

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného dřeva dubu**

Diplomová práce

Autor: Bc. Danil Teterin  
Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2022

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Danil Teterin

Dřevařské inženýrství

Název práce

Posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného dřeva dubu

Název anglicky

Assessment of fire resistance of glued oak beams

---

Cíle práce

Hlavním cílem práce je posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného dřeva dubu metodou stanovení pevnostních charakteristik. Cílem je na základě literární rešerše stanovení vhodného metodického postupu pro posouzení chování lepeného nosníku z lepeného dřeva dubu při působení zvýšené teploty.

Metodika

V rámci literární rešerše dojde k rozboru oblasti požární odolnosti lepeného dřeva dubu a termomechanických vlastností adhesiv. Na základě výsledků literární rešerše bude stanoven vhodný metodický postup pro stanovení chování lepeného nosníku z lepeného dřeva dubu při působení zvýšené teploty inicializované požárem. Dále pak dojde k přípravě zkušebních těles, jejich expozici zvýšeným teplotám a následnému testování jejich mechanických vlastností.

Květen – srpen 2021:

- Literární rešerše požární odolnosti lepeného dřeva a termomechanických vlastností adhesiv.

Září – říjen 2021:

- Stanovení metodického postupu testování pro stanovení pevnosti namáhaného lepeného dřeva dubu požárem.

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, dřevo, dub, požární odolnost

---

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
- Bockel, S., Mayer, I., Konnerth, J., Niemz, P., Swaboda, C., Beyer, M., Harling, S., Weiland, G., Bieri N. (2018). PichelinInfluence of wood extractives on two-component polyurethane adhesive for structural hardwood bonding. *The Journal of Adhesion*. pp. 1545 – 5823 DOI: 10.1080/00218464.2017.1389279
- Boublík, V. (1966). Lepidla a jejich příprava. II. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha. pp. 1 – 192. ISBN 04-952-66
- Brockmann, W. (2009). Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-31898-8
- Douglas, B.K. (2004). Calculating the Fire Resistance of Exposed Wood Members. *Structure Magazine* 1. pp. 11 – 14
- Ducháček, V. (1996). Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická. pp. 1 – 56. ISBN 80-7080-265-0
- Chen, Ch., Yang, J., Chen, J., Zeng, J., Wang, W., Zhao, X. (2017). Fire resistance performance of glulam beam. *Journal of Central South University* (24). pp. 929 – 936. DOI: DOI: 10.1007/s11771-017-3495-8
- Král, P., Klímeck, 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
- Ohnesorge, D., Henning, M., Becker, G. (2009). Importance of hardwood in the glulam production. [Bedeutung von Laubholz bei der Brettschichtholzerstellung]. *Holztechnologie* 6. pp. 47 – 49
- 

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 7. 4. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 7. 4. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2022

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného 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 Praze dne:

.....  
Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Přemyslovi Šedivkovi, Ph.D. za spolupráci, pomoc a připomínky týkající se mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Tomášovi Holečkovi a Ing. Tomášovi Kytkovi za pomoc během výzkumné části této práce. Velký dík patří také mé rodině a přítelkyni za jejich podporu a pomoc.

## **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného dřeva dubu. K posouzení chování lepeného nosníku z lepeného dřeva dubu při působení zvýšené teploty byla použita metoda stanovení pevnostních charakteristik. Výsledkem práce je charakteristika požární odolnosti nosníků z dřeva dubu na základě vybraných adhesiv na bázi polyuretanu a melamin-formaldehydu pro nosné dřevěné konstrukce.

## **Klíčová slova**

Adhesivum, dřevo, dub, požární odolnost.

## **Abstract**

This work is focused on the assessment of fire resistance of glued oak beams. The method of determining the strength characteristics was used to assess the behavior of the glued beam made of glued oak wood under the effect of elevated temperature. The result of the work is the characteristics of fire resistance of oak beams based on selected adhesives based on polyurethane and melamine-formaldehyde for load-bearing wooden structures.

## **Key words**

Adhesive, wood, oak, fire resistance.

## Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce .....	12
3. Literární rešerše .....	13
3.1 Charakteristika dřeva dubu .....	13
3.2 Parametry ovlivňující pevnost lepeného spoje exponovaného do vysokých teplot .....	14
3.2.1 Kvalita adheze lepeného spoje.....	14
3.2.2 Rychlost a intenzita rozměrových změn lepeného lamelového dřeva při zahřívání.....	16
3.2.3 Tepelná degradace lepeného lamelového dřeva při expozici do vysokých teplot .....	17
3.3 Lepené lamelové dřevo .....	19
3.4 Typy adheziv pro konstrukční aplikace .....	21
3.4.1 Polyuretanová adheziva (PUR).....	21
3.4.2 Melaminformaldehydová adhesiva (MF) .....	22
3.5 Metody stanovení požární odolnosti lepeného lamelového dřeva.....	23
3.6 Shrnutí literární rešerše.....	24
4. Metodický postup .....	25
4.1 Použitá adhesiva .....	25
4.2 Výpočet počtu zkušebních těles.....	27
4.3 Výpočet zatížení pro zkoušku nosníku .....	28
4.4 Příprava a výroba zkušebních těles.....	31
4.5 Zkušební tělesa nosníků.....	35
4.6 Struktura lepeného kompozitu .....	36
5. Realizace zkoušek.....	39

5.1 Zkouška požární odolnosti .....	41
5.2 Zkouška ohybem .....	42
6. Výsledky a statistické vyhodnocení .....	46
7. Třída požární odolnosti .....	53
8. Diskuse .....	54
9. Závěr .....	55
10. Seznam literatury a použitých zdrojů .....	56
11. Seznam příloh .....	63
12. Přílohy .....	64



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Dub letní .....	13
Obrázek 2 Princip adheze .....	15
Obrázek 3 Teplotní křivka pro dub, borovici, břízu, smrk .....	17
Obrázek 4 Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru .....	18
Obrázek 5 Lepené lamelové dřevo .....	21
Obrázek 6 Uspořádání zkoušky pro měření průhybu metodou dvojicí bodových zatížení v lichých čtvrtinách rozpětí .....	30
Obrázek 7 Vstupní řezivo dubu .....	31
Obrázek 8 Řezivo po zkrácení .....	32
Obrázek 9 Přířezy po omítání .....	32
Obrázek 10 Lamely po opracování na srovnávací a tloušťkovací frézce .....	33
Obrázek 11 Příprava lamel pro nános adhesiva .....	34
Obrázek 12 Lis SCM GS 6/90 (SCM Group Headquarters, Itálie, Rimini) .....	34
Obrázek 13 Nosník po opracování na přesný rozměr .....	35
Obrázek 14 Schéma průběhu letokruhů v lamelách .....	37
Obrázek 15 Referenční nosníky po klimatizování při $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a $65 \pm 5 \%$ po realizaci zkoušek zatížení .....	39
Obrázek 16 Termokomora typu Memmert UF55 (Memmert GmbH, SRN) .....	40
Obrázek 17 Uložené nosníky v sušárně .....	40
Obrázek 18 Vrstva pyrolýzy u nosníku při zahřátí na teplotu $290 \text{ }^\circ\text{C}$ .....	41
Obrázek 19 Příprava zkušebních referenčních nosníků pro realizaci zkoušky ohybem .....	42
Obrázek 20 Trhací stroj TIRATEST 2850 S (Tira, Schalkau, Německo) .....	43
Obrázek 21 Destrukce nosníku zkouškou v ohybu .....	44
Obrázek 22 Neutrální osa .....	44
Obrázek 23 Průhyb v polovině rozpětí v průběhu doby vystavení požáru, s ohledem na podpěry (vlevo) a na body aplikace zatížení (vpravo) .....	54

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Stupně tepelně degradace dřeva.....	19
Tabulka 2 Parametry adhesiva PUR2010 .....	25
Tabulka 3 Parametry adhesiva GripPro Plus A011 .....	26
Tabulka 4 Parametry vytvrzovače Plus H011.....	26
Tabulka 5 Kombinace variant zkušebních těles nosníků.....	38
Tabulka 6 Zkratky.....	46
Tabulka 7 Popisné statistiky průhybu lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem PUR2010 exponovaného vysokým teplotám.....	48
Tabulka 8 Popisné statistiky průhybu lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem GripPro Plus A011 exponovaného vysokým teplotám.....	49
Tabulka 9 Dosažená třída požární odolnosti.....	53

## **Seznam grafů**

Graf 1 Průhyb lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem PUR2010 exponovaného vysokým teplotám .....	49
Graf 2 Průhyb lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem GripPro Plus A011 exponovaného vysokým teplotám .....	50
Graf 3 Spojnicový graf porovnání průhybů lepeného dřeva dubu s použitými adhesivy PUR2010 a GripPro Plus A011 exponovaných vysokým teplotám .....	51
Graf 4 Test lineární závislosti průhybu při testu zatížení v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným PUR2010 testem Duncanův.....	52
Graf 5 Test lineární závislosti průhybu při testu zatížení v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným GripPro Plus A011 testem Duncanův.....	53

## 1. Úvod

Dřevo je přírodní, plně obnovitelnou surovinou, v porovnání k oceli či betonu disponuje relativně nízkou hmotností a za optimálních podmínek vysokou pevností a únosností a je vhodným materiálem pro konstrukční aplikace.

Mechanické vlastnosti lze zlepšit díky eliminaci vad masivního dřeva a opětovným slepením do formy lepeného lamelového dřeva. Jeho negativní vlastností je nižší požární odolnost, z hlediska třídy reakce na oheň je řazen do třídy E. Existuje celá řada studií, které se zaměřují na stanovení požární odolnosti lepeného lamelového dřeva ze dřeva smrku, avšak málo pozornosti je věnováno méně tradičním dřevinám, typu jádrových dřevin listnáčů. V porovnání k jehličnanům listnaté druhy dřevin disponují svoji vyšší heterogenitou stavby a struktury. Z tohoto důvodu se nepředpokládá masivní uplatnění dřeva dubu pro nosné konstrukční aplikace. Nicméně ve státech západní Evropy jsou výrobci, kteří se zaměřují na výrobu lepených konstrukčních prvků ze dřeva dubu především pro výstavbu atypických objektů typu galerií, duchovních objektů, památníků a další, a to z důvodu kresby povrchu a jeho vyšší odolnosti vůči působení biotických a abiotických činitelů. Nevýhodou uplatnění dřeva dubu je vysoký obsah jádrových látek, které snižují adhesi povrchu dřeva dubu pro adhesiva a znesnadňují tak systém lepení. Dále pak je otázkou predikovatelnost chování tohoto lepeného spoje při jeho situaci do prostředí s teplotou emitovanou požárem.

Tato práce se zaměřuje na stanovení požární odolnosti lepeného lamelového dřeva dubu s vysokým podílem jádrových látek, které mají negativní vliv na adhesi povrchu dřeva a mohou mít vliv na chování lepeného nosníku při expozici do prostředí zvýšené teploty emitované ohněm.

## **2. Cíle práce**

Primárním hlavním cílem práce je posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného lamelového dřeva dubu metodou stanovení pevnostních charakteristik. Cílem je na základě literární rešerše stanovení vhodného metodického postupu pro posouzení chování lepeného nosníku z lepeného dřeva dubu při působení zvýšené teploty.

K naplnění hlavního cíle práce, bylo potřeba stanovit dílčí cíle, kterými jsou:

- Stanovení a predikce vlastností dřeva dubu na základě literární rešerše.
- Analýza rozměrových změn lepeného lamelového dřeva dubu při zvýšených teplotách.
- Analýza termomechanických vlastností použitých adhesiv.

### 3. Literární rešerše

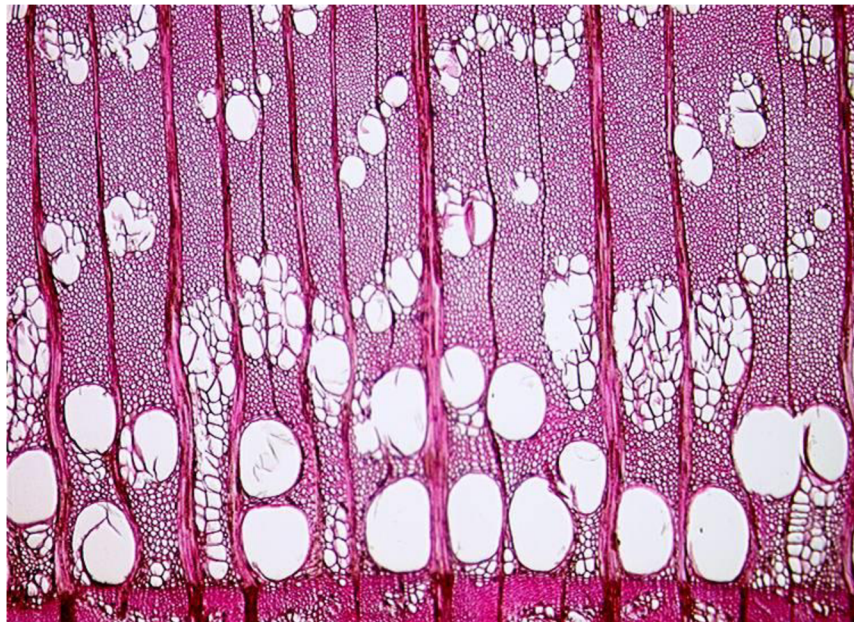
#### 3.1 Charakteristika dřeva dubu

V dnešní době je známo na 400 druhů dřeva dubu. Hlavními zástupci dřeviny dubu v České republice jsou dub letní (*Quercus robur*) (Obr. 1) a zimní (*Quercus petraea*) které patří do skupiny dubu „bílých“ (*Quercus alba*) (Hrčka, et al, 2018).

Běl dřeva dubu má světle hnědou barvu a má tloušťku 2 až 5 cm. Jádru dřeva dubu je obecně šedohnědé. Tracheje jádra jsou obvykle ucpané thyllami, které způsobují neprostupnost pro kapaliny do dřeva (Wiemann, 2021).

Dřevo dubu je uplatnitelné pro výrobu nosných konstrukčních prvků do exteriéru, a to jak z hlediska mechanických vlastností, tak i z hlediska své odolnosti (Ramage, et al, 2013).

Hustota dřeva dubu se pohybuje 690 kg/m<sup>3</sup> (Nagdak, 2013), pevnost v ohybu 85,2 MPa (Zeidler a Borůvka, 2016). Z hlediska odolnosti je dřevo dubu řazeno do třídy odolnosti 2 dle EN 350 1-2 (1996), což znamená – trvanlivé (Novák, 2012).



Obrázek 1 Dub letní  
Zdroj: [www.ldf.mendelu.cz](http://www.ldf.mendelu.cz) (2021)

### **3.2 Parametry ovlivňující pevnost lepeného spoje exponovaného do vysokých teplot**

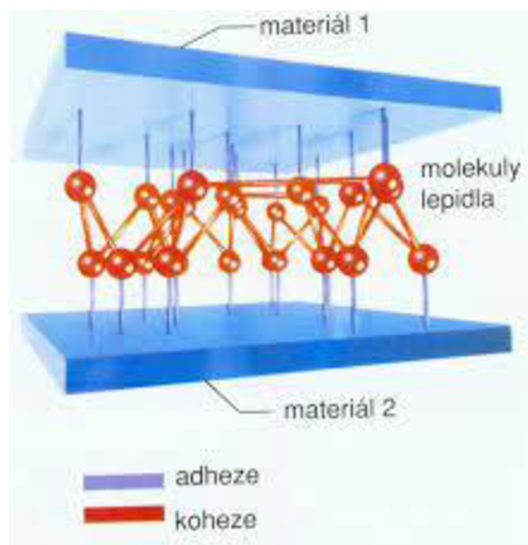
Kvalitu a pevnost lepeného spoje lepeného lamelového konstrukčního dřeva exponovaného do vysokých teplot ovlivňují parametry, které ovlivňují jak kvalitu a pevnost lepeného spoje, tak i parametry, které působí na lepené spoje v jednotlivých teplotních oblastech za zvyšujících se a vysokých teplot. Je to celá řada faktorů (Morin-Bernard, et al, 2020), přičemž nejdůležitější z nich jsou:

- Kvalita adheze lepeného spoje (pH, pórovitost, morfologická struktura povrchu dřeva, kvalita opracovaného povrchu a další) (Kardashov, 1976).
- Rychlost a intenzita rozměrových změn lepeného lamelového dřeva způsobených rychlostí zahřívání (Vinokurov, et al, 2006).
- Tepelná degradace lepeného lamelového dřeva při expozici do vysokých teplot (Krestyaninová a Yuminova, 2017).

#### **3.2.1 Kvalita adheze lepeného spoje**

##### **Adheze**

Adheze (Obr. 2) je povrchový jev, spojení, lepení, které v konečném důsledku vede k vytvoření pevné vazby mezi styčnými plochami dvou (nebo více) těles různé povahy. Důvodem adheze jsou molekulární a atomové interakce různé povahy, což mohou být chemické síly (kovalentní vazby, iontové, donor-akceptor), intermolekulární interakce (orientace, disperze a indukce), vodíkové vazby, topologické síly (Trofimenko, 2019).



Obrázek 2 Princip adheze  
Zdroj: [www.ust.fme.vutbr.cz](http://www.ust.fme.vutbr.cz) (2021)

## pH

Z důvodu zathylení trachejí jádra dřeva dubu obsahuje jádro vysoký podíl taninů, které mají nízké pH, mají kyselý charakter. To odlišuje dub od většiny ostatních dřevin, protože jeho hodnota pH jádrového dřeva se pohybuje od 3 do 5. Kyselost dubu způsobuje volná kyselina octová (Bulian a Graystone, 2009). Ve dřevě dubu, taniny mají pH hodnotu okolo 3,36 (Vinograd a vino, 2018). Taniny tedy způsobují nízké pH povrchu jádrového dřeva dubu, což může mít negativní vliv na adhezi s PUR lepidly, které mají pH vysoké, mají zásaditý charakter (Pizzi, 2019). PUR lepidla mají hodnotu pH kolem 7,0 nebo vyšší (Uzun, et al, 2016).

## Pórovitost

Pórovitost dřeva je způsobena přítomností elementů trachejí, buněčných dutin, mezibuněčných prostor a neztluštěných částí buněčných stěn (pórových membrán) perforovaných drobnými otvory v jeho struktuře (Domashnij masterovoj, 2021). Pórovitost dřeva charakterizuje počet dutin v něm obsažených a lze ji vyjádřit jako poměr objemu těchto dutin k objemu vzorku v absolutně suchém stavu (Bolshaja enciklopedija nefti a gaza, 2021).

$$p = \frac{V_p}{V_0}, \quad (1)$$

kde:

p – pórovitost,

V<sub>p</sub> – objem pórů,

V<sub>0</sub> – objem suchého dřeva (Gandelová, et al, 2002).

Předpokládá se, že míra adheze mezi dřevěnými prvky je významně ovlivněna stupněm pronikání lepidla do porézní sítě vzájemně propojených buněk (Kamke a Lee, 2007).

### **3.2.2 Rychlost a intenzita rozměrových změn lepeného lamelového dřeva při zahřívání**

Při zvyšování teploty dochází ve dřevě v jednotlivých teplotních oblastech k následujícím dějům:

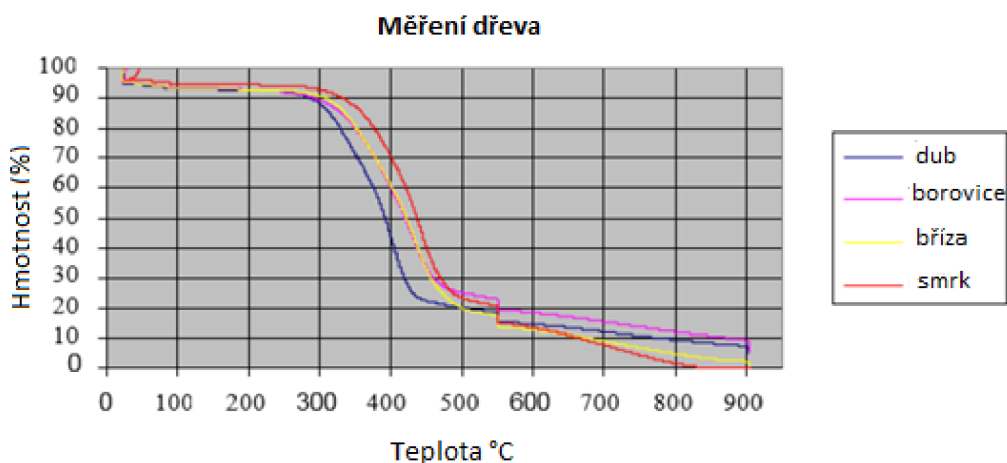
Při působení teploty 80 až 120 °C dochází k vysušení dřeva, při kterém se uvolňuje nejprve volná a následně i vázaná voda. To způsobuje, že se jeho vnitřní povrch pro kontakt se vzduchem zvětšuje. Na povrchu dřeva se objeví praskliny a trhliny, dřevo se zbarví do světle hněda. V závislosti na velikosti trhlín se snižuje pevnost dřeva a vlivem odpařování vody volné a vázané se pozvolna snižuje jeho hmotnost.

Při působení teploty 150 a 200 °C dochází k prvním opticky znatelným degradacím dřeva. Při těchto teplotách dochází k dehydrataci polysacharidů, tj. hemicelulózy a celulózy. Barva přechází do hněda a snižují se mechanické vlastnosti, zejména houževnatost.

Při teplotách nad 220 °C dochází ve dřevě k depolymerizaci, tj. k pyrolýze polysacharidů a ligninu. V důsledku toho vznikají ve dřevě ve velkém množství plyny vodík, oxid uhelnatý, metan, aldehydy, ketony a další produkty s nízkou molekulovou hmotností. Plyn reaguje s kyslíkem za vzniku plamene. Toto uvolňování, zejména samotná pyrolýza, výrazně snižuje mechanické vlastnosti, především pevnost dřeva.



Pokud teplota překročí +350 °C a přívod kyslíku je dostatečný, dochází k bezplamennému hoření. V důsledku toho se uvolňuje další energie za vzniku dalších exotermních reakcí, které pyrolyzují vnitřní vrstvy dřeva. Po dokončení hoření zbývá konečný produkt reakce, a je to dřevný popel (Reinprecht, 2008; Rowell, 2013).



Obrázek 3 Teplotní křivka pro dub, borovici, břízu, smrk  
Zdroj: (Haugen, et al, 2016)

U dřeva dubu do 288 °C nedochází k žádné změně hmotnosti, což znamená i rozměrů. Ke snížení hmotnosti dochází především v teplotní oblasti od 288 do 455 °C (Obr. 3). To znamená, že proces pyrolýzy dubu začíná při nižší teplotě, než je tomu u jiných druhů dřevin (Haugen, et al, 2016).

### 3.2.3 Tepelná degradace lepeného lamelového dřeva při expozici do vysokých teplot

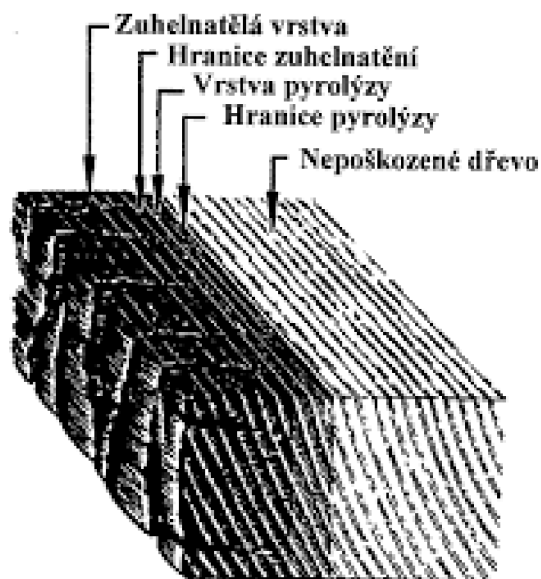
Při teplotách do 100 °C může dojít k trvalému snížení pevnosti (Tab. 1) a jeho velikost závisí na obsahu vlhkosti, topném médiu a době expozice. Degradace pevnosti je pravděpodobně způsobena depolymerizačními reakcemi (nezahrnující žádnou ztrátu hmotnosti sacharidů). Chemické vazby se začínají lámat při teplotách nad 100 °C a projevují se jako úbytky hmotnosti sacharidů různého typu, které se zvyšují s teplotou.

Mezi 100 a 200 °C se dřevo dehydratuje a vytváří vodní páru a další nehořlavé plyny včetně CO<sub>2</sub>, kyseliny mravenčí, kyseliny octové a H<sub>2</sub>O. Při dlouhodobém vystavení vyšším teplotám se dřevo může stát zuhelnatělým (Obr. 4).

Protože může dojít k exotermickým oxidačním reakcím, a okolní vzduch bude difundovat do vznikajícího porézního zuhelnatělého zbytku a reagovat s ním.

Od 200 do 300 °C začnou některé dřevěné složky podléhat značné pyrolýze a kromě výše uvedených plynů se uvolňuje značné množství CO a dehtu s vysokým bodem varu. Hemicelulózy a ligninové složky jsou pyrolyzovány v rozmezí 200 až 300 °C, respektive 225 až 450 °C. Velká část kyseliny octové uvolněné při pyrolýze dřeva se připisuje deacylaci hemicelulózy.

Třetí teplotní režim je od 300 do 450 °C z důvodu intenzivní produkce hořlavých těkavých látek. Ten začíná výraznou depolymerizací celulózy v teplotním rozmezí 300 až 350 °C. Nad 450 °C je zbývající dřevní zbytek aktivního uhlí, které podléhá další degradaci, oxidaci na CO<sub>2</sub>, CO a H<sub>2</sub>O, dokud nezůstane pouze popel (White a Dietenberger, 2010).



Obrázek 4 Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru  
Zdroj: [www.encrypted-tbn0.gstatic.com](http://www.encrypted-tbn0.gstatic.com) (2022)

Tabulka 1 Stupně tepelné degradace dřeva  
Zdroj: (Reinprecht, 2001)

Teplotní stupeň	Chemická změna dřeva	Změny struktury dřeva
80–120 °C	Uvolnění vody volné i vázané	Ztmavnutí a tvorba trhlin
150-200 °C	Dehydratace hemicelulóz a celulóz (polysacharidy)	Snížení mechanických vlastností a zbarvení do hnědého odstínu
220-350 °C	Depolymerizace polysacharidů z ligninu	Významný pokles mechanických vlastností
Nad 350 °C	Uvolnění energie	Změna na dřevěný popel

### Teplota skelného přechodu ( $T_g$ )

Jedním z nejdůležitějších parametrů u adhesiv je teplota bodu skelného přechodu ( $T_g$ ). Je to teplota, která se nachází mezi sklovitým a kaučukovitým stavem. V tomto intervalu probíhají změny fyzikálních vlastností amorfních polymerů (Technická univerzita v Liberci, 2015). Jakmile se lepidlo zahřeje na mezní teplotu  $T_g$  a vyšší, přejde do elastického stavu, pevnost se sníží a již nemůže splňovat požadavky pro proces lepení (Hof a Bravený, 2013).

### 3.3 Lepené lamelové dřevo

Pro výrobu konstrukčního řeziva pro výrobu nosného lepeného lamelového dřeva se zpravidla užívají druhy jehličnatých dřevin typu smrk, jedle, borovice, douglaska anebo modřín. Důvodem je dosažení optimální kombinace hmotnosti, hustoty, pevnosti, adheze povrchu a ceny (Chumak a Chernyshev, 2019). Nedoporučuje se kombinace více druhů dřevin pro jeden lepený konstrukční prvek z důvodu heterogenity stavby různých druhů dřevin, kdy parametry takto vyrobeného prvku jsou z hlediska pevnostních a mechanicko-fyzikálních těžko predikovatelné (Broughton a Hutchinson, 2001).

Jednotlivými prvky pro lepené lamelové dřevo (Obr. 5) jsou dřevěné lamely, vyříděné systémem pevnostního (dle ČSN EN 338, 2003) či i vizuálního třídění (dle ČSN EN 14081-1+A1, 2011) (Linkov, 2021), u nichž jsou vymanipulovány vady typu suků, napadených míst červotočem, hniloby, lokálních prasklin a další. Tyto lamely jsou pak délkově slepeny spojem na mikroozub a poté vykráceny na požadované rozměry. Takto vyrobené lamely se následně vzájemně lepí konstrukčními adhezivy do požadovaných tvarů a dimenzí dle požadavků na velikost rozponu a zatížení. Účelem výroby je získávání takového materiálu z masivního dřeva, ve kterém jsou zachovány a využity jeho hlavní přednosti, a to především jeho nízká objemová hmotnost, vysoký koeficient konstrukční kvality, dobré tepelné a elektroizolační vlastnosti a další kladné vlastnosti suchého konstrukčního dřeva (Begunkova, 2020).

Při výrobě lepeného lamelového dřeva ovlivňují kvalitu lepeného spoje tyto technologické faktory: spotřeba lepidla, lisovací tlak, drsnost povrchu a také přesnost zhotovení lamel, zejména tloušťky (Čubinskij a Sergejevič, 2007). Při stejné spotřebě lepidla a lisovacím tlaku se může kvalita lepeného spoje velmi lišit v závislosti na drsnosti povrchu, která je dána jak kvalitou nástroje a počátečním řezáním kulatiny, tak i v závislosti na přesnosti zpracování lamely v tloušťce, která také závisí na kvalitě nástroje a době jeho práce bez přebrušování. V dřevozpracujících podnicích zpravidla lamely jsou opracovány na rozměr během jedné směny jednou sadou fréz, anebo jsou vyměněny, pokud jsou na povrchu lamel okem viditelné vady způsobené poruchou nástroje, např. při frézování dřeva s velkým počtem vad. Změna geometrických rozměrů lamel může způsobit vznik nelepených ploch dřeva v důsledku nerovnoměrného rozložení lepidla po celé ploše lamel a ovlivní i lisovací tlak, který nemusí být dostatečný k vyrovnání povrchu, což také povede k vytvoření zón s nedostatečným (nebo nadměrným) množstvím lepidla (Tambi a Dostoynova, 2007).



Obrázek 5 Lepené lamelové dřevo  
Zdroj: Autor práce

Lepené lamelové dřevo je určeno pro aplikace nosných konstrukčních prvků. Proto proces výroby a lepení podléhá přísnému systému kontroly a hodnocení kvality (Chumak a Chernyshev, 2019).

### **3.4 Typy adheziv pro konstrukční aplikace**

Pro lepení lamelového dřeva pro konstrukční aplikace je možné aplikovat pouze adheziva na bázi termosetů, splňující požadavky stanovené normami ČSN EN 301 (2018) a ČSN EN 15425 (2017).

#### **3.4.1 Polyuretanová adheziva (PUR)**

##### **Složení**

Vývoj polyuretanových lepidel je zaznamenán od 40. let minulého století, kdy Bayer rozšířil chemii polyuretanů zahájenou v roce 1937 do oblasti lepidel a kolem roku 1940 kombinací polyesterových polyolů s di- a polyisokyanáty (Lay a Cranley, 2003).

Jako hlavní výchozí složky matrice polyuretanových lepidel se používají aromatické nebo alifatické izokyanáty obsahující alespoň dvě NCO skupiny v molekule a oligomery obsahující hydroxylové skupiny typu polyolů. Polyuretanová lepidla mohou obsahovat iniciátory vytvrzování (malá množství vody, alkoholu, vodné roztoky solí organických kyselin a alkalických kovů) a plniva (oxid titaničitý, oxid zinečnatý, portlandský cement atd.). Pro lepší vyrovnání komponent a regulaci viskozity se do polyuretanových lepidel často přidává podíl rozpouštědel (například aceton) (Khafizova, et al, 2017).

### **Aplikace a vytvrzování**

Polyuretanová adheziva mohou být jedno – anebo vícesložková (dvou nebo více). Jednosložková adheziva se vyznačují snadností použití a velkou jednoduchostí použití. Systém vytvrzování je dán interakcí izokyanátů se vzdušnou vlhkostí, která vede k chemické reakci. Vytvrzení adheziva je výsledkem vzniku prostorových molekulárních vazeb, díky nimž dojde k vytvrzení lepeného spoje (Khafizova, et al, 2017).

### **Termomechanické vlastnosti**

Termomechanické vlastnosti polyuretanových lepidel popisují (Sahula, et al, 2021), kde vlastnosti dvou testovaných lepidel byly vyjádřeny pomocí grafy závislosti intenzity tepelného toku, který působil na testovaný vzorek a zvýšené teploty.

## **3.4.2 Melaminformaldehydová adheziva (MF)**

### **Složení**

Melaminformaldehydové pryskyřice byly objeveny v Německu na počátku třicátých let, ale v tomto století nedošlo k žádnému komerčnímu rozvoji (Ullah, et al, 2014).

Pryskyřice na bázi melaminu (MF) používané jako lepidla na dřevo představují jednu z největších skupin aminoplastových pryskyřic. Vyrábějí se reakcí formaldehydu s melaminem (Binder a Dunky, 2014). V prvním stupni se

vytvoří adiční sloučenina obsahující hydroxymethylovou skupinu. Jejich další reakcí při vysoké teplotě vznikají melaminformaldehydové pryskyřice (Osten, 1986).

### **Aplikace a vytvrzování**

Lepidlo MF je třeba aktivovat, aby konečný produkt dobře polymerizoval. Obvykle zahrnuje snížení pH a zvýšení teploty. Katalyzátory přidávané do MF pryskyřice jsou buď kyseliny, nebo kyselé prekurzory, které uvolňují kyselinu při zahřívání. Často se přidává tvrdidlo, jako je chlorid amonný nebo síran amonný, které vytvoří buď chlorovodík anebo hydrogensíran a amoniak, který se uvolňuje z lepidla. Ve většině aplikací jsou produkty tepelně, při odpovídajících teplotách, vytvrzovány (Frihart, 2005).

### **Termomechanické vlastnosti**

Ve vědeckém článku „Tepelná odolnost lepených ozubových spojů v konstrukcích ze smrkového dřeva“ autor Sviták et al (2014), popisoval vztah mezi pevností v ohybu a zvýšenou teplotou u lepidla melamin-močovino-formaldehyd (MUF), kde lepidlo bylo nanášeno na ozubový spoj. Zkušební tělesa s aplikovaným MUF lepidlem měly lineární klesající trend při zkoušce stanovení pevnosti v ohybu. Je zřejmé, že pevnost v ohybu lepeného spoje klesala s rostoucí teplotou, a to velmi výrazně (z 50 MPa na 31 MPa) (Sviták, et al, 2014). Na základě výsledků autora Svitáka et al (2014), je možné konstatovat, že měknutí adhesiva na bázi MUF nastává při teplotě nad 100 °C.

### **3.5 Metody stanovení požární odolnosti lepeného lamelového dřeva**

Cílem této části je stanovení standardizovaných postupů stanovení pevnosti lepeného spoje při jeho expozici do vysokých teplot emitovaných požárem.

Klíčovými normami pro stanovení požární odolnosti obecně nosných prvků jsou normy:

ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky, 2013.

ČSN EN 1365-2 Zkoušení požární odolnosti nosných prvků – Část 2: Stropy a střechy, 2017.

Normou pro zkušební postup příspěvku k požární odolnosti pro vodorovné konstrukční prvky z lepeného lamelového dřeva je:

ČSN EN 13381-7 Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků – Část 7: Ochrana aplikovaná na dřevěné prvky, 2019.

ČSN EN 14080 – Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – požadavky, 2013.

ČSN EN 1991-1-2 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, 2004.

ČSN EN 1995-1-2 – Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, 2007.

ČSN EN 338 (731711) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti, 2003.

### **3.6 Shrnutí literární rešerše**

Cílem literární rešerše je rozbor problematiky požární odolnosti lepených nosníků z dřeva dubu. Rozbor byl zpracován v oblastech:

- Charakteristika dřeva dubu,
- rozbor parametrů, které ovlivňují kvalitu lepeného spoje,
- princip adheze,
- rozměrové změny dřeva při vystavení vysokým teplotám,
- charakteristika adhesiv, která byla předmětem výzkumu v této práci (MF a PUR),
- podstata lepeného lamelového dřeva,
- metody stanovení požární odolnost lepených nosníků.



## 4. Metodický postup

Pro realizaci zkušebních těles byly připraveny lamely z vytríděného konstrukčního dřeva dubu (jádro dubu) o požadovaných velikostech, které se slepily do zkušebních těles a ponechaly vytvrdit. V dalším kroku byly slepené lamely rozměrově upraveny na finální velikost. Následně byla tělesa naklimatizována při  $22 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $65 \pm 5$  %.

### 4.1 Použitá adhesiva

Pro realizaci testů byly použity dva typy konstrukční adhesiv určených pro lepení nosného konstrukčního dřeva na bázi termosetů.

Prvním z nich je adhesivum (Tab. 2) typu PUR2010 (výrobce AkzoNobel N.V., Nizozemí) na bázi polyuretanu, splňující požadavky normy ČSN EN 301 (2018) (viz. příloha 2).

Tabulka 2 Parametry adhesiva PUR2010  
Zdroj: Autor práce

Parametr	Hodnota
Označení adhesiva	PUR2010
Výrobce	AkzoNobel N.V., Nizozemí
Třída odolnosti	D4
Produkt	Prepolymer na bázi isokyanátu MDI
Barva	Bílá
Hustota	1160 kg/m <sup>3</sup>
Viskozita	6000–19000 mPas
Informace o formaldehydu	Lepidlo neobsahuje formaldehyd a nepřispívá k emisím.

Druhým použitým adhesivem je adhesivum typu Systém GripPro™ (výrobce AkzoNobel N.V., Nizozemí) na bázi Plus A011 (Tab. 3), flexibilního

tekutého melaminového lepidla a Plus H011, tekutého tužidla (Tab. 4), splňující požadavky normy ČSN EN 15425 (2017) (viz. příloha 3).

Tabulka 3 Parametry adhesiva GripPro Plus A011  
Zdroj: Autor práce

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Označení adhesiva	GripPro
Výrobce	AkzoNobel N.V., Nizozemí
Třída odolnosti	D4
Produkt	Melaminové lepidlo
Barva	Neprůhledná bílá
Hustota	Cca 1290 kg / m <sup>3</sup>
Viskozita	2000–9000 mPas
Suchost	Cca 65 %
pH (v době výroby)	8,5-9,3 (při 25 °C)

Tabulka 4 Parametry vytvrzovače Plus H011  
Zdroj: Autor práce

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Označení vytvrzovače	Plus H011
Výrobce	AkzoNobel N.V., Nizozemí
Produkt	Vytvrzovač
Barva	Bílá
Hustota	cca 1070 kg / m <sup>3</sup>
Viskozita	1700–2700 mPas
Suchost	Nelze použít
pH (v době výroby)	1,3 - 2,0

## 4.2 Výpočet počtu zkušebních těles

Dle ČSN EN 13381-7 (2019) je požadavkem počet platných měření u zkušebních těles reálných velikostí 1. V navrhovaném postupu se pracuje se zkušebními nosníky zmenšených dimenzí, proto je počet zkušebních těles stanovený na základě vzorce přípustné chyby odhadu průměru v základním souboru (Neubauer, et al, 2016). Pomocí výběrového šetření je požadavkem odhadnout průměrnou hodnotu pevnosti lepeného spoje dřeva. Požadavkem je 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, et al, 2005) je známa hodnota směrodatné odchylky testovaného vzorku počtu měření, která má hodnotu 5,0.

Cílem výpočtu je 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:  $\Delta = 4,0$  kPa

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

Stanovení počtu vzorků metodou Vzorce přípustné chyby odhadu průměru v základním souboru:

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

kde:

$\Delta$  ... maximální chyba,

$\sigma$  ... směrodatná odchylka,

$1-\alpha$  ... hladina významnosti,

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

$$n \geq \frac{u^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3)$$

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

Z hlediska statistické průkaznosti výsledků na hladině významnosti  $\alpha = 0,5$  je nutné v každé sadě testovaných vzorků dosáhnout minimálně 7 platných výsledků zkušebního měření.

### 4.3 Výpočet zatížení pro zkoušku nosníku

Zkouška je metodicky provedena na základě normy ČSN EN 13381-7 (2019) tak, že zkušební tělesa jsou aplikována na dané časové intervaly do termokomory při expozici teplot  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po zahřátí zkušební tělesa v celém svém průřezu na danou teplotu byla všechna tělesa zatěžována stejnou konstantní silou dle postupu ČSN EN 13381-7 (2019) a testována na pevnost v ohybu dle schématu (Obr. 6). Při překročení vypočítané mezní hodnoty zatížení nosníku došlo k zastavení zkoušky. Cílem zkoušky je stanovit čas, při kterém dochází vlivem vysoké teploty k takovému zmenšení průřezu nosníku vlivem pyrolýzy dřeva, při kterém dojde k porušení nosníku při jeho zatížení v ohybu.

#### Výpočet konstantního zatížení

Lepené lamelové dřevo dubu

Třída kvality: D40-D45

Norma ČSN EN 338 (2003) Tabulka 3

Celková délka nosníku: 855 mm

b = 40 mm; h = 45 mm

Skutečné rozměry průřezu nosníku

l = 810 mm

Rozpětí, vzdálenosti bodů zatížení

$\rho_{\text{beam}} = 682 \text{ kg m}^{-3}$

Průměrná hustota dřeva dubu a adhesiva, tj. nosníku

$f_{\text{mgk}} = 70 \text{ N mm}^{-2} = 70,0 \text{ MPa}$

Charakteristická pevnost v ohybu

E N.mm<sup>-2</sup>

Střední modul pružnosti v příčném směru

$E = 13,25 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-2} = \mathbf{13,3 \text{ GPa}}$        $f_{m,k} = (40-45) \text{ MPa}$  dle ČSN EN 338:  
 Tabulka 3, třída D40, D45  
 $\gamma_m = 1,25$      $k_{mod} = \mathbf{1,0}$       EN 1995-1-1: Tab. 2.3,  $k_{mod}$  modifikační  
 koeficient  
 $\gamma_m$  dílčí součinitel vlastností materiálu  
 $k_h = \min((600 \text{ mm/h})^{0,1}, 1,1) = \mathbf{1,1}$     EN 1995-1-1: Eq. (3.2) po opravě dle (EN  
 13381-7 neb: exponent 2 --> 0.1

### Dvoubodové zatížení zkušebního nosníku

$$q_{spec} = b \cdot h \cdot \rho_{beam} \cdot g$$

$$q_{spec} = 0,040 \cdot 0,045 \cdot 682 \cdot 9,81 = \mathbf{0,0120 \text{ kN/m}}$$

$$f_{md} = (f_{mgk} / \gamma_m) \cdot k_{mod} \cdot k_h$$
      Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{md} = (70,0 / 1,25) \cdot 1,0 \cdot 1,1 = \mathbf{61,6 \text{ MPa}}$$

$$W = (b \cdot h)^2 / 6$$
      Modul odporu

$$W = (40 \cdot 45)^2 / 6 = 540\,000 \text{ mm}^3 = \mathbf{0,000540 \text{ m}^3}$$

$$I = (b \cdot h)^3 / 12$$
      Druhý moment oblasti

$$I = (40 \cdot 45)^3 / 12 = 486\,000\,000 \text{ mm}^4 = \mathbf{0,000486 \text{ m}^4}$$

$$M_d = W \cdot f_{md}$$
      Kapacita ohybového momentu ( $R_d = M_d$ )

$$M_d = 0,000540 \cdot 61,6 = \mathbf{0,0332 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

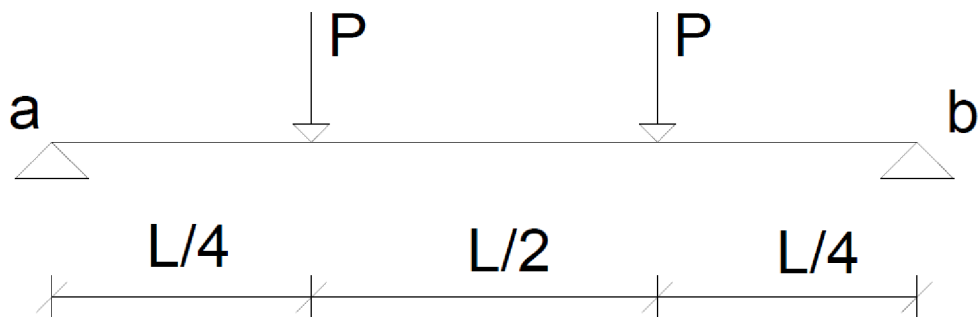
$$M_{spec} = q_{spec} \cdot l^2 / 8$$
      Ohybový moment v důsledku vlastní  
 hmotnosti vzorku

$$M_{spec} = 0,0120 \cdot 0,810^2 / 8 = \mathbf{0,00000984 \text{ m} \cdot \text{kN}}$$

$$\eta_{fi} = \mathbf{0,6}$$
      Redukční faktor pro návrh zatížení v  
 případě požáru

$$M_{test} = (\eta_{fi} \cdot M_d) - M_{spec}$$
      Testovací moment

$$M_{test} = (0,6 \cdot 0,0332) - 0,00000984 = \mathbf{0,0018974 \text{ kNm}}$$



Obrázek 6 Uspořádání zkoušky pro měření průhybu metodou dvojicí bodových zatížení v lichých čtvrtinách rozpětí  
Zdroj: (ČSN EN 13381-7, 2019)

#### Výpočet zatížení (ČSN EN 13381-7, 2019)

$$P_2 = 4 \cdot M_{\text{test}} / l$$

Celkové zatížení nosníku ve dvou bodech na jeden nosník.

$$P_2 = 4 \cdot 18,974 / 0,810 = \mathbf{93,698 \text{ kN} = 93,698 \text{ MPa}}$$

$$m_2 = P_2 / g$$

Hmotnost zatížení ve dvou bodech na jeden nosník.

$$m_2 = 93,698 / 9,81 = \mathbf{95,5 \text{ kg}}$$

Výsledné celkové konstantní zatížení na zkušební nosník ve dvou bodech činí 95,5 kg. Tímto zatížením je nosník konstantně zatěžován a bude stanoven čas, při kterém dojde k porušení nosníku vlivem zvýšené teploty a zmenšení průřezu.

#### Výpočet maximálního průhybu zatížení:

$$v_2 = \left(\frac{11}{384 \cdot E \cdot I}\right) * P_2 * l^3 + \left(\frac{5}{384 \cdot E \cdot I}\right) * q_{\text{dead}} * 4000^4, \quad (4)$$

$$v_2 = (11 / (384 \cdot 13,3 \cdot 0,81)) \cdot 93,698 \cdot 0,81^3 = 0,000005339 \text{ m} = \mathbf{5,339 \text{ mm}}$$

Výše uvedený průhyb je očekávaný dosažený průhyb u zkušebních těles nosníků v dané kvalitativní třídě při daném zatížení.

#### 4.4 Příprava a výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa z dubu byla vyrobena v Laboratoři zpracování biomateriálů na Fakultě lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze, a to následujícími technologickými operaci:

- Vstupní řezivo dubu (Obr. 7) bylo zkráceno na zkracovací kotoučové pile (Obr. 8),

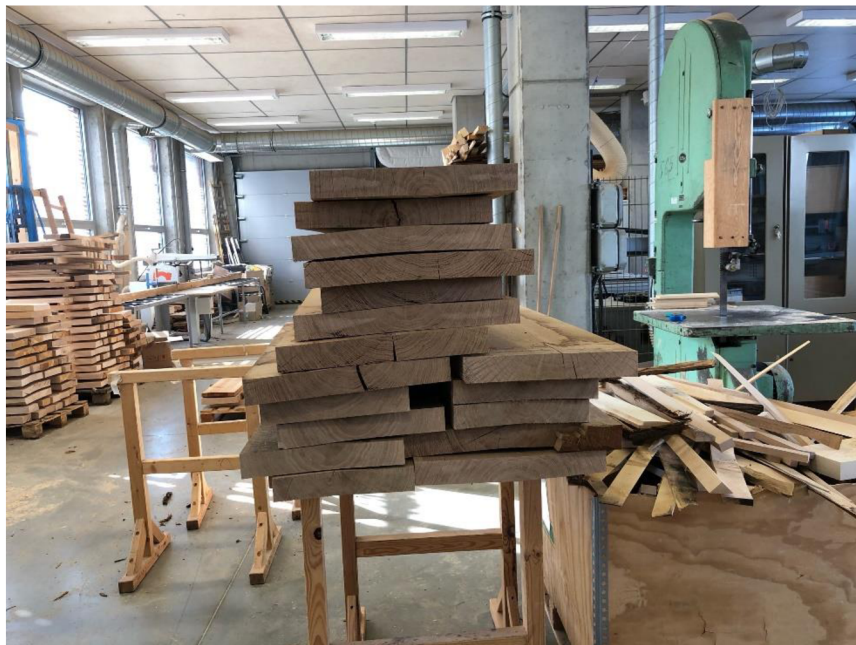


Obrázek 7 Vstupní řezivo dubu  
Zdroj: Autor práce



Obrázek 8 Řezivo po zkrácení  
Zdroj: Autor práce

- dalším krokem bylo omítání (Obr. 9) a rozmítání na hrubo přířezu na formátovací kotoučové pile,



Obrázek 9 Přířezy po omítání  
Zdroj: Autor práce



- potom byly přířezy opracovány na srovnávací a tloušťkovací frézce (Obr. 10),



Obrázek 10 Lamely po opracování na srovnávací a tloušťkovací frézce  
Zdroj: Autor práce

- následujícím nejdůležitějším krokem je správný nános adhesiva na plochu lamel (Obr. 11), její skládání po ploše a rovnoměrné rozložení poskládaných lamel na plochu lisu, kde se poskládané lamely budou lisovat v lisu SCM GS 6/90 (SCM Group Headquarters, Itálie, Rimini) (Obr. 12) 6 hodin při působícím tlaku o velikosti 7 MPa ve svislém směru,



Obrázek 11 Příprava lamel pro nános adhesiva  
Zdroj: Autor práce



Obrázek 12 Lis SCM GS 6/90 (SCM Group Headquarters, Itálie, Rimini)  
Zdroj: Autor práce

- poslední technologická operace je úprava hotových dubových nosníků frézováním na přesné požadované rozměry (Obr. 13) dle

normy ČSN EN 14080 (2013) Dřevěné konstrukce – lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky).



Obrázek 13 Nosník po opracování na přesný rozměr  
Zdroj: Autor práce

#### 4.5 Zkušební tělesa nosníků

Konstrukční prvek je slepen ze 3 lamel o tl. 15 mm (3 lamely a 2 lepené spáry) (tzv. Triobalken).

Šířka nosníku:  $b = 40 \text{ mm}$

Výška nosníku:  $h = 45 \text{ mm}$

Délka nosníku:  $l = 855 \text{ mm}$

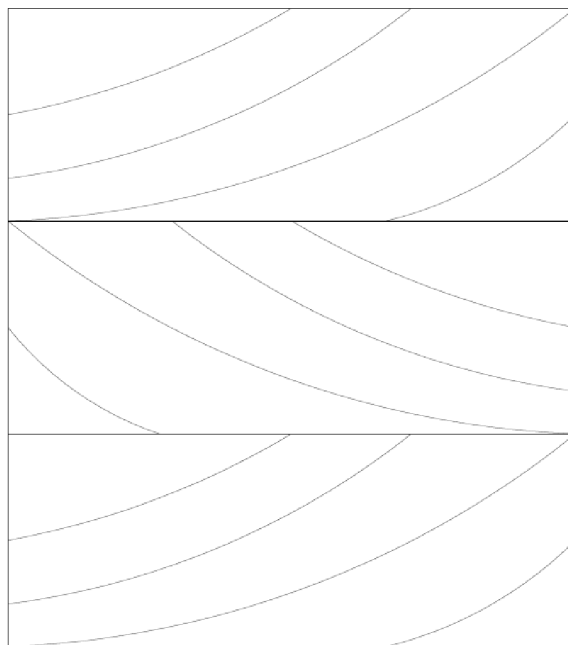
Hustota dřeva dubu:  $\rho_{\text{dub}} = 676,24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (průměrná hustota lamel ze dřeva dubu použitých pro výrobu zkušebních nosníků)

Zkušební tělesa reprezentovaly hranoly lepeného programu Triobalken, lamely nebyly délkově nastavené na mikroozub a byly vybírány bez vad v nejvyšší kvalitě, tj. nebylo nutné vady vyřezávat tak, aby se lamely délkově nastavovaly. Lepený kompozit simuloval zmenšený model velkých lepených triobalken z lepeného lamelového dřeva dubu.

#### 4.6 Struktura lepeného kompozitu

Lamely byly vyrobeny z nejkvalitnějšího dřeva dubu s co nejvíce rovným průběhem letokruhů s vymanipulovanými vadami suků, trhlin a dalších vad. Každá lamela se po finálním naformátování číselně označila, stanovily se její rozměry a hmotnost tak, aby se vypočítala hustota dřeva vždy u každé lamely před slepením. Důležitým předpokladem je zachování normálové osy u vzorků. Na lepené plochy naklimatizovaných lamel bylo aplikováno dané adhesivum PUR2010 o nánosu  $0,25 \text{ kg.m}^{-2}$  a adhesivum GripPro Plus A011 o nánosu  $0,3 \text{ kg.m}^{-2}$ . Lamely se skládaly do připravených přípravků v lisu typu SCM GS 6/90 (SCM Group Headquarters, Itálie, Rimini), kde byly lisovány při tlaku 7 MPa a po dobu 6 hodin. Přípravky stabilizovaly lepené lamely do požadované pozice. Při slepení se lamely již zarovnávaly v rámci lepeného kompozitu k jedné straně tak, aby byly naformátovány na finální šířku ze strany druhé – ve slepeném kompozitu měly všechny lamely vždy stejný rozměr 15 x 40 x 855 mm. Lamely se vzájemně skládaly do lepeného hranolu tak, aby se pravidelně střídal průběh letokruhů u jednotlivých lamel u lepených hranolů (Obr. 14). Z důvodu vyrovnání vnitřního napětí dřeva měly středové lamely opačný průběh letokruhů než lamely krajové. Po slepení a vytvrzení lepených spár byly slepené nosníky klimatizovány po 7 dní při teplotě  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $65 \pm 5 \%$  tak, aby bylo dosaženo rozměrové stálosti pro zarovnání tak, aby finální velikost zkušebních těles byla 40 mm (šířka), 45 mm (výška), 855 mm délka (příprava zkušebních těles lepeného lamelového dřeva dubu koresponduje s normou ČSN EN 14080 (2013) Dřevěné konstrukce – lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky). Po vytvrzení byly nosníky následně srovnány na finální rozměr na tloušťkovací frézce typu SCM s630 class (SCM Group Headquarters, Itálie, Rimini).

Z důvodu dosažení požadované statistické významnosti na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  bylo připraveno tolik zkušebních těles nosníků lepeného lamelového dřeva, aby bylo dosaženo min. 7 platných měření pro každou skupinu nosníků (viz. kapitola 4.2 a Tab. 5).



Obrázek 14 Schéma průběhu letokruhů v lamelách  
Zdroj: Autor práce

Výsledkem zkoušky bylo zaznamenání změny velikosti průhybu nosníku lepeného lamelového dřeva v průběhu času při jeho expozici vysokým teplotám.

Tabulka 5 Kombinace variant zkušebních těles nosníků  
Zdroj: Autor práce

<b>Dřevina masiv/lepený</b>	<b>Typ adhesiva</b>	<b>Počet zkušebních těles [ks]</b>	<b>Čas expozice [min.]</b>	<b>Teplota expozice [°C]</b>
Dub lepený referenční	PUR 2010	7	0	22 ± 2 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	1	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	2	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	3	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	4	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	5	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	6	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	7	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	8	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	9	290 ± 5 °C
Dub lepený	PUR 2010	7	10	290 ± 5 °C
Dub lepený referenční	GripPro Plus A011	7	0	22 ± 2 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	1	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	2	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	3	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	4	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	5	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	6	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	7	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	8	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	9	290 ± 5 °C
Dub lepený	GripPro Plus A011	7	10	290 ± 5 °C

## 5. Realizace zkoušek

Zkouška hoření byla realizována na zkušebním zařízení termokomory typu Memmert UF55 (Memmert GmbH, SRN). Základním principem zkoušky pro stanovení požární odolnosti je zatížit konstrukční prvek konstantní zatížením a nechat vzorek hořet, až do fáze jeho porušení.

První skupina referenčních slepených vzorků nosníků lepeného lamelového dřeva dubu s aplikací daných adhesiv nebyly zahřívány, ale byly po 7 denním naklimatizování při teplotě  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $65 \pm 5 \%$  rovnou zatíženy výpočtovým zatížením (Obr. 15).



Obrázek 15 Referenční nosníky po klimatizování při  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $65 \pm 5 \%$  po realizaci zkoušek zatížení

Zdroj: Autor práce

Další skupiny slepených vzorků nosníků lepeného lamelového dřeva dubu s aplikací daných adhesiv byly následně exponovány do termokomory typu Memmert UF55 (Memmert GmbH, SRN) (Obr. 16 a 17), která byla předem předehřátá na teplotu  $290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Obrázek 16 Termokomora typu Memmert UF55 (Memmert GmbH, SRN)  
Zdroj: Autor práce



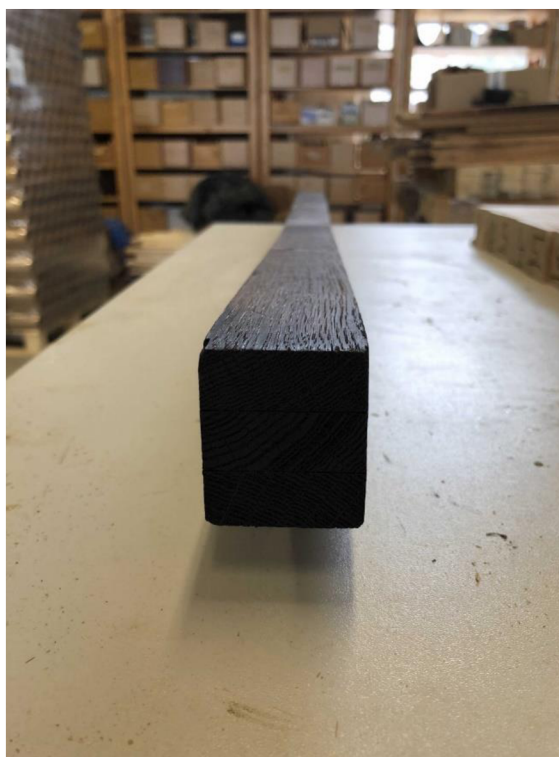
Obrázek 17 Uložené nosníky v sušárně  
Zdroj: Autor práce



## 5.1 Zkouška požární odolnosti

Připravené nosníky lepeného lamelového dřeva dubu byly aplikovány do termokomory Memmert UF55 (Memmert GmbH, SRN) s již dosaženou teplotou  $290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , kde došlo k jejich rychlému prohřátí, a to až nad bod teploty pyrolýzy dřeva, kdy na povrchu dřeva došlo k jeho pyrolýze a postupnému zmenšování průřezu. Požadavkem bylo neumožnit otevřenému hoření nosníku, proto zahřívání v termokomoře probíhalo bez přebytku kyslíku, tj. aby nedošlo k otevřenému vzplanutí povrchu lamelového dřeva, ale postupné pyrolýze jeho povrchu.

U nosníků exponovaných do prostředí o teplotě  $290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  se výrazně změnila struktura dřeva v povrchových vrstvách, resp. došlo k jeho degradaci vlivem tzv. depolymerizace. Při depolymerizaci vznikají v nosníku plyny (vodík, metan atd.). Při styku těchto plynů s kyslíkem v povrchových vrstvách dřeva, dochází k reakci hoření. Proto u nosníků exponovaných do teplot  $290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  je dobře patrná vrstva pyrolýzy (Obr. 18).



Obrázek 18 Vrstva pyrolýzy u nosníku při zahřátí na teplotu  $290 \text{ }^\circ\text{C}$   
Zdroj: Autor práce

Změna průřezu nosníků závisela na míře odhořívání dřeva od povrchu, předpokládá se rychlostí 1 mm za 1 minutu. Následně se konstrukční prvky vytáhly a rychle se aplikovaly na univerzální trhací stroj TIRATEST 2850 S (Tira, Schalkau, Německo), kde byla realizována zkouška 4 bodovým ohybem při působení vypočítaného zatížení dle ČSN EN 13381-7 (2019) a ČSN EN 1365 (2013) (viz. schéma Obr. 6).

Výsledkem zkoušky bylo zaznamenání změny velikosti průhybu nosníku lepeného lamelového dřeva v průběhu času při jeho expozici vysokým teplotám (Graf 01 a 02).

## 5.2 Zkouška ohybem

Po zkontrolování vad u nosníků (Obr. 19), byly následně přemístěny do laboratoře, kde je umístěn trhací stroj TIRATEST 2850 S (Tira, Schalkau, Německo) (Obr. 20), pro realizaci zkoušky 4 bodovým ohybem dle platné normy ČSN EN 13381-7 (2019).



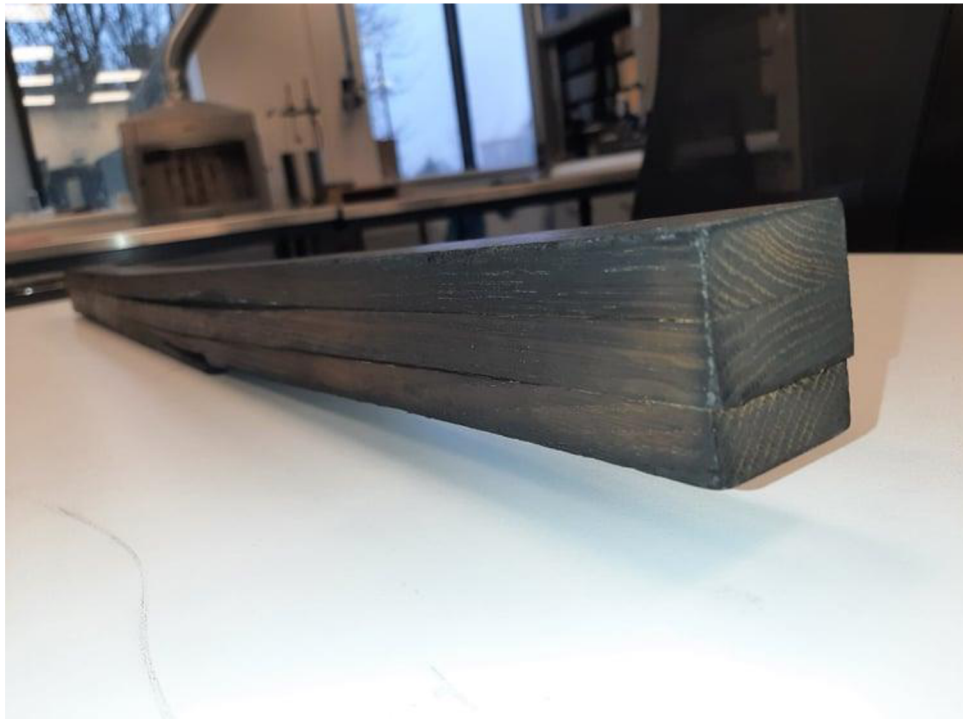
Obrázek 19 Příprava zkušebních referenčních nosníků pro realizaci zkoušky ohybem  
Zdroj: Autor práce

Zkouška 4 bodovým ohybem byla prováděna dle platné normy ČSN EN 13381-7 (2019). Každý zkušební nosník byl vložen do univerzálního testovacího stroje a přesně vycentrován tak, aby byl přípravky a podpěry stroje byly přesně pozicovány dle schématu (Obr. 6). Následně byl spuštěn proces zkoušky, přičemž jedna zkouška trvala cca. 1–5 min, z důvodu malé rychlosti nastavené posuvu přípravku. Zkouška končí po dosažení vypočítaného zatížení. Výsledkem realizovaných zkoušek je stanovení míry průhybu a porušení zkušebních nosníků exponovaných do prostředí o teplotě  $+290 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  v závislosti na čase (Graf 01 a 02).

Výslednou hodnotou je pak čas porušení nosníku, díky které bude stanoven odpovídající odpor hoření.

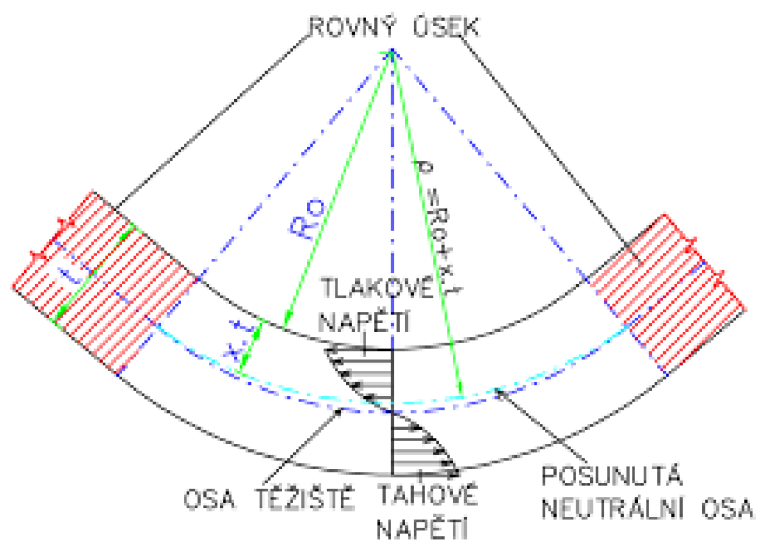


Obrázek 20 Trhací stroj TIRATEST 2850 S (Tira, Schalkau, Německo)  
Zdroj: Autor práce



Obrázek 21 Destrukce nosníku zkouškou v ohybu  
Zdroj: Autor práce

K porušení nosníků v nejvíce případech docházelo hlavně v neutrálně ose (Obr. 21), osa, která je mezi tlakovou a tahovou zónou (Obr. 22).



Obrázek 22 Neutrální osa  
Zdroj: (Dvořák, et al, 2007)

Hodnoty stanovených průhybů pevnostní zkouškou ohybu byly statisticky vyhodnoceny pomocí software STATISTIKA 14 (Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma, Spojené státy americké).

## 6. Výsledky a statistické vyhodnocení

Naměřené hodnoty výsledku byly vyhodnocené a zpracované pomocí třech programů. Použité programy byly STATISTIKA 14 (Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma, Spojené státy americké), Microsoft EXCEL 2016 (Microsoft, Redmont, Washington, Spojené státy americké), TIRAtest Systeme (GmbH, Schalkau, Německo).

Hlavním cílem práce je posouzení požární odolnosti nosníků z lepeného lamelového dřeva dubu metodou stanovení pevnostních charakteristik. Zkouška a měření bylo provedeno v kontextu normy ČSN EN 13381-7 (2019), kdy byla posuzována závislost doby trvání působící vysoké teploty  $+290 \pm 5$  °C na pevnost lepeného lamelového nosníku ze dřeva dubu, respektive na velikost průhybu nosníku [mm] v závislosti na čase [min.].

V grafech vyhodnocení jsou použity zkratky (Tab. 6), které představují:

Tabulka 6 Zkratky  
Zdroj: Autor práce

Zkratka	Význam
PUR2010 REF 22 0 min.	Pro lepení referenčního nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $22 \pm 2$ °C po dobu 0 min.
PUR2010 290 1 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 1 min.
PUR2010 290 2 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 2 min.
PUR2010 290 3 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 3 min.
PUR2010 290 4 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 4 min.
PUR2010 290 5 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 5 min.
PUR2010 290 6 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 6 min.
PUR2010 290 7 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 7 min.

PUR2010 290 8 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 8 min.
PUR2010 290 9 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 9 min.
PUR2010 290 10 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito polyuretanové adhesivum typu PUR2010, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 10 min.
GripPro Plus A011 22 REF 0 min.	Pro lepení referenčního nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $22 \pm 2$ °C po dobu 0 min.
GripPro Plus A011 290 1 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 1 min.
GripPro Plus A011 290 2 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 2 min.
GripPro Plus A011 290 3 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 3 min.
GripPro Plus A011 290 4 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 4 min.
GripPro Plus A011 290 5 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 5 min.
GripPro Plus A011 290 6 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 6 min.
GripPro Plus A011 290 7 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 7 min.
GripPro Plus A011 290 8 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 8 min.
GripPro Plus A011 290 9 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 9 min.
GripPro Plus A011 290 10 min.	Pro lepení nosníku konstrukčního lamelového dřeva dubu bylo použito melaminformaldehydové adhesivum typu GripPro Plus s vytvrzovačem A011, nosník exponován při teplotě $290 \pm 5$ °C po dobu 10 min.

## Průhyb nosníků

Výslednými hodnotami testů je velikost průhybu při konstantním výpočtovém zatížení při expozici nosníku lepeného lamelového dřeva při teplotě  $290 \pm 5$  °C a uvádějí schopnost lepeného lamelového dřeva odolávat zatížení v průběhu času při dané teplotě (ČSN EN 13381-7, 2019).

Pro vyhodnocení naměřených hodnot průhybu v závislosti na čase byly vypočítány základní popisné statistiky (Tab. 7 a 8). Data byla následně graficky zpracována do krabicových grafů (Graf 1 a 2).

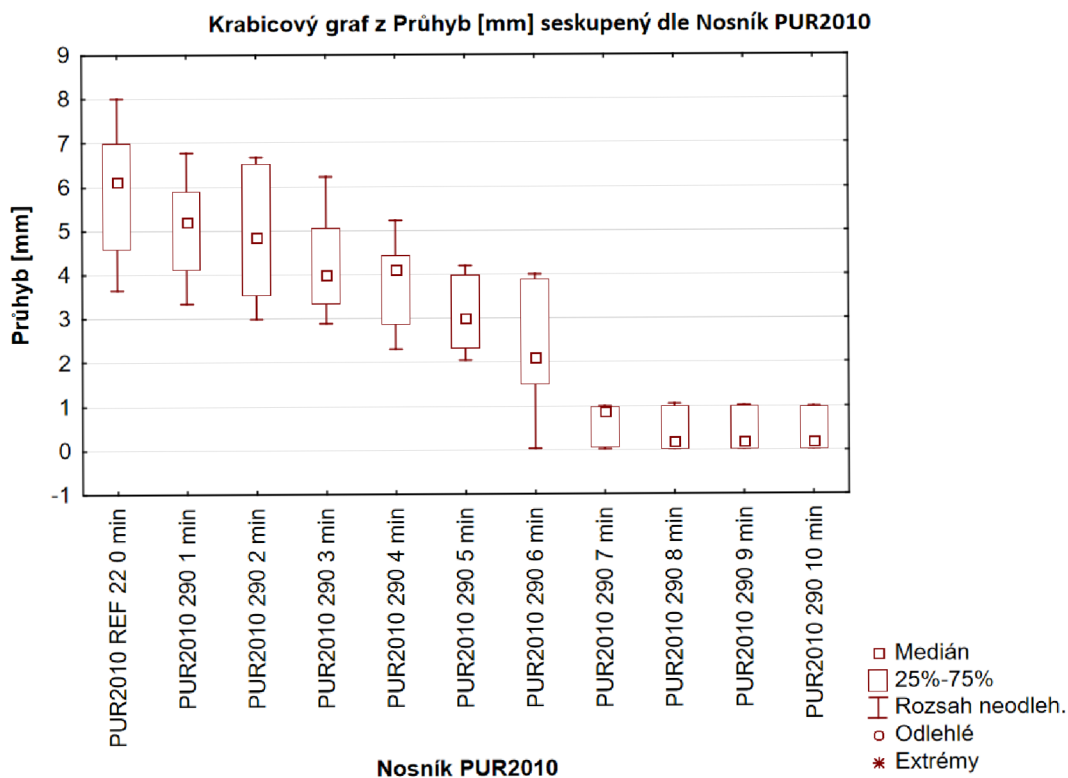
Porovnání velikostí průhybů u lepeného dřeva adhesivem PUR2010 a GripPro Plus A011 je vyobrazeno spojnicovým grafem porovnání průhybů (Graf 3).

Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami pevností v ohybu lepeného lamelového dřeva byl použit test Duncanův (viz. Graf 4 a 5). Pro statistické výpočty byl použit software Statistika 12 (StatSoft CR s.r.o., ČR).

Tabulka 7 Popisné statistiky průhybu lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem PUR2010 exponovaného vysokým teplotám  
Zdroj: Autor práce

Proměnná	Popisné statistiky PUR2010							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
PUR2010 290 1 min	7	4,981429	5,210000	3,330000	6,780000	1,379748	1,174627	23,5801
PUR2010 290 2 min	7	4,845714	4,870000	2,980000	6,670000	1,961095	1,400391	28,8996
PUR2010 290 3 min	7	4,340000	4,010000	2,880000	6,230000	1,326967	1,151940	26,5424
PUR2010 290 4 min	7	3,775714	4,110000	2,310000	5,230000	1,100995	1,049283	27,7903
PUR2010 290 5 min	7	3,202857	3,010000	2,050000	4,190000	0,699490	0,836355	26,1128
PUR2010 290 6 min	7	2,270000	2,110000	0,040000	4,010000	1,907233	1,381026	60,8382
PUR2010 290 7 min	7	0,600000	0,870000	0,010000	0,990000	0,204967	0,452732	75,4554
PUR2010 290 8 min	7	0,472857	0,190000	0,010000	1,050000	0,253424	0,503412	106,4618
PUR2010 290 9 min	7	0,471429	0,190000	0,010000	1,010000	0,236181	0,485985	103,0876
PUR2010 290 10 min	7	0,458571	0,190000	0,010000	0,990000	0,235614	0,485401	105,8507

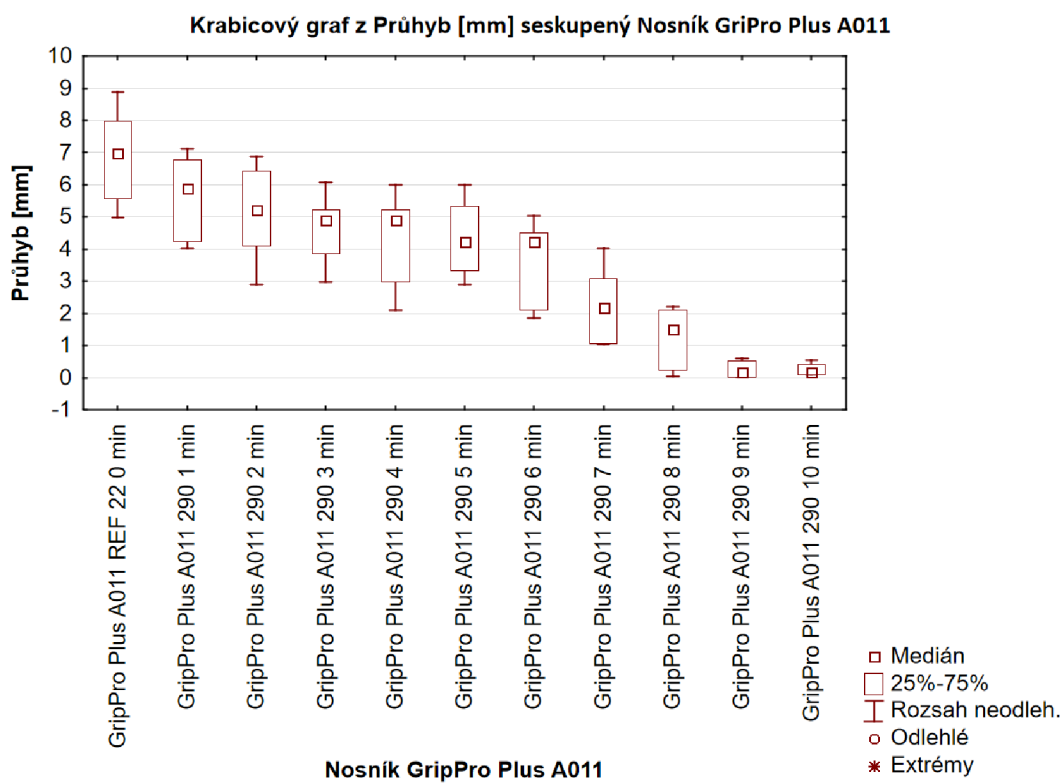




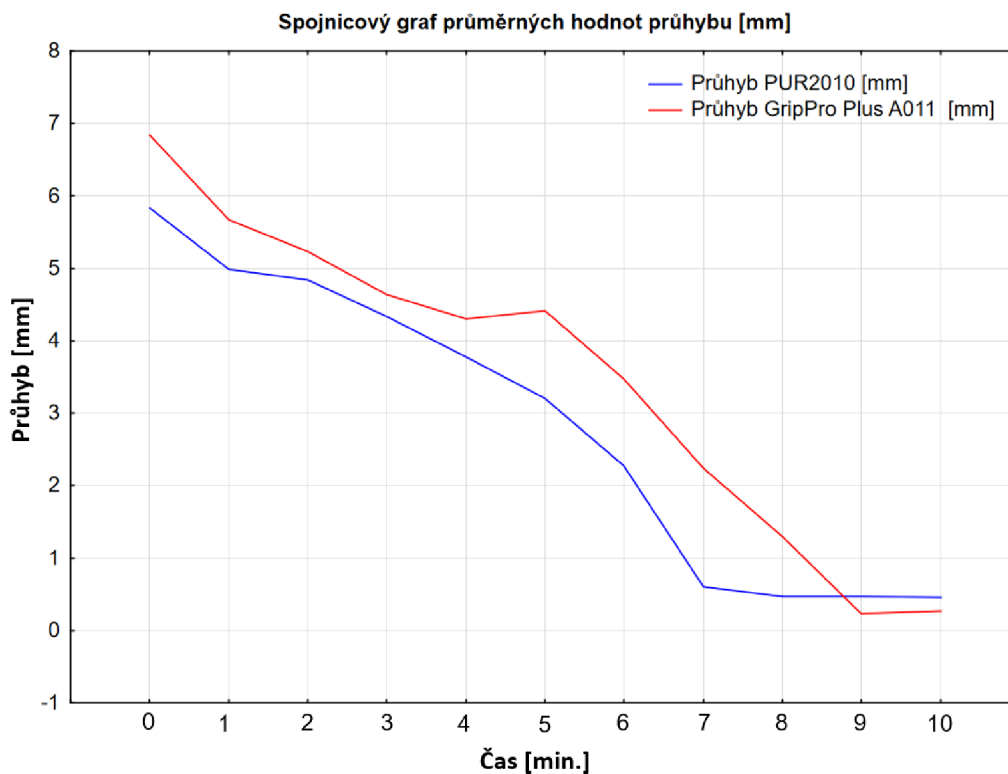
Graf 1 Průhyb lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem PUR2010 exponovaného vysokým teplotám  
Zdroj: Autor práce

Tabulka 8 Popisné statistiky průhybu lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem GripPro Plus A011 exponovaného vysokým teplotám  
Zdroj: Autor práce

Proměnná	Popisné statistik GripPro Plus A011							
	N platných	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
GripPro Plus A011 290 1 min	7	5,665714	5,890000	4,010000	7,110000	1,454695	1,206107	21,2878
GripPro Plus A011 290 2 min	7	5,238571	5,220000	2,890000	6,870000	1,918548	1,385116	26,4407
GripPro Plus A011 290 3 min	7	4,641429	4,890000	2,980000	6,090000	1,005148	1,002571	21,6005
GripPro Plus A011 290 4 min	7	4,297143	4,890000	2,090000	6,010000	1,901290	1,378873	32,0881
GripPro Plus A011 290 5 min	7	4,414286	4,230000	2,890000	6,010000	1,224529	1,106584	25,0683
GripPro Plus A011 290 6 min	7	3,477143	4,230000	1,870000	5,040000	1,897157	1,377373	39,6122
GripPro Plus A011 290 7 min	7	2,238571	2,190000	1,020000	4,010000	1,136014	1,065840	47,6125
GripPro Plus A011 290 8 min	7	1,298571	1,510000	0,040000	2,220000	0,773348	0,879402	67,7207
GripPro Plus A011 290 9 min	7	0,231429	0,170000	0,010000	0,610000	0,057248	0,239265	103,3860
GripPro Plus A011 290 10 min	7	0,268571	0,190000	0,090000	0,560000	0,030448	0,174492	64,9706



Graf 2 Průhyb lepeného lamelového dřeva dubu adhesivem GriPro Plus A011 exponovaného vysokým teplotám  
Zdroj: Autor práce



Graf 3 Spojnicový graf porovnání průhybů lepeného dřeva dubu s použitými adhesivy PUR2010 a GripPro Plus A011 exponovaných vysokým teplotám  
Zdroj: Autor práce

### **Vyhodnocení průhybu při testu zatížením v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu**

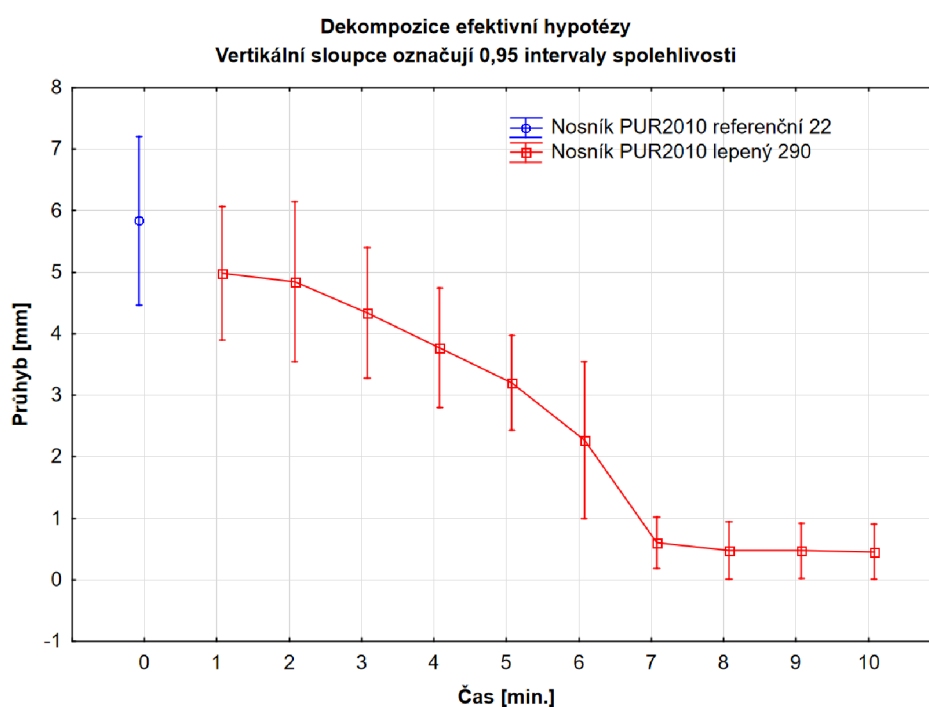
Při porovnání referenčních hranolů lepeného lamelového dřeva dubu bylo v porovnání s aplikovaným adhesivem PUR2010 dosaženo nejdelší únosnosti testovaného lepeného lamelového dřeva dubu u varianty s aplikovaným adhesivem GripPro PlusA011.

Na základě výsledků zaznamenaných v Grafu 3 můžeme konstatovat, že při porovnávání dvou lepidel PUR2010 a GripPro PlusA011, adhesivum na bázi melamin-formaldehydu včetně tužidla prokázalo lepší parametry než adhesivum polyuretanové. Z výsledků je patrný větší průhyb zatěžovaných nosníků při delším čase při expozici vysokým teplotám u adhesiva GripPro PlusA011. U adhesiva typu PUR2010 dochází k destrukci nosníku po 7 minutách expozice vysokým teplotám, u lepidla typu GripPro PlusA011 po 9 minutách.

Důvodem větší odolnosti adhesiva typu GripPro PlusA011 může být fakt, že melamin-formaldehyd je termoset, oproti tomu adhesivum typu PUR2010 je termoplast. Termoplast se při překročení teploty bodu zeskenění začíná změkčovat, což znamená, že dochází ke snížení jeho pevnosti. Naproti tomu má termoset větší odolnost vůči působení tepla z důvodu trojrozměrných kovalentních vazeb.

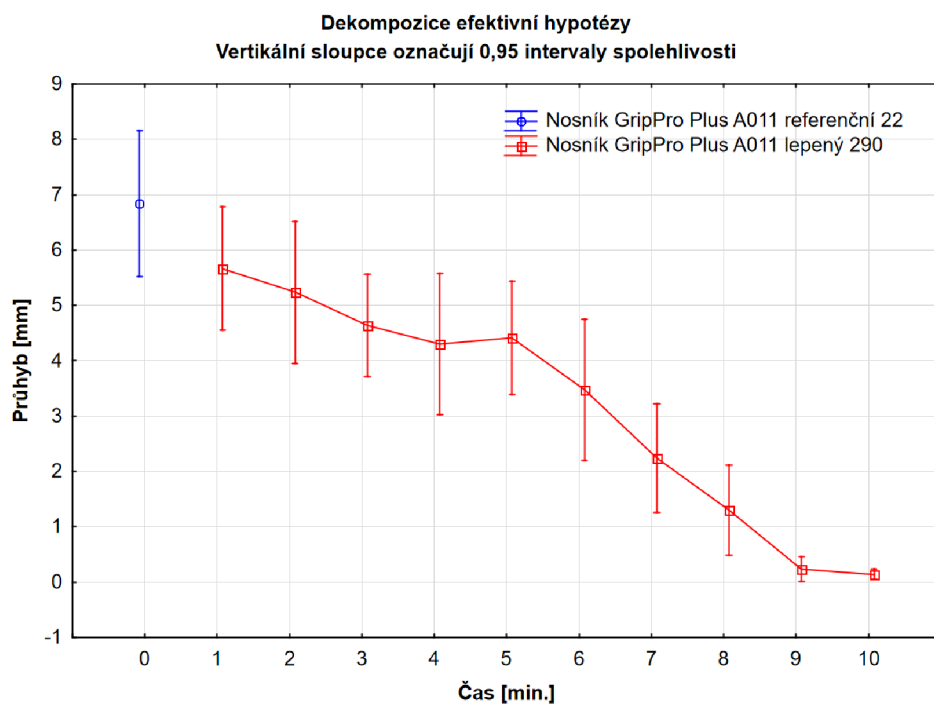
### Otestování síly lineární závislosti průhyb nosníků

Pro otestování síly lineární závislosti mezi hodnotami průhybů při zatížení v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu (Graf 4 a 5) byl použit test Duncanův. Skupiny hodnot, u nichž se v grafu krajní hodnoty vzájemně překrývají, vykazují závislost proměnných na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $p < 0,05$ ) pouze v rámci statistické chyby, respektive se vzájemně statisticky neodlišují. Krajní hodnoty, které se nepřekrývají, se statisticky prokazatelně odlišují na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  ( $p < 0,05$ ).



Graf 4 Test lineární závislosti průhybu při testu zatížení v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným PUR2010 testem Duncanův

Zdroj: Autor práce



Graf 5 Test lineární závislosti průhybu při testu zatížení v ohybu lepeného lamelového dřeva dubu s aplikovaným GripPro Plus A011 testem Duncanův  
Zdroj: Autor práce

## 7. Třída požární odolnosti

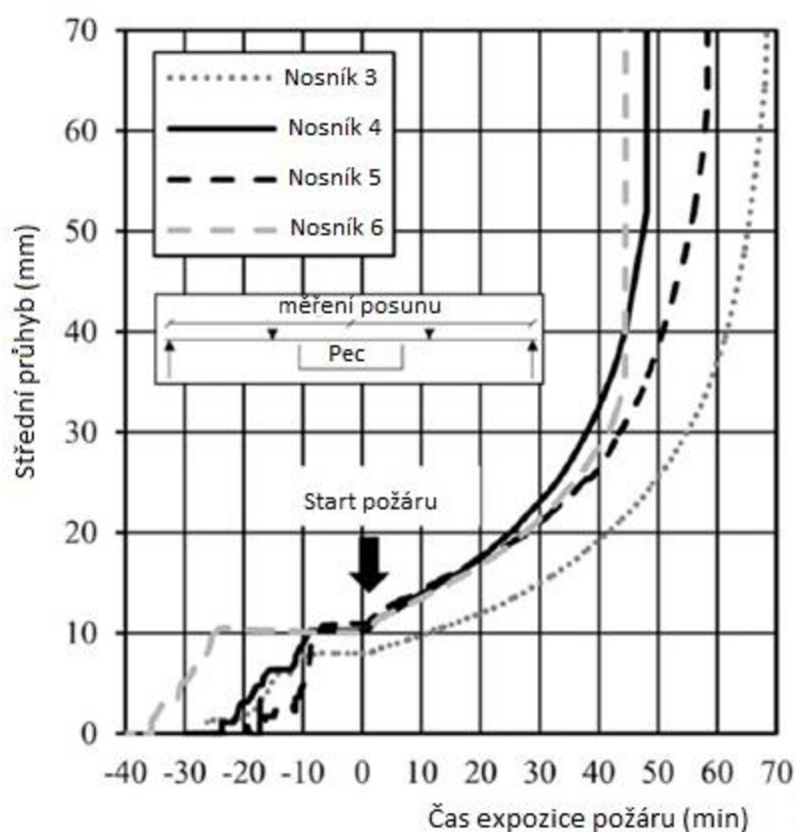
Z realizovaných testů vyplývá, že nosníky s použitými různými typy adheziv dosahují různé třídy požární odolnosti při použité klasifikaci dle ČSN EN 13501-2 (2017) (Tab. 9).

Tabulka 9 Dosažená třída požární odolnosti  
Zdroj: Autor práce

Typ nosníku s aplikovaným typem adheziva	Dosažená třída požární odolnosti
Nosník dub lepený s PUR2010	R7
Nosník dub lepený s GripPro PlusA011	R9

## 8. Diskuse

Výsledky realizovaných měření byly porovnávány s výsledky vědeckého článku s názvem „Požární zkoušky na lepených lamelových dřevěných trámech se specifickými místními materiálovými vlastnostmi“ (Fahrni, et al, 2019). Materiálem na výrobu nosníku byl smrk, přičemž každý nosník byl tvořen 7 lamelami o rozměrech 3800 x 25 x 158 mm (délka, výška, šířka). Nosník měl rozměry 3817 x 248 x 157 (délka, výška, šířka) mm. Použité adhesivem bylo PUR. Nosníky byly zahřívány v termokomoře, kde docházelo k zatížení ohybem při současném zvyšování teploty.



Obrázek 23 Průhyb v polovině rozpětí v průběhu doby vystavení požáru, s ohledem na podpěry (vlevo) a na body aplikace zatížení (vpravo)  
Zdroj: (Fahrni, et al, 2019)

Z výsledků grafu (Obr. 23) je patrné, že po 7 minutách od počátku zahřívání v komoře činil průhyb nosníků 13 mm. V porovnání s výsledky menších nosníků v této práci je možné konstatovat, že výsledky jsou obdobné a tendence k destrukci nosníku je podobná.

## 9. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá posouzením požární odolnosti nosníků z lepeného dřeva dubu. Cílem práce bylo posoudit požární odolnost nosníků z lepeného dřeva dubu metodou stanovení pevnostních charakteristik, kde na základě literární rešerše stanovit vhodný metodický postup pro posouzení chování lepeného nosníku z lepeného dřeva dubu při působení vysokých teplot emitovaných požárem.

Diplomová práce je rozdělená na dvě základní části. První část se zabývá popisem dřeva dubu, kvalitou lepeného spoje, změnami rozměru dřeva při expozici do vyšších teplot, vlastnostmi adhesiv PUR a MF, podstatou lepeného lamelového dřeva a metodami testování požární odolnosti lepených nosníků. Druhá část je věnována metodickému postupu, který zahrnuje technické údaje použitých lepidel, výpočty počtu zkušebních těles a zatížení pro zkoušku nosníku, údaje o postupu výrobě zkušebních těles a jejich rozměry, realizace zkoušky a výsledky a diskuse.

V rámci metodického postupu byl vypočítán přesný počet zkušebních nosníků pro realizaci zkoušky a činil 7 ks, respektive platných měření pro každou skupinu zkoušky. Dále pak bylo vypočítáno mezní konstantní zatížení na zkušební nosník ve dvou bodech 93,698 MPa a realizována zkouška pro stanovení požární odolnosti.

Z výsledků vyplývá, že adhesiv typu GripPro PlusA011 je lepší z hlediska požární odolnosti lepeného dřeva dubu než PUR2010. Druh lepidla GripPro PlusA011 vykazoval větší pevnost lepeného spoje, což znamenalo, že nosník s melamin-formaldehydovým lepidlem měl větší průhyb a docházelo k jeho destrukci až po 9 minutách exponování vysokým teplotám, oproti tomu nosník s lepidlem druhu PUR2010 dosáhl destrukce po 7 minutách.

## 10. Seznam literatury a použitých zdrojů

### Literatura:

BULIAN, F., GRAYSTONE, J. Wood Coatings Theory and Practice. 2009. ISBN: 9780444528407.

ČUBINSKIJ, A. N., SERGEJEVIČ, V. V. Simulace procesů lepení dřevěných materiálu. Petrohrad: Petrohradská státní lesnická univerzita Kirova, 2007. ISBN: 978-5-94125-140-7.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN: 978-80-214-3425-7.

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

KARDASHOV, D. A. Syntetická lepidla. Moskva, 1976.

LAY, D. G., CRANLEY, P. Handbook of Adhesion Technology. Polyurethane adhesives. Berlin: Springer-Verlag, 2003, ISBN: 978-3-642-01170-2.

NEUBAUER, J., SEDLAČÍK, M., KRŽIŽ, O. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN: 8024757869.

OSTEN, M. Práce s lepidly a tmely. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

REINPRECHT, L. Ochrana dřeva: vysokoškolská učebnica. Zvolen: Technická univerzita, 2008. ISBN: 978-80-228-1863-6.

REINPRECHT, L. Procesy degradácie dreva. 3. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001. ISBN: 80-228-1070-3.

ROWELL, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, 2013. ISBN: 9781032099163.

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



### **Normy:**

- ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky, 2013.
- ČSN EN 1365-2 Zkoušení požární odolnosti nosných prvků – Část 2: Stropy a střechy, 2017.
- ČSN EN 13381-7 Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků – Část 7: Ochrana aplikovaná na dřevěné prvky, 2019.
- ČSN EN 14080 – Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – požadavky, 2013.
- ČSN EN 1991-1-2 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, 2004.
- ČSN EN 1995-1-2 – Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, 2007.
- ČSN EN 338 (731711) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti, 2003.
- ČSN EN 301 (668504) Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a technické požadavky, 2018.
- ČSN EN 15425 (668505) Lepidla – Jednosložková polyuretanová (PUR) lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Klasifikace a funkční požadavky, 2017.
- ČSN EN 14081-1+A1 Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecné požadavky, 2011.
- ČSN EN 13501-2 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení, 2017.

### **Internetové zdroje:**

BEGUNKOVA, O. N., 2020. Vlastnosti výroby a provozu lepených nosníků [online]. [cit. 15.02.2022]. Dostupný na WWW: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2020/08/%D0%9C%D0%9E%D0%9D-131.pdf>

BINDER, H. W., DUNKY, M., 2014. Melamine–Formaldehyde Resins [online]. [cit. 11.12.2021]. Dostupný na WWW: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471440264.pst498>

BOLSHAJA ENCIKLOPEDIJA NEFTI A GAZAANON, 2021. Velká encyklopedie ropy a zemního plynu [online]. [cit. 14.02.2022]. Dostupný na WWW: [www.ngpedia.ru](http://www.ngpedia.ru)

BROUGHTON, J. G., HUTCHINSON, A. R., 2001. Adhesive systems for structural connections in timber [online]. [cit. 26.11.2021]. Dostupný na WWW: [https://www.researchgate.net/publication/222122482\\_Adhesive\\_systems\\_for\\_structural\\_connections\\_in\\_timber](https://www.researchgate.net/publication/222122482_Adhesive_systems_for_structural_connections_in_timber)

DOMASHNIJ MASTEROVOJANON, 2021. Domáci řemeslník [online]. [cit. 14.02.2022]. Dostupný na WWW: [www.masterovoi.ru](http://www.masterovoi.ru)

FAHRNI, R., KLIPPEL, M., JUST, A., OLLINO, A., FRANGI, A. Fire tests on glued-laminated timber beams with specific local material properties [online]. [cit. 25.3.2022]. Dostupný na WWW:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711217306732>

FAKULTA STROJNÍHO UNŽENÝRSTVÍ, ÚSTAV STROJRENSKÉ TECHNOLOGIE, 2021. Lepení materiálů [online]. [cit. 15.09.2021]. Dostupný na WWW:

[https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)

FRIHART, R. C.. Wood Adhesion and Adhesives. V: Handbook of wood chemistry and wood composites [online]. [cit. 12.01.2022]. Dostupný na WWW: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Kn\\_RBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA255&dq=Wood+Adhesion+and+Adhesives.+V:+Handbook+of+wood+chemistry+and+wood+composites&ots=pCth\\_Xcsjy&sig=ID3Pe\\_caQuacp7Cz3bOcl\\_vk75Q&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Wood%20Adhesion%20and%20Adhesives.%20V%3A%20Handbook%20of%20wood%20chemistry%20and%20wood%20composites&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Kn_RBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA255&dq=Wood+Adhesion+and+Adhesives.+V:+Handbook+of+wood+chemistry+and+wood+composites&ots=pCth_Xcsjy&sig=ID3Pe_caQuacp7Cz3bOcl_vk75Q&redir_esc=y#v=onepage&q=Wood%20Adhesion%20and%20Adhesives.%20V%3A%20Handbook%20of%20wood%20chemistry%20and%20wood%20composites&f=false)

HAUGEN, H. H., FURUVIK, N. C. I., MOLDESTAD, B. M. E. Characterization Of Biomass Wood [online]. [cit. 02.01.2022]. Dostupný na WWW:

<https://www.witpress.com/elibRARY/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/205/35786>

HOF, M., BRAVENÝ, T., 2013. Typické parametry lepidel v elektrotechnice a mikroelektronice [online]. [cit. 18.02.2022]. Dostupný na WWW:

<https://www.dps-az.cz/vyroba/id:4943/typicke-parametry-lepidel-v-elektrotechnice-a-mikro>

HRČKA, R., KUČEROVÁ, V., HÝROŠOVÁ, T. Correlations between Oak Wood Properties [online]. [cit. 12.3.2022]. Dostupný na WWW:

[https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_13\\_4\\_8885\\_Hrcka\\_Correlations\\_Oak\\_Wood\\_Properties](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_4_8885_Hrcka_Correlations_Oak_Wood_Properties)

[https://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba\\_dreva/lexikon/mikro/okno.html?obrazek=db\\_p4\\_1.jpg](https://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/lexikon/mikro/okno.html?obrazek=db_p4_1.jpg)

CHUMAK, K. G., CHERNYSEV, O. N. Charakteristické vlastnosti lepeného lamelového dřeva a technologie jeho výroby [online]. [cit. 23.10.2021]. Dostupný na WWW:

<https://cyberleninka.ru/article/n/harakternye-osobennosti-kleenogo-brusa-iz-sraschennyh-zagotovok-i-tehnologiya-ego-proizvodstva>

KAMKE, F. A., LEE, J. N. Adhesive Penetration in Wood—a Review [online]. [cit. 13.10.2021]. Dostupný na WWW:

<https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/641>

KHAFIZOVA, L. R., KIJANĚNKO, E. A., ZENITOVÁ, L. A. Jednosložkové polyuretanové lepidlo [online]. [cit. 03.10.2021]. Dostupný na WWW:

[https://www.researchgate.net/publication/317276775\\_GIDRIROVANIE\\_AROMATICESKIH\\_NITROSOEDINENIJ\\_RAZLICNOGO\\_STROENIA\\_V\\_ZIDKOJ\\_FAZE](https://www.researchgate.net/publication/317276775_GIDRIROVANIE_AROMATICESKIH_NITROSOEDINENIJ_RAZLICNOGO_STROENIA_V_ZIDKOJ_FAZE)

KONSTRUKCE, 2022. Požární odolnost dřevěných střešních nástaveb [online]. [cit. 12.01.2022]. Dostupný na WWW:

[http://old.konstrukce.cz/PublicFiles/UserFiles/images/K/2009/K409/122x122\\_lokaj01.jpg](http://old.konstrukce.cz/PublicFiles/UserFiles/images/K/2009/K409/122x122_lokaj01.jpg)

KRESTYANINOVA, A. Y., YUMINOVA, M. O. Materiály a konstrukce pro dřevostavby [online]. [cit. 29.09.2021]. Dostupný na WWW:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30795287>

- LEE, J. J., PARK, J. S., KIM, K. M., OH, J. K. Prediction of bending properties for structural glulam using optimized distributions of knot characteristics and laminar MOE [online]. [cit. 20.3.2022]. Dostupný na WWW: [https://www.researchgate.net/publication/248035811\\_Prediction\\_of\\_bending\\_properties\\_for\\_structural\\_glulam\\_using\\_optimized\\_distributions\\_of\\_knot\\_characteristics\\_and\\_laminar\\_MOE](https://www.researchgate.net/publication/248035811_Prediction_of_bending_properties_for_structural_glulam_using_optimized_distributions_of_knot_characteristics_and_laminar_MOE)
- LINKOV, N. V. K problematice využití vizuálního a strojového třídění řeziva [online]. [cit. 10.2.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47999793>
- MENDELU LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA, 2021. Anatomická stavba dřeva [online]. [cit. 02.09.2021]. Dostupný na WWW:
- MORIN-BERNARD, A., BLANCHET, P., DAGENAIS, C, Achim, A. Glued-laminated timber from northern hardwoods: Effect of finger-joint profile on lamellae tensile strength [online]. [cit. 24.02.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820335959>
- NAGDAKANON, 2013. Tabulka hodnot hustoty dřeva [online]. [cit. 10.2.2022]. Dostupný na WWW: <http://nagdak.ru/mater/plotnost-dereva>
- NOVÁK, P., 2012. Přirozená trvanlivost a odolnost dřeva [online]. [cit. 10.02.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/prirozena-trvanlivost-a-odolnost-dreva>
- PIZZI, A. Tannins: Prospectives and Actual Industrial Applications [online]. [cit. 18.09.2021]. Dostupný na WWW: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723084/>
- RAMAGE, M. H., BURRIDGE, H., BUSSE-WICHER, M. a kol. The wood from the trees: The use of timber in construction [online]. [cit. 02.09.2021]. Dostupný na WWW: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116306050>
- SAHULA, L., NOVÁK, D., BORŮVKA, V., ŠEDIVKA, P. Termomechanické vlastnosti PUR adhesiv exponovaných do vysokých teplot pro aplikace konstrukčního lepeného dřeva [online]. [cit. 25.3.2022]. Dostupný na WWW: <https://katedry.czu.cz/kzdb/publikace?editmode=0>

SVITÁK, M., GAŠPARÍK, M., PENC, J. Heat resistance of glued finger joints in spruce wood constructions [online]. [cit. 30.09.2022]. Dostupný na WWW:

<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/heat-resistance-of-glued-finger-joints-in-spruce-wood-constructions/>

TAMBI, A. A., DOSTOYNOVA, U. V. Zdůvodnění požadavků na přesnost výroby lamel pro lepené lamelové dřevo podle tloušťky [online]. [cit.

31.12.2021]. Dostupný na WWW: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35403448>

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCIANON, 2015. Amorfni a krystalické polymery, termické analýzy [online]. [cit. 18.02.2022]. Dostupný na WWW:

[https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9320/mod\\_resource/content/0/9.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9320/mod_resource/content/0/9.pdf)

TROFIMENKO, A. A. Teorie adheze a mechanismus adhezivního působení [online]. [cit. 14.10.2021]. Dostupný na WWW:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41361381>

ULLAH, S., BUSTAM, M. A., NADEEM, M. a kol. Synthesis and Thermal Degradation Studies of Melamine Formaldehyde Resins [online]. [cit.

14.02.2022]. Dostupný na WWW:

<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/940502/>

UZUN, O., PERCIN, O., ALTINOK, M., Kureli, I. Bonding strength of some adhesives in heat-treated hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood used of interior and exterior decoration [online]. [cit. 29.3.2022]. Dostupný na WWW:

<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/bonding-strength-of-some-adhesives-in-heat-treated-hornbeam-carpinus-betulus-l-wood-used-of-interior-and-exterior-decoration/>

VINOGRAD A VINOANON, 2018. Víno a hrozny [online]. [cit. 12.02.2022].

Dostupný na WWW: <https://vinograd-vino.ru/spravochniki.html>

VINOKUROV, A. A., DOKTOROV, I. A., LAVROV, M. F. Vliv teploty a vlhkosti na pevnost masivního a lepeného dřeva [online]. [cit. 01.3.2022].

Dostupný na WWW: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-otritsatelnoy-temperatury-i-vlagi-na-prochnost-tselnoy-i-kleenoy-drevesiny>

WHITE, R. H., DIETENBERGER, M. Fire safety of wood construction [online]. [cit. 02.09.2021]. Dostupný na WWW:

<https://www.researchgate.net/publication/282480485> Fire safety of wood construction

WIEMANN, M. Characteristics and availability of commercially important woods [online]. [cit. 15.12.2021]. Dostupný na WWW:

<https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/62246>

## **11. Seznam příloh**

Příloha číslo 1 Tabulka distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

Příloha číslo 2 Technický list adhesiva PUR2010

Příloha číslo 3 Technický list adhesiva GripPro Plus A011

## 12. Přílohy

Příloha číslo 1 Tabulka distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

### Tabulka 1: Distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

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

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

Zdroj: [www.homel.vsb.cz](http://www.homel.vsb.cz)

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 číslo 2 Technický list adheziva 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 tribeams, 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

	2010
<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

1

**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	16°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 2068  
 Medellín, Colombia +57 4 3618888  
[www.akzonobel.com/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for change: 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 396.

### 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  
 Medellín, Colombia +57 4 3518888  
[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 180 - 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  
 Medellín, Colombia +57 4 3618888  
[www.akzonobel.com/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 07 (2017-06-07)

Reason for change: 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

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

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013



## Produktspezifikation

	Plus A011	Plus H011
<b>Produkt</b>	Melamin Klebstoff	Härter
<b>Lieferform</b>	Flüssig	Flüssig
<b>Farbe</b>	opak weiß	Weiß
<b>Viskosität (zum Zeitpunkt der Produktion)</b>	2000 - 9000 mPas (Brookfield LVT, sp.4, 12 rpm, 25°C)	1700 - 2700 mPas (Brookfield LVT, sp.4, 60 rpm, 25°C)
<b>pH (zum Zeitpunkt der Produktion)</b>	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 3818888  
[www.akzonobel.com/cascoalhesives](http://www.akzonobel.com/cascoalhesives)

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:

Fichte, Kiefer, Tanne (nach Gewichtsteilen)	gemischt bei Keilzinkenverklebung	100 : 10-100 (Leim : Härter)
	gemischt und getrennt bei Flächenverklebung	100 : 30-100 (Leim : Härter)
Europäische Lärche (nach Gewichtsteilen)	gemischt bei Keilzinkenverklebung	100 : 30-60 (Leim : Härter)
	gemischt und getrennt bei Flächenverklebung	100 : 30-60 (Leim : Härter)
Sibirische Lärche (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 Fügeflächen 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 genommener 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 3018888  
[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
Topfzeit	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 Füge-teile.

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 Füge-teile. CAT ist die Zeit vom Zusammenlegen der Füge-teile 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
Wartezeiten, getrenntes Verfahren	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
Wartezeiten, Untermisch Verfahren	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 3618888  
[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 genommener 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 Fügebauteile, 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 (250 g/m <sup>2</sup> , ca. 0.1 mm)	Leimfugentemperatur	Verhältnis 100:30	Verhältnis 100:100
	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 (ca. 0.3 mm)	Leimfugentemperatur	Verhältnis 100:30	Verhältnis 100:100
	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 3618888  
[www.akzonobel.com/cascoadhesives](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

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 3618888  
[www.akzonobel.com/cascoadhesives](http://www.akzonobel.com/cascoadhesives)

Version: 4 (2015-08-15)

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

Version: 4 (2015-06-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013

Pressdruck	Gemäß EN 14080:2013
------------	---------------------

#### Gemischte Applikation bei Keilzinken

Im Untermischverfahren werden profilierte Auftragswalzen oder gleichwertige Applikationsgeräte empfohlen. Das Mischungsverhältnis 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 Keilzinkverbindung 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  
 Medellín, 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

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 3618888  
[www.akzonobel.com/cascoalhесives](http://www.akzonobel.com/cascoalhесives)

Version: 4 (2015-08-15)

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 (2015-08-15)

Reason for changes: update according to EN14080:2013