technika lepení – základní informace. [online]. [cit. 25.2.2020]. dostupné z: https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladniinformace.html

MILLER, F.W a H.R DITMARR, 1934. *J. Am. Chem. Soc.* [online]. s. 848–849 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01319a023

Lepení technických plastů. *Plastum* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: https://plastum.cz/lepeni/

ÜLKER, Onur. Wood Adhesives and Bonding Theory. RUDAWSKA, Anna, ed. *Adhesives - Applications and Properties* [online]. InTech, 2016, 2016-11-23 [cit. 2020-03-25]. DOI: 10.5772/65759. ISBN 978-953-51-2783-3. Dostupné z: http://www.intechopen.com/books/adhesives-applications-and-properties/wood-adhesives-and-bonding-theory

VAŠÁTKO, E, 2009. *Požární problematika dřevěných konstrukcí* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: http://www.seidl.cz/cz/publikace/pozarni-problematika-drevenych-konstrukci-73.html

Použité normy:

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

ČSN EN 301: Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – klasifikace a technické požadavky.

9 Seznam příloh

Příloha 1 Technický list použitého melamin-močovino-formaldehydového lepidla 1247

Příloha 2 Technický list použitého močovino-formaldehydového lepidla 1206

Příloha 3 Fotky zkušebních těles

10 Přílohy

10.1 Příloha 1 Technický list použitého melamin-močovino-formaldehydového lepidla 1247

AkzoNobel Industrial Coatings
Wood Finishes and Adhesives

AkzoNobel

Informace o výrobku

Laminated beam MUF system 1242/2542

- Dlouhá doba skladovatelnosti

Světle zbarvený systém pro lamelové nosníky a zubovité spoje v nosných dřevěných konstrukcích.

Míchací nanášení lepidla a tužidla

Specifikace produktu

	1242			2542	
Produkt	MUF lepidlo			Míchací tužidlo	
Dodací formulář	Tekuté			Tekuté	
Barva	Neprůhledné bílé			Krémové	
Viskozita (v době výroby)	10.000 - 20.000 mPas (Brookfield LVT, sp.4, 12 ot/min, 25°C)			10.000 - 20.000 mPas (Brookfield LVT, sp.4, 12 ot/min, 25°C)	
pH (v době výroby)	9,5 - 11,0 (při 25°C)			0,8 - 1,5 (při 25°C)	
Obsah sušiny	66 - 69 %			Nevztahuje se	
Doba skladování (měsíců)	15°C	20°C	30°C	20°C	30°C
	---	8	4	6	---
Skladovací podmínky	Doporučená skladovací teplota 15-25°C. Přípustné je pouze krátké vystavení teplotě pod 10°C nebo nad 30°C. Pokud výrobek zmrzl, nemůže být po rozmrazení opětovně použit z důvodu nevratných změn.			Doporučená skladovací teplota 15-25°C. Přípustné je pouze krátké vystavení teplotě pod 10°C nebo nad 30°C. Zmrzlý a rozmrazený produkt nemůže být použit z důvodu nevratných změn.	
Údaje o formaldehydu	< 0,7%Volný formaldehyd			Neobsahuje žádný formaldehyd	
Hustota	Přibl. 1250 Kg/m^3			Přibl. 1340 Kg/m^3	

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2068
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 04 (2009-03-05)

Reason for change: Information regarding finger-jointing

AkzoNobel approval code: AN_200100_210114

Informace o procesu lepení

Aplikace	Lamelové nosníky		
Schválení	1242 s tužidlem 2542 je schváleno norským institutem Norsk Treteknis Institutt (NTI), německým institutem Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart - Otto - Graf - Institut (MPA) a holandskou certifikační společností SKH/KOMO (DHBC č. 32389) pro výrobu nosných dřevěných konstrukcí. 1242 s tužidlem 2542 splňuje požadavky normy EN 301 pro lepidlo typu I pro servisní třídy 1, 2, 3 v normě EN 386 a rovněž požadavky normy DIN 68141 pro výrobu nosných dřevěných konstrukcí podle DIN 1052.		
Typ lisu	Nevytápěný lis Vyhřívaný lis		
Vlastnosti lepené spáry	Splňuje požadavky podle EN 301 (pro lepidlo typu I a II, servisní třídy 1, 2, 3) a DIN 68141.		
Lepená spára Teplota	Do 20°C		
Lisovací doba	**Poměr**	**Teplota**	**Čas**
	100:20	20°C	10h
	100:20	30°C	3h
	100:25	20°C	9h
	100:25	30°C	2h 45'
Doba zpracovatelnosti	100:20	15°C	2h 30'
	100:20	20°C	1h 40'
	100:20	30°C	50'
	100:25	15°C	2h
	100:25	20°C	1h 20'
	100:25	30°C	40'
Tlak	Pro měkké dřevo minimálně 0,5 MPa. Pro tvrdé dřevo minimálně 1,0 MPa. Při výrobě lamelových nosníků: Minimálně 0,7 MPa pro 33 mm lamely. Minimálně 0,9 MPa pro 45 mm lamely.		

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellín, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 04 (2009-03-05)

Reason for change: Information regarding finger-jointing

Doba sestavení 20°C	Podmínky lepení	Poměr míchání	Max uzavřený
	250g/m²	100:20	1h 20'
	400g/m²	100:20	1h 50'
	250g/m²	100:25	1h 10'
	400g/m²	100:25	1h 40'

Míchací poměr (hmotnostně)	100:20 nebo 25, lepidlo: Tužidlo Pokud je lepidlo a tužidlo používané v oddělené aplikaci i v míchané aplikaci, musí přesnost množství tužidla být ±1 váhový díl.
Nanášení lepidla	170 - 450 g/m^2, nejlépe pro lamelové nosníky 250 - 450 g/m^2
Obsah vody ve dřevě	8–15, nejlépe pro lamelové nosníky 10–12 %
Příprava dřeva	Pro nejlepší výsledky musí být dřevo hladce ohoblováno. Pro optimální pevnost spoje musí být lepicí operace provedena do 24 hodin po přípravě.
Teplota dřeva	Aby se dosáhlo uvedených lisovacích dob, nesmí teplota dřeva poklesnout pod 20°C.
Dotvrzování	Až 5 dní při teplotě 20°C. Po skončení lisovací doby má lepená spára dostatečnou pevnost pro další manipulaci s konstrukcí. Plná pevnost bude dosažena po určité době v závislosti na lisovací době a lisovací teplotě.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 04 (2009-03-05)

Reason for change: Information regarding finger-jointing

Strojní zařízení

Aplikátor	**6231** Trysková nanášečka
Mixér	**6201** Míchací systém pro UF, PRF, MUF a EPI
	6203 Míchací systém pro UF, PRF a MUF
	6205 Spřažený mixér pro UF, PRF a MUF
Příslušenství	**6201-50** Příslušenství pro mixér na lepidla
	6213 Měřicí systém pro UF, PRF a MUF
	6246 Chladicí zařízení lepidla lze objednat prostřednictvím našeho technického zástupce.
	6262 Systém pro likvidaci odpadní vody
	6282 Ovládací jednotka
	6284 Systém pro monitorování nádrže
	6289 Denní nádrže

Manipulace a informace HSE (BOZP a živ. prostř.)

Manipulace	Při manipulaci s produktem používejte rukavice a ochranné brýle.
Čištění	Při potřísnění pokožky lepidlem je třeba ji omýt vodou a mýdlem.
	Pro zařízení používejte vlažnou vodu s přidáním čističe Glue Wash 4450 nebo mycí přípravek 2704 (další informace viz Všeobecné informace).
	Čištění je třeba začít před vytvrzením systému.
Zacházení s odpady – produktů	Lepidlo – je normálně klasifikováno jako nebezpečný odpad (obsahuje volný formaldehyd).
	V závislosti na klasifikaci lze tužidla považovat za nebezpečný odpad, viz Bezpečnostní list (část 13).
	Smíchané lepidlo s tužidlem – lze normálně po konečném vytvrzení považovat za bezpečný odpad.
	Důležité Mohly by se vyskytovat národní a/nebo místní regulační/legislativní rozdíly, buďte proto v kontaktu s místními orgány.
Úprava odpadní vody – odpadní vody	Chemické vysrážení → vypuštění
	Biologická úprava → vypuštění
	Mechanické vysrážení → odpad
	* komunální odpad s biologickou úpravou
	Důležité Mohly by se vyskytovat národní a/nebo místní regulační/legislativní rozdíly, buďte proto v kontaktu s místními orgány.
Zdraví a bezpečnost	Další informace naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Další informace týkající se výše uvedených údajů naleznete v příslušné části dále.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 04 (2009-03-05)

Reason for change: Information regarding finger-jointing

Právní ustanovení

Informace jsou založeny na laboratorních testech a zkušenostech. Slouží pro orientaci a pro usnadnění uživatelům nalézt nejvhodnější pracovní postup. Vzhledem k tomu, že výrobní podmínky uživatele jsou mimo naši kontrolu, nemůžeme být odpovědní za výsledky práce, která je ovlivněna místními podmínkami. V každém jednotlivém případě se doporučují zkoušky a průběžná kontrola.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 04 (2009-03-05)

Reason for change: Information regarding finger-jointing

10.2 Příloha 2 Technický list použitého močovino-formaldehydového lepidla 1206

AkzoNobel Industrial Coatings
Wood Finishes and Adhesives

AkzoNobel

Informace o výrobku

1206

1206 je univerzální lepidlo vhodné pro většinu aplikací ve dřevozpracujícím průmyslu, jako je potahování, tvarové lepení a dýhování. 1206 lze použít od 20°C.

Kvalita lepené spáry s normálním sortimentem tužidel Casco Adhesives pro UF (močovinoformaldehydové) lepidlo 1206 splní nároky podle britského standardu BS 1204 MR.

Údaje v technické specifikaci jsou platné jako certifikát kvality pro 1206. Hodnoty jsou udávané v době výroby a měřené podle postupů analýzy společnosti Casco Adhesives.

Specifikace produktu

	1206			
Produkt	UF lepidlo			
Dodací formulář	Tekuté			
Barva	Bílé			
Viskozita (v době výroby)	500 - 2000 mPas (Brookfield LVT, sp.3, 12 ot/min, 25°C)			
pH (v době výroby)	7,5 – 9,0 (při 25°C)			
Doba skladování (měsíců)	15°C	20°C	25°C	30°C
	4,5	3,5	2	1
Skladovací podmínky	Doporučená skladovací teplota 15-20°C. Přípustné je pouze krátké vystavení teplotě nad 30°C. Produkt může zmrznout, ale před použitím musí být rozmrazen, uveden na pokojovou teplotu a homogenizován. Během skladování lepidlo stárne a může se zvýšit viskozita.			
Údaje o formaldehydu	Volný formaldehyd < 0,75%			
Hustota	Přibl. 1300 Kg/m^3			

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 03 (2012-05-07)

Reason for change: Updates in machinery

AkzoNobel approval code: AN_200100_210114

Informace o procesu lepení

Aplikace	Dýhování Lepení masivního dřeva Ohýbaná překližka Podlahy Potahování Spárovka Voštinová deska
Typ lisu	Nevytápěný lis Vyhřívaný lis Vysokofrekvenční
Nanášení lepidla	Dýhování: 90 - 150 g/m^2 Lepení masivního dřeva:150 - 250 g/m^2 Ohýbaná překližka: 120 - 200 g/m^2 Podlahy: 90 - 175 g/m^2 Spárovky: 120 - 150 g/m^2 Voštinová deska: 120 - 180 g/m^2
Obsah vody ve dřevě	Nejlépe 5–9 %.
Příprava dřeva	Pro nejlepší výsledky musí být dřevo hladce ohoblováno. Pro optimální pevnost spoje musí být lepicí operace provedena do 24 hodin po přípravě.
Teplota dřeva	Aby se dosáhlo uvedených lisovacích dob, nesmí teplota dřeva poklesnout pod 20°C.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellín, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 03 (2012-05-07)

Reason for change: Updates in machinery

Strojní zařízení

Aplikátor	**6231** Trysková nanášečka
Mixér	**6201** Míchací systém pro UF, PRF, MUF a EPI **6203** Míchací systém pro UF, PRF a MUF **6205** Spřažený mixér pro UF, PRF a MUF
Přislušenství	**6201-50** Příslušenství pro mixér na lepidla **6213** Měřicí systém pro UF, PRF a MUF **6246** Chladicí zařízení lepidla lze objednat prostřednictvím našeho technického zástupce. **6263** Systém pro biologickou úpravu odpadní vody **6282** Ovládací jednotka **6284** Systém pro monitorování nádrže **6289** Denní nádrže

Manipulace a informace HSE (BOZP a živ. prostř.)

Manipulace	Při manipulaci s produktem používejte rukavice a ochranné brýle.
Čištění	Při potřísnění pokožky lepidlem je třeba ji omýt vodou a mýdlem. Pro zařízení používejte vlažnou vodu s přidáním čističe Glue Wash 4450 nebo mycí přípravek 2704 (další informace viz Všeobecné informace). Čištění je třeba začít před vytvrzením systému.
Zacházení s odpady – produktů	Lepidlo – je normálně klasifikováno jako nebezpečný odpad (obsahuje volný formaldehyd). V závislosti na klasifikaci lze tužidla považovat za nebezpečný odpad, viz Bezpečnostní list (část 13). Smíchané lepidlo s tužidlem – lze normálně po konečném vytvrzení považovat za bezpečný odpad. **Důležité** Mohly by se vyskytovat národní a/nebo místní regulační/legislativní rozdíly, buďte proto v kontaktu s místními orgány.
Úprava odpadní vody – odpadní vody	Chemické vysrážení → vypuštění Biologická úprava → vypuštění Mechanické vysrážení → odpad * komunální odpad s biologickou úpravou **Důležité** Mohly by se vyskytovat národní a/nebo místní regulační/legislativní rozdíly, buďte proto v kontaktu s místními orgány.
Zdraví a bezpečnost	Další informace naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Další informace týkající se výše uvedených údajů naleznete v příslušné části dále.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 03 (2012-05-07)

Reason for change: Updates in machinery

Právní ustanovení

Informace jsou založeny na laboratorních testech a zkušenostech. Slouží pro orientaci a pro usnadnění uživatelům nalézt nejvhodnější pracovní postup. Vzhledem k tomu, že výrobní podmínky uživatele jsou mimo naši kontrolu, nemůžeme být odpovědní za výsledky práce, která je ovlivněna místními podmínkami. V každém jednotlivém případě se doporučují zkoušky a průběžná kontrola.

Kontaktní informace
Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00
High Point, USA +1 336 841 5111
Singapore +65 6762 2088
Medellin, Colombia +57 4 3618888
www.akzonobel.com/cascoadhesives

Version: 03 (2012-05-07)

Reason for change: Updates in machinery

10.3 Příloha 3 Fotografie zkušebních těles

Buk, jádro, expozice A1, adhezivum 1206

Buk, jádro, expozice A2, adhezivum 1206

Buk, běl, expozice A1, adhezivum 1206

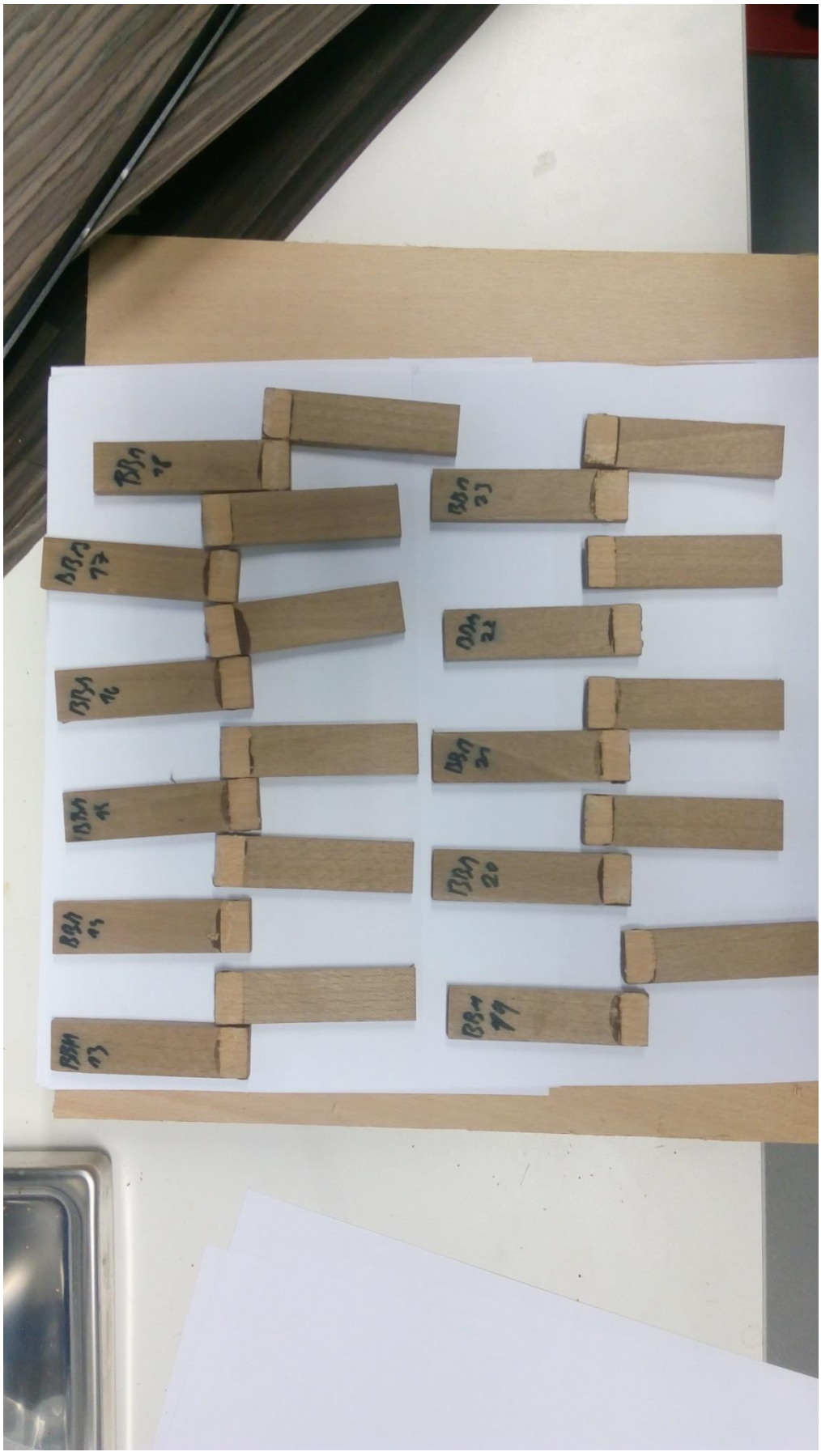
Buk, běl, expozice A2, adhezivum 1206

Buk, jádro, expozice A5, adhezivum 1247

Buk, jádro, expozice A2, adhezivum 1247

Buk, běl, expozice A1, adhezivum 1247

Buk, běl, expozice A5, adhezivum 1247



Buk, běl, expozice A2, adhezivum 1247

Dub, jádro, expozice A1, adhezivum 1206

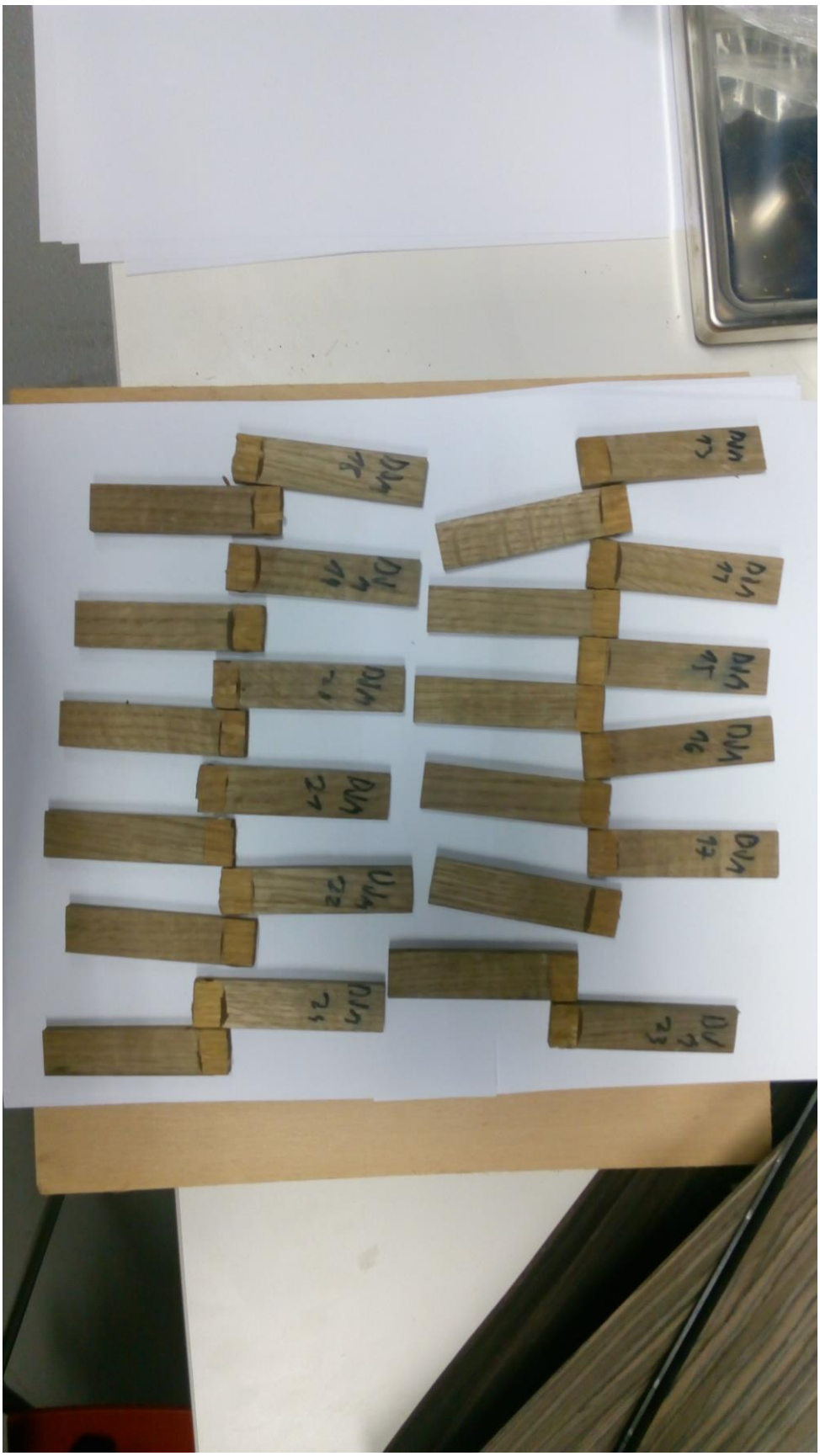
Dub, jádro, expozice A2, adhezivum 1206

Dub, běl, expozice A1, adhezivum 1206

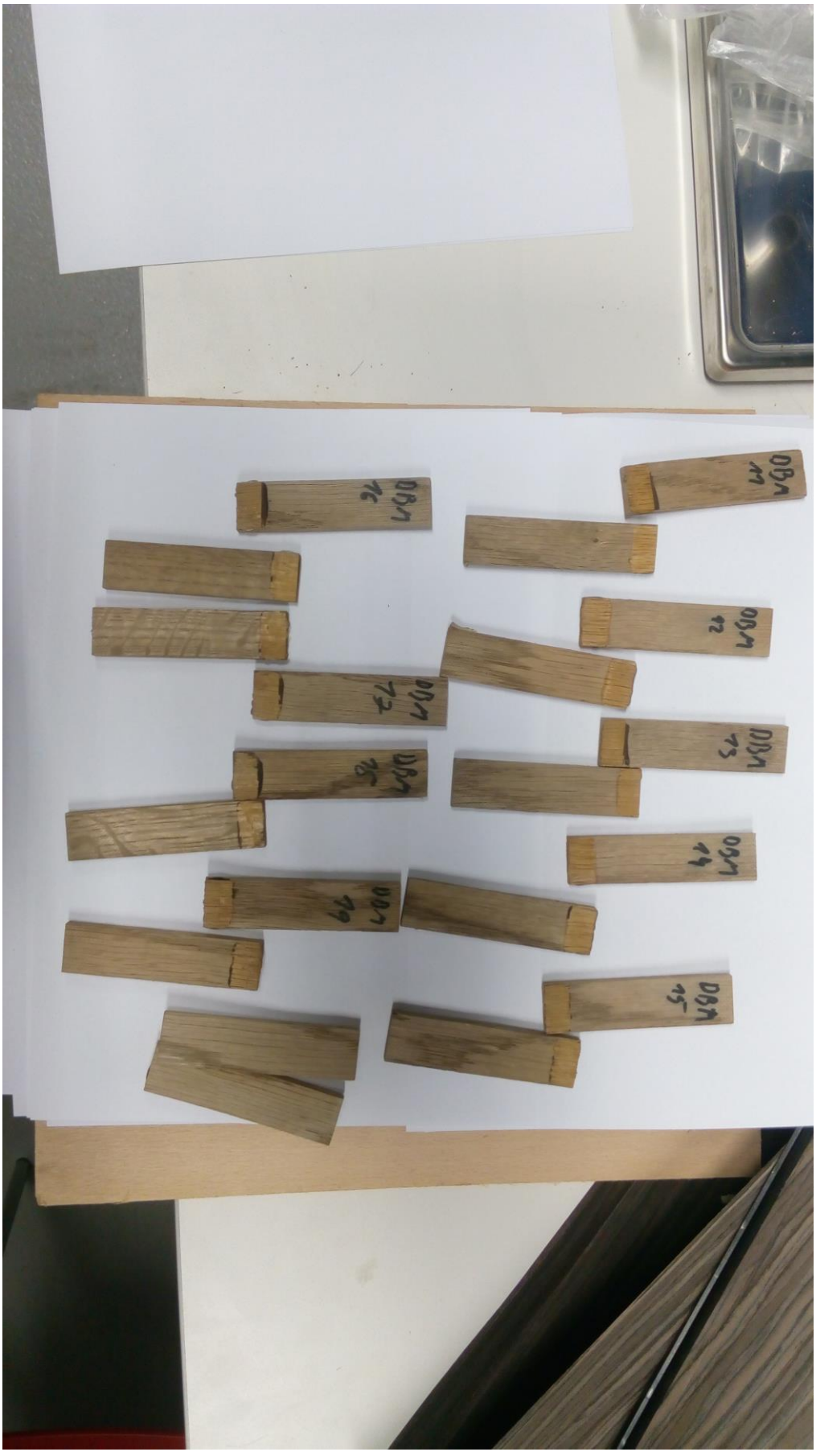
Dub, běl, expozice A2, adhezivum 1206

Dub, jádro, expozice A1, adhezivum 1247

Dub, jádro, expozice A5, adhezivum 1247



Dub, jádro, expozice A2, adhezivum 1247

Dub, běl, expozice A1, adhezivum 1247

Dub, běl, expozice A5, adhesivum 1247