

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



Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze

**POSOUZENÍ VLIVU STÁRnutí NA PEVNOST  
LEPENÉHO LAMELOVÉHO DŘEVA DUBU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR: BC. KRYŠTOF KUBISTA

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. PŘEMYSL ŠEDIVKA, PH.D.

Praha 2022

**Bc. Kryštof Kubista**

---

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kryštof Kubista

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Posouzení vlivu stárnutí na pevnost lepeného lamelového dřeva dubu**

Název anglicky

**Assessment of the effect of aging on the strength of glued laminated oak wood**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je posouzení vlivu přirozeného stárnutí na pevnost lepeného lamelového dřeva dubu metodou stanovení pevnostních charakteristik. Cílem je na základě literární rešerše stanovení vhodného metodického postupu pro posouzení chování lepeného lamelového dřeva dubu přirozeným stárnutím při jeho expozici do exteriéru.

### Metodika

V rámci literární rešerše dojde k rozboru oblasti lepeného lamelového dřeva dubu a stanovení metodiky procesu přirozeného stárnutí dřeva. Na základě výsledků literární rešerše bude stanoven vhodný metodický postup přirozeného stárnutí lepeného lamelového dřeva dubu exponovaného do exteriéru. Dále pak dojde k přípravě zkušebních těles, jejich expozici do exteriéru pro přirozené stárnutí a realizaci zkoušek pro stanovení pevnostních charakteristik.

Květen – srpen 2021:

- Literární rešerše procesu přirozeného stárnutí dřeva.

Září – říjen 2021:

- Stanovení metodického postupu procesu přirozeného stárnutí dřeva a testování jeho mechanických vlastností.

Listopad 2021 – leden 2022:

- Příprava zkušebních těles a realizace zkoušek.

Únor – březen 2022:

- Vyhodnocení výsledků zkoušek.

Duben 2022:

- Závěr

- Odevzdání závěrečné práce.

---

**Doporučený rozsah práce**

60 – 80 stran

**Klíčová slova**

Adhesivum, dub, lamelové dřevo, pevnost, přirozené stárnutí

---

**Doporučené zdroje informací**

- Bockela, S., Mayera, I., Konnerth, J., Harlingd, S., Niemz, P., Swaboda, C., Beyer, M., Bieria, N. Weiland, G., Pichelin, F. (2019). The role of wood extractives in structural hardwood bonding and their influence on different adhesive systems. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 91. pp. 43 – 53
- Boublík, V. Lepidla a jejich příprava. II. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1966. pp. 1 – 192. ISBN 04-952-66
- Brockmann, W. Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 978-3-527-31898-8
- Ducháček, V. Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická, 1996. pp. 1 – 56. ISBN 80-7080-265-0
- Král, P., Klímek, P., Děcký, D. (2015). Comparison of the bond strength of oak (*Quercus L.*) and beech (*Fagus sylvatica L.*) wood glued with different adhesives considering various hydrothermal exposures. *Journal of Forest Science* 61, pp. 189 – 192. DOI: 10.17221/95/2014-JFS
- Kumar, S. (1994). Chemical modification of wood. *Wood and Fiber Science* 26, pp. 270 – 280
- Ohnesorge, D., Henning, M., Becker, G. (2009). Importance of hardwood in the glulam production. [Bedeutung von Laubholz bei der Brettschichtholzherstellung]. *Holztechnologie* 6. pp. 47 – 49
- Roger, M.R. (2006). Chemical modification of wood: A short review. *Wood Material Science and Engineering* 01. pp. 29 – 33. DOI: 10.1080/17480270600670923
- Todaro, L., Zanuttini, R., Scopa, A., Moretti, N. (2012). Influence of combined hydro-thermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris L.*) wood. *BioResources. Wood Science and Technology* 43(1-3), pp. 563 – 778. DOI: 10-1007/s00226-011-0430-2
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

Ing. Vlastimil Borůvka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2021

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2022

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Posouzení vlivu stárnutí na pevnost lepeného lamelového dřeva dubu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné připomínky. Dále bych svůj dík chtěl věnovat přátelům z kolektivu LZB FLD ČZU za poskytnuté prostory a vybavení.

## **Abstrakt**

Tato práce se věnuje posouzení vlivu přirozeného stárnutí na pevnost lepeného spoje lepeného lamelového dřeva dubu. K posouzení změn vlastností lepeného lamelového dřeva byla použita zkušební metoda pevnosti pomocí čtyřbodového ohybu. Výsledkem práce je charakteristika problematiky lepeného lamelového dřeva v exteriéru a posouzení chování lepeného lamelového dřeva dubu při expozici v exteriéru.

Klíčová slova: Adhesivum, dub, lamelové dřevo, pevnost, přirozené stárnutí.

## **Abstract**

This work is devoted to the assessment of the effect of natural aging on the strength of the glued joint of glued laminated oak wood. The four-point flexural strength test method was used to assess changes in the properties of glued laminated timber. The result of the work is a characteristic of the issue of glued laminated timber in the exterior and an assessment of the behavior of glued laminated oak wood during outdoor exposure.

Keywords: Adhesive, oak, laminated timber, toughness, natural aging.

## Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíle práce .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>13</b>
3.1 Lepené lamelové dřevo.....	13
3.2 Technologie výroby lepeného lamelového dřeva.....	13
3.3 Využití lepeného lamelového dřeva .....	14
3.4 Dřeviny pro výrobu lepeného lamelového dřeva .....	14
3.5 Lepidla pro výrobu lepeného lamelového dřeva .....	15
3.6 Lepidla použitá v práci .....	15
3.6.1 Polyuretanová lepidla.....	15
3.6.2 Melamin-formaldehydová lepidla.....	16
3.7 Degradace a odolnost dřeva.....	17
3.7.1 Odolnost dřeva .....	17
3.7.2 Degradace Dřeva.....	18
3.7.3 Fotochemická degradace.....	18
3.7.4 Chemická degradace .....	20
3.7.5 Termická degradace .....	20
3.7.6 Mechanická degradace.....	20
3.8 Činitelé způsobující přirozenou degradaci .....	20
3.8.1 UV záření od slunce.....	21
3.8.2 Voda.....	21
3.8.3 Teplota .....	21
3.8.4 Vítr .....	21
3.8.5 Biotické degradace.....	21
3.9 Degradace a ochrana lepeného lamelového dřeva.....	23
3.9.1 Bobtnání a sesychání lamel.....	23
3.10 Chemické látky ve dřevě .....	25
3.10.1 Lignin.....	25
3.10.2 Celulóza .....	25
3.10.3 Hemicelulózy .....	26
3.10.4 Extraktivní látky.....	26

3.11	Vliv extraktivních látek na odolnost dřeva.....	27
3.12	Vliv extraktivních látek na lepený spoj .....	27
3.12.1	Metody minimalizování vlivu extraktivních látek na lepenou spáru.....	27
3.13	Dřeviny použité v práci .....	28
3.13.1	Vybrané mechanické vlastnosti dubu .....	28
3.14	Zkušební metody pevnosti v ohybu.....	28
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>30</b>
4.1	Výběr lepidel .....	30
4.2	Výroba zkušebních těles .....	32
4.3	Příprava zkušebních těles .....	38
4.4	Průběh ohybové zkoušky .....	40
4.5	Statistické vyhodnocení .....	44
4.5.1	Výpočet počtu testovaných vzorků v jedné sadě .....	44
<b>5</b>	<b>Výsledky a statistické vyhodnocení .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>65</b>



## **Seznam obrázků a tabulek:**

Obrázek 1: Příklad využití lepeného lamelového dřeva v praxi (Zdroj: KASPERCZ.cz 2011) .....	14
Obrázek 2: Světelné spektrum (Zdroj: Jaroslav Reichl 2007).....	19
Obrázek 3: Znázornění příčného sesychání hranolů, desek a válce v různých polohách ve kmeni (Zdroj: Kolmann, Cote 1968).....	24
Obrázek 4: : Podélné borcení dřeva a) podélné plošné borcení, b) podélné boční borcení, c) příčné borcení, d) šroubovitě borcení (Zdroj: Svoboda 2013).....	25
Obrázek 5: Schéma tříbodového (vlevo) a čtyřbodového (vpravo) ohybu (Zdroj: Nandanwar, Naidu, Pandey 2011) .....	29
Obrázek 6: Znázornění podélného rozložení lamel ve vzorku (Zdroj: Autor práce) .....	32
Obrázek 7: Znázornění příčného rozložení lamel ve zkušebním hranolu (Zdroj: Autor P.....	32
Obrázek 8: Zhotovené přířezy pro výrobu lamel (Zdroj: Autor práce) .....	33
Obrázek 9: Zhotovené lamely pro výrobu zkušebních hranolů (Zdroj: Autor práce) .....	34
Obrázek 10: Připravené lamely před lepením zkušebních hranolů (Zdroj: Autor práce) .....	35
Obrázek 11: Naskládání lamel do hranolů ve speciálních přípravcích před spuštěním lisu (Zdroj: Autor práce).....	36
Obrázek 12: Natřené zkušební hranoly ochranou lazurou Xyladecor Terrace (Zdroj: Autor práce) .....	37
Obrázek 13: Způsob kotvení zkušebních hranolů (Zdroj: Autor práce).....	39
Obrázek 14: Exponované zkušební hranoly v exteriéru (Zdroj: Autor práce) .....	40
Obrázek 15: Uložení zkušebního hranolu do univerzálního trhacího stroje TIRA (Zdroj: Autor práce).....	41
Obrázek 16: Uspořádání podpěr a zatěžovacího zařízení pro měření globálního modulu pružnosti v ohybu (Zdroj: ČSN EN 408+A1) .....	43
Obrázek 17: Průběh zkoušky pevnosti v ohybu a globálního modulu pružnosti v ohybu (Zdroj: Autor práce).....	44

Tabulka 1: Souhrn vlastností použitého polyuretanového lepidla PUR2010 (Zdroj: Autor práce) .....	<b>30</b>
Tabulka 2: Souhrn vlastností použitého melamin-formaldehydového lepidla GripPro Plus A011 (Zdroj: Autor práce) .....	<b>31</b>
Tabulka 3: Počty zkušebních vzorků (Zdroj: Autor práce) .....	<b>38</b>
Tabulka 4: Označení vzorků (Zdroj: Autor práce) .....	<b>46</b>
Tabulka 5: Popisné statistiky pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (Zdroj: Autor práce).....	<b>48</b>
Tabulka 6: Popisné statistiky globální E modul pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (Zdroj: Autor práce) .....	<b>50</b>
Tabulka 7: Test závislosti pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu testem Duncanův (Zdroj: Autor práce).....	<b>53</b>
Tabulka 8: Test závislosti globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu testem Duncanův (Zdroj: Autor práce) .....	<b>54</b>

---

## 1 Úvod

Lepené lamelové dřevo je důležitou a žádanou komoditou ve stavebním průmyslu a má velkou škálu využití. Zejména je tento materiál využíván na výrobu konstrukčních prvků staveb jako jsou například mosty, výškové budovy, haly, sportoviště, ale i rodinné domy. Jejich velkou výhodou je tvarovatelnost a možnost výroby nosníku o obrovském rozponu. Další výhodou je samotné dřevo jako materiál, který sám o sobě dosahuje velké pevnosti v poměru k jeho váze.

Nejčastěji se lepené lamelové dřevo vyrábí z jehličnatých dřevin, které jsou v Evropě nejdostupnější, avšak se současnými klimatickými změnami lze předpokládat jejich úbytek a přírůstek dřevin listnatých, které se budou pravděpodobně stále více vysazovat pro dosažení správné a šetrné skladby lesa. Proto lze očekávat, že ve dřevařském průmyslu a stavebnictví budou hrát listnaté dřeviny čím dál tím větší roli. Některé firmy již na tuto situaci reagují a věnují se výzkumu technologií lepení lamelového dřeva právě z listnatých dřevin.

Ekologická výroba, pevnost a všestrannost lepeného lamelového dřeva je důvod proč je tento materiál oblíbený u současných architektů, jako to můžeme vidět například v severských zemích, kde vznikají moderní dřevěné stavby různého charakteru.

Tato práce se zabývá trvanlivostí lepeného spoje v exteriéru. Protože trvanlivost lepeného lamelového dřeva závisí jen na druhu použitého lepidla, ale také na druhu dřeviny. Pro tento účel vybrán dub, který má dobré vlastnosti z hlediska trvanlivosti a zároveň má početné zastoupení v evropských lesích. Proto by se tedy dub mohl v budoucnu efektivně využívat pro výrobu lepeného lamelového dřeva s možností použití v exteriéru.

---

## 2 Cíle práce

Cílem této práce je na základě literární rešerše stanovit vhodný metodický postup pro posouzení chování lepeného lamelového dřeva dubu exponovaného do exteriéru, kde by bylo namáháno přirozeným stárnutím. V rámci rešerše bude rozebrána problematika výroby lepeného lamelového dřeva, použitých lepidel, problematika odolnosti dřeva, jeho přirozeného stárnutí, chemický charakter dřeva a jeho vliv na lepení lepeného lamelového dřeva.

Hlavním cílem této práce je pak posouzení vlivu intenzity přirozeného stárnutí v exteriéru na pevnost lepeného lamelového dřeva dubu metodou stanovení ohybové pevnosti podél vláken dle normy ČSN EN 408+A1.

Dalším cílem je porovnání pevnostních charakteristik u lepeného lamelového dřeva exponovaného v přirozených podmínkách exteriéru.

---

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Lepené lamelové dřevo

V této kapitole bych se chtěl věnovat problematice lepeného lamelového dřeva.

Lepené lamelové dřevo jako materiál byl vyvinut již v roce 1906 německým tesařem Ottou Hetzrem a to pro lepení dřevěných oblouků. Ve větší míře se začalo využívat za druhé světové války při stavbě lodí z důvodu nedostatku potřebných průřezů kmenu, a proto se musely nosníky nastavovat lepením. V tuzemsku se tento materiál začal používat až v roce 1952 (Jelínek 2012).

Lepené lamelové dřevo využívá výhody dřeva jako přírodního obnovitelného materiálu. Díky lepení jednotlivých dřevěných lamel se může dosáhnout velkých průřezů a v případě nosníků také velkých rozponů o velké únosnosti. Zároveň při lepení jednotlivých nosníků, nebo jiných výrobků z tohoto materiálu se můžeme vyvarovat vad dřeva, jako jsou například suky, trhliny, nepravidelnost struktury a jiné vady, které by mohly narušit mechanické vlastnosti (TESKO; Lakusic et al. 2020).

### 3.2 Technologie výroby lepeného lamelového dřeva

Lepené lamelové dřevo je materiál, který se vyrábí lepením fošen nebo prken (lamel). Lepí se jak bočně, tak i na délku pomocí ozubených spojů a tvoří takzvaný nekonečný přířez. Před samotným lepením se jednotlivé lamely třídí podle hustoty nebo podle modulu pružnosti. Tímto způsobem lze vytvořit lepený přířez, který je homogenní a nemá velké odchylky v pevnosti v různých místech lepeného hranolu. Pro nosníky z lepeného lamelového dřeva se používají co nejtlustší lamely z důvodu snížení pracnosti a snížením počtu lepených spár a tím i snížením množství lepidla, jak ale potvrdily výzkumy, je toto řešení nešťastné kvůli vysokému napětí mezi lamelami, ale i v lamelách samotných. Tyto lamely se lepí při 10 - 12% vlhkosti dřeva a lisují se kolem 6 hodin. Kvůli velikostem přířezů a delšího času při skládání jednotlivých lamel se lamelové dřevo lisuje za studena, avšak u menších průřezu, lze lisovat i za tepla. Nosníky anebo jiné typy komodit mají většinou obdélníkový průřez, ale dají se lisovat do různých tvarů jako například oblouky (Jelínek 2012; Soutsos Marios, Domone Peter 2017; Hassani et al. 2016).

---

### 3.3 Využití lepeného lamelového dřeva

Lepené lamelové dřevo má veliké zastoupení hlavně ve stavebnictví. Dají se z něho vyrábět střešní vazníky, nosníky, sloupy, průvlaky, nebo se také dají lepit do bloků. Ty se využívají při stavbě rodinných dřevostaveb, kancelářských budov, výstavních hal, různých krytých sportovišť, ale také například při výstavbě mostů (TESKO; Kuklík 2005).



Obrázek 1: Příklad využití lepeného lamelového dřeva v praxi (Zdroj: KASPERCZ.cz 2011)

### 3.4 Dřeviny pro výrobu lepeného lamelového dřeva

Lepené lamelové dřevo se vyrábí převážně z jehličnatých dřevin a to ze smrku, jedle nebo borovice. Hlavním důvodem používání při výrobě právě jehličnaté dřevo je jeho vysoká dostupnost. Dalšími důvody jsou lehká opracovatelnost, poměrně malá hustota, která se projevuje na výsledné hmotnosti, dobrá únosnost, ale také velmi dobré vlastnosti při lepení. Tím že jsou jehličnany v Evropě velmi dobře dostupné, jsou také poměrně levné (Podrázský et al 2014).

V poslední době na se českém území, ale i jinde ve střední Evropě z důvodu obnovy lesů po kůrovcové kalamitě vysazují listnaté dřeviny jako je například v první řadě buk nebo dub. Tyto dřeviny jsou vysazovány také z důvodu změn klimatu a přirozené diferenciaci lesů. Proto výrobci lamelového dřeva hledají nové zdroje a technologické způsoby pro svoji výrobu jak využít i listnaté dřeviny (Podrázský et al. 2014; Eaton, et al. 2016).

---

### 3.5 Lepidla pro výrobu lepeného lamelového dřeva

Pro lepené lamelové dřevo je důležité, aby bylo lepidlo odolné proti vlhkosti.

Pro lepení lamelového dřeva v suchém stavu se nejčastěji používají močovino-formaldehydové pryskyřice, které mají částečnou odolnost proti vlhkosti a vodě. Je také poměrně levné. Dále se používají melamin-formaldehydové pryskyřice, které mají výbornou odolnost proti vodě, delaminaci a obecně dobré vlastnosti při vystavení v exteriéru. Jako příklad můžeme uvést lepené lamelové dřevo ze dřeva douglasky lepené právě tímto lepidlem, které vydrželo i dvacet let bez známek delaminace, avšak je méně odolné proti mořské vodě. Melamin-formaldehydové adhesivum je však ekonomicky náročné, proto se často míchá s močovino-formaldehydem za vzniku melamin-močovino-formaldehydového lepidla. Tato lepidla mají podobné vlastnosti jako močovino-formaldehydová lepidla, ale mají zvýšenou odolnost vůči vlhkosti. U lepení při vyšších vlhkostech se používá resorcin-formaldehydové lepidlo. Toto lepidlo je velmi odolné a odolává jak povětrnostním vlivům, tak vodě za prakticky jakýchkoli teplot. Pro nosníky nebo sloupy o menších průřezích se používají nejčastěji polyuretanová lepidla. Tato lepidla se vyznačují dobrou odolností proti mechanickému namáhání a odolností vůči vodě (Soutsos Marios, Domone Peter 2017; Osten 1982).

### 3.6 Lepidla použitá v práci

V této práci byly použity dva druhy lepidel, a to jednosložkové polyuretanové lepidlo a dvousložkové melamin-formaldehydové lepidlo.

#### 3.6.1 Polyuretanová lepidla

Polyuretany mohou být jak jednosložkové, tak dvousložkové. Tato lepidla jsou dostupná jak v kapalné formě, tak v pevné formě. Polyuretany mohou vytvrzovat při pokojových teplotách tedy kolem 20°C ale i za tepla. Mezi jejich výhody patří voděodolnost a pružný spoj, který odolává dynamickému namáhání. Je však náchylné na UV záření (Osten 1982; Sedliačik 1998).

Polyuretanová lepidla se vyrábí pomocí izokyanátových pryskyřic. V dnešní době se vyrábí s methylen-difenol izokyanátem, ale dříve se používal toulén-diizokyanát. Z toxikologického hlediska se ale od tohoto způsobu upustilo (Osten 1982; Sedliačik 1998).

---

Izokyanáty dokáží reagovat s aktivními vodíkovými sloučeninami. V praxi reagují se vzdušnou vlhkostí. Tedy polyuretany vytvrzují buď teplem, nebo právě vlhkostí vzduchu. Základem většiny jednosložkových polyuretanů a polyuretanových lepidel je prepolymer zakončený izokyanátem, který je katalyzován terciálním aminem. Vlhkost vzduchu je pro vytvrzování polyuretanových lepidel zásadní, proto i lepený povrch musí být propustný pro vlhkost. (Roger M. Rowell 2013)

Druhý typ jednosložkového polyuretanového lepidla je založen na takzvaných blokovaných izokyanátech, kde diizokyanáty, nebo prepolymery reagují s určitými sloučeninami obsahující aktivní vodík, jako jsou například nylonfenol anebo kaprolaktam. Tyto sloučeniny se nazývají blokátory. Po dokončení blokovací reakce je takto blokovaný izokyanát stabilní a může být formován pomocí polyolů a prodlužovači řetězce, aniž by docházelo k další reakci. Po zahřátí se blokovaný izokyanát regeneruje a může dál reagovat s polyolem a s prodlužovači řetězce za vzniku polymerní sítě (Roger M. Rowell 2013).

Dalším typem polyuretanových adhesiv jsou dvousložkové polyuretany. Vytvrzovací a otevřené časy se zde dají regulovat pomocí různých typů reaktantů a katalyzátorů, a to až z 15 sekund do 16 hodin podle technologické potřeby (Sedliačik 1998).

### **3.6.2 Melamin-formaldehydová lepidla**

Melamin-formaldehydová lepidla se pro jejich odolnost proti vlhku a vodě, používají převážně pro lepené spoje, které jsou vystaveny v exteriéru, například pro lepení překližek, nebo třískových desek. Používají se také jako impregnace pro papír a výrobě laminátů, které se používají pro laminování různých desek na bázi dřeva (Frihart 2012; Pizzi 2018; Roger M. Rowell 2013).

Tato lepidla jsou díky obsahu melaminu velmi drahá, proto se do těchto lepidel přimíchává ve větších či menších poměrech i močovina a vznikají tak melamin-močovino-formaldehydová lepidla (Frihart 2012; Pizzi 2018; Roger M. Rowell 2013).

Melamin-formaldehydová lepidla vznikají tak, že při míchání melaminu s vodným roztokem formaldehydu jako první zareaguje formaldehyd na aminové skupiny melaminu, podobně jako u míchání formaldehydu s močovinou při výrobě močovino-formaldehydu. Reakce s melaminem je ale mnohem jednodušší a dokonalejší. Aminová skupina melaminu akceptuje dvě molekuly formaldehydu. Je tedy možná úplná



---

metylolace melaminu. Tímto jde na jednu molekulu melaminu připojit až šest molekul formaldehydu. Směs hydroxymetylových skupin pak kondenzuje za vzniku pryskyřice. Voděodolnost melamino-formaldehydových pryskyřic je dána nevratností kondenzační reakce (Frihart 2012; Pizzi 2018; Roger M. Rowell 2013).

Pro polymerizaci melamino-formaldehydových lepidel je potřeba snížit pH a zvýšit teplotu, podobně jako je to například u močovino-formaldehydových lepidel. Jako tvrdidlo se používá nejčastěji chlorid amonný, který vytvoří chlorovodík, nebo síran amonný, který vytvoří hydrogensíran za přítomnosti amoniaku obsažený v adhesivu (Frihart 2012; Pizzi 2018).

V této práci bylo použito dvousložkové melamin-formaldehydové lepidlo GripPro Plus A011 s tvrdidlem H011 firmy AkzoNobel (AkzoNobel N. V. Švédsko, je určené pro lepení lamelových nosníků, překližovaných desek a dalších konstrukčních prvků. Dále je v práci použito jednosložkové polyuretanové adhesivum PUR2010 firmy AkzoNobel (AkzoNobel N. V. Švédsko), které je také určené pro lepení konstrukčních prvků.

### **3.7 Degradace a odolnost dřeva**

V této kapitole bych se chtěl věnovat degradaci a odolnosti dřeva a látkami s tím spojené.

#### **3.7.1 Odolnost dřeva**

Odolnost dřeva můžeme definovat jako schopnost dřeva bránit se proti okolním biotickým a abiotickým vlivům, jako jsou třeba hmyz, houby, nebo vlhkost, UV záření atd. tato odolnost je dána strukturou dřeva, ale i chemickými látkami, které dřevo obsahuje. Každý druh dřeva má jiné složení a jiné množství těchto látek. Každé dřevo má ovšem jinou strukturu a jiné množství a druhy těchto chemických látek a proto jsou různé dřeviny jinak odolné (Scheffer 1998).

Odolnost také závisí na obsahu vzduchu a vody ve dřevě. Například pro velkou řadu hub je ideální vlhkost dřeva 30% tedy kolem bodu nasycení vláken. Obsah vzduchu ve dřevní hmotě je pro houby ideální kolem 20% (Baier, Týn 1996).

---

### 3.7.2 Degradace Dřeva

Degradace dřeva dělíme na dvě základní skupiny a to na biotické a abiotické. Abiotické degradace můžeme pak rozdělit na degradaci fotochemickou, chemickou, termickou a mechanickou a na degradace způsobené jednotlivými činiteli jako je poškození vodou, větrem nebo teplem. Biotickou degradaci lze rozdělit na degradaci houbami a degradaci hmyzem.

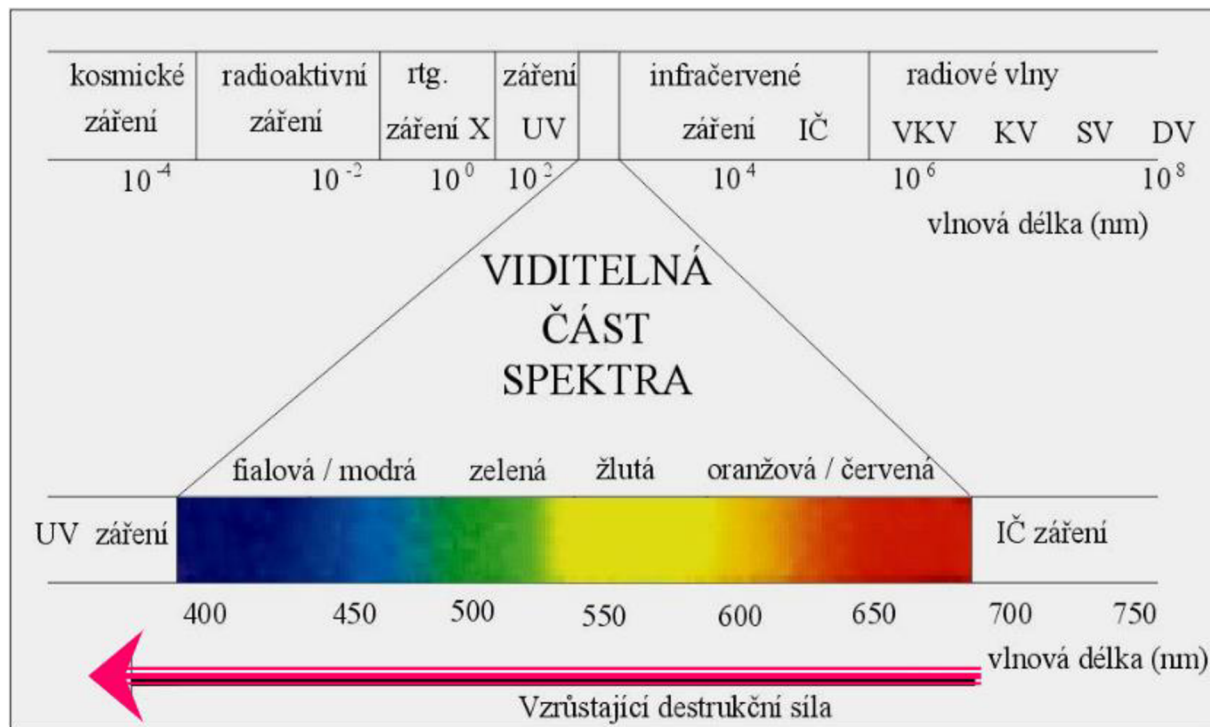
Na dřevo vystavené v exteriéru působí přirozené stárnutí. To je způsobeno povětrnostními vlivy, jako například déšť, sluneční záření, větrem nesený prach nebo písek. Při vystavení dřevěného prvku v exteriéru tento prvek degraduje a mění svoje vlastnosti. Rozsah a rychlost stárnutí závisí na hustotě a struktuře dřeva, jako například na podílu letního a jarního dřeva, nebo obsahem extraktivních látek. Při přirozeném stárnutí dřeva degraduje pouze v malé několika milimetrové vrstvě a zbytek dřeva není těmito vlivy přímo ovlivněno, tedy dřevo neztrácí své mechanické vlastnosti ve větší míře (Reinprecht, Pánek 2016).

Při přirozeném stárnutí můžeme pozorovat změnu barvy dřeva, vyplavování extraktiv ze svrchních vrstev dřeva, nebo změny vlhkosti. Abiotičtí činitelé nemají na funkci dřevěných prvků přímý vliv, dřevo je ale náchylnější k houbové hnilobě, nebo k napadení dřevokazným hmyzem (Reinprecht, Pánek 2016).

### 3.7.3 Fotochemická degradace

Fotochemickou degradací se myslí degradace ze slunečního záření, přesněji UV záření, které je jednou ze složek slunečního záření. V interiéru se tato degradace projevuje barevnou změnou povrchu dřeva. Například smrk díky velkému podílu celulózy ve dřevě na slunci žloutne. Mahagon nebo dub díky slunečnímu záření zesvětlá a například teak naopak ztmavne. Jinak je tomu ale v exteriéru. V exteriéru na dřevo působí společně se sluncem i déšť a vítr. UV záření rozkládá lignin a krátí celulózové řetězce. S kombinací s vodou se lignin ze dřeva vyplavuje, celulóza mění svou barvu a dřevo získává typickou šedou barvu a vroubený povrch díky erozi buněčné stěny. Tato degradovaná vrstva však chrání ostatní dřevo pod touto vrstvou. S absencí napadení hmyzem nebo houbami by tato degradace činila pouze 1mm za 20 let. U zestárlého dřeva musí být tato vrstva před zpracováním odstraněna z důvodu lepší adheze lepidel, ale i nátěrových hmot (Soutsos Marios, Domone Peter 2017; Philip D. Evans 2013).

Samotnou fotochemickou degradaci způsobuje až z 95% UV záření. Tuto degradaci zčásti způsobuje i infračervené záření a viditelné záření. Sluneční záření se skládá z několika složek, které se liší vlnovými délkami s tím, že nejničivější pro dřevo je právě UV záření a nejméně ničivé IR (Tolvaj, Mitsui 2005).



Obrázek 2: Světelné spektrum (Zdroj: Jaroslav Reichl 2007)

Ultrafialové záření má vlnovou délku pod 400 nm a tvoří asi 5% z celkového spektra. Má vyšší energii než záření viditelné a proniká do hloubky dřeva až 75 mikrometrů. Do této hloubky způsobuje fotooxidaci ligninu. Tato fáze je doprovázena vznikem karboxylů, karbonylů a peroxidů, které zvyšují absorpci dalšího záření ve spektru. UV záření lze rozdělit na tři další složky a to UVA (320 nm - 400 nm), UVB (290 nm - 320 nm) a UVC (100 nm – 290 nm). Tyto složky se liší vlnovými délkami. UVB a UVC je z velké části odfiltrována ozonovou vrstvou v zemské atmosféře (Tolvaj, Mitsui 2005; Dawson 2008).

Viditelné záření má vlnovou délku od 400 nm až do 750 nm. Proniká do hloubky max 0,2mm a na degradaci dřeva má jen malý vliv. Společně s IR zářením dokážou zahřívat povrchy.

---

Infračervené neboli IR záření má vlnovou délku od 750 nm do 1mm. Proniká do hloubky 1,5  $\mu\text{m}$ . Lze ho rozdělit na tři části, IRA (0,76  $\mu\text{m}$  - 1,4  $\mu\text{m}$ ), IRB (1,4  $\mu\text{m}$  - 3  $\mu\text{m}$ ), IRC (3  $\mu\text{m}$  a výš). Společně s viditelným zářením dokážou zahřívat povrchy (Tolvaj, Mitsui 2005; Dawson 2008).

### **3.7.4 Chemická degradace**

Dřevo jako materiál je velmi odolný proti velkému počtu chemikálií. Dřevo však reaguje hůře na alkalické látky a to zejména na železo nebo ocel. Železité soli jsou kyselé a v kombinaci s vlhkostí tvoří hydrolytickou degradaci v podobě měknutí dřeva a barevné změny do tmavě modré až černé barvy. Tuto degradaci můžeme nejčastěji vidět u hřebíkových spojích například u palubek nebo u dřevěných šindelů (Soutsos Marios, Domone Peter 2017).

### **3.7.5 Termická degradace**

Termická degradace začíná při teplotách nad 100°C, kdy se začínají uvolňovat ze dřeva těkavé látky. Při této degradaci ztrácí dřevo mechanické vlastnosti, zvláště pak rázovou houževnatost. Při teplotě 120 °C ztrácí dřevo pevnost o 10% za 1 měsíc. S přibývajícím teplotou je tato degradace rozsáhlejší a rychlejší například při 140 °C je stejná degradace dosažena již za týden. Tuto degradaci doprovází barevné změny a to hnědnutí dřeva. Při této degradaci se rozkládají hlavně hemicelulózy a v menší míře i lignin (Soutsos Marios, Domone Peter 2018).

### **3.7.6 Mechanická degradace**

Mechanická degradace nejčastěji vzniká při dlouhodobém namáhání daného prvku, jako například dlouhodobé zatížení prutu v ohybu. Projevuje se takzvaným tečením dřeva, kdy se daný prvek po odstranění zatížení nevrátí do původní polohy. Další mechanickou degradací můžeme považovat postupné obrušování například prachem nebo pískem ve větru ( Soutsos Marios, Domone Peter 2017).

## **3.8 Činitelé způsobující přirozenou degradaci**

V této kapitole budou rozebrány jednotliví činitelé, které působí na dřevo v exteriérovém prostředí.

---

### **3.8.1 UV záření od slunce**

Poškození dřeva v exteriéru sluncem, nebo přesněji slunečním zářením bylo popsáno v předchozí kapitole 3.7.3. fotochemická degradace.

### **3.8.2 Voda**

Zásadním abiotickým činitelem je voda. Voda ve dřevě způsobuje celou řadu změn, jako jsou změny rozměrů při bobtnání, nebo naopak sesychání, změnu barvy a také živnou půdu pro různé dřevokazné houby. Vlivem častého bobtnání a sesychání dřeva, nebo dřevěných prvků v exteriéru, může dřevo praskat nebo se kroutit či prohýbat. Vzniklé praskliny, kromě změny vzhledu dřevěného prvku, způsobují hlubší zatékání vody do dřeva, kde může vznikat další poškození (Van Acker 2003).

Jak už bylo zmíněno v kapitole fotochemická degradace, voda způsobuje společně s UV zářením vyplavování látek, které fotochemická degradace rozloží, a dochází ke změnám barvy a struktury dřeva.

### **3.8.3 Teplota**

Teplota způsobená slunečním svitem se také podílí na změnách ve dřevě. Způsobuje změny vlhkosti ve dřevě díky jeho hygroskopicitě. Povrch dřeva při intenzivním slunečním svitu dosahuje teplot od 40°C do 80°C podle toho, zda je povrch světlý či tmavý. Nízké teploty pod bodem mrazu zapříčiňují mrznutí vody ve dřevě a její roztažení, které způsobují trhliny ve dřevě (Feist, Hon 1984).

### **3.8.4 Vítr**

Vítr patří mezi zásadní abiotické degradace. Pomocí větru jsou unášeny malé částice prachu, písku a jiných materiálů, které mají abrazivní účinek. Tyto částice způsobují erozi na povrchu dřeva. Způsobují vrásčitý povrch, který vzniká nerovnoměrným obrušováním letního a jarního dřeva. Jarní dřevo díky menší tvrdosti, se obrušuje dříve a snáz než tvrdší letní dřevo (Williams, Feist 1999).

### **3.8.5 Biotické degradace**

Biotické degradace můžeme rozdělit na ty, které jsou způsobeny houbami a na ty, které jsou způsobeny dřevokazným hmyzem. Různý činitelé způsobující biotickou degradaci napadají nejčastěji dřevo, které je již nějakým způsobem poškozené, jako například přítomností praskliny, úbytek chemických látek ve dřevě které zabraňují

---

přístupu biotickým škůdci. Dalším faktorem je vhodná vlhkost pro život těchto škůdců, nebo přirozené množství extraktivních látek ve dřevě, které ovlivňují odolnost dřeva (Reinprecht, Pánek 2016).

#### **3.8.5.1 Degradace houbami**

Houby, které napadají dřevo, můžeme rozdělit na lignovorní a celulovorní. Lignovorní houby rozkládají lignin. Při rozkladu ligninu má dřevo charakteristickou měkkou strukturu a dřevo je světlejší. Také se jí říká bílá hniloba. Celulovorní naopak rozkládají celulózu a dřevo trouchniví a praská do kostkovité struktury. Tato hniloba se také nazývá hnědá hniloba (Reinprecht, Pánek 2016).

Houby se živí dřevem, které má dlouhodobou vlhkost nad 35-60%, tedy takové, které má přímý styk s vlhkostí, nebo je uchováváno v prostředí o vlhkosti vzduchu nad 90%. Houba se nemůže ve dřevě rozvinout, pokud je příliš suché nebo je plně nasáklé vodou. Výjimkou je dřevomorka domácí, která sice zpočátku potřebuje dřevní vlhkost 30-40%, ale poté je schopna růst ve dřevě, které má vlhkost menší než 20%. Většina dřevokazných hub roste nejlépe při teplotách 15-40°C. Při teplotách pod 0°C houby přestávají růst a jsou nečinné. V přírodě se ale můžeme setkat s houbami, které mohou přežít i hluboké mrazy jako -40°C (Reinprecht, Pánek 2016; Van Acker 2003).

Všechny dřevokazné houby negativně mění mechanické vlastnosti dřeva nebo dřevěných prvků.

Dřevozbarvující houby, dřevo pouze ničí z hlediska estetiky. Při napadení se prakticky mechanické vlastnosti nemění (Reinprecht, Pánek 2016).

#### **3.8.5.2 Degradace hmyzem**

Hmyz ve dřevě vyhledává hlavně potravu. Každý druh dřevokazného hmyzu vyhledává přítomnost různých živin. Larvy dřevokazného hmyzu vyhledávají ve dřevě hlavně proteiny, celulózu, škrob, hemicelulózy, cukry nebo vitamín B.

Lákadly pro hmyz je popraskané dřevo a dřevo, které je již napadeno houbou. Zásadní pro dřevokazný hmyz je vlhkost dřeva. Ideální je vlhkost 23-30%. Pro vývoj larev je ideální teplota 18-30°C podle toho o jaký druh brouka jde. Poškození od dřevokazného hmyzu je hlavně v požerkách, které mohou mít vliv na mechanickou funkci dřevěných prvků, ale i na jejich vzhled. Požerkami mohou do dřeva vniknout hlouběji i

---

dřevokazné houby, nebo pomocí hmyzu mohou být do dřeva houby zataženy (Feist, Hon 1984; Reinprecht, Pánek 2016).

### **3.9 Degradace a ochrana lepeného lamelového dřeva**

Na rozdíl od degradací, které působí na masivní dřevo se u materiálů, jako jsou například BSH hranoly, nebo právě lepené lamelové dřevo, sleduje, jak okolní prostředí působí na lepenou spáru, tedy největší slabinu těchto materiálů. Lepené spáry lepeného lamelového dřeva jsou při vystavení v exteriéru namáhány jak proměnlivou vlhkostí, teplotou a UV zářením, ale také samotným adherentem, tedy dřevem, které v těchto podmínkách bobtná, smršťuje se, nebo se může kroutit a tím namáhá lepenou spáru (Feist, Hon 1984).

#### **3.9.1 Bobtnání a sesychání lamel**

Při změnách vlhkosti dřeva dochází vlivem bobtnání a sesychání k rozměrovým a tvarovým změnám. Tvarové a rozměrové změny vychází z vody vázané v buněčných stěnách, kdy je oddalována nebo přibližována struktura vláken podle toho, jestli dřevo vlhkost nabírá nebo ztrácí. Vliv na bobtnání a sesychání mají také orientace jednotlivých fibril, proto má bobtnání a sesychání anizotropní charakter, to znamená, že rozměrové změny se liší v jednotlivých směrech. Bobtnání je nejmenší v podélném směru, kde je jeho hodnota 0,1-0,4 %. V radiálním směru je tato hodnota 3-6 % a největší tvarové změny jsou v tangenciálním směru s hodnotou 6-12%. Velikost bobtnání se liší podle druhu dřeva. Například koeficient objemového sesychání u smrkového dřeva je 0,43 a 0,5 u objemového bobtnání. Ty samé hodnoty můžeme najít u dřeva dubu. Tyto dvě dřeviny můžeme zařadit do dřevin středně sesýchavých. Například dřevo buku se řadí do dřevin hodně sesýchavých s koeficientem objemového sesychání 0,47 a koeficientem bobtnání 0,55 (Gendelová et al. 2002; Eckelman 1998).

Bobtnání doprovází jistý tlak, který je zanedbatelný při volném bobtnání. Když je ale dřevěný prvek omezený jiným tělesem nebo v případě lepeného lamelového dřeva jinou lamelou, zanedbatelný není. Nejčastěji se v literatuře uvádí, že tlak bobtnání je roven tlaku, kterým musíme působit na dřevo, aby se bobtnání zabránilo. Tlak bobtnání má anizotropní charakter, nezávisí však na bobtnavosti směru. Například u smrku je síla bobtnání v radiálním směru 0,89 MPa a v tangenciálním směru 1,34 MPa. U buku jsou tyto hodnoty opačného charakteru a to 3,21 MPa u radiálního směru a 2,67 MPa u tangenciálního směru. Podle tabulky tlaku podle Kúdely (1990) lze říci, že listnaté

---

dřeviny mají větší tlak bobtnání v radiálním směru a jehličnaté dřeviny naopak v tangenciálním. Dub má tyto hodnoty poměrně vysoké. U radiálního směru hodnota tohoto tlaku 3,88 MPa a v tangenciálním směru 3,49 MPa. Síla bobtnání je závislá také na teplotě. Obecně platí, že s narůstající teplotou stoupá i síla bobtnání ( Požgaj et al. 1997; Eckelman 1998).

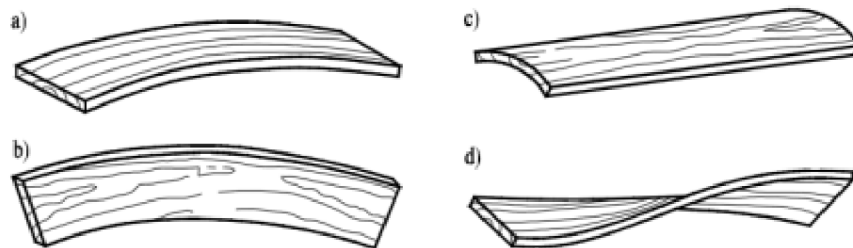
Při vysychání dřeva vznikají vnitřní napětí. Tato napětí se skládají ze dvou složek a to z vlhkostního napětí a zbytkového napětí. Vlhkostní napětí vzniká z důvodu nerovnoměrného vysychání. Tyto napětí jsou dočasně a odeznívají při vyrovnání vlhkosti. Zbytková napětí jsou trvalá. Při počátku vysychání dřeva nejdříve schnou vnější vrstvy, kde vzniká tahové napětí. Ve vnitřních vrstvách, kde je vyšší vlhkost působí zase napětí tlakové. Povrchové napětí může způsobit překročení meze pevností v tahu napříč vláken a dochází tak ke vzniku trhlin. Tyto trhliny vznikají nejčastěji podél dřeňových paprsků a vznikají při rychlém vysychání dřeva. (Gendelová et al. 2002; Eckelman 1998)

Změny tvaru dřeva nazýváme borcení. Borcení dřeva je způsobeno anizotropií sesychání a působí jak v podélném tak příčném směru. Borcení v příčném směru se liší podle toho jak daleko je například daná lamela vyříznuta od středu kmene. Čím větší je vzdálenost od středu kmene, tím je borcení výraznější. S tím je také spojený podíl tangenciální a radiální roviny kdy je směrem od středu k obvodu kmene větší podíl tangenciální roviny, která má potenciál se více bortit. Podélné borcení je způsobeno také nerovnoměrným sesycháním. Podélné borcení může vyvolat kroucení, ohýbání nebo stočení lamely do „vrtule“ (Gendelová et al. 2002; Požgaj et al. 1997; Eckelman 1998).



Obrázek 3: Znárodnění příčného sesychání hranolů, desek a válců v různých polohách ve kmeni (Zdroj: Kolmann, Cote 1968)





Obrázek 4: : Podélné borcení dřeva a) podélné plošné borcení, b) podélné boční borcení, c) příčné borcení, d) šroubovitě borcení (Zdroj: Svoboda 2013)

Tyto deformace způsobené nerovnoměrným sesycháním a bobtnáním působí na slepené lamely. Lepená spára je mechanicky namáhána a může dojít k jejímu poškození nebo úplnému rozlepení. Deformace, které jsou způsobeny změnami vlhkosti ve dřevě, se dají minimalizovat pomocí nátěrů, které omezí změny vlhkosti ve dřevě (Gendelová, et al. 2002; Požgaj 1997).

### 3.10 Chemické látky ve dřevě

Chemické látky ve dřevě rozdělujeme na hlavní složky dřeva a to na lignin, celulózu a hemicelulózy, a na minoritní složky jako jsou extraktiva a anorganické složky.

#### 3.10.1 Lignin

Tato makromolekulární aromatická složka dřeva tvoří přibližně jednu pětinu sušiny dřevní hmoty. Větší obsah ligninu mají jehličnany a to 25-35% hmotnosti, než listnaté dřeviny, ty mají obsah ligninu 15-30%. Množství ligninu je také závislé na pozici ve kmeni. Například větší množství ligninu můžeme najít v kůře stromů než ve dřevě. Lignin dodává dřevu pevnost a to díky dřevnatění buněčných stěn. Zároveň zabraňuje pronikání vody skrz buněčnou stěnu. Lignifikovaná (zdřevnatělá) pletiva mají lepší obranyschopnost vůči mikroorganismům, které rozkládají buněčné stěny (Rowell 1984; Pentti O. Kettunen 2006).

#### 3.10.2 Celulóza

Celulóza patří mezi nejrozšířenější organický polysacharid. Tvoří hlavní složku rostlinných buněčných stěn, kde tvoří jakousi nosnou kostru. Dřevní hmota obsahuje 35-

---

56% celulózy. Liší se to opět podle druhu dřeviny. Jehličnany mají obecně vyšší obsah celulózy než listnaté dřeviny, a to 46-56% hmotnosti, kdežto u listnáčů tvoří celulóza 41-48% hmotnosti. Celulóza v čistém stavu tvoří vláknité makromolekuly. Ty vznikají ze zbytků D-glukózy glykosidovými vazbami. Sloučením dvou molekul této látky vznikne disacharid jménem celobióza, která je základní stavební jednotkou celulózy (Soutsos Marios, Domone Peter 2018; Jankovský et al. 1999).

Tyto makromolekuly celulózy se mohou prostřednictvím vodíkových můstků spojovat a vytvořit tak nadmolekulovou strukturu celulózy a tím vznikají fibrily. Tato nadmolekulová struktura způsobuje anizotropii dřeva jako celku, tedy že dřevo má v různých směrech jiné mechanické a fyzikální vlastnosti. Zároveň ovlivňuje hygroskopicitu dřeva (Gendelová et al. 2002; Jankovský et al. 1999).

### **3.10.3 Hemicelulózy**

Od celulózy se liší svým složením. Obsahují navíc kromě D-Glukózy i D-xylózu, D-galaktózu nebo L-arabinózu. Hemicelulózy mají oproti celulóze i nižší stupeň polymerace. Jsou poměrně nestálé. Dřevní hmota obsahuje 15-35% objemu hemicelulóz. Větší koncentrace hemicelulóz mají jehličnaté dřeviny oproti listnatým dřevinám. Hemicelulózy lze rozdělit na xylany, manany a galaktanany (Jankovský et al. 1999).

### **3.10.4 Extraktivní látky**

Extraktiva mají ve dřevě za úkol bránit strom před různými škůdci, jako jsou houby nebo hmyz. Největší zastoupení mají tyto látky v kůře stromu. Velké zastoupení těchto látek je také v jádru a vyzrálém dřevu. Nejmenší podíl je v bělovém dřevu, proto je běl mnohem náchylnější k biotické degradaci než jádro. Tyto látky se vyskytují v každé dřevině v jiném poměru a množství. Například u tuzemských dřevin dosahují množství 1-5% hmotnosti. U tropických dřevin je toto množství mnohonásobně vyšší a to až 30% hmotnosti (Reinprecht, Pánek 2016).

Tyto látky nám ovlivňují vzhled, vůni ale i chuť dřeva. Tyto látky dokáží ovlivňovat kvalitu produktů při zpracování dřeva a mohou někdy způsobovat problémy.

Tyto látky můžeme rozdělit na těkavé silice, dřevní pryskyřice, tuky a vosky, trísloviny, lignany, sacharidy (Gendelová et al. 2002; Jankovský et al. 1999; Pentti O. Kettunen 2006).

---

### **3.11 Vliv extraktivních látek na odolnost dřeva**

I když není podíl extraktiv ve dřevě příliš velký, má na odolnost dřeva zásadní vliv. U jednotlivých dřevin se jejich množství značně liší. Některé extraktivní látky mohou ovlivňovat odolnost dřeva negativně. To platí v případě velkého množství bílkovinových látek a cukrů, které mohou sloužit jako potrava pro houby nebo dřevokazný hmyz. Ostatní extraktivní látky pryskyřice u jehličnanů, nebo tříslovin, pektinů nebo terpenů u listnatých dřevin, působí na dřevokazné škůdce spíše jako inhibitory. Nejvíce extraktiv, které mají pozitivní vliv na ochranu dřeva je v jádru. Zásadní pro přirozenou odolnost dřeva je jejich koncentrace ve dřevě (Reinprecht, Pánek 2016; S. Bockel et al. 2019).

### **3.12 Vliv extraktivních látek na lepený spoj**

Při lepení listnatých dřevin má vliv množství extraktivních látek ve dřevě. Přesněji kyselost lepeného dřeva a jeho polarita. Při lepení se mohou některé extraktivní látky na molekulární úrovni přesouvat do adhesiva a negativně ovlivnit chemické reakce při vytvrzování lepidel. Například v případě močovino-formaldehydových pryskyřic některé extraktivní látky rozpustné v alkoholu urychlují vytvrzovací čas až o 41%, naopak některé extraktivní látky rozpustné ve vodě oddalují vytvrzovací čas až o 65%. To je způsobené právě hodnotou Ph. Problémy s lepením může způsobovat také polarita extraktiv. To se projevuje například u smáčivosti povrchu, kdy se lepidlo dobře neuchytí a má horší adhezi. Některá extraktiva mohou výrazně omezit síťování adhesiv a tím ovlivnit výslednou kvalitu lepeného spoje ( Rowel 1983; Chung-Yun Hse, Mon-Lin Kuo 1988; Roffael 2015).

#### **3.12.1 Metody minimalizování vlivu extraktivních látek na lepenou spáru**

Vliv extraktivních látek se může minimalizovat pomocí několika technologických postupů. Z jedním ze způsobů je broušení těsně před aplikací lepidla, ale více účinné je jemné zglobování povrchu. Naruší a odhalí se tím S2 vrstva buněčné stěny, která je vysoce polární. A adhesiva se na ní vážou nejúčinněji.

Další způsob je chemický a to odstranění extraktiv a jiných retardantů lepení hydroxidem sodným, nebo rozpouštění extraktiv pomocí acetylce. Tyto způsoby jsou však velmi nákladné (Chung-Yun Hse, Mon-Lin Kuo 1988).

---

### 3.13 Dřeviny použité v práci

V této práci byla použita jediná dřevina a to dub letní, z důvodu jeho trvanlivosti v exteriéru a obsahu jádrového dřeva. Jeví se také jako vhodný kandidát pro lepení lepeného lamelového dřeva s použitím v exteriérových podmínkách.

Dub letní (*Quercus robur*) je kruhovitě pórovitá dřevina, u které rozlišujeme jádro a běl. Jádro a běl je u tohoto dřeva jasně rozlišena. Dub má výrazné dřevné paprsky, které jsou mohutné a dobře viditelné ve všech směrech. V příčném řezu lze vidět seskupení cév, které v letním dřevě tvoří zvlněné radiální řady, neboli plaménce. Hustota dřeva dubu letního je v absolutně suchém stavu  $680 \text{ kg/m}^3$ . Pro svůj vysoký obsah tříslovin je dub jedna z netrvanlivějších dřevin u nás (Zeidler, Borůvka 2016; Požgaj et al. 1997).

#### 3.13.1 Vybrané mechanické vlastnosti dubu

Dřevo dubu je středně těžké a středně tvrdé s hustotou dřeva v absolutně suchém stavu  $680 \text{ kg/m}^3$  a tvrdostí 67,5 MPa.

Modul pružnosti v ohybu dubu je 11 778 MPa, což je poměrně málo s porovnáním s ostatními početněji zastoupenými listnatými dřevinami u nás, jako jsou například jasan nebo buk s modulem pružnosti v ohybu 13 100 MPa, nebo břízy s modulem pružnosti v ohybu 16 100 MPa. V souvislosti se smrkem jako současnou dřevinou pro výrobu lepeného lamelového dřeva je tato hodnota však vyšší. Smrk má modul pružnosti v ohybu 8200 MPa (Zeidler, Borůvka 2016; Požgaj et al. 1997).

Ohybová pevnost dubu je 85 – 100 MPa. V souvislosti s ostatními dřevinami je tato hodnota nižší než u buku. Buk má tuto hodnotu 124 MPa. V porovnání se smrkem jakožto dřevinou, která se nejvíce využívá pro výrobu lepeného lamelového, je hodnota ohybové pevnosti dubu vyšší. Smrk má ohybovou pevnost kolem 70 MPa (Zeidler, Borůvka 2016; Požgaj et al. 1997).

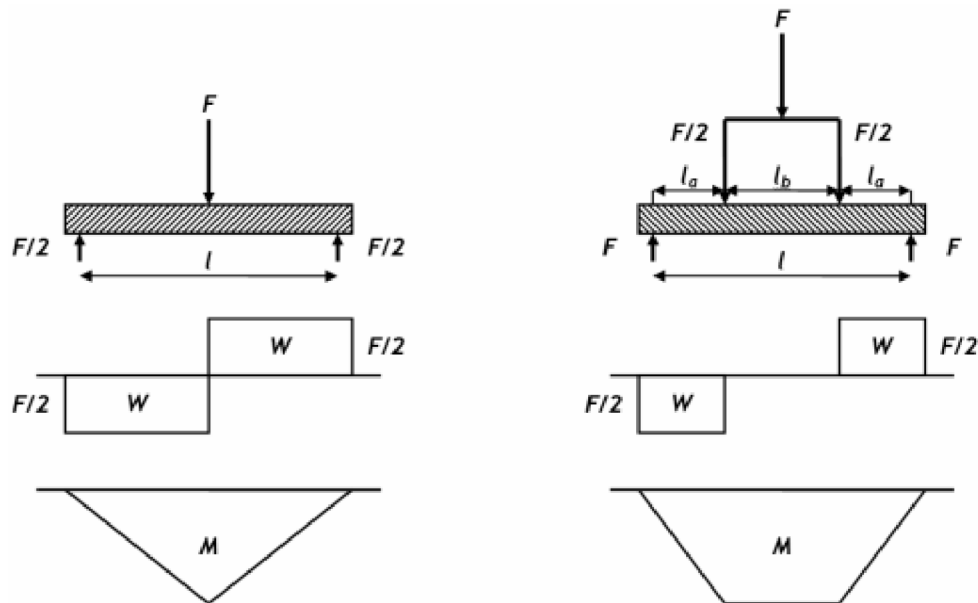
### 3.14 Zkušební metody pevnosti v ohybu

Zkušební metody pevnosti v ohybu můžeme rozdělit na dva základní způsoby, a to na zkoušku tříbodovým ohybem (dle ČSN EN ISO 178) a na zkoušku čtyřbodovým ohybem (dle ČSN EN 408+A1). Základní rozdíl mezi těmito dvěma způsoby je, že u tříbodového ohybu působí jedna síla na střed zkoušeného tělesa a u čtyřbodového pohybu působí dvě stejné síly v určitém rozestupu mezi podpěrami (viz obr. 5). Test tříbodového

---

ohybu se užívá tam, kde je materiál homogenní, například plastové materiály. Test čtyřbodového ohybu se užívá u materiálů, které nejsou homogenní, jako jsou kompozity nebo dřevo (Crupi 2007).

Výhodou čtyřbodového ohybu je rovnoměrnější rozložení ohybového momentu a tedy i přesnější určení modulu pružnosti. Z tohoto důvodu byl tento typ ohybové zkoušky použit i v této práci (Ehrestein, Gottfried W 2009).



Obrázek 5: Schéma tříbodového (vlevo) a čtyřbodového (vpravo) ohybu (Zdroj: Nandanwar, Naidu, Pandey 2011)

---

## 4 Metodika

### 4.1 Výběr lepidel

V této práci byla použita dvě konstrukční lepidla vhodná pro výrobu lepeného lamelového dřeva, a to jednosložkové polyuretanové lepidlo s označením PUR2010 (AKZONOBEL, N. V., Švédsko) a dvousložkové melamin-formaldehydové lepidlo s označením GripPro Plus A011 s tvrdidlem H011 (AKZONOBEL, N. V., Švédsko).

Tyto lepidla byla vybrána na základě konzultace, rešerše a zkušeností z předchozích výzkumů. Lepidla měla splňovat požadavky pro lepení lepeného lamelového dřeva při použití v exteriéru a vyšla jako nejvhodnější pro použití v této práci. Zároveň byla tato lepidla vybrána na základě výzkumu s názvem: Posouzení podmínek ovlivňujících kvalitu lepených spojů dřeva od autorky Moniky Novákové, která se zabývala chemismem dubu jako adherentu.

Tabulka 1: Souhrn vlastností použitého polyuretanového lepidla PUR2010 (Zdroj: Autor práce)

Označení	PUR2010
Ph	6,5 - 6,8
Viskozita	600-19000 mPas
Hustota	1160 kg/m <sup>2</sup>
Otevřený čas	10 min (20±2°C / w 65±5%)
Lisovací čas	65 min při 20±2°C
Lisovací tlak	Lamely pod 35 mm 0,6-0,8 MPa
Nános	160 - 250 g/m <sup>2</sup>

Tabulka 2: Souhrn vlastností použitého melamin-formaldehydového lepidla GripPro Plus A011 (Zdroj: Autor práce)

Označení	GripPro Plus A011	Tvrdidlo H011
Ph	8,5-9,3	1,3-2
Viskozita	2000-9000 mPas	1700-2700 mPas
Hustota	1290 kg/m <sup>3</sup>	1070 kg/m <sup>3</sup>
Otevřený čas	Při poměru 100:30 a 20±2°C 1 hodina 20 min	Nevztahuje se
Lisovací čas	Při poměru 100:30 a 20±2°C 3 hodiny	Nevztahuje se
Lisovací tlak	Lamely pod 35mm 0,6-0,8 Mpa	Nevztahuje se
Nános	250-350 g/m <sup>2</sup>	Nevztahuje se

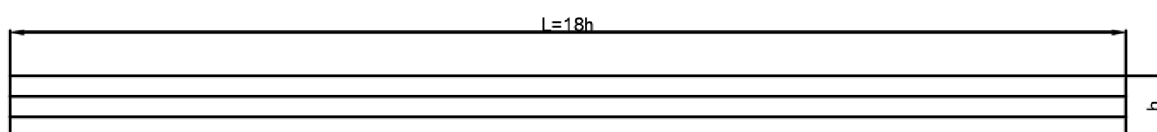
Cílem výběru bylo použití vhodného adhesiva pro lepení lepeného lamelového dřeva pro použití v exteriéru, které by zároveň bylo vhodné pro lepení listnatých dřevin.

---

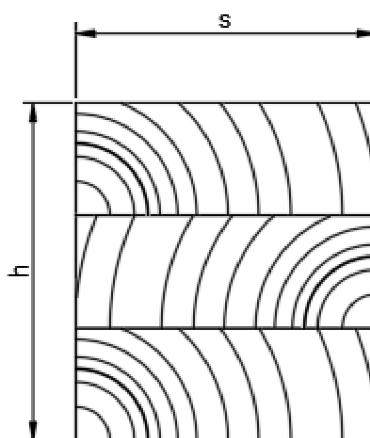
## 4.2 Výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa pro tuto práci byla zhotovena a zkoušena podle norem a ČSN EN 408+A1 .

Výsledné těleso je tvořeno ze třech lamel o šířce 40 mm délce 855 mm a tloušťce 15 mm. Hotový lepený hranol má šířku 40 mm, délku 855 mm a tloušťku 45 mm. Lamely byly zhotoveny z dubového jádrového dřeva s co největším podílem radiálního dřeva.



Obrázek 6: Znázornění podélného rozložení lamel ve vzorku (Zdroj: Autor práce)



Obrázek 7: Znázornění příčného rozložení lamel ve zkušebním hranolu (Zdroj: Autor Práce)

Lamely a zkušební hranoly byly vyrobeny v laboratoři zpracování dřeva na Fakultě lesnické a dřevařské v Praze. Jednotlivé přířezy lamel byly vyřezány na



---

formátovací pile SCM si 400 37 Class (SCM Group, Itálie) z vysušených dubových fošen o tloušťce 50 mm tak, aby vzniklo co nejvíce lamel s radiální plochou. Lamely nesměly obsahovat bělové dřevo, proto byla běl z fošen odstraněna. Přířezy byly vyřezány s dostatečnou nadmírou kvůli následnému opracování.



Obrázek 8: Zhotovené přířezy pro výrobu lamel (Zdroj: Autor práce)

Tyto přířezy byly následně pravoúhle zhoblovány na srovnávací frézce SCM 1410 Class (SCM Group, Itálie) a poté zhoblovány na tloušťku 15 mm. Šířka lamely se hoblovala na tloušťkovací frézce SCM s630 Class (SCM Group, Itálie) na tloušťku na 46 mm tak, aby vznikla technologická nadmíra pro lepení zkušebních hranolů. Délka lamel byla rovněž zakráčena s větší rezervou tak, aby vznikla technologická nadmíra. Při hoblování lamel na tloušťku byla dodržena jednotná rychlost a úběr, aby bylo dosaženo jednotné kvality lepeného povrchu lamel. Následně byly lamely uloženy do klimatizační komory Memmert HPP 750 (Memmert GmbH, Německo) nastavenou na  $20 \pm 2$  °C a  $65 \pm 5$  % vlhkost vzduchu, aby se dosáhlo 12% vlhkosti dřeva.

---

Takto naklimatizovaným lamelám byly naměřeny rozměry, jako jsou délka, tloušťka a šířka ve třech místech a následně byly zváženy. Tato data byla zaznamenána a pomocí nich byla vypočítána hustota. Jakmile byla známa hustota lamely bylo k lamelě přiřazeno číslo.



Obrázek 9: Zhotovené lamely pro výrobu zkušebních hranolů

(Zdroj: Autor práce)

Následně byly připravovány hranoly. Hranoly byly seskládány z lamel s co nejpodobnější hustotou. Neslepené připravené hranoly byly rozděleny podle požadavků a to na hranoly, které byly lepeny polyuretanovým lepidlem a na hranoly, které byly lepeny melamin-formaldehydovým lepidlem. Tyto skupiny podle lepidel se rozdělily ještě na skupiny, které byly uloženy do klimatizační komory Memmert HPP 750 (Memmert GmbH, Německo), vystaveny do exteriéru a vystaveny do exteriéru s ochranným nátěrem.

---

Rozdělené hranoly se lepily v laboratoři zpracování dřeva v lisu po deseti hranolech pomocí lisu SCM gs 6/90 (SCM Group, Itálie). Nejdříve bylo v případě dvousložkového melamin-formaldehydového lepidla namícháno pomocí váhy lepidlo v poměru 100:30 podle technického listu. Následně se lepidlo nanoslo jednostranně na lamely a ty byly vyskládány do lisu. Takto seskládané lamely byly v lisu zaaretovány pomocí speciálně vyrobených přípravků tak, aby se znemožnilo jejich posunutí během lisování.

U hranolů lepených polyuretanovým lepidlem byl obdobný postup, s tím rozdílem, že se lepidlo nemuselo nejdříve namíchat.



Obrázek 10: Připravené lamely před lepením zkušebních hranolů (Zdroj: Autor práce)



Obrázek 11: Naskládané lamely do hranolů ve speciálních přípravcích před spuštěním lisu (Zdroj: Autor práce)

Lis byl poté spuštěn na 3 hodiny v případě polyuretanu a na 65 minut v případě melamin-formaldehydu. Lisovací tlak byl nastaven na 0,8 Mpa podle technického listu.

Slisované hranoly byly po vyjmutí z lisu okorovány a uloženy do klimatizační komory Weisstechnik ClimeEvent C/2000/40/3 (Weisstechnik GmbH, Německo) nastavené na  $20\pm 2$  °C a  $65\pm 5$  % vlhkost vzduchu, aby se dosáhlo 12% vlhkosti dřeva.

Vybrané hranoly byly ostřeny lazurou Xyladecor TERRACE od společnosti (AkzoNobel N. V. Švédsko) z důvodu snížení poškození od povětrnostních vlivů. Lazura je na rozpouštědlové bázi. Jako rozpouštědlo se zde používají těkavé látky. Tato lazura byla vybrána kvůli jejím impregnačním schopnostem, schopností odpuzovat vlhkost a schopnost chránit dřevo a lepenou spáru před UV zářením. Tato lazura byla vybrána na základě práce docenta Pánka „Účinnost dvou různých hydrofobních vrchních nátěrů pro zvýšení trvanlivosti venkovních nátěrových systémů na dubovém dřevě“. Jednotlivé

---

hranoly byly ošetřeny nátěrem v laboratoři zpracování dřeva. Aplikace nátěrové hmoty probíhala dle technického listu. Na hranol byla nátěrová látka nanášena pomocí štětce celkem ve dvou vrstvách podle technického listu.



Obrázek 12: Natřené zkušební hranoly ochranou lazuroou Xyladecor Terrace (Zdroj: Autor práce)

### 4.3 Příprava zkušebních těles

Zkušební hranoly a jejich počty byly rozděleny viz tabulka 3

Tabulka 3: Počty zkušebních vzorků (Zdroj: Autor práce)

Typ nosníku	Počet (ks)	Povrchová úprava	Období stárnutí
Referenční dub	7	ne	0
Referenční dub	7	ne	1
Referenční dub	7	ano	1
Referenční dub	7	ne	3
Referenční dub	7	ano	3
Referenční dub	7	ne	6
Referenční dub	7	ano	6
Referenční dub	7	ne	9
Referenční dub	7	ano	9
PUR2010	7	ne	0
PUR2010	7	ne	1
PUR2010	7	ano	1
PUR2010	7	ne	3
PUR2010	7	ano	3
PUR2010	7	ne	6
PUR2010	7	ano	6
PUR2010	7	ne	9
PUR2010	7	ano	9
GripPro Plus A011	7	ne	0
GripPro Plus A011	7	ne	1
GripPro Plus A011	7	ano	1
GripPro Plus A011	7	ne	3
GripPro Plus A011	7	ano	3
GripPro Plus A011	7	ne	6
GripPro Plus A011	7	ano	6
GripPro Plus A011	7	ne	9
GripPro Plus A011	7	ano	9

---

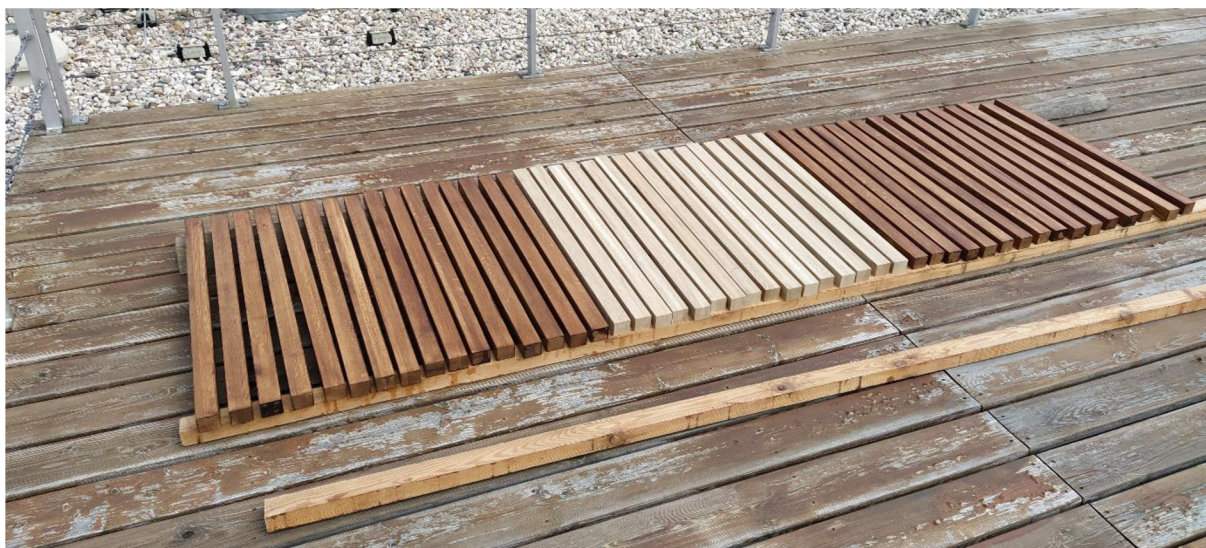
Vzorky označené jako PUR2010 byly lepeny polyuretanovým adhesivem PUR2010 (AkzoNobel N. V. Švédsko), vzorky označené jako GripPro Plus A011 byly lepeny melamin-formaldehydovým adhesivem GripPro Plus A011 v poměru 100/30 s tvrdidlem H011 (AkzoNobel N. V. Švédsko). Vzorky označené jako referenční dub jsou nelepené vzorky z masivního dřeva.

Vždy jedna serie vzorků u každého druhu lepidla a ročníku expozice byla ošetřena nátěrem Xyladecor TERRACCE (AkzoNobel N. V. Švédsko)

V této práci byly zkoumány serie těch vzorků vyznačené v tabulce zelenou barvou, tedy ty, které sloužily jako referenční vzorky v čase 0 a vzorky, které byly odebrány po prvním roce expozice v exteriéru.

Před vystavením v exteriéru byly hranolům změřeny rozměry na třech místech a následně změřena hustota.

Následně byly vybrané hranoly vystaveny v exteriéru na střeše dřevařského pavilonu Fakulty lesnické a dřevařské (50.1307489N, 14.3700269E). Hranoly byly upevněny pomocí kontra hranolů tak, aby nedošlo k jejich posunutí. V průběhu této expozice byly vzorky kontrolovány a byly zjišťovány poruchy lepeného spoje. Zkušební tělesa byla orientována od východu k západu ve vodorovném směru, z důvodu co největšího zatížení vlivem podnebí na lepenou spáru.



Obrázek 13: Způsob kotvení zkušebních hranolů (Zdroj: Autor práce)



Obrázek 14: Exponované zkušební hranoly v exteriéru (Zdroj: Autor práce)

Vzorky použité v této práci byly vystaveny v exteriéru 1 rok. Tato část byla ze střechy odmontována na následné zkoušky. Odebírání vzorků bylo prováděno náhodným výběrem. Po odebrání vzorků ze střechy následovalo opětovné naměření hustoty jednotlivých hranolů. Po naměření hustoty byly hranoly uloženy do klimatizační komory Weisstechnik ClimeEvent C/2000/40/3 (Weisstechnik GmbH, Německo) nastavené na  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  a  $65\pm 5\%$  relativní vlhkost vzduchu.

#### **4.4 Průběh ohybové zkoušky**

Ohybová zkouška byla prováděna v laboratoři dřeva na dřevařském pavilonu Fakulty lesnické a dřevařské podle normy ČSN EN 408+A1. Pro zjištění ohybových vlastností byl použit univerzální trhací stroj TIRA test 2850 od výrobce TIRA GmbH (Německo).





Obrázek 15: Uložení zkušební hranoly do univerzálního trhačího stroje TIRA

(Zdroj: Autor práce)

Hranoly byly uloženy tak, aby prostor mezi podpěrami byl 810 mm, a rozteč mezi zátěžovými břemeny byla 270 mm, aby byla splněna podmínka normy ČSN EN 408+A1. Konstantní posuv byl dle normy ČSN EN 408+A1 nastaven na 0,135 mm/s . Během zkoušky se sledovala a byla zaznamenávána maximální síla potřebnou k porušení vzorku a maximální průhyb.

Pro výpočet globálního E modulu pružnosti v ohybu bylo použito matematického vyjádření podle ČSN EN 408+A1 .

Rovnice 1: Výpočet globálního E modulu pružnosti v ohybu (Zdroj: ČSN EN 408+A1)

---

$$E_{m,g} = \frac{3a\ell^2 - 4a^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} \right) - \frac{6a}{5Gb}} h$$

Kde:

$F_2 - F_1$  je přírůstek v newtonech na regresivní přímce se součinitelem korelace 0,99 nebo lepším

$w_2 - w_1$  je přírůstek deformace v milimetrech odpovídající  $F_2 - F_1$

$\ell$  je rozpětí v ohybu v milimetrech

$a$  je vzdálenost mezi působištěm zatížení a nejbližší podporou při ohybové zkoušce v milimetrech

$b$  je šířka průřezu při ohybové zkoušce v milimetrech

$h$  je výška průřezu při ohybové zkoušce v milimetrech

$G$  modul pružnosti ve smyku (uvažuje se nekonečnou hodnotou)

---

Dále byla vypočítána pevnost v ohybu podle ČSN EN 408+A1, která je dána vztahem:

Rovnice 2: Výpočet pevnosti v ohybu (Zdroj: ČSN EN 408+A1)

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$

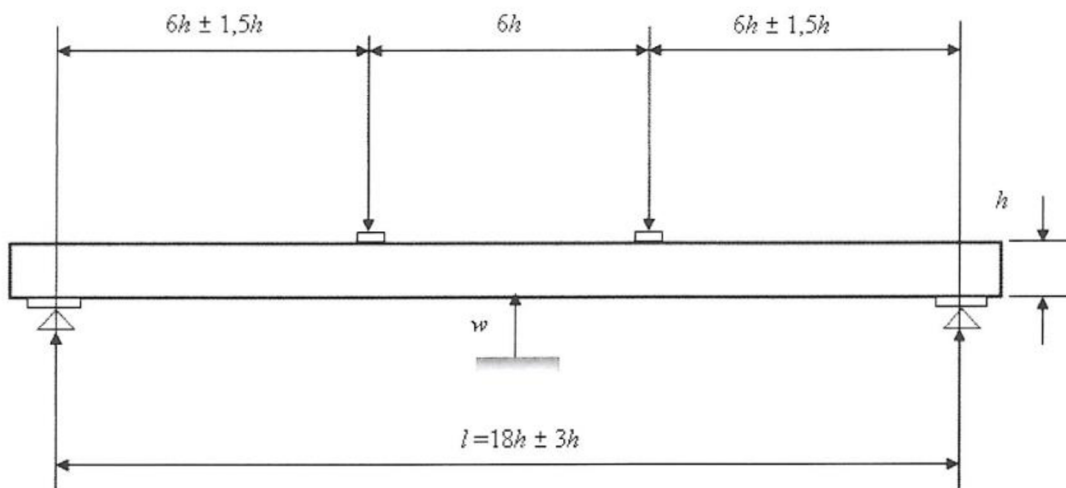
Kde:

$F$  je zatížení newtonech

$a$  je vzdálenost mezi působištěm zatížení a nejbližší podporou při ohybové zkoušce v milimetrech

$b$  je šířka průřezu při ohybové zkoušce v milimetrech

$h$  je výška průřezu při ohybové zkoušce v milimetrech



Obrázek 16: Uspořádání podpěr a zatěžovacího zařízení pro měření globálního modulu pružnosti v ohybu (Zdroj: ČSN EN 408+A1)



Obrázek 17: Průběh zkoušky pevnosti v ohybu a globálního modulu pružnosti v ohybu (Zdroj: Autor práce)

## 4.5 Statistické vyhodnocení

### 4.5.1 Výpočet počtu testovaných vzorků v jedné sadě

Pomocí výběrového šetření bylo požadavkem odhadnout průměrnou hodnotu pevnosti lepeného spoje dřeva. Výpočet bude vycházet ze vzorce přípustné chyby odhadu průměru v základním souboru (Neubauer a kol. 2016). Požadavkem byl odhad s 95% spolehlivostí (na hladině významnosti 0,95) a připouští se maximální chyba 4,0 kPa. Na základě již realizovaného výzkumu testování pevnosti lepeného lamelového dřeva čtyřbodovým ohybem dle Lee a kol. 2005 byla známa hodnota směrodatné odchylky testovaného vzorku počtu měření, která má hodnotu 5,0.

Cílem výpočtu bylo stanovit minimální rozsah výběru, který by zajistil požadovanou přesnost a spolehlivost, tj. požadovaný počet platných měření pro stanovení požadovaného počtu zkušebních těles tak, aby výsledky zkoušek byly statisticky průkazné na požadované hladině významnosti.

---

### Znamé vstupní hodnoty:

Požadovaná hladina významnosti:  $1 - \alpha = 0,95$

Maximální chyba:  $\Delta = 4,0 \text{ kPa}$

Směrodatná odchylka hodnoty pevnosti spoje:  $\sigma = 5,0$

Stanovení počtu vzorků metodou vzorce přístupné chyby odhadu průměru v základním souboru:

$$\Delta = u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Kde:

$\Delta$  ... maximální chyba

$1-\alpha$  ... hladina významnosti

$u_{1-\alpha/2} = u_{0,975} = 1,96$  ... Hodnota kvantilu definovaná z tabulky kvantilů normálního rozdělení (viz tabulka v příloze č. 3)

$$n \geq \frac{u_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \sigma^2}{\Delta^2}$$

$\sigma$  ... směrodatná odchylka

$\Delta$  ... maximální chyba

$u_{1-\alpha/2} = u_{0,975} = 1,96$  ... hodnota kvantilu definovaná z tabulky kvantilů normálního rozdělení

**$n = 6,0025$  – z hlediska přesnosti se zaokrouhluje na 7 platných měření.**

Na základě těchto výpočtů byl stanoven počet měřených vzorků, a to na 7 platných měření.

## 5 Výsledky a statistické vyhodnocení

Hlavním cílem práce je posouzení vlivu stárnutí na pevnost lepeného lamelového dřeva dubu metodou stanovení pevnosti v ohybu. Pro posouzení vlivu stárnutí na míru degradace lepeného lamelového dřeva je použit jeden typ zkušební metody, a to stanovení pevnosti v ohybu dle ČSN EN 408+A1, kde výsledkem testů jsou hodnoty pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva  $\sigma_w$  [MPa] a globální E modul pružnosti v ohybu [N/mm<sup>2</sup>]. V grafech vyhodnocení jsou použity zkratky, které představují:

Tabulka 4: Označení vzorků (Zdroj: Autor práce)

Zkratka	Význam
Ref Masiv bez ochr 0 rok	Referenční vzorek z masivního dřeva dubu nelepeného bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 0 roce
PUR2010 Masiv bez ochr 0 rok	Vzorek lepený lepidlem PUR2010 bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 0 roce
GripPro Plus A011 Masiv bez ochr 0 rok	Vzorek lepený lepidlem GripPro Plus A011 bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 0 roce
Ref Masiv bez ochr 1 rok	Referenční vzorek z masivního dřeva dubu nelepeného bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 1 roce
Ref Masiv Xyladecor Terrace 1 rok	Referenční vzorek z masivního dřeva dubu nelepeného s povrchovou úpravou ochranným prostředkem měřený v 1 roce
PUR2010 Masiv bez ochr 1 rok	Vzorek lepený lepidlem PUR2010 bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 1 roce
UR2010 Masiv Xyladecor Terrace 1 rok	Vzorek lepený lepidlem PUR2010 s povrchovou úpravou ochranným prostředkem měřený v 1 roce
GripPro Plus A011 Masiv bez ochr 1 rok	Vzorek lepený lepidlem GripPro Plus A011 bez povrchové úpravy ochranným prostředkem měřený v 1 roce
GripPro Plus A011 Masiv Xyladecor Terrace 1 rok	Vzorek lepený lepidlem GripPro Plus A011 s povrchovou úpravou ochranným prostředkem měřený v 1 roce

---

## **Pevnost v ohybu $\sigma_w$**

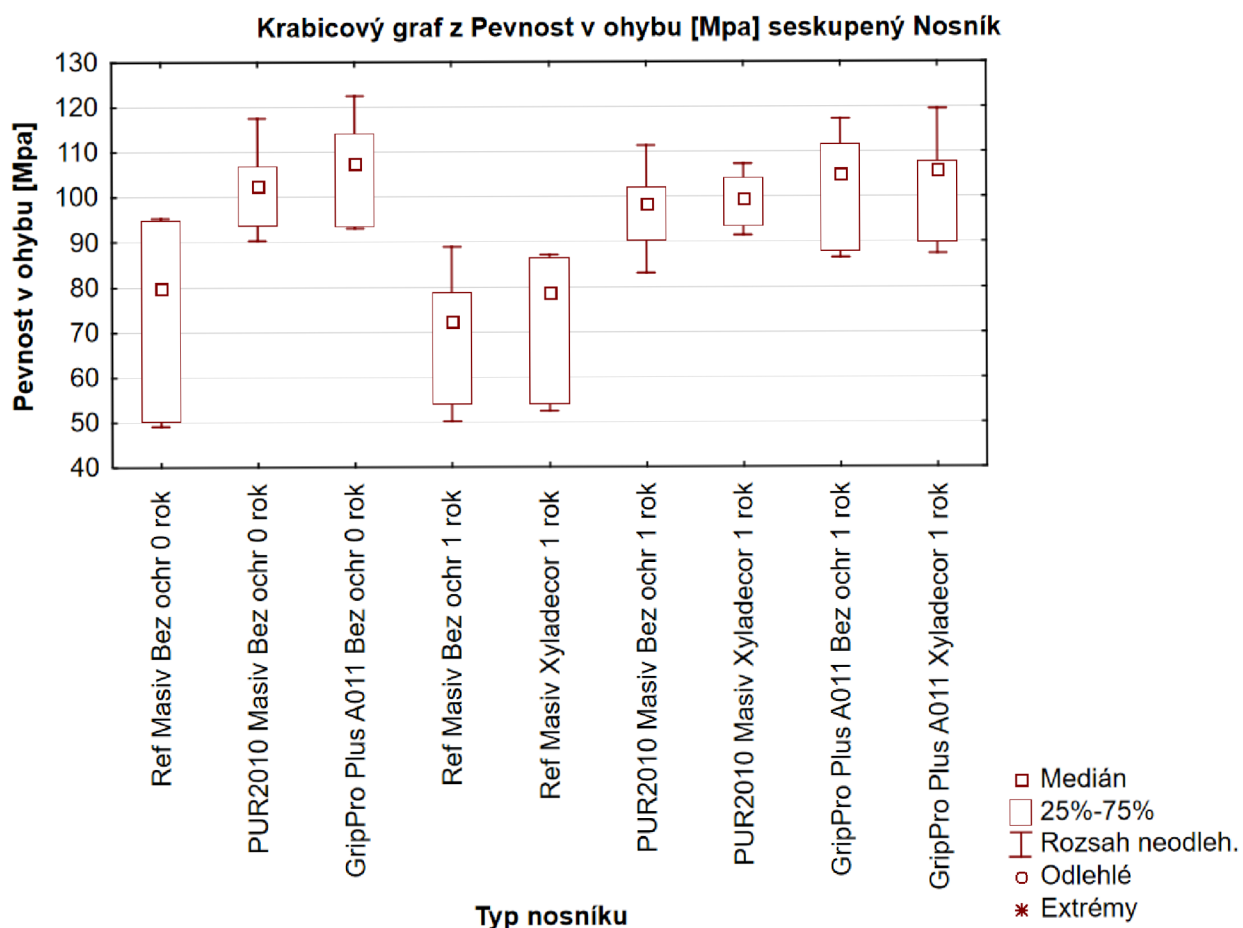
Výsledné hodnoty pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu jsou vypočítány z naměřených hodnot prostřednictvím vzorce (viz rovnice 2) a uvádějí schopnost lepeného lamelového dřeva odolávat zatížení, kdy síla působí v místech mimo podpěry (viz obr. 15).

Pro naměřené hodnoty pevnosti v ohybu byly vypočítány základní popisné statistiky (viz tab. 5). Data byla následně graficky zpracována do krabicových grafů (viz graf 1). Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností v ohybu lepeného lamelového dřeva byl použit test korelační analýzy (viz tab. 7). Pro statistické výpočty byl použit software Statistica 12 (StatSoft CR s.r.o., ČR).

Tabulka 5: Popisné statistiky pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu

(Zdroj: Autor práce)

Proměnná	Popisné statistiky (Pevnost v ohybu)							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Ref Masiv Bez ochr 0 rok	7	72,7412	79,8256	49,14032	95,3065	456,8999	21,37522	29,38531
PUR2010 Masiv Bez ochr 0 rok	7	101,2396	102,5707	90,31517	117,5584	87,7833	9,36928	9,25456
GripPro Plus A011 Bez ochr 0 rok	7	106,1755	107,5088	93,17378	122,4523	110,3339	10,50400	9,89305
Ref Masiv Bez ochr 1 rok	7	70,0252	72,5223	50,19541	88,9755	190,2652	13,79366	19,69816
Ref Masiv Xyladecor 1 rok	7	70,3109	78,8738	52,52229	87,1954	255,9895	15,99967	22,75562
PUR2010 Masiv Bez ochr 1 rok	7	97,7793	98,4168	83,10619	111,4641	81,0666	9,00370	9,20818
PUR2010 Masiv Xyladecor 1 rok	7	99,4748	99,5436	91,51898	107,4341	32,3513	5,68782	5,71785
GripPro Plus A011 Bez ochr 1 rok	7	102,2800	105,1280	86,42286	117,3160	150,1633	12,25411	11,98095
GripPro Plus A011 Xyladecor 1 rok	7	101,8822	106,0840	87,47000	119,4634	131,5637	11,47012	11,25822



Graf 1: Pevnost v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách

(Zdroj: Autor práce)

### Vyhodnocení pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu

Při porovnání referenčních hranolů nelepeného dřeva dubu, lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným adhesivem PUR2010 a adhesivem GripPro PlusA011



---

zkoušených v 0 roce bylo dosaženo nejvyšší pevnosti u lepeného lamelového dřeva s aplikovaným melamin-formaldehydovým adhesivem GripPro PlusA011 s průměrnou pevností 106,17 MPa.

Při porovnání zkušebních vzorků nelepeného dřeva dubu, lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným adhesivem PUR2010 a adhesivem GripPro Plus A011 zkoušených po 1 roce vystavení v exteriéru, bylo dosaženo nejvyšší pevnosti u lepeného lamelového dřeva s aplikovaným melamin-formaldehydovým adhesivem GripPro PlusA011 ošetřených ochranou lazuroou Xyladecor Terrace s průměrnou pevností 102,28 Mpa.

Z výsledků je patrný větší rozptyl pevnosti v ohybu u referenčních hranolů nelepeného dřeva dubu, a to jak v roce 0, tak i po 1. roce měření. Důvodem většího rozptylu pevností u nelepených hranolů je větší obsah vad či zakřiveného průběhu vláken, což je v případě lepeného lamelového dřeva dubu eliminováno.

Celkově rozdíl pevností mezi rokem 0 a rokem 1 u dané varianty testovaných hranolů nejsou zpravidla statisticky významně odlišné, což je způsobeno tím, že ke stanovení pevnosti docházelo u přirozeného stárnutí pouze meziročně, což je relativně krátké období.

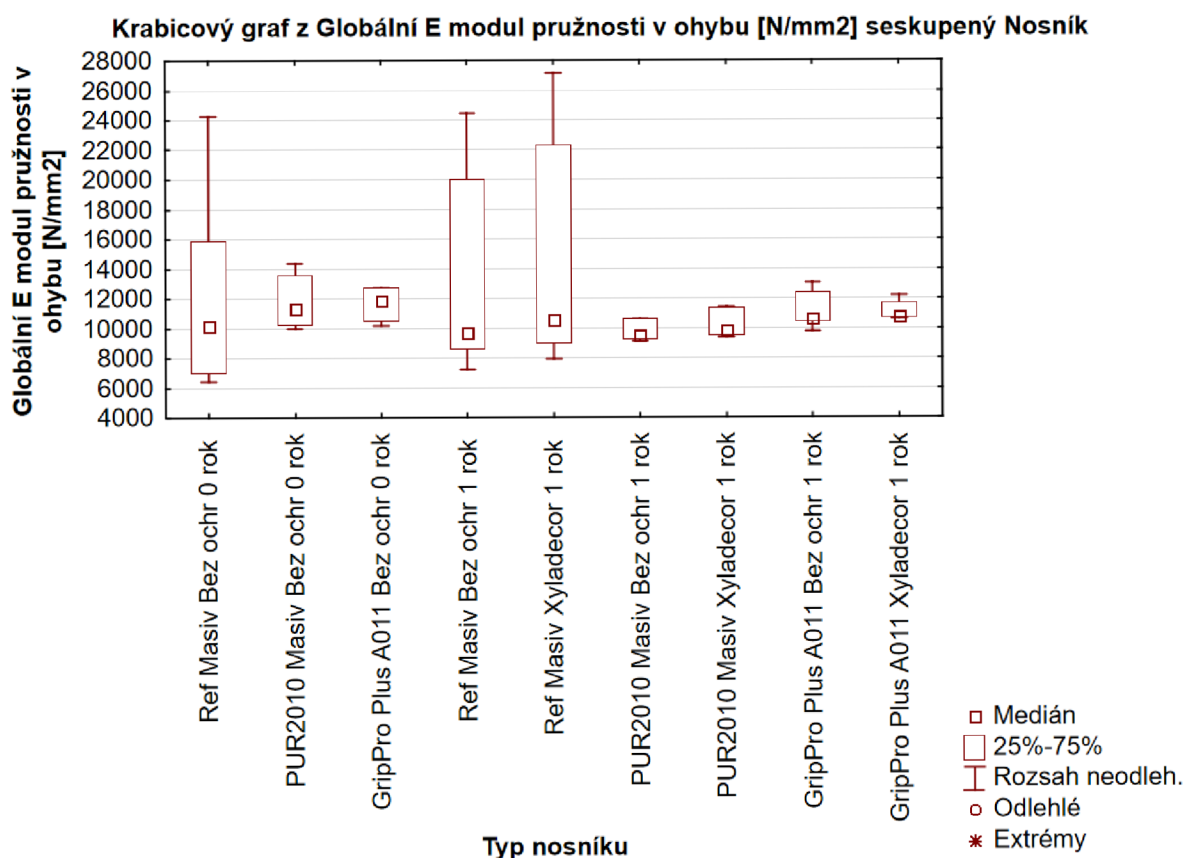
### **Globální E modul pružnosti v ohybu**

Výsledné hodnoty globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu jsou vypočítány z naměřených hodnot prostřednictvím vzorce (viz rov. 1) a charakterizuje deformační vlastnosti lepeného lamelového dřeva při zatížení (viz obr. 15).

Pro naměřené hodnoty globálního E modulu pružnosti v ohybu byly vypočítány základní popisné statistiky (viz tab. 6). Data byla následně graficky zpracována do krabicových grafů (viz graf 2). Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva byl použit test korelační analýzy (viz tab. č. 8). Pro statistické výpočty byl použit software Statistica 12 (StatSoft CR s.r.o., ČR).

Tabulka 6: Popisné statistiky globální E modul pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (Zdroj: Autor práce)

Proměnná	Popisné statistiky (globální E modul pružnosti v ohybu)							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var. koef.
Ref Masiv Bez ochr 0 rok	7	12145,92	10184,37	6455,81	24290,50	38417919	6198,219	51,03129
PUR2010 Masiv Bez ochr 0 rok	7	11148,20	10378,33	9570,34	13320,37	2793668	1671,427	14,99279
GripPro Plus A011 Bez ochr 0 rok	7	12073,34	12727,78	10557,17	13400,85	1357154	1164,970	9,64911
Ref Masiv Bez ochr 1 rok	7	12360,06	9408,62	6956,63	23846,26	42815489	6543,355	52,93951
Ref Masiv Xyladecor 1 rok	7	12951,13	9885,09	7439,76	24802,18	48254780	6946,566	53,63677
PUR2010 Masiv Bez ochr 1 rok	7	9790,65	9518,09	9143,20	10655,45	409863	640,205	6,53895
PUR2010 Masiv Xyladecor 1 rok	7	10206,95	9832,04	9365,43	11394,03	701759	837,711	8,20726
GripPro Plus A011 Bez ochr 1 rok	7	11144,10	10650,34	9786,55	13073,04	1375528	1172,829	10,52421
GripPro Plus A011 Xyladecor 1 rok	7	11112,90	10786,58	10663,30	12232,14	366441	605,344	5,44722



Graf 2: Globální E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách (Zdroj: Autor práce)

## Vyhodnocení globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu

---

Při porovnání referenčních hranolů nelepeného dřeva dubu, lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným adhesivem PUR2010 a adhesivem GripPro Plus A011 zkoušených v 0 roce bylo dosaženo nejvyššího globálního E modulu pružnosti u nelepeného vzorku z masivu s průměrnou hodnotou  $12145,92 \text{ N/mm}^2$ . Z lepených vzorků pak nejlépe vyšly hranoly, které byly lepené melamin-formaldehydovým adhesivem GripPro Plus A011  $12073,06 \text{ N/mm}^2$ .

Při porovnání zkušebních vzorků nelepeného dřeva dubu, lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným adhesivem PUR2010 a adhesivem GripPro Plus A011 zkoušených po 1 roce vystavení v exteriéru, bylo dosaženo nejvyšší pevnosti u nelepeného vzorku ošetřeného ochranou lazurou Xyladecor Terrace a to  $12951,13 \text{ N/mm}^2$ . Z lepených vzorků pak nejlépe vyšly neošetřené hranoly, které byly lepené melamin-formaldehydovým adhesivem GripPro Plus A011  $11144,10 \text{ N/mm}^2$ .

Z výsledků je patrný větší rozptyl globálního E modulu pružnosti v ohybu u referenčních hranolů nelepeného dřeva dubu, a to jak v roce 0, tak i po 1. roce měření. Důvodem většího rozptylu pevností u nelepených hranolů je větší obsah vad či zakřiveného průběhu vláken, což je v případě lepeného lamelového dřeva dubu eliminováno.

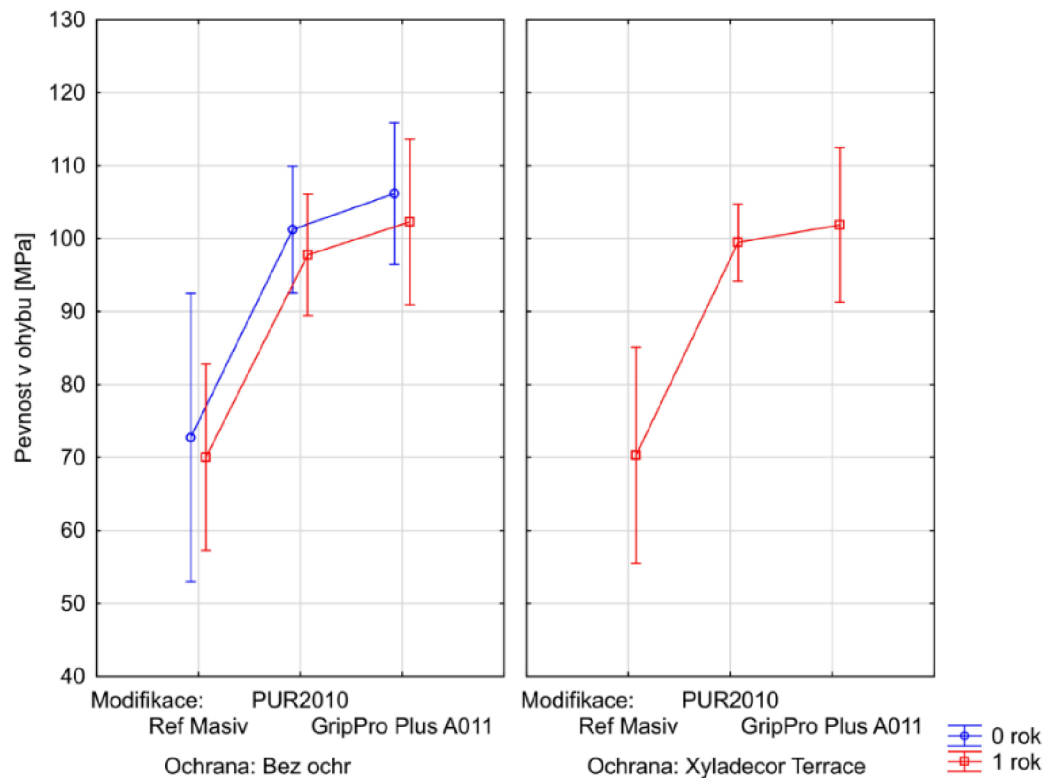
Celkový rozdíl hodnot globálního E modulu pružnosti v ohybu mezi rokem 0 a rokem 1 u dané varianty testovaných hranolů nejsou zpravidla statisticky významně odlišné, což je způsobeno tím, že ke stanovení hodnot pro výpočet globálního E modulu pružnosti v ohybu docházelo u přirozeného stárnutí pouze meziročně, což je relativně krátké období.

### **Otestování síly lineární závislosti**

Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (tab. 7) a otestování síly závislosti mezi hodnotami globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (tab. 8) byl použit vícenásobný test Duncanův. Hodnoty zvýrazněné červeně ukazují závislost proměnných na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $p < 0,05$ ), tyto hodnoty se vzájemně statisticky odlišují. Ostatní hodnoty se prokazatelně statisticky vzájemně neliší, resp. liší se pouze v rámci statistické chyby.

## Pevnost v ohybu $\sigma_w$

Závislost pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách vyjadřují následující grafy 3. V pravém grafu nejsou vyneseny závislosti hodnot pevností, stanovených v roce 0. To je z důvodu, že na počátku testu stanovení pevnosti lepeného lamelového dřeva dubu pro stanovení vlivu přirozeného stárnutí na míru degradace byla stanovena pevnost pouze u referenčních hranolů z masivního dřeva dubu a hranolů lepeného lamelového dřeva dubu bez aplikovaného ochranného nátěrového systému Xyladecor Terrace (v grafu 3 modrá křivka). Předpokládá se, že nátěrový systém pro ochranu povrchu dřeva nemá v roce 0 (počátek měření) vliv na pevnost zkušebních hranolů v porovnání k hranolům povrchově neošetřeným.



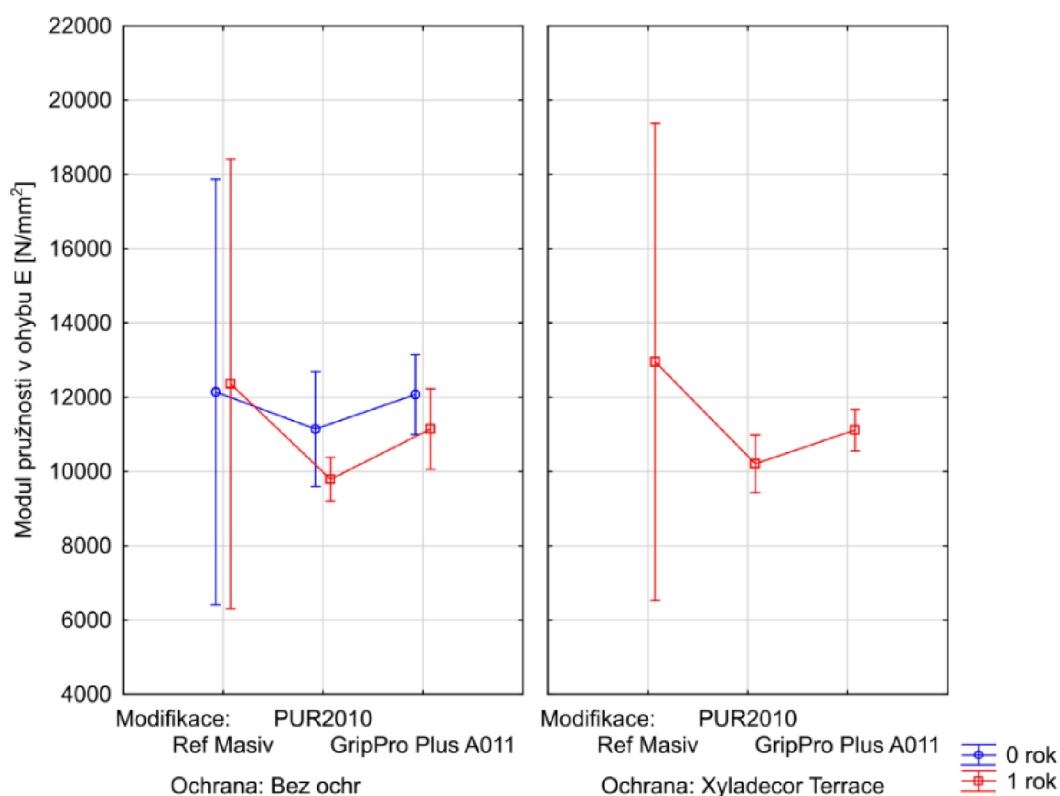
Graf 3: Síla závislosti pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách (Zdroj: Autor práce)

Tabulka 7: Test závislosti pevnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu  
testem Duncanův (Zdroj: Autor práce)

Duncanův test; proměnná Pevnost v ohybu [MPa]											
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy											
Chyba: meziskup. PČ = 166,27, SV = 54,000											
			Ref Masiv	Ref Masiv	Ref Masiv	PUR2010	PUR2010	PUR2010	GripPro Plus A011	GripPro Plus A011	GripPro Plus A011
			0 rok	1 rok	1 rok	0 rok	1 rok	1 rok	0 rok	1 rok	1 rok
Modifikace	Expozice	Ochrana	Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace	Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace	Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace
Ref Masiv	0 rok	Bez ochr		0,713952	0,725882	0,000277	0,000737	0,000467	0,000056	0,000226	0,000240
Ref Masiv	1 rok	Bez ochr	0,713952		0,967185	0,000116	0,000373	0,000212	0,000028	0,000087	0,000096
Ref Masiv	1 rok	Xyladecor Terrace	0,725882	0,967185		0,000118	0,000349	0,000215	0,000029	0,000092	0,000102
PUR2010	0 rok	Bez ochr	0,000277	0,000116	0,000118		0,640429	0,799008	0,521352	0,888689	0,926160
PUR2010	1 rok	Bez ochr	0,000737	0,000373	0,000349	0,640429		0,806725	0,295261	0,568679	0,594160
PUR2010	1 rok	Xyladecor Terrace	0,000467	0,000212	0,000215	0,799008	0,806725		0,395580	0,715839	0,745311
GripPro Plus A011	0 rok	Bez ochr	0,000056	0,000028	0,000029	0,521352	0,295261	0,395580		0,574405	0,562193
GripPro Plus A011	1 rok	Bez ochr	0,000226	0,000087	0,000092	0,888689	0,568679	0,715839	0,574405		0,954299
GripPro Plus A011	1 rok	Xyladecor Terrace	0,000240	0,000096	0,000102	0,926160	0,594160	0,745311	0,562193	0,954299	

### Globální E modul pružnosti v ohybu

Závislost globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách vyjadřují následující grafy 4. V pravém grafu nejsou vyneseny závislosti hodnot pevností, stanovených v roce 0. To je z důvodu, že na počátku testu stanovení globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu pro stanovení vlivu přirozeného stárnutí na míru degradace byl stanoven globální E modul pružnosti pouze u referenčních hranolů z masivního dřeva dubu a hranolů lepeného lamelového dřeva dubu bez aplikovaného ochranného nátěrového systému Xyladecor Terrace (v grafu 4 modrá křivka). Předpokládá se, že nátěrový systém pro ochranu povrchu dřeva nemá v roce 0 (počátek měření) vliv na globální E modul pružnosti v ohybu zkušebních hranolů v porovnání k hranolům povrchově neošetřeným.



Graf 4: Globální E modul pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu při různých úpravách (Zdroj: Autor práce)

Tabulka 8: Test závislosti globálního E modulu pružnosti v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu testem Duncanův (Zdroj: Autor práce)

Duncanův test; proměnná Modul pružnosti v ohybu E [N/mm <sup>2</sup> ] Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1517E4, SV = 54,000											
Modifikace	Expozice	Ochrana	Ref Masiv	Ref Masiv	Ref Masiv	PUR2010	PUR2010	PUR2010	GripPro Plus A011	GripPro Plus A011	GripPro Plus A011
			0 rok	1 rok	1 rok	0 rok	1 rok	1 rok	0 rok	1 rok	1 rok
			Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace	Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace	Bez ochr	Bez ochr	Xyladecor Terrace
Ref Masiv	0 rok	Bez ochr		0,918539	0,718993	0,655648	0,337588	0,424045	0,972419	0,666761	0,665269
Ref Masiv	1 rok	Bez ochr	0,918539		0,777660	0,602323	0,300309	0,380832	0,898423	0,610308	0,607767
Ref Masiv	1 rok	Xyladecor Terrace	0,718993	0,777660		0,449318	0,206033	0,268524	0,705990	0,456362	0,454571
PUR2010	0 rok	Bez ochr	0,655648	0,602323	0,449318		0,569167	0,685806	0,658632	0,998515	0,988337
PUR2010	1 rok	Bez ochr	0,337588	0,300309	0,206033	0,569167		0,842348	0,346334	0,560492	0,554492
PUR2010	1 rok	Xyladecor Terrace	0,424045	0,380832	0,268524	0,685806	0,842348		0,433450	0,675327	0,665264
GripPro Plus A011	0 rok	Bez ochr	0,972419	0,898423	0,705990	0,658632	0,346334	0,433450		0,677915	0,679751
GripPro Plus A011	1 rok	Bez ochr	0,666761	0,610308	0,456362	0,998515	0,560492	0,675327	0,677915		0,988200
GripPro Plus A011	1 rok	Xyladecor Terrace	0,665269	0,607767	0,454571	0,988337	0,554492	0,665264	0,679751	0,988200	

---

## 6 Diskuze

Při porovnání pevnosti v ohybu lepených vzorků a hranolů z nelepeného masivního dřeva je patrné, že masivní hranoly nedosahovaly takové pevnosti jako lepené hranoly. Nejvyšší pevnost v ohybu nelepených hranolů byla v 0 roce (průměrná hodnota pevnosti v ohybu 72,74 MPa). Po prvním roce v exteriéru byl zaznamenán mírný pokles v pevnosti, a to prakticky bez rozdílu mezi ošetřenými a neošetřenými vzorky (průměrná pevnost v ohybu 70 MPa). Zároveň lze pozorovat velký rozptyl mezi pevnostmi nelepených hranolů (viz graf 1). Tento rozdíl mezi pevnostmi lepených a nelepených hranolů je pravděpodobně způsoben zakřiveným průběhem vláken a přítomností vad ve dřevě (Požgaj et al. 1997). Což je díky lamelám, ze kterých tyto vady byly vymanipulovány a při lepení zkušebních vzorků bylo možné průběh vláken ovlivnit, eliminovat.

Výsledky ohybové pevnosti a globálního modulu pružnosti u obou typů lepených vzorků vykazují mírný pokles. V případě ochráněných vzorků lazurou Xyladecor Terrace je u hranolů lepených adhesivem GripPro Plus A011 hodnota ohybové pevnosti a modulu pružnosti bez většího rozdílu. U vzorků, které byly lepeny adhesivem PUR2010 je tento rozdíl nepatrně větší s tím, že ochráněné vzorky vydržely o něco větší zatížení (viz graf 1). Tento rozdíl mohl být způsoben schopností nátěru odolávat a odrážet UV záření ze slunce, které má negativní vliv na polyuretany a tedy i na polyuretanová adhesiva (Clerc et al. 2017).

Dle výzkumu, který byl proveden na lepeném lamelovém dřevu buku v exteriéru (Hassani et al. 2016) bylo zjištěno, že velký význam má tloušťka lamel v lamelovém dřevě. Výhodnější je pro dosažení vyššího modulu pružnosti a ohybové pevnosti lepeného lamelového dřeva menší průřez lamel. Při menším průřezu nevzniká na lepenou spáru a na dřevo samotné takové napětí a zabrání se vnitřním prasklinám v průřezu nosníku vlivem vlhkostních změn.

Důvodem poklesu ohybové pevnosti a globálního modulu pružnosti může být mimo jiné také mráz, přesněji střídání vlhkosti, mrazu a rozmrazování. Toto střídání může mít negativní vliv právě na modul pružnosti a pevnost v ohybu lepených nosníků jak bylo prokázáno v práci „Vliv cyklů zmrazování a rozmrazování na fyzikální a mechanické vlastnosti lepeného dřeva vystavených venkovnímu prostředí“ (Yang et al. 2021).

---

Vzhledem ke stavu po prvním roce (viz příloha č. 5) lze předpokládat, že celková pevnost bude v průběhu zkoumaného období klesat z důvodu narušení soudržnosti lepené spáry. Narušení soudržnosti lepené spáry mohlo být způsobeno chemismem lepidla a dřeva dubu (S. Bockel et al. 2019), přesněji extraktivních látek obsažených ve dřevě dubu. Dále hraje velkou roli bobtnání a sesychání dřeva dubu kvůli střídání vlhkosti a teploty, které způsobilo vnitřní a zbytkové napětí. Tato napětí mohou negativně působit na lepenou spáru (Hassani et al. 2016).

Obecně lze říci, že pevnost lepeného lamelového dřeva vystaveného v exteriérových podmínkách záleží hlavně na degradaci dřeva (Clerc et al. 2017) proto lze očekávat, že v průběhu let co budou vzorky exponovány v exteriéru, bude zřetelnější větší rozdíl mezi ošetřenými a neošetřenými hranoly.



---

## 7 Závěr

V práci byla zpracována literární rešerše, ve které byla rozebrána problematika výroby lepeného lamelového dřeva, použitých lepidel, problematika odolnosti dřeva, jeho přirozeného stárnutí, chemický charakter dřeva a jeho vliv na lepení lepeného lamelového dřeva.

Na základě této rešerše byl dle normy ČSN EN 408+A1 navržen vhodný metodický postup pro posouzení chování lepeného lamelového dřeva dubu exponovaného do exteriéru kde bylo namáháno přirozeným stárnutím.

Naměřené výsledky byly mezi sebou porovnány. Nejvyšší pevnost v ohybu vykazovaly hranoly, které byly lepeny melamin-formaldehydovým lepidlem GripPro Plus A011 v 0 roce s průměrnou hodnotou 106,18 MPa. Vzorky lepené stejným lepidlem, které byly vystaveny jeden rok v exteriéru a nebyly ochráněny lazurou Xyladecor Terrace (průměrná pevnost v ohybu 102,28 MPa) a chráněné vzorky touto lazurou (průměrná pevnost v ohybu 101,88 MPa) vykazovaly menší pevnost v ohybu (viz graf 1). Tento rozdíl není však statisticky významný (viz tab. 7), což je způsobeno tím, že tyto vzorky byly vystaveny pouze 1 rok.

Hranoly lepené druhým zkoumaným adhesivem PUR2010 vykazovaly v 0 roce pevnost v ohybu 101,24 MPa. Po prvním roce exponované vzorky vykazovaly mírný pokles v pevnosti a to 97,70 MPa u vzorku které nebylo chráněno ochranou lazurou Xyladecor Terrace a 99,47 MPa které bylo chráněno touto povrchovou úpravou (viz graf 1). Stejně jako u předchozího adhesiva, není tento pokles statisticky významný (viz tab. 7) z důvodu krátké expozice v exteriéru.

Nejvyšší hodnotu globálního E modulu pružnosti vykazovaly vzorky nelepených hranolů, které byly ošetřeny lazurou Xyladecor Terrace po vystavení v exteriéru po 1 roce (průměrná hodnota 12951 N/mm<sup>2</sup>). Z lepených vzorků pak měly nejvyšší hodnotu v modulu pružnosti vzorky v roce 0 lepené adhesivem GripPro Plus A011 (průměrná hodnota 12 073,34 N/mm<sup>2</sup>). U těchto vzorků lepených melamin-formaldehydovým adhesivem byl zaznamenán mírný pokles v hodnotách modulu pružnosti (průměrná hodnota u ošetřených vzorků 11 112,9 N/mm<sup>2</sup> a 11 144,1 N/mm<sup>2</sup> u neošetřených vzorků). Po prvním roce u vzorků, které byly lepeny polyuretanovým adhesivem PUR2010 byl rozdíl mezi ošetřenými a neošetřenými vzorky větší (průměrná hodnota modulu pružnosti ošetřených vzorků 10 206,95 N/mm<sup>2</sup> u neošetřených 9 790,65 N/mm<sup>2</sup>).

---

Součástí vyhodnocení je vizuální analýza lomů testovaných nosníků. U testovaných vzorků byly charakteristické především 4 typy lomů, které jsou uvedeny v příloze č. 4. U zkušebních těles referenčních nosníků z masivního dřeva dubu došlo ke zlomu vlivem ohybových sil a částečným podílem napětí ve smyku (viz obr. 1 a 2 v příloze 4). Při porovnání obou adhesiv referenčních vzorků lepeného lamelového dřeva bylo zjištěno, že většina vzorků lepených polyuretanovým adhesivem PUR2010 byla rozlepena v lepené spáře (viz obr. 5 a 6 v příloze 4), kdežto hranoly lepené melamin-formaldehydovým lepidlem byly přelomeny ve dřevě. Exponované hranoly bez povrchové ochrany lepené polyuretanovým lepidlem vykazovaly lepší soudržnost lepené spáry v porovnání s hranoly lepených melamin-formaldehydovým lepidlem. U exponovaných hranolů, které byly natřeny ochranou lazurou byl poměr mezi zlomy ve dřevě a v lepené spáře stejný.

Tato práce je jistě přínosem pro vědu, neboť je součástí komplexního projektu TAČR. V oblasti vlivu stárnutí na lepené lamelové dřevo je bezpochyb mnoho prostoru pro další výzkum, který doplní databázi informací této problematiky.

---

## 8 Seznam použitých zdrojů

### Literatura:

BAIER, Jiří a Zdeněk TÝN. Ochrana dřeva. Vyd. 3., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 1996. Profi & hobby. ISBN 80-7169-275-1.

BOCKEL, S., I. MAYER, J. KONNERTH, et al. The role of wood extractives in structural hardwood bonding and their influence on different adhesive systems. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2019, 91, 43-53 [cit. 2022-04-08]. ISSN 01437496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2019.03.001

CLERC, Gaspard, Martina BRÜLISAUER, Samuel AFFOLTER, Thomas VOLKMER, Frédéric PICHELIN a Peter NIEMZ. Characterization of the ageing process of one-component polyurethane moisture curing wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2017, 72, 130-138 [cit. 2022-04-06]. ISSN 01437496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2016.09.008

CRUPI, Vincenzo; MONTANINI, Roberto. Aluminium foam sandwiches collapse modes under static and dynamic three-point bending. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34.3: 509-521.

DAWSON, Bernard S. W., Adya P. SINGH, Hank W. KROESE, Michael A. SCHWITZER, Suzanne GALLAGHER, Stephen J. RIDDIOUGH a Shuhong WU. Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wood. Part 2: coating and weathering performance. *Journal of Coatings Technology and Research* [online]. 2008, 5(2), 207-219 [cit. 2022-04-06]. ISSN 1547-0091. Dostupné z: doi:10.1007/s11998-008-9090-z

EATON, E., G. CAUDULLO, S. OLIVEIRA a D. DE RIGO, 2016. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. 2016, 4

ECKELMAN, Carl A. The shrinking and swelling of wood and its effect on furniture. Purdue University Cooperative Extension Service, 1998.

EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.

EVANS, Philip D., Sara KRAUSHAAR GIBSON, Ian CULLIS, Chunling LIU a Gilles SÈBE. Photostabilization of wood using low molecular weight phenol formaldehyde resin and hindered amine light stabilizer. *Polymer Degradation and Stability* [online].

---

2013, 98(1), 158-168 [cit. 2022-04-08]. ISSN 01413910. Dostupné z: doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.015

FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of weathering and protection. The chemistry of solid wood. 1984, s. 401-451

FRIHART, Charles R. Adhesive Groups and How They Relate to the Durability of Bonded Wood. Journal of Adhesion Science and Technology [online]. 2009, **23**(4), 601-617 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0169-4243. Dostupné z: doi:10.1163/156856108X379137

GANDELOVÁ, Libuše a Petr HORÁČEK. Nauka o dřevě. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-577-1.

HASSANI, Mohammad Masoud, et al. Moisture-induced damage evolution in laminated beech. Wood science and technology, 2016, 50.5: 917-940.

HOLAN, Jiří. Dřevo v domácnosti: ochrana, údržba, renovace. Brno: ERA, 2006. Stavíme. ISBN 80-7366-049-0.

HSE, Chung-Yun; KUO, Mon-lin. Influence of extractives on wood gluing and finishing-a review. Forest Products Journal 38 (1): 52-56, 1988.

JANKOVSKÝ, Miroslav, Ludmila STASZKOVÁ a Jaromír LACHMAN. Chemie dřeva. Praha: Česká zemědělská univerzita, 1999. ISBN 80-213-0559-2.

JELÍNEK, Lubomír. Dřevěné a kovové konstrukce podle ČSN EN 1995-1-1 a ČSN EN 1993-1-1. Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2012. ISBN 978-80-86837-42-0.

KETTUNEN, Pentti O. Wood: Structure and Properties. Uetikon-Zuerich: Trans Tech Publications, 2006. Materials Science Foundations. ISBN 978-0-87849-487-3.

KOLLMANN, Franz F.P. a Wilfred A.Jr. COTE, 1968. Principles of Wood Science and Technology. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-04297-6.

KONNERTH, Johannes, Marcel KLUGE, Georg SCHWEIZER, Milica MILJKOVIĆ a Wolfgang GINDL-ALTMUTTER. Survey of selected adhesive bonding properties of nine European softwood and hardwood species. European Journal of Wood and Wood Products [online]. 2016, 74(6), 809-819 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0018-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00107-016-1087-1

---

KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.

LAKUSIC, Stjepan. Application of hardwood for glued laminated timber in Europe. Journal of the Croatian Association of Civil Engineers [online]. 2020, 72(07), 607-616 [cit. 2022-04-07]. ISSN 03502465. Dostupné z: doi:10.14256/JCE.2741.2019

LEE, Jun Jae, Joo Saeng PARK, Kwang Mo KIM a Jung Kwon OH. Prediction of bending properties for structural glulam using optimized distributions of knot characteristics and laminar MOE. Journal of Wood Science [online]. 2005, **51**(6), 640-647 [cit. 2022-03-28]. ISSN 1435-0211. Dostupné z: doi:10.1007/s10086-005-0704-0

NANDANWAR, Anand, M. VENUGOPAL NAIDU a C. N. PANDEY. A study on the effect of loading methods (central and two-point) on the bending properties of panel products. Journal of the Indian Academy of Wood Science [online]. 2011, **8**(1), 1-5 [cit. 2022-03-26]. ISSN 0972-172X. Dostupné z: doi:10.1007/s13196-011-0015-6

NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KRÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5.

OSTEN, Miloš. Práce s lepidly a tmely. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982. Polytechnická knihovnice (SNTL).

PÁNEK, M., DVOŘÁK, O., Effectiveness of two different hydrophobic topcoats for increasing of durability of exterior coating systems on oak wood. Coatings, 2019, 9.5: 280.

PIZZI, A. a K. L. MITTAL, ed., 2018. Handbook of Adhesive Technology. 3rd Edition. Boca Raton: CRC Press. ISBN 9780367572396

PODRÁZSKÝ, Vilém; ZAHRADNÍK, Daniel; REMEŠ, Jiří. Potential consequences of tree species and age structure changes of forests in the Czech Republic—review of forest inventory data. Wood Research, 2014, 59.3: 483-490.

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

- 
- REICHL, Jaroslav. Záření absolutně černého tělesa. In: [Http://fyzika.jreichl.com/](http://fyzika.jreichl.com/) [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- REINPRECHT, Ladislav a Miloš PÁNEK. Trvanlivost a ochrana dřeva. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2660-6.
- REINPRECHT, Ladislav, 2012. Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 9788022823517.
- ROFFAEL, Edmone. Significance of wood extractives for wood bonding. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2016, 100(4), 1589-1596 [cit. 2022-03-26]. ISSN 0175-7598. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-015-7207-8
- ROWELL, Roger M., ed. Handbook of wood chemistry and wood composites. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2013. ISBN 978-1-4398-5380-1.
- SEDLIAČIK, Milan a Ján SEDLIAČIK. Chemické látky v dřevárskom priemysle. Zvolen: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-228-0745-1.
- SCHEFFER, Theodore Comstock, et al. Natural durability of wood: A worldwide checklist of species. 1998.
- SOUTSOS, Marios a Peter DOMONE. Construction Materials: Their Nature and Behaviour, Fifth Edition. 5th. London: CRC Press, 2017. ISBN 978-1-4987-4110-1.
- Surface Characterization. ROWELL, Roger M., ed. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites [online]. CRC Press, 2012, 2012-9-6, s. 234-271 [cit. 2022-03-25]. ISBN 9780429109096. Dostupné z: doi:10.1201/b12487-13
- The Chemistry of solid wood: based on a short course and symposium...at the 185th meeting of the American Chemical Society, Seattle Washington, March 20-25, 1983. Washington: American Chemical Society, 1984. Advances in Chemistry Series. ISBN 0-8412-0796-8.
- TOLVAJ, L.; MITSUI, K. Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of wood science*. 2005, vol. 51, no.5, s. 468-473
- VAN ACKER, Joris, et al. Biological durability of wood in relation to end-use. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2003, 61.1: 35-45.

---

WILLIAMS, R. S.; FEIST, W. C. Water repellents and water-repellent preservatives for wood. Forest Products Laboratory, 1999

YANG, Ruyuan, Haitao LI, Assima DAULETBEK, Mahmud ASHRAF, Rodolfo LORENZO, Youfu SUN a Yuehong WU. Effects of Freeze-Thaw Cycles on Physical and Mechanical Properties of Glulam Exposed to Outdoor Environment. Journal of Renewable Materials [online]. 2021, 9(7), 1293-1307 [cit. 2022-03-26]. ISSN 2164-6341. Dostupné z: doi:10.32604/jrm.2021.015296

ZEIDLER, Aleš a Vlastimil BORŮVKA. Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2674-3.

---

**Internetové zdroje:**

HALA JIČÍN. In: Kaspercz.cz [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: [https://www.kaspercz.cz/reference/detail/hala-jicin\\_10/](https://www.kaspercz.cz/reference/detail/hala-jicin_10/)

Lepené lamelové dřevo. Konstrukce-tesko.cz [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <http://www.konstrukce-tesko.cz/lepene-lamelove-drevo-vyroba-a-prodej>

PODRÁZSKÝ, Vilém, Jan KOUBA, Daniel ZAHRADNÍK a Igor ŠTEFANČÍK. Změny v druhové skladbě českých lesů Výzva pro lesnický i dřevozpracující sektor [online]. In: . s. 5 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/9980-zmeny-v-druhove-skladbe-ceskych-lesu>

**Použité normy:**

ČSN EN 408+A1: Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností.



---

## 9 Seznam příloh

### Seznam příloh

**Příloha 1:** Technický list použitého melamin-močovino-formaldehydového adhesiva GripPro Plus A011 + tvrdidla Plus H011

**Příloha 2:** Technický list použitého polyuretanového adhesiva PUR2010

**Příloha 3:** Distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

**Příloha 4:** Fotky zkušebních těles po ohybové zkoušce

**Příloha 5:** Fotky poškozených zkušebních těles v exteriéru

---

# Příloha 1: Technický list použitého melamin-močovino-formaldehydového adhesiva GripPro Plus A011 + tvrdidla Plus H011

AkzoNobel Wood Coatings  
Wood Finishes and Adhesives



---

## Product Information

### Plus



AkzoNobel System GripPro™ Plus besteht aus Plus A011, einem flexiblen, flüssigen Melamin Leim und Plus H011, einem flüssigen Härter.

Es handelt sich um ein helles Leimsystem, welches in gemischtem oder getrenntem Auftrag von Leim und Härter für tragende Holzkonstruktionen, wie z. B. Brettschichtholz, Brettspertholz oder Duo-/Trio-Balken eingesetzt werden kann.

Plus wird in der Holzverarbeitenden Industrie eingesetzt, wo Anforderungen an eine helle Leimfuge mit hoher Wasser- und Wetterfestigkeit gestellt werden.

Plus wurde gemäß den Anforderungen in EN 301:2013 als Klebstofftyp I durch die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart – Otto-Graf-Institut - (MPA), Deutschland, für ein flexibles Mischungsverhältnis geprüft und anerkannt (siehe unten). Das Produkt ist für die Herstellung von Brettschichtholz gemäß EN14080:2013 geeignet.

Das Klebstoffsystem erfüllt die Anforderungen folgender Typen:

EN 301-I-90-GP-0,6-M  
EN 301-I-90-GP-0,3-S  
EN 301-I-90-FJ-0,1-M

Des Weiteren ist das Leimsystem durch die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart – Otto-Graf-Institut - (MPA), Deutschland nach DIN 68141:2008, geprüft worden und erfüllt die Anforderungen an die Produktion von tragenden geklebten Holzbauteilen gemäß DIN 1052 für ein flexibles Mischungsverhältnis (siehe unten).

Bei getrenntem Auftrag von Leim und Härter wird der Einsatz der Gießanlage 6230 oder 7230 Ecoflex empfohlen.

#### Contact Information

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/casoadhesives](http://www.akzonobel.com/casoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

AkzoNobel approval code: AN\_200100\_210114

## Produktspezifikation

	Plus A011	Plus H011
<b>Produkt</b>	Melamin Klebstoff	Härter
<b>Lieferform</b>	Flüssig	Flüssig
<b>Farbe</b>	opak weiß	Weiß
<b>Viskosität</b> (zum Zeitpunkt der Produktion)	2000 - 9000 mPas (Brookfield LVT, sp. 4, 12 rpm, 25°C)	1700 - 2700 mPas (Brookfield LVT, sp4, 60 rpm, 25°C)
<b>pH</b> (zum Zeitpunkt der Produktion)	8,5-9,3 (bei 25°C)	1,3 – 2,0
<b>Trockengehalt</b>	Ca. 65%	Entfällt
<b>Dichte</b>	ca. 1290 kg/m <sup>3</sup>	ca. 1070 kg/m <sup>3</sup>

### Lagerbedingungen und Lagerstabilität

Um die angegebene Lagerstabilität zu gewährleisten ist es äußerst wichtig, dass das Produkt unter den empfohlenen Lagerbedingungen bevorratet wird.

Die optimale Lagertemperatur für den Leim liegt zwischen 5°C und 20°C.

Nur kurzfristige Lagerung bei Temperaturen unter +5°C und über +30°C zulässig. Das Produkt darf gefrieren, muss dann jedoch aufgetaut, auf Raumtemperatur gebracht und vor Gebrauch homogenisiert werden.

Die optimale Lagertemperatur für den Härter liegt zwischen 15°C und 25°C.

Nur kurzfristige Lagerung bei Temperaturen unter +10°C und über +30°C zulässig. Gefrorenes Produkt kann, aufgrund irreversibler Veränderungen, nicht wieder aufgetaut und verarbeitet werden.

Die Lagerstabilität eines Produktes wird durch Parameter wie z. B. Reaktivität, Viskosität oder Rheologie bestimmt. Die Lagerfähigkeit endet, sobald sich die Reaktivität, Viskosität oder Rheologie von einem stabilen Wert in einen Wert, der die Verleimqualität beeinträchtigt, umwandelt.

Wenn das Gebinde über einen längeren Zeitraum unverschlossen ist, ist der Leim anfällig für Hautbildung an der Oberfläche. Zur Vermeidung halten Sie die Verpackung stets geschlossen, wenn sie nicht in Gebrauch ist.

Die Lagerzeit der Komponenten finden Sie bitte nachfolgend:

Lagerfähigkeit (Monate)		15°C	20°C	25°C	30°C
	Plus A011	4	3	1,5	1
	Plus H011	4	4	3	2,5

### Contact Information

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](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

## Verarbeitungshinweise

Plus wurde für die Verwendung in der Holzverarbeitenden Industrie in Anwendungsbereichen wie der BSH-Produktion gemäß EN14080:2013, CLT, Duo- und Trio-Balken sowie I-Träger entwickelt.

### Mischungsverhältnis

Plus ist gemäß EN301:2013 für nachfolgendes Mischungsverhältnis zugelassen:

<b>Fichte, Kiefer, Tanne</b> (nach Gewichtsteilen)	gemischt bei Keilzinkenverklebung	100 : 10-100 (Leim : Härter)
	gemischt und getrennt bei Flächenverklebung	100 : 30-100 (Leim : Härter)
<b>Europäische Lärche</b> (nach Gewichtsteilen)	gemischt bei Keilzinkenverklebung	100 : 30-60 (Leim : Härter)
	gemischt und getrennt bei Flächenverklebung	100 : 30-60 (Leim : Härter)
<b>Sibirische Lärche</b> (nach Gewichtsteilen)	gemischt bei Keilzinkenverklebung	Prüfung läuft
	gemischt und getrennt bei Flächenverklebung	Prüfung läuft

Leim und Härter müssen entsprechend dem oben genannten Mischungsverhältnis verwendet werden. Bei abweichendem Mischungsverhältnis werden unterschiedliche Faktoren, wie z. B. Presszeit, Topfzeit, Wartezeiten sowie die Leimfugenqualität beeinflusst.

Die maximal zulässige Abweichung der Härtermenge beträgt bei der Produktion von tragenden Holzbauteilen  $\pm 2$  Gewichtsteile.

Vor der Verwendung der Leimmischung im Untermischverfahren muss auf eine sorgfältige Vermischung von Leim und Härter geachtet werden. Bei manueller Vermischung von Leim und Härter immer den Härter dem Leim zuführen.

### Getrennter Auftrag von Leim und Härter

Plus ist für den getrennten Auftrag von Leim und Härter zur Flächenverleimung optimal geeignet, vorzugsweise mit der getrennten Gießanlage 6230 oder 7230 Ecoflex. Diese Anlagen gewährleisten eine exakte Dosierung beim Leim- und Härterauftrag. Die maximalen Wartezeiten werden bei gleichzeitiger Beibehaltung der kurzen Presszeiten verlängert.

Der Einsatz anderer getrennter Auftragsgeräte ist nur zulässig, wenn die Eignung der entsprechenden Anlage für die beabsichtigte Anwendung überprüft wurde.

Bei der Verwendung von Leim und Härter im getrennten Verfahren werden keine Probleme mit der Topfzeit auftreten, da die Komponenten erst beim Auftragen auf die Fügeteil-Oberfläche vermischt werden.

Die maximal zulässige Klebfugendicke bei getrennter Anwendung von Leim und Härter bei der Flächenverleimung beträgt 0,3 mm.

### Untermischanwendung von Leim und Härter

Plus kann auch als Untermischsystem für Keilzinkenverklebungen verwendet werden, vorzugsweise mit automatischen Mischvorrichtungen. Hierbei ist die Einhaltung der Topfzeit zu beachten, da diese die Verarbeitungsdauer für das Leimsystem einschränkt.

Unter Topfzeit versteht man die Zeit, während der die Leim-/Härtermischung verarbeitet werden kann. Die Topfzeiten werden anhand genormter Analysemethoden gemessen, so dass die Topfzeiten unterschiedlicher Systeme verglichen werden können.

### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
 High Point, USA +1 336 841 5111  
 Singapore +65 6762 2088  
 Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/cascoadhesives](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Nachfolgende Topfzeit wurde gemäß EN302-7 bestimmt:

	Mischungsverhältnis	15°C	20°C	30°C
<b>Topfzeit</b>	100:10	4 h 20 min	1 h 50 min	
	100:30	---	50 min	
	100:100	---	12 min	7,5 min

#### Wartezeit

Die Wartezeit ist die Zeit vom Moment des Leimauftrages bis zum Aufbringen des Pressdruckes auf die Fügeteile.

Die gesamte Wartezeit setzt sich aus offener (OAT) und geschlossener (CAT) Wartezeit zusammen. OAT ist die Zeit vom Aufbringen des Leims bis zum Zusammenlegen der Fügeteile. CAT ist die Zeit vom Zusammenlegen der Fügeteile bis zum Aufbringen des Pressdruckes.

OAT und CAT werden durch die Leimauftragsmenge, den Feuchtigkeitsgehalt des Holzes und die Raumtemperatur sowie Luftfeuchte beeinflusst. Höherer Leimauftrag, niedrigere Temperatur sowie höherer Feuchtigkeitsgehalt im Holz und in der Luft verlängern die OAT und CAT.

Der Pressdruck muss aufgebracht werden, solange der Leim klebfähig ist.

OAT und CAT -Werte sollten getrennt voneinander betrachtet werden. Die gesamte Wartezeit (OAT + CAT) muss für jeden speziellen Fall bewertet werden. Die offene Wartezeit sollte so kurz als möglich gehalten werden.

Nachfolgende Wartezeiten werden für Plus empfohlen:

	Verhältnis	Leimparameter	Maximale Wartezeit
<b>Wartezeiten, getrenntes Verfahren</b>	100:30	20°C/250 g/m <sup>2</sup>	1 h
		20°C/400 g/m <sup>2</sup>	2 h
	100:100	20°C/250 g/m <sup>2</sup>	35 min
		20°C/400 g/m <sup>2</sup>	50 min

	Verhältnis	Leimparameter	Maximale Wartezeit
<b>Wartezeiten, Untermisch Verfahren</b>	100:30	20°C/250 g/m <sup>2</sup>	1 h
		20°C/400 g/m <sup>2</sup>	1 h 20 min
	100:100	20°C/250 g/m <sup>2</sup>	25 min
		20°C/400 g/m <sup>2</sup>	25 min

#### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
 High Point, USA +1 336 841 5111  
 Singapore +65 6762 2088  
 Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/cascoadhesives](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Abhängig von der Umgebungstemperatur, der Lamellentemperatur und der Lamellenqualität kann die Leimmenge für spezielle Produktionen optimiert werden. Dieses darf nur in Absprache mit der Anwendungstechnik von AkzoNobel erfolgen.

### Presszeit

Unter Presszeit versteht man das Zeitintervall, während dessen die Leimfuge unter Pressdruck steht, bevor das Material weiterverarbeitet wird. Die Presszeit wird mittels genormter Analyseverfahren gemessen, so dass Presszeiten verschiedener Systeme miteinander verglichen werden können.

Zahlreiche Parameter beeinflussen die Leistungsfähigkeit eines Leimsystems, z. B. Zustand der Presse, Feuchtigkeitsgehalt der Fügeteile, Art des Bauteils und die Holzart.

Die vorgegebenen Presszeiten beziehen sich auf eine Materialtemperatur von 20°C. Wenn die Temperatur des Materials niedriger ist, muss die Presszeit verlängert werden.

Materialtemperaturen < +18°C sind bei der Produktion von tragenden geklebten Holzbauteilen nach DIN 1052 nicht zulässig. Die in den Tabellen 1 + 2 angegebenen Werte dienen als Richtlinie.

Die Presszeiten werden nach DIN EN 302-6 bestimmt. Zur Brettschichtholz-Herstellung gemäß DIN 1052 werden normalerweise diese Presszeiten gewählt (s. Tabelle 2 unten).

Wenn durchgängig eine dünne Klebstofffuge (ca. 0,1 mm) gewährleistet ist, kann die Mindest-Presszeit niedriger sein als nach EN 302-6 festgelegt. Die Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt (s. unten). In diesen Fällen muss die maximale Dicke der Leimfuge regelmäßig durch die firmeninterne Produktionskontrolle geprüft und die ordnungsgemäße Qualität der Leimfugen durch regelmäßige Delaminationsprüfungen nachgewiesen werden.

**Tabelle 1: Presszeiten bei garantierter dünner Leimfuge (ca. 0,1mm)**

Presszeiten bei garantierter dünner Leimfuge	Leimfugentemperatur	Verhältnis 100:30	Verhältnis 100:100
(250 g/m <sup>2</sup> , ca. 0,1 mm)	20°C	3 h	1 h 30 min

Neben anderen Faktoren kann die Presszeit durch die Klebstofffugendicke beeinflusst werden. In Fällen, bei denen eine Klebstofffugendicke von ca. 0,1mm nicht garantiert werden kann, müssen die Presszeiten gemäß EN 302-6 eingehalten werden. Diese Mindest-Presszeit ist nachfolgend aufgelistet.

**Tabelle 2: Presszeit gemäß EN 302-6**

Presszeit gemäß EN302-6	Leimfugentemperatur	Verhältnis 100:30	Verhältnis 100:100
(ca. 0,3 mm)	20°C	6 h 30 min	2 h 30 min

Die vorgegebenen Presszeiten beziehen sich auf die Produktion von geraden Bauteilen mit einer Holzfeuchte von ca. 12%. Bei Verleimung von gekrümmten Bauteilen oder Holz mit einem höheren Feuchtigkeitsgehalt muss die Presszeit verlängert werden.

Wenn die Brettschichtholz-Produktion bei erhöhten Temperaturen durchgeführt wird, entweder in einer Heißpresse oder bei Hochfrequenz-Aushärtung, kann die Presszeit verkürzt werden. In diesen speziellen

### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
 High Point, USA +1 336 841 5111  
 Singapore +65 6762 2088  
 Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/casooadhesives](http://www.akzonobel.com/casooadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Fällen muss stets ein AkzoNobel Anwendungstechniker hinzugezogen werden. Bevor Verleimungsbedingungen für eine spezielle Produktion festgelegt werden, müssen Delaminierungsprüfungen nach EN 14080:2013 Anhang C.4.3 oder C.4.4 durchgeführt und hierbei die Anforderungen gemäß EN14080:2013 Tabelle 9 erfüllt werden.

### Pressdruck

Bei der Produktion von Brettschichtholz hängt der benötigte Pressdruck u. a. von der Stärke der Lamellen sowie der Holzart ab.

Lamellen mit einer Stärke unterhalb 35 mm erfordern einen Pressdruck zwischen 0.6 – 0.8 MPa. Lamellen mit einer Stärke zwischen 35 -45 mm benötigen einen Pressdruck von 0.8 MPa (genutete Lamellen) oder 1.0 MPa (nicht genutete Lamellen). Für Lamellen mit einer Stärke zwischen 45 – 80 mm sollte der Pressdruck bei 0.8 – 1.0 MPa liegen. Beachten Sie, dass Lamellen mit einer Stärke von mehr als 45 mm nicht zur Brettschichtholz-Produktion zugelassen sind. Bei getrenntem Auftrag von Leim und Härter kann derselbe Pressdruck für die Flächenverleimung verwendet werden.

Ein zu hoher Pressdruck verursacht einen zu hohen Leimaustritt, was zu einer schlechten Verklebung führt. Ein zu niedriger Pressdruck führt zu einem zu geringen Kontakt zwischen den zwei Oberflächen, wodurch die Qualität der Leimfuge beeinträchtigt wird.

### Leimauftrag

Die Leimauftragsmenge kann, abhängig von Holzart, Holzfeuchte, relativer Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur, Press-Typ, Wartezeit und Hobelqualität, variieren. Die Leimauftragsuntergrenze sollte jedoch nicht niedriger sein als die Werte in nachfolgender Tabelle:

---

**Die Leimauftragsmenge sollte bei Aushärtung bei Raumtemperatur nicht unter 220 g/m<sup>2</sup> liegen.**

**Die Leimauftragsmenge sollte bei Aushärtung mit Hochfrequenz nicht unter 180 g/m<sup>2</sup> liegen.**

---

Bei der Herstellung von tragenden Bauteilen darf eine Reduzierung der Leimauftragsmenge, z.B. bei sehr kurzen Wartezeiten, nur unter Zustimmung der Anwendungstechnik unter Berücksichtigung der Produktionsparameter bei der jeweiligen Produktionslinie erfolgen. Diese Optimierung setzt voraus, dass die vorgegebenen Parameter eingehalten und kontinuierliche Kontrollen in Form von Delaminationsprüfungen durchgeführt werden. Eine schriftliche und signierte Bestätigung von AkzoNobel und der Klebstoffprüfstelle ist dafür zwingend erforderlich.

Ein geringes Herauspressen von Leim entlang der Leimfuge bei Anbringen des Pressdruckes weist sowohl auf einen angemessenen Leimauftrag als auch auf die Einhaltung der Wartezeit hin.

Starker Leimaustritt deutet auf einen zu hohen Leimauftrag, sehr hohen Pressdruck oder eine Kombination aus Beidem hin.

Wird eine längere Wartezeit erforderlich, kann ein höherer Leimauftrag gewählt werden.

Ein gleichmäßiger Leimauftrag ist sehr wichtig.

### Holzfeuchte

Der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes hat Auswirkungen auf das Verleimresultat. Eine hohe Holzfeuchte kann das System verlangsamen. Bei bestimmten Leimsystemen kann ein übermäßig hoher Feuchtigkeitsgehalt negative Auswirkungen auf die Leimfugenqualität haben.

In bestimmten Fällen kann eine viel zu geringe Holzfeuchte den Verklebungsprozess beschleunigen.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes hat auch eine Auswirkung auf die Gesamtqualität des Endproduktes. Eine ungleichmäßig, wesentlich zu hohe/niedrige Holzfeuchte kann zu Verzug, Schüsselung und

### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
High Point, USA +1 336 841 5111  
Singapore +65 6762 2088  
Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/casoadhesives](http://www.akzonobel.com/casoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Unebenheiten des Endproduktes führen.

Für die Brettschichtholz-Produktion sollte der Feuchtigkeitsgehalt vorzugsweise bei 10-12%, mindestens jedoch zwischen 8-15% liegen.

### Vorbereitung des Holzes

Für beste Ergebnisse muss das Holz sauber gehobelt sein. Optimale Festigkeit wird erreicht, wenn die Verleimung spätestens 24 Stunden nach der Hobelung erfolgt.

Die Oberfläche muss frei von Staub, Fett, Öl und anderen Verunreinigungen sein.

Die Fügeiteile müssen sorgfältig ausgewählt werden, um eine optimale Leimfugenqualität erzeugen zu können. Um die Presszeiten in der oben stehenden Tabelle einhalten zu können, muss die Lamellentemperatur mindestens 20°C betragen. Materialtemperaturen unterhalb +18°C sind zur Produktion von tragenden Bauteilen gemäß DIN1052 nicht zugelassen.

Das Klebstoffsystem ist für folgende Holzarten zugelassen: Fichte, Kiefer, Tanne, Europäische Lärche

### Nachhärtung

Nach erfolgter Presszeit verfügt die Leimfuge der Konstruktion über genügend Festigkeit, um weiterverarbeitet zu werden. Die Endfestigkeit wird nach einer Zeit, die abhängig von der Presszeit/-temperatur sowie der Lagertemperatur ist, erreicht.

Unter Nachhärtezeit versteht man die Zeit die benötigt wird, damit die Leimfuge die vollständige Festigkeit und Wasserbeständigkeit erhält.

Die Nachhärtezeit hängt von der Presszeit, Presstemperatur, Lamellentemperatur sowie der Nachhärtezeit ab. Aushärtung bei anderen Temperaturen als 20°C verändert die benötigte Nachhärtezeit. Die erforderliche Nachhärtezeit muss von der Anwendungstechnik bestimmt werden. Bei 20°C beträgt die Nachhärtezeit 40 Stunden bei 100:30 und 12 Stunden bei 100:100.

### Zusätzliche Informationen zum Keilzinken

Für die Produktion von Keilzinkverbindungen müssen die Anforderungen wie in DIN 1052 und EN14080:2013 beschrieben, befolgt werden. Die Applikation muss im Untermischverfahren stattfinden. Die unten angeführte Tabelle beinhaltet wichtige Verarbeitungsparameter:

<b>Nominales Mischungsverhältnis</b>	Untermischverfahren (Fichte, Tanne, Kiefer): 100:10-100 Untermischverfahren (Europäische Lärche): 100:30-60
<b>Empfohlene Leimauftragsmenge</b>	zwischen 250 -350 g/m <sup>2</sup>
<b>Maximale Wartezeit</b>	5 min
<b>Aushärtezeit</b>	100:10      8 h 15 min 100:30      3 h 100:100     1 h 30 min

### Contact Information

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/casoadhesives](http://www.akzonobel.com/casoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013



<b>Pressdruck</b>	Gemäß EN 14080:2013
-------------------	---------------------

**Gemischte Applikation bei Keilzinken**

Im Untermischverfahren werden profilierte Auftragswalzen oder gleichwertige Applikationsgeräte empfohlen. Das Mischungsverhältniss beträgt von 100:10 (Leim:Härter) bis maximal 100:100 Gewichtsteile. Die Abweichung zwischen Leim und Härter darf maximal  $\pm 3$  GWT betragen. Die Benetzung der Zinkenflanken mit dem Leim- Härtergemisch muss mindestens 75% betragen. Die Topfzeit legt die mögliche Verarbeitungsdauer des Leimgemischs fest und muss deshalb gut überwacht werden. Die Tabelle unter „Topfzeit“ beinhaltet Angaben der Verarbeitungsdauer für verschiedene Mischungsverhältnisse. Ein gekühltes Gemisch verlängert die Topfzeit, höhere Temperaturen verkürzen sie.

**Aushärtung von Keilzinkverbindungen**

Gemäß EN 14080:2013 beträgt die Mindestaushärtetemperatur +20°C. Bei Hochfrequenzaushärtung muss die Fugentemperatur mindestens 65°C betragen.

**Weiterverarbeitung von keilgezinkten Lamellen**

Eine direkte Weiterverarbeitung der Lamellen darf nur erfolgen, wenn Transport und Hobelung keinen mechanischen Einfluss auf die Keilzinkenverbindung ausüben. Andernfalls muss die in obiger Tabelle angegebene Aushärtezeit befolgt werden.

**Endfestigkeit von Keilzinkverbindungen**

Das Erreichen der Endfestigkeit ist von den Aushärtebedingungen und vom Klebstoffsystem abhängig. Wird Plus mit einem Mischungsverhältnis von 100:10 verarbeitet, so wird die volle Wasserfestigkeit bei 100:10 in 72 Stunden, bei 100:30 in 40 Stunden und bei 100:100 in 12 Stunden erreicht.

**Qualitätskontrolle von Keilzinkverbindungen**

Die Qualitätskontrolle muss gemäß der verwendeten Produktnorm erfolgen.

**Handhabung und Umweltinformation**

**Reinigung**

Maschine stets vor Aushärtung des Leimes mit lauwarmem Wasser reinigen! Ausgehärteter Leim muss manuell entfernt werden. Die Verwendung von Leimwaschmittel 4450 oder Reinigungsmittel 2704 erleichtert die Reinigung der Leimauftragsgeräte.

**Reinigungsmittel 2704;**

Zur Reinigung von Gießanlagen fügen Sie 50/50 (Gewichtsteile) der Mixtur aus Wasser und Reinigungsmittel 2704 in die Anlage. Pumpen Sie die Lösung ca. 4 Minuten im Kreislauf der Gießanlage und spülen Sie danach mit warmem Wasser.

**Leimwaschmittel 4450;**

Fügen Sie 1% Leimwaschmittel 4450 (in Relation zum Restleim in der Gießanlage) der Anlage zu. Lassen

**Contact Information**

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
 High Point, USA +1 336 841 5111  
 Singapore +65 6762 2088  
 Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/casoadhesives](http://www.akzonobel.com/casoadhesives)

Version: 4 (2015-08-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Sie die Gießanlage ca. 5 Minuten weiterlaufen, damit die Mixtur ausreichend vermischt wird. Danach kann die Anlage mit lauwarmem Wasser gewaschen werden.

### **Handhabung**

Vermeiden Sie den direkten Kontakt mit Leim und Härter. Tragen Sie stets Handschuhe und Schutzbrille. Bei Hautkontakt reinigen Sie die betroffene Hautstelle umgehend mit Seife und lauwarmem Wasser. Aufgrund seines niedrigen pH-Wertes reagiert der Härter korrosiv auf Kupfer und kupferhaltige Legierungen. Es wird daher Stahl oder Plastik für den Einsatz im direkten Gebrauch mit dem Produkt empfohlen. Das Sicherheitsdatenblatt informiert Sie hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit. Lesen Sie diese Informationen sorgfältig durch.

### **Mischbarkeit**

Ob ein Produkt mit einem anderen Produkt mischbar ist (z. B. beim Wechsel von Leim oder Härter auf ein anderes Produkt) muss in jedem speziellen Fall ermittelt werden. Bitte sprechen Sie mit Ihrer Kontaktperson von AkzoNobel zwecks weiterer Informationen.

### **Abfallbehandlung**

**Leim** – das Produkt Plus A011 ist nicht kennzeichnungspflichtig.

**Härter** - Abhängig von der Klassifizierung des Härters muss er als Sondermüll angesehen werden (siehe Sicherheitsdatenblatt, Abschnitt 13)

**Leim-/Härtergemisch** – Das ausgehärtete System gilt im Normalfalle nicht als Sondermüll.

*Achtung! Es können nationale und/oder regionale Unterschiede bei den Vorschriften vorherrschen. Bitte nehmen Sie Kontakt mit den für Sie zuständigen Behörden auf.*

### **Waschwasser-Behandlung**

**Chemische Ausfällung** → kommunale Kläranlage mit biologischer Behandlung.

Die Zusätze 4410, 4411, 4412 und 4413 dienen der Verringerung von Leimrückständen im Leimwaschwasser. Diese Produkte agieren als Flockungsmittel, die die Leimpartikel konzentrieren und sedimentieren. Nach der Behandlung hat das Waschwasser einen geringeren Trockengehalt, wodurch einem Verstopfen von Rohren und Abflüssen vorgebeugt wird. Das entstandene Sediment kann, nachdem es ausgehärtet ist, als ungefährlicher Industrie-Müll entsorgt werden.

### Auffangen von Leimwaschwasser

Leimwaschwasser kann auf einfache Art in leeren Leimfässern gesammelt werden. Abhängig von der Menge des anfallenden Leimwaschwassers sowie der Zeit, die für die Sedimentation nach der Ausfällung benötigt wird, sollten 2 oder mehr Leimfässer bereitgestellt werden.

### Entsorgung von aufbereitetem Leimwaschwasser

Das aufbereitete Leimwaschwasser darf nicht ohne Zustimmung der lokalen Behörden in das Abwassernetz eingeleitet werden.

### Entsorgung von Sediment

Wenn ein Fass mit Sediment gefüllt ist, lassen Sie es - möglichst bei hohen Temperaturen um die 50°C - stehen, bis die Ablagerungen ausgehärtet sind. Die Fässer mit den ausgehärteten Rückständen können später als ungefährlicher Industriemüll entsorgt werden. Bitte nehmen Sie Kontakt mit den für Sie zuständigen Behörden hinsichtlich einer fachgerechten Entsorgung auf.

### **Contact Information**

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
High Point, USA +1 336 841 5111  
Singapore +65 6762 2088  
Medellin, Colombia +57 4 3818888  
[www.akzonobel.com/cascoadhesives](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Weitere Informationen finden Sie in den Produktinformationen für 4410/4411/4412/4413.

**Mechanische Ausfällung** › **kommunale Kläranlage mit biologischer Behandlung** Mechanische Ausfällung (Sedimentation) wird zur Reduzierung des Trockengehaltes in Waschwasser angewandt, um die Gefahr einer Verstopfung von Leitungen zu minimieren. Zur Ausfällung geeignete Behälter sind leere Fässer oder IBC, abhängig von der anfallenden Menge an Waschwasser. Der sich im Behälter befindliche Schlamm sollte getrocknet werden (vorzugsweise bei > 50°C) und kann später als ungefährlicher Industriemüll entsorgt werden. Der restliche Wasseranteil sollte nicht ohne ausdrückliche Genehmigung durch die regionalen Behörden in das Abwassernetz eingeleitet werden.

**Achtung!** Es können nationale und/oder regionale Unterschiede bei den behördlichen Bestimmungen vorherrschen. Bitte nehmen Sie Kontakt mit den für Sie zuständigen Behörden auf. Zu weiteren Fragen steht Ihnen der Sachverständige in Umweltfragen von AkzoNobel zur Verfügung.

### **Gesundheit und Sicherheit**

Bitte beachten Sie das entsprechende Sicherheitsdatenblatt

#### **Rechtliche Klausel:**

Diese Information basiert auf Laborversuchen und praktischen Erfahrungen. Sie dient als Einführung vor dem Hintergrund, die für den Anwender bestmögliche Verarbeitungsmethode zu ermitteln. Da sich die Produktionsbedingungen des Anwenders außerhalb unseres Einflussbereiches befinden, übernehmen wir keine Verantwortung für die Verarbeitungsergebnisse, die von den jeweils vorherrschenden Bedingungen beeinflusst werden. Es werden in jedem Falle Durchführungen von Versuchsreihen sowie regelmäßige Überprüfungen empfohlen.

### **Contact Information**

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](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

**Version:** 4 (2015-06-15)

**Reason for changes:** update according to EN14080:2013

---

# Příloha 2: Technický list použitého polyuretanového lepidla PUR2010

AkzoNobel Wood Coatings  
Marketing Adhesive



---

## Product Information

### Laminated beam PUR system 2010

AkzoNobel Adhesives ABs One Component Polyurethane (PUR) system 2010 is a light coloured system for laminated beams to be used in load bearing timber structures. Suitable applications are laminated beams, finger jointing, duo- and triobeams, and engineered wood products such as cross laminated timber, where there is a high demand for water and weather resistance.

2010 is tested according to EN302 part 1 to 4, EN 15416 part 2 and 3 by MPA, University Stuttgart, and is approved according to the requirements in EN15425:2008 (the equivalent to EN 301 for one component PUR adhesives). The system is also tested by MPA, University Stuttgart with respect to the use in the production of load-bearing timber constructions according to DIN1052. It has two German technical approvals (Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungs), Z-9.1-828, and Z-9.1-829, for the use in load-bearing constructions, and in contact-less finger jointing, respectively. 2010 is suitable for the production of glulam according to EN14080 and DIN 1052.

### Product Specification

	<b>2010</b>
<b>Product</b>	Isocyanate MDI based pre-polymer
<b>Delivery Form</b>	Liquid
<b>Colour</b>	White
<b>Viscosity</b> (at time of production)	6000 – 19000 mPas (Brookfield LVT sp. 4, 12 rpm, 25°C)
<b>Solid content</b>	100%
<b>Formaldehyde Info</b>	The adhesive contains no formaldehyde, and will not contribute to emission.
<b>Density</b>	1160 kg/m <sup>3</sup>

### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name

AkzoNobel approval code: AN\_200100\_210114

### Storage Conditions and Storage Life

In order to achieve the given storage life for the product, it is very important that the product is stored under the recommended conditions.

The optimal storage conditions for the 2010 is at temperature 15°C to 25°C.

Only short time exposure to temperatures below 5°C and above 30°C are acceptable. At lower temperatures, irreversible crystallisation can occur.

The storage life for a product is determined by parameters such as reactivity, viscosity, rheology and humidity. The storage time ends when the reactivity, viscosity or rheology transforms from a relatively stable value to a value that can affect the gluing quality.

Contact with water or atmospheric moisture can lead to formation of carbon dioxide gas leading to pressure build-up in closed containers. Make sure the lids of containers have moisture absorbers, such as a silica gel filter. If the packaging is left open for long periods, the glue is susceptible to skin formation on the surface and curing of the product. To avoid this, keep the packaging closed when not in use.

The storage life of 2010 is listed below.

Storage Life	15°C	20°C	30°C
(months from time of production)			
2010	6	6	6

### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name

## Gluing Operation Information

2010 is intended for use in the wood working industry, for applications such as laminated beam and finger joint production according to EN385/386, EN14080 and DIN 1052, Duo- and Triobeams as well as I-beams. It is well-suited for contact-less finger jointing application of load-bearing constructions.

### Assembly time

Assembly time is the time from the application of adhesive to the application of full pressure to the substrate.

The total assembly time is comprised of open assembly time (OAT) plus closed assembly time (CAT). OAT is the time from the application of adhesive to substrate assembly. CAT is the time from substrate assembly to the application of full pressure.

The OAT and the CAT are influenced by the moisture content in the wood, and ambient temperature and humidity. Higher temperature, and higher moisture content in the wood and in the surrounding air will reduce the OAT and CAT.

The pressure must be applied while the adhesive is still tacky.

The OAT and CAT data should be regarded separately. The total assembly time (OAT + CAT) must be evaluated in each specific case. The open assembly time should be kept as short as possible.

The following total assembly times are recommended for 2010 and wood of 12% moisture content:

Assembly Time	Gluing conditions	Maximum AT
	20°C/65%RH/160 g/m <sup>2</sup>	10 min

Depending on relative humidity in air, ambient temperature, lamella moisture content, lamella temperature and lamella quality, glue amounts can be optimized for a specific production. This shall always be done in cooperation with our technician.

### Pressing time

Pressing time is the interval of time a bonded joint should be kept under pressure before handling. We measure pressing times using controlled methods of analyses, so the pressing times of different systems can be compared.

Numerous parameters influence the performance of the glue system, such as the condition of the press, the moisture content of the substrate, the relative humidity in air, the type of construction, and the species of wood.

The given pressing times are related to a material temperature of 20°C, 12% moisture content and 65% relative humidity. 2010 is a moisture curing adhesive. If the moisture content of the material is lower, the pressing time might be prolonged. Low temperatures will prolong pressing times. Material temperatures of less than 18°C are not allowed within the production of structural timber elements according to DIN 1052. The values given in table 1 and 2 are to be used as guidelines.

### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name

When thin bond lines (approx. 0.1 mm) are always guaranteed, shorter pressing times as compared to the ones established by using EN 302-6 can be used. These values are found in table 1 (see below). For these cases, the maximum bond line thickness has to be controlled regularly within the factory production control or proper quality of bond lines has to be controlled regularly within factory production control by means of delamination tests.

**Table 1: Pressing time when a thin glue line (approx. 0,1 mm) is guaranteed**

Pressing time when a thin glue line is guaranteed	Glue joint temperature	Pressing time
(approx. 0.1 mm)	20°C	22 min

The pressing time can be influenced, among other things, by the bond line thickness. In cases where a thin bondline of approximately 0,1 mm can not be guaranteed, the pressing times determined according to EN 302-6 must be followed. This minimum pressing time is given below.

**Table 2: Pressing time according to EN 302-6**

Pressing time According to EN302-6	Glue joint temperature	Pressing time
(approx. 0.3 mm)	20°C	65min

The maximum allowable bond line thickness for face laminations shall not exceed 0,3mm.

The given pressing times are related to the production of straight beams with a moisture content of approx. 12%. When gluing curved beams or using wood with lower moisture content the pressing times have to be prolonged.

When structural beam production is conducted at an elevated temperature, the pressing time is not shortened automatically, but must be determined for each specific case. For these special cases our technical advisors must always be consulted and before establishing gluing conditions for a specific production plant delamination tests according to EN 391-A or B must show results in accordance with EN 386.

#### Pressure

In laminated beam production the necessary pressure is depending on e.g. the thickness of the lamellae and the wood species.

According to EN14080, EN386 and DIN1052, lamella thickness of under 35 mm requires pressure between 0.6 – 0.8 MPa. If lamellas have thickness between 35 –45 mm, pressure should be 0.8 MPa (grooved lamellas) or 1.0 MPa (non-grooved lamellas). For lamella thickness between 45 – 80 mm, pressure should be 0.8 – 1.0 MPa. Bear in mind that lamella thicknesses of more than 45 mm are not allowed in glulam production.

Too high pressure may cause excessive adhesive squeeze out, resulting in a starved glue line.

Too low pressure may result in poor contact between the two surfaces, causing a weak bond.

#### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name

### Glue spread

The glue spread used can vary, depending on what wood specie, wood moisture content, relative humidity in plant, press types, assembly times, and planing quality is used. In general, glue amounts should be as mentioned in table below:

<b>Glue Spread</b>	140 – 250 g/m <sup>2</sup> , for laminated beams 160 - 250 g/m <sup>2</sup>
--------------------	---

A slight squeeze out of adhesive along the edge of all the joints when pressure is applied indicates adequate glue spread and that the total assembly time has not been exceeded.

A high squeeze out indicates excessive glue spread, very high press pressure, or a combination of these two factors.

An evenly applied glue spread is important.

### Moisture content of Wood

The moisture content of the wood will affect the gluing result. High moisture content can speed up the system.

In some cases, excessively low moisture content can slow down and downgrade the gluing process.

The moisture content of the wood will also affect the overall quality of the end product. Moisture content that is uneven, excessively low or high, can cause the material to warp, cup and become uneven.

For laminated beam production, moisture content should be preferably 10 - 12%, or at least within 8 – 15%.

### Preparation of wood

For best result the wood must be smoothly planed. For optimum bond strength the bonding operation shall take place within 24 hours after preparation.

The surface must be free from dust, grease, oil, and other contaminants.

The adhesive is not tested and therefore not suitable for face bonding larch wood. It is approved for finger jointing of larch wood.

The substrate must be carefully selected so an optimum bond line quality is achieved. In order to meet the pressing times given above, lamella temperature must be at least 20°C. Material temperatures of less than 18°C are not allowed within the production of structural timber elements according to DIN 1052.

### Post curing

After the pressing time, the bond line has enough strength for the construction to be handled. Full strength will be reached after a certain time, depending on the pressing time and moisture content of wood.

Post curing is the time needed for the bond line to build enough strength to reach final strength and water resistance.

The specific post curing time depends on the pressing time, lamella moisture content, lamella temperature, and the post curing temperature.

Curing at temperatures other than 20°C will change the required post curing time. The relevant post curing time must be provided by our technical advisor.

At 20°C, the post curing time is 2 hours.

### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name



### **Finger jointing**

For the production of finger joints the regulations given in the National Technical Approvals (Z-9.1-828 and Z-9.1-829) and EN385 must be followed.

### **Curing of finger joints**

The minimum pressing temperature shall be +20°C, when producing according to EN385. At 20°C the curing time is 30min.

For full curing, see table under **Post Curing** above.

### **Further treatment of finger joints**

Finger jointed lamellae can be further processed directly after the finger jointing operation if the transportation equipment and the planing of the lamellae do not expose the joints for any damaging stresses and strains in the glue line. This type of production has to be based on mutual agreement between producer, AkzoNobel Adhesives AB, and the notified body.

### **Formaldehyde emission information**

The glue system contains no formaldehyde.

To determine the emission level of your glued product, a product sample must be sent to a testing institute for measurement.

For more information on emissions norms, post treatments, and related information, please contact your representative.

### **Isocyanate information**

The glue system cures by reacting with moisture in air to form urethane bonds from isocyanate groups. CO<sub>2</sub> is the only by product.

To determine VOC levels of your glued product, a product sample must be sent to a testing institute for measurement.

For more information on VOC norms and related information, please contact your representative.

### **Contact Information**

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

**Version:** 07 (2017-06-07)

**Reason for changes:** new company name

## Handling and HSE info

### Cleaning

Adhesive on skin is removed with water and soap.

Tools are cleaned with cleaning solvents for PUR, before the adhesive is cured. Dried adhesive on tools is removed mechanically and/or with cleaning solvents.

### Handling

Good working hygiene should be observed. The adhesive contains isocyanate, which reacts with the moisture of the skin.

Always use gloves (nitrile) and goggles when handling the product.

Provide good ventilation, especially when using a hot press.

As a release agent we recommend 4454.

### Waste Handling

Normally not to be considered as hazardous waste. Leave residues to cool before sending it off for disposal.

**NOTE!** There might be national and/or local regulatory differences, therefore always keep a dialogue with the local authorities.

### Health and Safety

For more information, see SDS

### Legal clause

The information is based on laboratory tests and practical experience. It is introductory and intended to help the user find the most suitable method of working. Since the user's production conditions are beyond our control, we cannot be held responsible for the results of the work which is affected by local circumstances. In each particular case testing and continuous control are recommended.

### Contact Information

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/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for changes: new company name

### Příloha 3: Distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

Pro  $x < 0$  užitě vztahu:  $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$

Pro kvantily norm. normálního rozdělení platí:  $x_p = -x_{1-p}$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,5	0,504	0,508	0,512	0,516	0,520	0,524	0,528	0,532	0,536
0,1	0,540	0,544	0,548	0,552	0,556	0,560	0,564	0,567	0,571	0,575
0,2	0,579	0,583	0,587	0,591	0,595	0,599	0,603	0,606	0,610	0,614
0,3	0,618	0,622	0,626	0,629	0,633	0,637	0,641	0,644	0,648	0,652
0,4	0,655	0,659	0,663	0,666	0,670	0,674	0,677	0,681	0,684	0,688
0,5	0,691	0,695	0,698	0,702	0,705	0,709	0,712	0,716	0,719	0,722
0,6	0,726	0,729	0,732	0,736	0,739	0,742	0,745	0,749	0,752	0,755
0,7	0,758	0,761	0,764	0,767	0,770	0,773	0,776	0,779	0,782	0,785
0,8	0,788	0,791	0,794	0,797	0,800	0,802	0,805	0,808	0,811	0,813
0,9	0,816	0,819	0,821	0,824	0,826	0,829	0,831	0,834	0,836	0,839
1	0,841	0,844	0,846	0,848	0,851	0,853	0,855	0,858	0,860	0,862
1,1	0,864	0,867	0,869	0,871	0,873	0,875	0,877	0,879	0,881	0,883
1,2	0,885	0,887	0,889	0,891	0,893	0,894	0,896	0,898	0,900	0,901
1,3	0,903	0,905	0,907	0,908	0,910	0,911	0,913	0,915	0,916	0,918
1,4	0,919	0,921	0,922	0,924	0,925	0,926	0,928	0,929	0,931	0,932
1,5	0,933	0,934	0,936	0,937	0,938	0,939	0,941	0,942	0,943	0,944
1,6	0,945	0,946	0,947	0,948	0,949	0,951	0,952	0,953	0,954	0,954
1,7	0,955	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,961	0,962	0,962	0,963
1,8	0,964	0,965	0,966	0,966	0,967	0,968	0,969	0,969	0,970	0,971
1,9	0,971	0,972	0,973	0,973	0,974	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977
2	0,977	0,978	0,978	0,979	0,979	0,980	0,980	0,981	0,981	0,982
2,1	0,982	0,983	0,983	0,983	0,984	0,984	0,985	0,985	0,985	0,986
2,2	0,986	0,986	0,987	0,987	0,987	0,988	0,988	0,988	0,989	0,989
2,3	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992
2,4	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994
2,5	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
2,6	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
2,7	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
2,8	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
2,9	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999

---

## Příloha 4: Fotky zkušebních těles po ohybové zkoušce

**Obr. 1:** Referenční vzorek masivního dubu. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním nosníku dubu z masivu. Lom je vedený v celé délce v masivním dřevě z důvodu absence lepené spáry.

**Obr. 2:** Referenční vzorek masivního dubu. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním nosníku dubu z masivu. Lom je vedený v celé délce v masivním dřevě z důvodu absence lepené spáry

---

---

**Obr. 3:** Referenční vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je vedený v celé délce v masivním dřevě. Lepená spára je neporušena.

**Obr. 4:** Referenční vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním vzorku lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je vedený v celé délce v masivním dřevě. Lepená spára je neporušena.

---

---

**Obr. 5:** Referenční vzorek lepený adhesivem PUR2010. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je vedený napříč dolní lamelou a přechází do lepené spáry. Důvodem je pravděpodobně horší adheze v lepené spáře.

**Obr. 6:** Referenční vzorek lepený adhesivem PUR2010. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v referenčním vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je veden napříč hranolem. Lepená spára je v tomto případě neporušena.

---

---

**Obr. 7:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném vzorku lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je veden napříč první lamelou a pokračuje podél vláken druhou lamelou. Důvodem je dobrá soudržnost lepidla.

**Obr. 8:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném vzorku lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je veden napříč první a druhou lamelou a pokračuje podél vláken v lepené spáře. Důvodem je velké napětí mezi první a druhou lamelou a pravděpodobně oslabenou lepenou spárou z důvodu expozice v exteriéru.

---

---

**Obr. 9:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem PUR2010. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je veden napříč spodní lamelou a pokračuje v lepené spáře mezi spodní a prostřední lamelou. Lom dále pokračuje podél vláken k horní spáře a pokračuje v lepené spáře. Důvodem je horší adheze lepidla.

**Obr. 10:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem PUR2010. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je veden napříč spodní lamelou a pokračuje v lepené spáře mezi spodní a prostřední lamelou. Důvodem je horší adheze lepidla.

---



---

**Obr. 11:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011, ošetřený lazurou Xylladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném ošetřeném vzorku lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je veden napříč spodní lamelou a je veden asi 1 mm nad lepenou spárou a pokračoval podél vláken.

**Obr. 12:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem GripPro Plus A011, ošetřený lazurou Xylladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném ošetřeném vzorku lepený melamin-formaldehydovým lepidlem. Lom je veden podél vláken v lepené spáře, směrem do středu hranolu přechází do lomu ve dřevě. Důvodem je slabší adheze v delaminované části vzorku.

---

---

**Obr 13:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem PUR2010, ošetřený lazuroou Xylladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném ošetřeném vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je veden ve dřevě podél vláken v celém nosníku.

**Obr. 14:** Exponovaný vzorek lepený adhesivem PUR2010, ošetřený lazuroou Xylladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)



**Popis:** Lom v exponovaném ošetřeném vzorku lepený polyuretanovým lepidlem. Lom je veden ve dřevě podél vláken přes celý nosník.

---

---

**Příloha 5: Fotky poškozených zkušebních těles v exteriéru**

**Obr. 1:** Vzorky lepené polyuretanovým adhesivem PUR2010, Ošetřeno lazurou Xyladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)

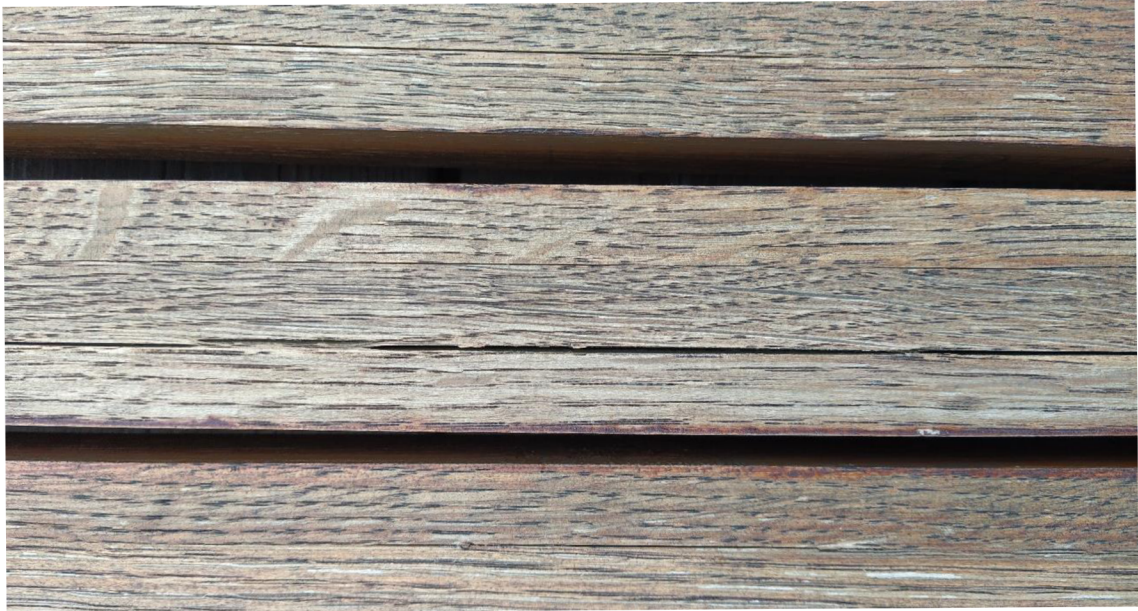


**Obr. 2:** Vzorky lepené polyuretanovým adhesivem PUR2010, Ošetřeno lazurou Xyladecor Terrace. (Zdroj: Autor práce)



---

**Obr. 3:** Vzorky lepené polyuretanovým adhesivem PUR2010, neošetřené. (Zdroj: Autor práce)



**Obr. 4:** Vzorky lepené polyuretanovým adhesivem PUR2010, neošetřené. (Zdroj: Autor práce)

