

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

**Vliv podmínek skladování lepených materiálů  
na bázi dřeva na houževnatost lepených spojů**

Bakalářská práce



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Jan Steindlberger
Studijní program:	Nábytek
Obor:	Tvorba a výroba nábytku
Vedoucí práce:	doc. Ing. Daniela Tesařová, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Josef Hlavatý, Ph.D.
Název práce:	<b>Vliv podmínek skladování lepených materiálů na bázi dřeva na houževnatost lepených spojů.</b>
Jazyková varianta:	Čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Cílem práce je stanovit vliv akátového a bukového dřeva na rázovou a vrubovou houževnatost lepených spojů lepidlem PVAC.
2. Analyzovat vlastnosti akátového a bukového dřeva, zejména jejich vrubovou a rázovou houževnatost.
3. Analyzovat vliv pojivové báze lepidel na pevnost lepeného spoje.
4. Analyzovat rázovou a vrubovou houževnatost lepených spojů a faktory, které je ovlivňují.
5. Stanovit postup řešení bakalářské práce včetně přípravy zkušebních vzorků a způsobu zkoušení rázové a vrubové houževnatosti.
6. Příprava vzorků lepených spojů bukového a akátového dřeva lepidlem na pojivové bázi PVAC.
7. Experimentální část.
8. Statistické vyhodnocení výsledků měření a diskuze dosažených výsledků v experimentální části
9. Vyhodnocení významu bakalářské práce pro praxi
10. Závěr.

Rozsah práce:

30-40

Literatura:

1. PŘEMYSLOVSKÁ, E. -- KOŇAS, P. Vztah geometrie profilu lomové plochy a rázové houževnatosti kompozitních materiálů na bázi dřeva. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendeliana Brunensis = Acta of Mendel University of agriculture and forestry Brno = Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně*. 2006. sv. LIV, č. 2, s. 91--96. ISSN 1211-8516.
2. STOKKE, D D. -- WU, Q. -- HAN, G. Introduction to wood and natural fiber composites. Chichester, West Sussex. 2014. ISBN 9780470711798, 9780470711804, 978-0-470-71091-3. URL: [http://web2.mendelu.cz/cp\\_944\\_navody/web/eBooks%20&%20MyEBSCOhost%20\(CZ\)%20-%20KOMPLETNI%20MANUAL.PDF](http://web2.mendelu.cz/cp_944_navody/web/eBooks%20&%20MyEBSCOhost%20(CZ)%20-%20KOMPLETNI%20MANUAL.PDF).
3. MITTAL, K L. -- PIZZI, A. *Wood adhesives*. Boca Raton: CRC Press, 2011. 451 s. ISBN 978-90-04-19093-1.
4. *XVII Sympóziium Pokroky vo výrobe a použití lepidel v drevopriemylse*. 7. 9. 2005 - 9. 9. 2005, Technická univerzita vo Zvolene (SK).
5. DĚCKÝ, D. -- KÚDELA, J. Heat load effect on glued joint strength. In *InWood2015: Innovations in Wood Materials and Processes*. 1. vyd. Mendelova univerzita v Brně, 2015, s. 21--22. ISBN 978-80-7509-255-7.

Datum zadání:

listopad 2014

Datum odevzdání:

květen 2017

**Jan Steindlberger**

Autor práce

**doc. Ing. Daniela Tesařová, Ph.D.**

Vedoucí práce

**doc. Ing. Daniela Tesařová, Ph.D.**

Vedoucí ústavu

**doc. Ing. Radomír Klvač, Ph.D.**

Děkan LDF MENDELU

*Prohlašuji, že jsem práci: Vliv podmínek skladování lepených materiálů na bázi dřeva na houževnatost lepených spojů vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

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

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

*V Brně, dne:*

*podpis studenta:*

## **Poděkování**

Děkuji mé vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Daniele Tesařové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Také děkuji Ing. Petru Čechovi, Ph.D. za ochotu, rady a pomoc při výrobě a přerážení zkušebních vzorků. Dále děkuji své rodině, která mi po celou dobu studia poskytovala podporu a skvělé podmínky pro mé studium.

## **Abstrakt**

**Jméno:** Jan Steindlberger

**Název práce:** Vliv podmínek skladování lepených materiálů na bázi dřeva na houževnatost lepených spojů

Cílem této bakalářské práce je analyzovat vliv nejen klimatických podmínek, ale i použitého lepidla a v neposlední řadě i použitého materiálu na houževnatost lepeného spoje. Rázová houževnatost je zjišťována na přerážecím stroji, Charpyho kladivu. Jako materiál pro lepení bylo vybráno akátové dřevo a buková překližovaná deska. Ke slepení těchto materiálů bylo použito tří lepidel od různých výrobců na bázi polyvinylacetátu. Zkoušené vzorky byly před přerážením vystaveny třem rozdílným klimatickým podmínkám, byly to normální klimatické podmínky, klimatické podmínky v chladném prostředí a extrémní podmínky při zvýšené teplotě a vlhkosti.

**Klíčová slova:** klimatické podmínky, rázová houževnatost, akátové dřevo, buková překližovaná deska, lepidlo

## **Abstract**

**Name:** Jan Steindlberger

**Title of the work:** Influence of storage conditions of bonded wood-based materials on the toughness of bonded joints

The aim of this bachelor thesis is to analyze the influence not only of climatic conditions, but also of used adhesive and, last but not least, of the material used, on the toughness of bonded joints. Impact strength is determined when using a cutting machine, the Charpy Hammer. Acacia wood and beech plywood were selected as the gluing material. Three adhesives from different polyvinyl-acetate-based adhesives were used to bond these materials. The tested samples were before the cutting exposed to three different climatic conditions; standard climatic conditions, cold climatic conditions and extreme conditions at an elevated temperature and humidity.

**Key words:** climatic conditions, impact strength, Acacia wood, Beech plywood, adhesives

## Obsah

1 Úvod .....	11
2 Cíl práce .....	12
3 Teoretická část .....	13
3.1 Buk (Fagus) .....	13
3.2 Trnovník Akát (Robinia pseudoacacia L.) .....	14
3.3 Lepidla .....	15
3.3.1 Lepení .....	15
3.4 Adheze .....	16
3.4.1 Specifická adheze .....	16
3.4.2 Mechanická adheze .....	18
3.5 Koheze .....	19
3.6 Smáčivost povrchu .....	19
3.7 Reologie lepení (Viskozita) .....	20
3.7.1 Reologie lepidel před vytvrnutím .....	20
3.7.2 Reologie při vytvrzování .....	20
3.7.3 Reologie vytvrzených lepidel .....	21
3.8 Příprava materiálu před lepením .....	21
3.9 Vytvrzování (Tvorba lepidlové spáry) .....	22
3.10 Polyvinylacetátová lepidla .....	22
3.10.1 Vznik lepidlového filmu .....	23
3.11 Rázová houževnatost .....	23
3.11.1 Výpočet rázové houževnatosti .....	24
4 Postup řešení .....	25
5 Použité materiály, stroje, nástroje, lepidla, zkušební postupy a normy .....	26
5.1 Použité materiály .....	26
5.1.1 Lepení připravených vzorků .....	27
5.1.2 Klimatizace vzorků .....	27
5.2 Zkouška rázové houževnatosti .....	28
5.3 Použité stroje a nástroje .....	28
5.3.1 Laboratorní váhy .....	28
5.3.2 Teploměr .....	28



5.3.3	Vlhkoměr .....	28
5.3.4	Štětce .....	28
5.3.5	Stěrka .....	29
5.3.6	Digitální posuvné měřidlo .....	29
5.3.7	Charpyho kladivo Instron CEAST 9050 .....	29
5.3.8	Klimatizační komora MEMMERT HPP 108 .....	29
5.3.9	Mrazicí box ELCOLD .....	30
5.3.10	Formátovací pila .....	30
5.4	Použitá lepidla .....	30
5.4.1	Titebond III .....	31
5.4.2	Duocoll 1057 D3 .....	31
5.4.3	Kleiberit 300.0 .....	32
6	Výsledky laboratorního měření .....	33
6.1	Vliv klimatických podmínek na rázovou houževnatost .....	33
6.1.1	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3 .....	33
6.1.2	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Titebond III .....	34
6.1.3	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 .....	36
6.1.4	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3 .....	38
6.1.5	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Titebond III .....	39
6.1.6	Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 .....	41
6.2	Vliv použitého lepidla na rázovou houževnatost .....	42
6.2.1	Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Duocoll 1057 D3 při různých klimatických podmínkách .....	42
6.2.2	Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Titebond III při různých klimatických podmínkách .....	43
6.2.3	Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 při různých klimatických podmínkách .....	44

6.2.4	Porovnání rázové houževnatosti v rámci všech použitých lepidel při různých klimatických podmínkách .....	45
6.3	Vliv použitých materiálů na rázovou houževnatost .....	46
6.3.1	Výsledky rázové houževnatosti za použití všech lepidel při různých klimatických podmínkách v závislosti na použitý materiál .....	46
6.3.2	Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel při klimatických podmínkách teplota -30 °C a RVV 0 % v závislosti na použitém materiálu.....	48
6.3.3	Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel, při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu.....	50
6.3.4	Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu.....	51
7	Diskuse a vyhodnocení výsledků .....	53
8	Závěr	54
9	Summary .....	55
10	Seznam použitých zdrojů .....	56
10.1	Normy.....	57
10.2	Technické listy .....	57
10.3	Internetové zdroje.....	57
11	Seznam tabulek .....	58
12	Seznam obrázků .....	61
13	Příloha .....	63

## 1 Úvod

Dřevo se od pradávna považuje za nejpoužívanější materiál využívaný při výrobě nábytku. Vzhledem k tomu, že je potřeba dřevo a materiály na bázi dřeva spojovat, začaly se vyvíjet různé spojovací prvky, ale také lepidla. Jako první se objevila lepidla na přírodní bázi. Jednalo se například o klihy či kaseinová a gluteinová lepidla. Tyto druhy pojiv byly vyráběny z kostí, krve či kůže zvířat. Postupem času začaly narůstat nároky a požadavky na kvalitu a pevnost lepených spojů. Tento fakt měl za následek vývoj nových druhů lepidel především na syntetické bázi.

Nejznámějším a nejpoužívanějším lepidlem je dnes PVAc lepidlo neboli lepidlo na bázi pojiva polyvinylacetátu. To bylo vyvinuto především pro potřeby spojování nábytkových dílců při montáži.

Díky rozvoji pojiv dochází nejen k rozvoji dřevěných konstrukčních spojů, ale i aglomerovaných materiálů.

Na lepený spoj působí mnoho činitelů, jimiž jsou klimatické podmínky, mechanické namáhání spoje, charakter povrchu lepeného materiálu, ale také způsob přípravy lepidlového spoje. Proto je vždy důležité vybrat pro konkrétní materiál takové lepidlo, které je pro něj vzhledem k jeho vlastnostem vhodné.

Pojiva se používají jak v interiéru, tak v exteriéru. Zejména v exteriéru je důležitá jejich odolnost vůči klimatickým vlivům, jimiž jsou vlhkost a teplota okolí i lepeného materiálu. A právě díky tomu probíhají zkoušky lepených spojů i lepidel samotných.

## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je stanovit:

- Vliv bukové překližované desky na rázovou a vrubovou houževnatost lepených spojů na bázi PVAC.
- Vliv akátového dřeva na rázovou a vrubovou houževnatost lepených spojů lepidlem na bázi PVAC.
- Vliv různých klimatických podmínek, ve kterých jsou zkušební vzorky kondicionovány, zejména tedy vlivem různé vlhkosti a teploty na houževnatost spoje.

### 3 Teoretická část

Vliv na pevnostní vlastnosti mají nejen vlastnosti dřeva, ale také pevnostní vlastnosti lepidlových filmů.

#### 3.1 Buk (*Fagus*)

Buk se řadí mezi dřeviny s roztroušeně pórovitou stavbou dřeva, což je dáno tím, že má úzké cévy (menší než 0,1 mm), které jsou rozesety po celém letokruhu. Tyto úzké cévy nejsou okem zřetelné. Buk se řadí mezi dřeviny se širokými dřevnými paprsky, což znamená, že jsou tyto dřevné paprsky viditelné na všech třech řezech. Na příčném řezu jsou viditelné jako pásy kolmo na letokruhy, na radiálním řezu jako pásy nebo skvrny, tzv. zrcadélka s orientací kolmo na osu kmene a na tangenciálním řezu jako svislé čárky.

Je to dřevina bělová, u které se vyskytuje nepravé jádro. S hustotou 658 [ $kg/m^3$ ] patří buk mezi dřeviny středně těžké. Tvrdost buku je 61 [ $MPa$ ], což jej řadí do skupiny středně tvrdých dřevin. Bukové dřevo se dobře impregnuje, moří a paří, ale hůře se suší, jelikož má sklon k tvorbě trhlin a k borcení. V nábytkářském průmyslu patří buk mezi důležitou surovinu pro výrobu dých a překližek. Buk je velmi dobrou surovinou pro výrobu ohýbaného nábytku, a to díky jeho dobré ohybatelnosti. Také ho lze použít jako konstrukční materiál, například při výrobě dopravních prostředků, dřevěných doplňků strojů a také na výrobu drobných předmětů, jako jsou knoflíky, hračky, hole apod. (<http://ldf.mendelu.cz>)



Obr. 1: Buk, příčný řez (<http://ldf.mendelu.cz>)

Tab. 1: Přehled základních mechanických vlastností bukového dřeva (<http://www.nlcsk.sk/files/1526.pdf>).

Vlastnost	Rovnoběžně s vlákny		Kolmo na vlákna		
	w = 12 %	w > 30 %	w = 12 %	w > 30 %	
Pevnost v tahu	135	97	10,7	7	MPa
Pevnost v tlaku	56,3	41	11,4		
Pevnost ve smyku	14,5	8,9			
Pevnost v ohybu	123	74			
Modul pružnosti v ohybu	12600	10000			
Houževnatost			8,04	6,87	J/cm <sup>2</sup>

### 3.2 Trnovník Akát (*Robinia pseudoacacia* L.)

Akát je dřevina jádrová s úzkou bělí, jejíž rozsah se pohybuje v rozmezí 1 – 3 cm. Má velmi zřetelnou hranici letokruhů a ostrý přechod mezi jarním a letním dřevem. Jádro má žlutou až zelenohnědou barvu a běl je žlutobílá. Dřeňové paprsky jsou viditelné pouze na radiálním řezu jako mohutné lesklé pásy či skvrny, také se jim říká zrcadélka (<http://ldf.mendelu.cz>).

Trnovník Akát je zastoupen ve skupině dřevin kruhovitě pórovitou stavbou. V jarním dřevě obsahují makropóry (větší než 0,1 mm), které jsou zřetelné okem a projevují se jako rýhy na podélném řezu. V oblasti letního dřeva se vyskytují mikrocévy, které u jednotlivých zástupců kruhovitě pórovitých dřevin tvoří charakteristická seskupení. Tato seskupení lze pozorovat pouhým okem.

U akátu tvoří letní cévy světlé tečky (klubíčka). Seskupení letních cév je diagnostickým znakem pro určování dřev s kruhovitě pórovitou stavbou. (Šlezingerová, 2008).

Dřevo akátu je dobře opracovatelné, ale hůře se impregnuje. Je velmi houževnaté, trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům. Hustota akátu je 760 [kg/m<sup>3</sup>], což znamená, že patří do skupiny dřev s vysokou hustotou. S tvrdostí 97 [MPa] patří do skupiny dřev s vysokou tvrdostí.

Využívá se k výrobě náradí, násad, kůlů, žebříků, v bednářství, také se z něj vyrábí zahradní nábytek. (<http://ldf.mendelu.cz>)



Obr. 2: Trnovník akát, příčný řez (<http://ldf.mendelu.cz>).

Tab. 2: Přehled základních mechanických vlastností akátového dřeva (Horáček 2008).

Vlastnost	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna	
	w = 12 %		
Pevnost v tahu	133	4,2	MPa
Pevnost v tlaku	70	18,6	
Pevnost ve smyku	12,5		
Pevnost v ohybu	102		
Modul pružnosti v ohybu	11000		
Houževnatost		6,6	J/cm <sup>2</sup>

### 3.3 Lepidla

#### 3.3.1 Lepení

Lepení lze označit jako spojování dvou na sebe přiléhajících materiálů v pevném skupenství pomocí látky v kapalné nebo tuhé formě procházející kapalným skupenstvím nebo plastickým stavem. Tato látka má schopnost vytvářet pevný film umožňující trvalý spoj a dostatečnou pevnost mezi lepeným materiálem. (Zemiar, 2009)

Při lepení označujeme spojovaný materiál jako adherend, někdy také jako substrát a lepidlo jako adhezivum. Pokud použijeme adherend a adhezivum, které budou mít odlišné složení, tak hovoříme o heteroadhezi. Pokud je tomu naopak, a tedy adherend a adhezivum mají stejné složení, hovoříme o autoadhezi.

Adherendy jsou obecně pevné materiály. Přílnavost dřevěných adherendů je dána hlavně anatomickými vlastnostmi dřeva a také množstvím a povahou chemických činidel. (Douglas D., Stokke, 2013)

Adheziva jsou polymerní materiály, které vykazují viskoelastické vlastnosti. Jsou schopné spojování a mají schopnost přenášet mechanické napětí z adherendů na lepidla. Převážně se vyskytují ve formě kapaliny. Mohou mít různé formy, například jako tlakocitlivé pásy a další. Lepidla musí efektivně působit na oba substráty a vytvořit spoj, který odolá deformacím. (Douglas D., Stokke, 2013)

### 3.4 Adheze

Adheze se také nazývá vzájemnou přilnavostí různorodých molekul. Je to síla, která spojuje dva materiály na rozhraní jejich povrchu a je vyvolána mezimolekulárními silami.

Existují dva druhy adheze, je to mechanická a specifická adheze. Mechanická adheze se uplatňuje u materiálů, které mají nerovný, porézní povrch, kde lepidlo zatéká do těchto pórů a po vytvrnutí vznikne pevná mechanická vazba. U specifické adheze se o pevnost lepeného spoje stará chemická vazba. Používá se u materiálů s povrchem hladkým i pórovitým. Aby vznikla mezi lepidlem a lepeným materiálem chemická reakce, je nutné, aby byl povrch reaktivní. V případě nízké schopnosti reakce lze chemicky upravit povrch pro dosažení vyšší reaktivnosti. (Boublík, 1966)

Obecně platí, že neexistuje žádná sjednocená teorie adheze. V některých speciálních případech platí například pouze teorie adsorpce, difuze nebo například teorie elektrostatická. Častěji se však vyskytuje jistá synergická kombinace více různých teorií najednou. (Douglas D., Stokke, 2013)

#### 3.4.1 Specifická adheze

Specifická adheze tvoří podstatnou část přilnavosti materiálů. Je založena na vzájemném působení chemických a fyzikálních sil. Mezi činitele ovlivňující adhezi patří zejména povrchové napětí, viskozita, polarita spojovaných materiálů a další. Adhezivní síly působí na velmi krátkou vzdálenost, tj. 3 – 4 [ $\mu\text{m}$ ]. Na tuto vzdálenost je třeba přiblížit k sobě molekuly lepených povrchů, což je u pevných těles prakticky nemožné. (Sedliačik, 2007)

Specifická teorie se rozděluje na:

1. Teorie adsorbce
2. Teorie chemické vazby
3. Sterická adheze
4. Teorie difuze



5. Elektrostatická teorie

6. Teorie polarity

(Boublík, 1966, Liptáková, Sedliačik, 1989)

#### **3.4.1.1 Teorie adsorpce**

I když neexistuje sjednocená teorie adheze, tak teorie adsorpce se dá považovat za nejvíce převládající teorii adheze. (Douglas D., Stokke, 2013).

V adsorbční teorii jsou přitažlivé síly mezi materiály popisovány z hlediska chemické a fyzické sorpce na rozhraní atomů a molekul. Tato teorie je založena na termodynamických úvahách Sharpea, Schonhorna a Zismana. Adsorbent je látka, na jejímž povrchu probíhá adsorpce. Naopak adsorbát je látka, která se adsorbuje do adsorbentu. Teorie adsorpce má tři druhy, a to podle charakteru sil působících mezi adsorbentem a adsorbátem. Jsou jimi:

- Fyzikální adsorpce
- Polární adsorpce
- Chemická adsorpce

(Šudřich P., 2011)

#### **3.4.1.2 Teorie chemické vazby**

Dle (Brockman, 1970) existují představy o vzniku chemických primárních vazeb mezi lepidlem a substrátem. Známa je reakce nízkomolekulárních meziproductů močovinných a melaminových lepidel s OH skupinami, tedy i s OH skupinami polysacharidů dřeva.

#### **3.4.1.3 Sterická adheze**

Tato teorie je velmi podobná teorii mechanické adheze. Liší se však v tom, že na rozdíl od mechanické teorie lepidlo nevniká do mikroskopických kapilár dřeva, ale do submikroskopických prostorů. (Liptáková, Sedliačik, 1989)

#### **3.4.1.4 Teorie difuze**

Tato teorie je založena na předpokladech, že polymerní molekuly v lepidle nebo jejich části, jsou schopny difundovat z lepidla do substrátu, případně difundovat vzájemně mezi sebou. A také na předpokladu, že makromolekuly lepidla mají dostatečnou hybnost. Tato teorie je založena na tom, že mezi dvěma lepenými materiály se neustále pohybují molekuly, a to ze spoje do adherendu nebo naopak z adherendu

do spoje. Tomuto pohybu říkáme mikro-Brownův molekulový pohyb. (Šudřich P., 2011)

#### **3.4.1.5 Elektrostatická teorie**

Teorie je založena na pozorování, které ukazuje, že při odtržení lepidlového filmu od adherendu vzniká elektrický náboj. Tím, že tento náboj vzniká, se podle této teorie dosahuje pevného spoje pomocí elektrostatických přitažlivých sil. Vznik náboje se vysvětluje jako rozdíl v napětí mezi adherendem a lepidlovým filmem při jeho odtržení, což vede k výboji. Jelikož je možné, že se tento náboj vytváří jen v momentě odtrhnutí (při tření), tak se tato teorie dostatečně neprokázala.

#### **3.4.1.6 Teorie polarity**

Tato teorie se zabývá vzájemnou přitažlivostí molekul pomocí chemických nebo fyzikálních vazeb. Chemické vazby jsou tři, a to iontová (anorganické sloučeniny), kovalentní (organické sloučeniny) a kovová. Iontová vazba má velmi vysokou pevnost a odolnost proti vysoké teplotě a polárním rozpouštědlům. Vyskytuje se u spojování kovových a nekovových prvků. Vazba kovalentní tvoří velmi pevné vazby, které jsou odolné mechanickým silám. Kovalentní vazba se vytváří jen v případě, že dva atomy mají ve své vnější elektronové vrstvě sdílený elektronový pár.

Fyzikální síly jsou v této teorii zastoupeny van der Wašovými silami, jež se vyznačují menší pevností vazby než u vazeb chemických. (Liptáková, Sedliačik, 1989)

### **3.4.2 Mechanická adheze**

Mechanická adheze byla dlouhou dobu považována za významný spojovací mechanismus všech porézních materiálů, jako například dřevo, papír, vlákna atp. Vzniká vnikáním lepidla do povrchových dutin nebo pórů substrátu. Následuje vytvrzení, které má za následek zakotvení lepidla v substrátu, vznikají tzv. mikrokolíkové spoje. (Douglas D., Stokke, 2013)

Mechanická adheze však nedokáže vysvětlit spojování neporézních materiálů, ani proč je lepivost dřeva lepší ve směru podélném než v příčném (čelním), i když v příčném směru je větší možnost zatečení lepidla do kapilár. Proto vznikly další teorie lepení, jež jsou zahrnuté ve specifické adhezi, které se zaměřují na jiné faktory, které souvisí s chemickou a molekulovou interakcí mezi lepidlem a substrátem. (Král, 2011)

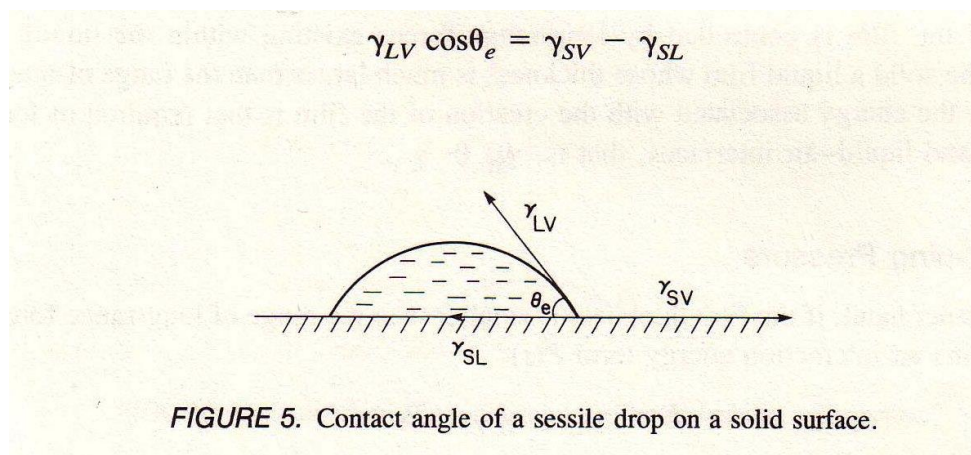
### 3.5 Koheze

Další silou ovlivňující pevnost je koheze, nebo taky soudržnost vnitřních molekul lepidla, která se projevuje jako výslednice přitažlivých sil mezi molekulami. Čím lepší koheze, tím lepší mechanické vlastnosti lepidla a lepší pevnost spoje. V kapalinách se koheze projevuje jako povrchové napětí. Fyzikální síly, které působí na vzájemnou soudržnost molekul, jsou jak u specifické adheze, tak i u koheze stejného původu. Jsou to permanentní dipolární síly závislé na polární struktuře molekul. Pevnost vazby je tím větší, čím výraznější polarita se uplatňuje při vzájemném styku molekul. U nepolárních látek, zejména u tavných lepidel a polyetylénu se uplatňují zvláštní síly zvané Van der Waalsovy. (Macháň J., 1998).

### 3.6 Smáčivost povrchu

Smáčivost povrchu lepidly nebo směsí lepidel je základní předpoklad pro adhezi. Závisí na povrchovém napětí lepidla a lepeného povrchu. Základním předpokladem je, aby lepidlo mělo povrchové napětí menší než lepený povrch.

Obecně platí, že kapalina dobře smáčí povrch, je-li úhel smáčení menší než  $90^\circ$ . A naopak je-li úhel smáčení větší než  $90^\circ$ , tak povrch nesmáčí.



Obr. 3: Úhel smáčení kapky na pevném povrchu (L.-H Lee 1991).

Pokud platí že,  $\gamma_{LV} < \gamma_{SV}$  a  $\theta < 45^\circ$ , tak je povrch dobře smáčen.

Smáčivost povrchu nepříznivě ovlivňuje:

- Cizí látky na povrchu (prach, pot, vzduch, tuk ...)
- Nízkomolekulární podíly

- Změkčovadla
- Separátory vyloučené na povrch
- Nízká teplota

Smáčivost povrchu naopak příznivě ovlivňuje:

- Úpravy povrchu (odmaštění, hydrofilace, obroušení, zvýšení teploty ...)
- Přidání tenzidů
- Vyšší teplota lepidla

Snižováním povrchového napětí lepidel dochází ke snižování koheze jejich filmů a také se lepidlo stává citlivějším na zpěnění (Osten 1982).

### **3.7 Reologie lepení (Viskozita)**

Reologie je nauka o deformaci a tečení deformovaných těles. Rozděluje se do tří fází:

1. Reologie před vytvrzením
2. Reologie při vytvrzování
3. Reologie vytvrdnutých lepidel

(Liptáková, Sedliačik, 1989)

#### **3.7.1 Reologie lepidel před vytvrdnutím**

Vysoká tekutost (nízká viskozita) zajišťuje dokonalé smáčení lepeného spoje a také snadné nanášení lepidla. Viskozita je ovlivňována přímo koncentrací lepidla a velikostí jeho molekul a nepřímo teplotou. Je třeba volit lepidlo s optimální tekutostí, abychom předešli nadměrnému vnikání lepidla do lepeného povrchu, což by způsobilo, že by byl spoj tzv. chudý a málo pevný. Tekutost lepidla lze ovlivňovat přísadami (plnivo, nastavovadlo) popřípadě ředěním. Po nanesení lepidla na lepený povrch dochází k unikání disperzního média do dřeva, odpařování rozpouštědla nebo k polykondenzaci, což snižuje tekutost lepidla a lepidlo se stává tzv. lepavým. (Drápela, 1979)

#### **3.7.2 Reologie při vytvrzování**

U tvrdnutí se uplatňuje více vlivů. Z hlediska reologie je nejdůležitější změna viskozity termoreaktivních lepidel při lepení za zvýšené teploty, změna viskozity při unikání disperzního média do dřeva u PVAc lepidel a změna viskozity při zesíťování

molekul u reaktoplastických lepidel. Tvrdnutí lepidel v lepeném spoji je provázáno zvýšením kohezní pevnosti. (Jindřich Drápela a kolektiv, 1980, Zemiar, 2009)

### 3.7.3 Reologie vytvrzených lepidel

V této fázi se reologie může projevovat jako nepříjemný jev, tj. smršťování lepidla, což může mít u křehkých lepidel za následek popraskání v lepené spáře, a tím snížení pevnosti spoje. Smršťování se dá do určité míry korigovat zvýšením sušiny, plniv, nastavovadel nebo plastifikací. U termoplastických lepidel se také může vyskytovat tzv. „studený tok“, jež má za následek snížení snášenlivosti trvalého zatížení. Tomuto se dá předejít vhodnou kombinací lepidel, například PVAc disperze a UF lepidla.

### 3.8 Příprava materiálu před lepením

Pro účinné lepení musí lepidlo lepený podklad důkladně smáčet a musí se vytvořit chemická vazba mezi substrátem a lepidlem. Aby byly tyto podmínky splněny, musí být povrch substrátu dostatečně hladký, čistý a musí mít schopnost chemicky se vázat se zvoleným lepidlem.

Dřevo je velmi oblíbeným materiálem pro lepení. Aby bylo lepení dostatečně účinné, je třeba povrch dřeva před samotným lepením upravit. Zaprvé je třeba, aby byl povrch obroušen nebo ohoblován. Po této operaci je třeba mechanické nečistoty odstranit z povrchu, to se může provádět buď pomocí tlakového vzduchu, vysátím, nebo může být povrch otřen látkou zvlhčenou rozpouštědlem. Po očištění by se mělo s materiálem manipulovat co nejméně a co nejdříve by měl začít proces nanášení lepidla a samotné lepení. (Glen A Rowland, 1998)

Hlavní podmínky pro adherend při lepení:

- Povrch musí být smáčivý – lepidlo musí být po celém povrchu adherendu, aby tvořilo silnou vazbu. Nesmí být přítomny žádné vzduchové bubliny nebo nečistoty.
- Adherend musí být porézni – lepidlo musí zatéct do materiálu po celém povrchu a usadit se tam.
- Materiál musí změnit svou strukturu a stát se pevnějším, ale stále lepivým.

- Materiál musí zůstat stabilní – materiál musí být nedotčen věkem, přírodními podmínkami a dalšími faktory tak dlouho, dokud je zapotřebí vazba.

(Glen A Rowland, 1998)

### **3.9 Vytvrzování (Tvorba lepidlové spáry)**

Proces tvorby lepidlové spáry začíná smáčením lepeného materiálu lepidlem v tekuté formě a končí pevným lepidlovým spojem.

Rozlišujeme tvorbu lepidlového filmu rozpouštěním lepidel ve vodě, v rozpouštědlech, a tvorbu lepidlového filmu u lepidel bez rozpouštědel a vody, které tvoří film chemickou reakcí nebo změnou skupenství.

Nejen chování lepidla při nanášení na substrát, ale i správné vytvoření filmu v lepené spáře má vliv na kvalitu lepeného spoje.

### **3.10 Polyvinylacetátová lepidla**

Termoplastický polymer ve formě disperze, pryskyřice nebo pevné látky, vyrobené polymerací vinylacetátu jako jediného nebo základního polymeru. (ČSN EN 923)

Polyvinylacetátová lepidla jsou termoplastická polymerní lepidla, lépe známá jako tzv. „bílá lepidla“ pro spojování dřeva. Patří mezi nejdéle používaná lepidla v nábytkářském průmyslu.

PVAc lepidla jsou flexibilnější a citlivější na tepelné změkčování a tečení než například lepidla močovinná.

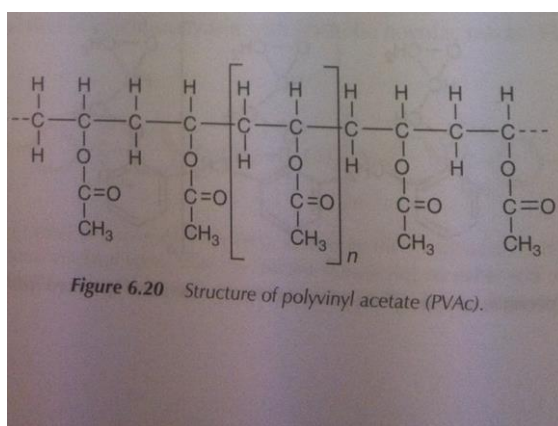
Polyvinylacetát vzniká radikálovou polymerací za vzniku homopolymeru PVAC. Acetátová skupina předává polaritu vinylické struktury. Polymery PVAC se emulgují jako malé, kulovité kapky, obvykle ve směsi s vodou a polyvinylalkoholem, který slouží jako hlavní ochranný koloid a zhušťovadlo. Aby byly emulze stabilní, připravují se při pokojové teplotě a v uzavřené místnosti, aby bylo zabráněno odpařování vody. Na emulzi nesmí působit mráz, jinak se stane nepoužitelnou. Odolnost vůči vodě je závislá na složení lepidla, například dvousložková PVAc lepidla jsou vodě odolná. (Pizzi, Mittal 2003, Pecina 2006)

### 3.10.1 Vznik lepidlového filmu

Ztráta už malého množství vody ze suspenze nebo emulze vede k shlukování molekul PVAC, čímž se vytváří lepidlový film. Ke ztrátě vody dochází dvěma způsoby. Prvním je, že se voda vsakuje do podkladu a druhým je, že se voda odpařuje. Pevnosti lepidlové spáry se dosahuje zesíťováním jednotlivých makromolekul PVAC. Na porézních substrátech jako je dřevo, je lepidlo schopno vytvářet vodíkové vazby s adherendem. Vazby vznikají za méně než deset minut, ale aby byla síla vazby maximální, je třeba mít vhodně obroušený povrch a ponechat alespoň 24 hodin. (Douglas D., Stokke, 2013)

Pro tvorbu lepidlového spoje je zapotřebí správného tlaku, minimální filmtvorné teploty (MFFT), která je 4 – 18 °C, při které se tvoří lepidlový film v závislosti na druhu lepidla, jeho původního polymeru případně kopolymerů a přídavku změkčovadel. Tato teplota byla odvozena od teploty skelného přechodu použitého polymeru pro PVAc, který je přibližně 28 °C. Dobu zasychání také ovlivňuje typ lepidla, druh dřeva, zejména jeho absorpční vlastnosti, vlhkost, relativní vlhkost, teplota povrchu, také teplota okolního vzduchu, množství použitého lepidla a teplota lepidla. (Pizzi, Mittal 2003, Pecina 2006)

PVAC může být také modifikováno, například jako kopolymer s ethylenem, kdy vzniká ethylen vinyl acetát (EVA), nebo přidáním změkčovadel, jako dibutylftalát. (Douglas D., Stokke, 2013)



Obr. 4: Struktura polyvinylacetátu (Douglas D., Stokke, 2013)

### 3.11 Rázová houževnatost

Definice dle normy ČSN EN 923:2016 – síla vztažená na jednotku plochy potřebná k porušení lepeného spoje smykovým namáháním o velmi vysoké rychlosti, tato síla se měří v jednotkách energie.

Houževnatost dřeva je popisována jako mechanická práce, která je spotřebována na vytvoření plastické deformace, neboli je to schopnost dřeva absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem. Rozlišujeme houževnatost statickou a dynamickou, dle druhu zatížení (Horáček, 2008).

Pro zjišťování rázové houževnatosti se používají přerážecí stroje, z nichž je nejznámější Charpyho kladivo.

### 3.11.1 Výpočet rázové houževnatosti

V případě, že kladivo nemá na své trajektorii žádnou překážku, dosáhne výkyv určité výšky  $h_0$ . Z důvodu odporu třením platí, že  $h_0 < h_i$ . V případě, že kladivo narazí na zkušební těleso, sníží se výška výkyvu na  $h_a$ . Rozdíl polohové energie před ( $E_{p0}$ ) a po přeražení tělesa ( $E_{pa}$ ) představuje energii spotřebovanou na porušení tělesa ( $E_p$ ):

$$E_p = E_{p0} - E_{pa} \quad [J/cm^2] \quad (1)$$

Spotřebovanou energii  $E_p$  můžeme tedy vyjádřit jako rozdíl potenciálních energií kyvadla:

$$E_p = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_a = m \cdot g \cdot (h_0 - h_a) \quad [J/cm^2] \quad (2)$$

$m$  – hmotnost kyvadla [kg]

$g$  - gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ] (<http://wood.mendelu.cz>)

Platí, že potenciální energie je mírou schopnosti tělesa konat práci, to znamená, že energie  $E_p$  se spotřebovala ve formě vynaložené práce  $W$  na porušení tělesa ( $E_p \gg W$ ).

Při tomto způsobu stanovení rázové houževnatosti vycházíme ze vztahu:

$$A_w = \frac{W}{b \cdot h} \quad [J/cm^2]$$

$W$  - práce spotřebovaná na přeražení tělesa [J]

$b, h$  - příčné rozměry tělesa [cm] (<http://wood.mendelu.cz>)



## 4 Postup řešení

Při experimentu jsme používali dva druhy materiálů, prvním byla buková překližka a druhým akátové opracované dřevo. Podstatou zkoušky bylo připravit vzorky tak, že jsme museli slepit tyto vzorky pomocí PVAc lepidla od tří výrobců a následně po dobu třiceti dnů nechat klimatizovat ve třech různých podmínkách. Což má simulovat výskyt těchto materiálů v různých podmínkách a následně na nich provést zkoušku rázové houževnatosti na Charpyho kladivu.

Samotné podmínky skladování slepených vzorků jsme si zvolili tři. První byly podmínky simulující standartní pokojové teploty, což jsme na základě mírné teplé oblasti zvolili jako teplotu 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 %.

Dalšími zvolenými podmínkami bylo simulování velmi chladného podnebí. Pro tyto podmínky jsme stanovili teplotu -30 °C a vlhkost 0 %. Místo klimatizování bylo v mrazícím boxu.

Poslední vzorky byly umístěny v klimatizační komoře. Těmito podmínkami byly teplota 55°C a vlhkost 90%.

Okamžitě po klimatizaci, tzn. po uplynutí třiceti dní v daných podmínkách, následovalo zjišťování rázové houževnatosti na přerážecím stroji, Charpyho kladivu.

Po provedení zkoušky jsme začali vyhodnocovat naměřené hodnoty pro následný statistický přehled a porovnání výsledků mezi sebou. Z vyhodnocení byly vyřazeny vzorky, které měly viditelné vady, snížený nános lepidla, rozměrové odchylky, případně jiné odchylky, které by mohly ovlivnit vyhodnocení.

## 5 Použité materiály, stroje, nástroje, lepidla, zkušební postupy a normy

### 5.1 Použité materiály

V této práci jsme používali dva druhy materiálů, bukovou překližovanou desku a akátové dřevo.

**AK** – rozměry vzorku: šířka – 16 [mm]

tloušťka – 11 [mm]

délka – 80 [mm]



Obr. 5: Zkušební vzorek AK

**PDP-BK** – rozměry vzorku: šířka – 16 [mm]

tloušťka – 11 [mm]

délka – 80 [mm]



Obr. 6: Zkušební vzorek PDP-BK

### **5.1.1 Lepení připravených vzorků**

Po nařezání vzorků na požadované rozměry, byly vzorky navzájem slepeny v kombinaci - PDP/PDP a AK/AK. V kombinaci PDP/PDP jsme použili PVAc lepidlo od čtyř různých výrobců a u kombinace AK/AK PVAc lepidla jen od tří výrobců, a to z důvodu nedostatku materiálu.

Vzorky byly před nánosem lepidla přebroušeny a řádně očištěny od prachu a nečistot.

Pro všechny kombinace byl použit jeden způsob nánosu lepidla, a to pomocí štětce a stěrky. Pomocí štětce byla nanесena vrstva lepidla na oba spojované povrchy a následně bylo pomocí stěrky setřeno přebytečné lepidlo. Nanášení bylo prováděno při standardních podmínkách při teplotě okolo 23 °C a vlhkosti 50 %. Ihned po nánosu byly k sobě obě plochy přitlačeny a následně byly vzorky položeny na dřevěnou desku, na které se pomocí závaží zatížily po dobu minimálně 24 hodin.

### **5.1.2 Klimatizace vzorků**

Vzorky jsme klimatizovali ve třech různých podmínkách. Třetina vzorků byla vystavena snížené teplotě v mrazicím boxu, další třetina byla v klimatizační jednotce při zvýšené teplotě a vlhkosti a poslední třetina byla ponechána při standardních pokojových podmínkách, tzn. teplota 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 %.

#### **5.1.2.1 Klimatizace vzorků za nízké teploty a nulové vlhkosti**

V mrazicím boxu byly umístěny vzorky dle požadavků normy z každé kombinace tak, aby se navzájem nedotýkaly. Podmínky v chladicím boxu byly, teplota -30 °C a relativní vlhkost vzduchu 0 %. Vzorky se v mrazicím boxu nechaly klimatizovat po dobu třiceti dnů.

#### **5.1.2.2 Klimatizace vzorků za vysoké teploty a vlhkosti**

Jako v předchozím případě byly umístěny vzorky dle požadavků normy v této klimatizační jednotce tak, aby se navzájem nedotýkaly. Vzorky byly položeny na perforované kovové desce pro dosažení dostatečného proudění vzduchu. Podmínky v klimatizační jednotce byly, teplota 55 °C a relativní vlhkost vzduchu 90 %. Takto uložené vzorky byly v klimatizační jednotce po dobu třiceti dní.

### 5.1.2.3 Klimatizace vzorků za normální teploty a vlhkosti

Vzorky byly umístěny dle požadavků normy tak, aby se navzájem nedotýkaly. Podmínky místnosti byly, teplota 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 %.

## 5.2 Zkouška rázové houževnatosti

K této zkoušce byla použita zkušební metoda dle normy ČSN ISO EN 179-1, kdy jsme měřili rázovou houževnatost na vzorcích bez vrubu. Zkušební tělesa byla umístěna na podpěrách a úder rázového kladiva je přerážel středem vzorků.

## 5.3 Použité stroje a nástroje

### 5.3.1 Laboratorní váhy

Váhy s přesností měření na 0,01 g, rozsahem velikostí dílků od 0,5 g do 3100 g a odchylkou 0,1 g. Použity pro měření hmotnosti jednotlivých zkušebních vzorečků a nánosu lepidla.



Obr. 7: Laboratorní váha KERN série FKB-A ([www.vaheta.cz](http://www.vaheta.cz))

### 5.3.2 Teploměr

Teploměr byl využit pro zjištění teploty, při které jsme připravovali zkoušené vzorky a také pro určení teploty při klimatizování vzorků v normálních podmínkách.

### 5.3.3 Vlhkoměr

Vlhkoměr byl využit pro zjištění relativní vlhkosti vzduchu, při které jsme připravovali zkoušené vzorky, a také pro určení relativní vlhkosti vzduchu při klimatizování vzorků v normálních podmínkách. Rozsah měření je v rozsahu teplot 0 – 50 °C. Přesnost vlhkoměru je  $\pm 1$  %.

### 5.3.4 Štětec

Používán na nanášení lepidla na obě zkušební tělíska před jejich spojením.

### 5.3.5 Stěrka

Po nanesení lepidla a následném překrytí zkušebních tělísek sloužila stěrka na odstranění vyteklého lepidla.

### 5.3.6 Digitální posuvné měřidlo

Posuvné měřítko sloužilo k měření hodnot zkušebních vzorků a také při zadávání vstupních hodnot do přerážecího stroje jsme s ním měřili průměrnou šířku a tloušťku. Měřicí rozsah digitálního posuvného měřítka je od 0 [mm] do 300 [mm] a chyba měření  $\pm 0,9$  [mm].

### 5.3.7 Charpyho kladivo Instron CEAST 9050

Přerážecí zařízení, na němž jsme vykonávali zkoušku rázové houževnatosti. Kladivo spouštěno ze základní polohy přerazilo vzorky uložené na podstavci. Následně stroj vyhodnotil hodnotu energie v joulech potřebnou k přeražení vzorku. Rozsah energie potřebné na přeražení vzorků je od 0,5 [J] do 50 [J].



Obr. 8: Charpyho kladivo Instron CEAST 9050

### 5.3.8 Klimatizační komora MEMMERT HPP 108

Použita pro klimatizaci vzorků za zvýšené teploty 55 °C a RVV 90 %. Rozsah měření v klimatizační komoře je od 0 °C do 70 °C, odchylka  $\pm 0,1$  °C a přesnost nastavení 0,1 °C.



Obr. 9: Klimatizační komora MEMMERIT HPP ([www.witko.com.pl](http://www.witko.com.pl))

### 5.3.9 Mrazící box ELCOLD

Používaný pro klimatizaci vzorků. Zde byla zkušební tělesa umístěna v podmínkách, teplota  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a RVV 50%. Rozsah měření v klimatizační komoře je od  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přesnost nastavení je  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a chyba v nastavení  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



UNI 21

Obr. 10: Mrazící box ELCOLD UNI 21 ([www.chladservis.cz](http://www.chladservis.cz))

### 5.3.10 Formátovací pila

Na formátovací pile se podélně a příčně rozřezávaly vzorky na požadované rozměry.

## 5.4 Použitá lepidla

Ke zkoušce byla použita lepidla na bázi PVAc od čtyř různých výrobců.

### 5.4.1 Titebond III

Extrémně voděodolné lepidlo (D4) vhodné do interiéru i exteriéru. Vytváří mimořádně silnou vazbu se dřevem, má delší otevřenou dobu a větší viskozitu než konvenční disperzní lepidla. Udrží integritu i při nižších teplotách. Vyznačuje se vysokou pevností spoje. Je dobře brousitelné, odolné proti rozpouštědlům, teplu a plísním.

#### Technické parametry:

Otevřená doba – 10 [min]

Celková montážní doba – 20-25 [min]

Úplné zaschnutí – 24 [h]

Pracovní a skladovací teplota – 5-30 °C

Viskozita – 4200 [mPas]

pH – 2,5

(Technický list, Titebond III, 2007)

### 5.4.2 Duocoll 1057 D3

Jedná se o kopolymerní, disperzní lepidlo. Speciálně určeno pro lepení tvrdých dřevin umístěných v interiéru a vlhkém prostředí. Toto lepidlo splňuje požadavky normy DIN EN 204 pro lepidla kategorie D3.

#### Technické údaje:

Viskozita – 12000 ± 3000 [mPas]

Obsah sušiny – 57 %

Hustota – 1,08 ± 0,02 [g/cm<sup>3</sup>]

pH – 3

#### Optimální podmínky pro použití lepidla:

Teplota materiálu, prostředí a lepidla – 18-22 °C

Vlhkost dřeva – 8-12 %

RVV – 65-75 %

Nános lepidla – jedno i oboustranný

Množství – 150-180 [g/m<sup>2</sup>]

Otevřený čas – 4-6 [min]

Lisovací tlak – 0,7 [ $N/mm^2$ ]

Lisovací čas – 10 [ $min$ ]

(Technický list, Duocoll 1057 D3)

### **5.4.3 Kleiberit 300.0**

Průmyslové lepidlo pro vodovzdorné spoje dle DIN ED 204, kvalita spoje D3. Lepidlo je vhodné pro lepení za tepla i studena, vykazuje vysokou pevnost i u tvrdých a exotických dřevin.

#### **Technické údaje:**

Báze – PVAc disperze

Hustota – 1,10 [ $g/cm^3$ ]

pH – 3

Viskozita – 12000 ± 3000 [ $mPas$ ] při 20°C

Otevřená doba – 6-10 [ $min$ ]

Bod zkřídovatění - +5 °C

Množství nánosu – 150-200 [ $g/m^2$ ]

Lepidlo se využívá na lepení oken a dveří, schodišť, plošné lepení, vhodné i pro dýhování.

(Technický list, Kleiberit 300.0)



## 6 Výsledky laboratorního měření

### 6.1 Vliv klimatických podmínek na rázovou houževnatost

Na vyhodnocení výsledků vztahu klimatických podmínek na houževnatost lepeného spoje byly použity hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky z měření na Charpyho kladivu. Konkrétní hodnoty z měření na Charpyho kladivu jsou uvedeny v příloze (tab. 25, 26 str. 63, tab. 27, 28 str. 64, tab. 29, 30 str. 65).

#### 6.1.1 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3

Z níže uvedených tabulek (tab. 3, 4, str. 33, tab. 5 str. 34), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z akátového dřeva při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Duocoll 1057 D3, je zjevné, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 97,89 [kJ/m<sup>2</sup>], naopak nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 67,19 [kJ/m<sup>2</sup>]. Ve stejném smyslu se chovaly měřené vzorky i u ostatních měřených veličin.

Tab. 3: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$

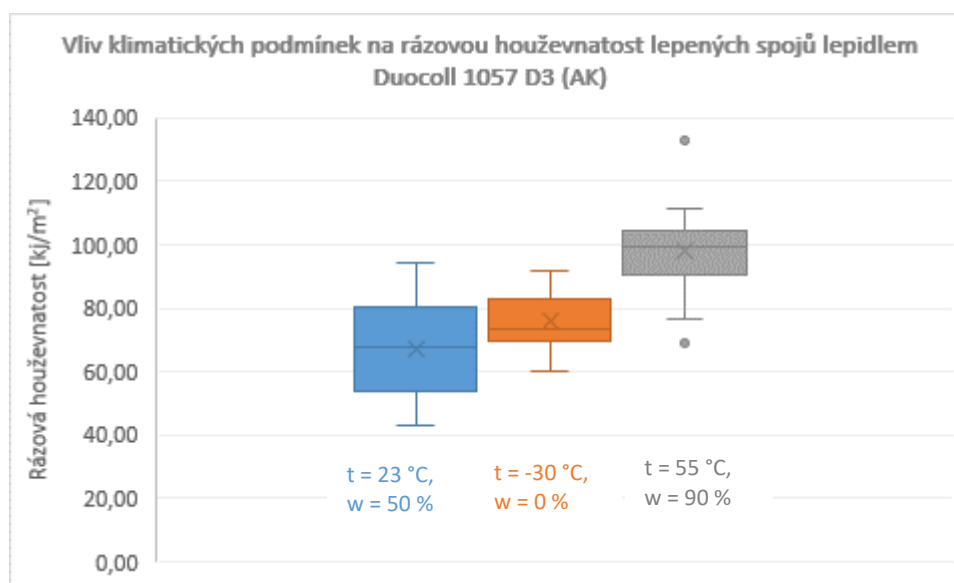
t=23 °C RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	67,19	48,85	12,21
Medián	67,62	49,17	12,29
Sm. odch.	14,80	10,76	2,69

Tab. 4: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$

t=-30 °C RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	75,73	54,36	13,59
Medián	73,69	52,90	13,22
Sm. odch.	9,03	6,48	1,62

Tab. 5: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK, lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$

$t=55\text{ °C}$ RVV= 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	97,89	71,62	17,90
Medián	99,12	72,52	18,12
Sm. odch.	15,39	11,26	2,81



Obr. 11: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti lepených spojů dřeva akát lepidlem Duocoll 1057 D3 na klimatických podmínkách skladování

Na obrázku 1 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Duocoll 1057 D3 a akátového dřeva. Z grafu můžeme vyčíst, že největší rozptyl měly hodnoty vzorků při klimatických podmínkách  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$ . Největší extrémny byly zaznamenány u vzorků při klimatických podmínkách  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$ .

### 6.1.2 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Titebond III

Z níže uvedených tabulek (tab. 6, 7, 8 str. 35), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z akátového dřeva při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Titebond III, je zjevné, že mezi naměřenými hodnotami jsou malé rozdíly. Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota  $55\text{ °C}$  a  $RVV 90\%$ , a to  $65,83\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ , naopak

nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota  $-30\text{ °C}$  a RVV 0 %, a to  $61,55\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ . Ve stejném smyslu se chovaly měřené vzorky i u ostatních měřených veličin.

Tab. 6: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a RVV = 50%

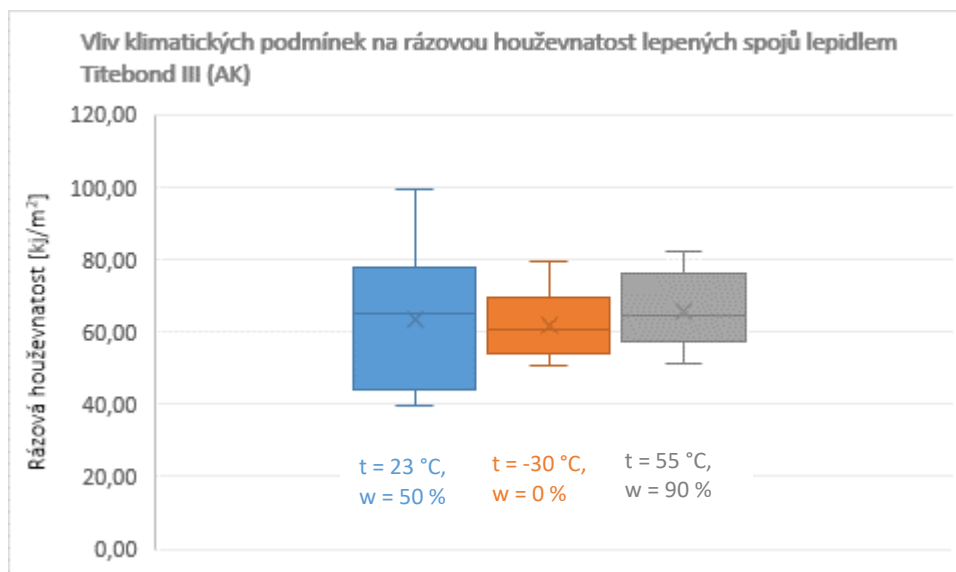
t=23 °C RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	63,62	45,27	11,31
Medián	65,29	46,46	11,61
Sm. odch.	17,87	12,72	3,18

Tab. 7: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a RVV = 0 %

t=-30 °C RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	61,55	42,86	10,71
Medián	60,85	42,37	10,59
Sm. odch.	8,76	6,10	1,52

Tab. 8: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a RVV = 90 %

t=55 °C RVV= 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	65,83	45,31	11,32
Medián	64,72	46,72	11,68
Sm. odch.	9,85	10,92	2,73



Obr. 12: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro dřevo akát, vystaveno různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Titebond III

V grafu 2 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Titebond III a akátového dřeva. Z grafu můžeme vyčíst, že největší rozptyl měly hodnoty vzorků při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, maximální hodnota rázové při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, je 99,48 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižší hodnota je 39,63 [kJ/m<sup>2</sup>], což činí rozdíl 59,85 [kJ/m<sup>2</sup>].

### 6.1.3 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti akátového dřeva při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3

Z níže uvedených tabulek (tab. 9, 10, 11 str. 33), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z akátového dřeva při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3, je zjevné, že mezi naměřenými hodnotami pro klimatické podmínky, teplota 23 °C a RVV 50 % a teplota 55 °C a RVV 90 %, jsou malé rozdíly, a to u aritmetického průměru pouze 1,48 [kJ/m<sup>2</sup>]. Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 71,6 [kJ/m<sup>2</sup>], naopak nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, a to 55,85 [kJ/m<sup>2</sup>]. Nejvyšší hodnota absorbované energie byla zjištěna u vzorků při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, ale pouze o 0,02 % před vzorky při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %.

Tab. 9: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$

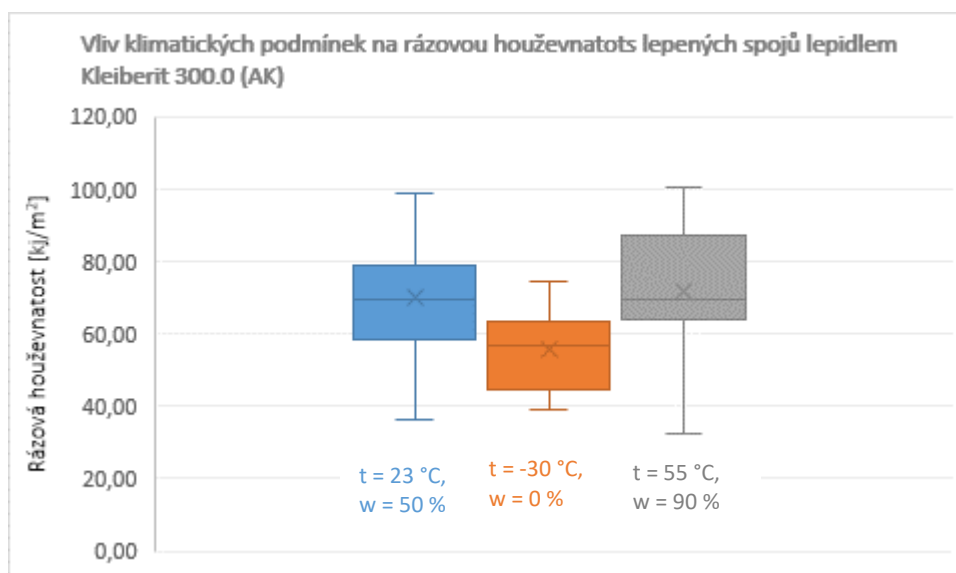
$t=23\text{ °C}$ RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	70,12	51,95	12,98
Medián	69,55	49,53	12,38
Sm. odch.	16,95	13,23	3,31

Tab. 10: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$

$t=-30\text{ °C}$ RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	55,85	41,59	10,39
Medián	56,89	40,48	10,12
Sm. odch.	10,88	9,73	2,43

Tab. 11: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$

$t=55\text{ °C}$ RVV= 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	71,60	51,93	12,98
Medián	69,70	50,55	12,63
Sm. odch.	17,97	13,03	3,26



Obr. 13: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro dřevo akát vystaveno různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3

V grafu 3 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Kleiberit 300 a akátového dřeva. Z grafu můžeme vyčíst, že vzorky při klimatických podmínkách, teplota  $23\text{ °C}$  a  $RVV\ 50\%$ ,

měly veliký rozptyl v naměřených hodnotách, maximální hodnota rázové houževnatosti při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, je 100,58 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižší hodnota je 32,26 [kJ/m<sup>2</sup>], což činí rozdíl 68,32 [kJ/m<sup>2</sup>].

#### 6.1.4 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3

Z níže uvedených tabulek (tab. 12, 13, 14, str. 38), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z bukové PDP při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Duocoll 1057 D3, je zjevné, že mezi naměřenými hodnotami jsou opravdu minimální rozdíly. Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 20,74 [kJ/m<sup>2</sup>], naopak nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 20,15 [kJ/m<sup>2</sup>].

Tab. 12: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$

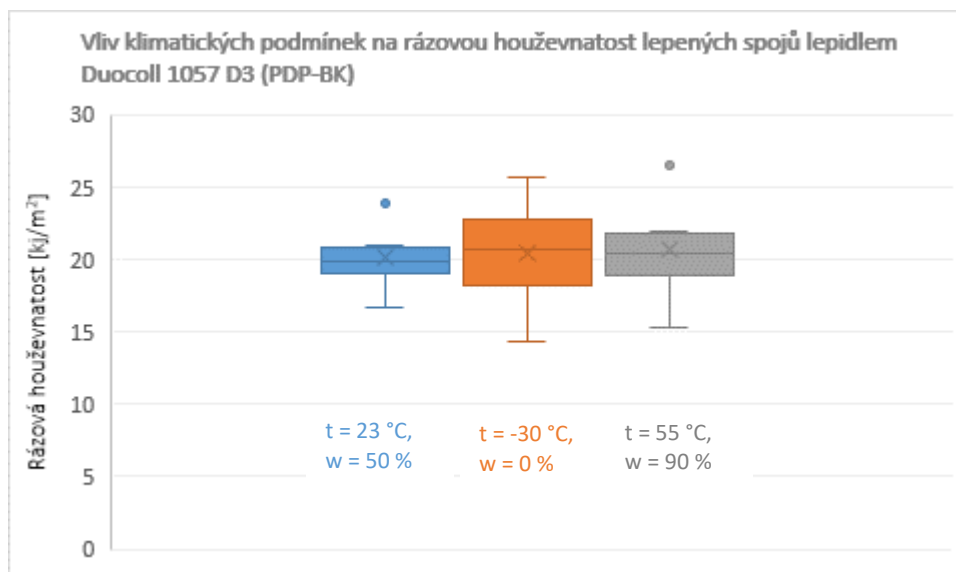
$t=23\text{ °C}$ RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	20,15	12,00	3,00
Medián	19,84	11,81	2,95
Sm. odch.	1,94	1,16	0,29

Tab. 13: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$

$t=-30\text{ °C}$ RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	20,47	12,42	3,10
Medián	20,67	12,54	3,13
Sm. odch.	3,21	1,95	0,49

Tab. 14: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$

$t=55\text{ °C}$ RVV= 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	20,74	12,82	3,20
Medián	20,43	12,63	3,16
Sm. odch.	3,07	1,90	0,47



Obr. 14: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Duocoll 1057 D3

V grafu 4 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Duocoll 1057 D3 a bukové PDP. Z grafu můžeme vyčíst, že u vzorků při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 % a -30 °C a RVV 0 % jsme naměřili největší extrémy. Největší rozptyl hodnot jsme zaznamenali u vzorků při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, kde maximální hodnota rázové houževnatosti je 25,63 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižší hodnota je 14,3 [kJ/m<sup>2</sup>], což činí rozdíl 11,33 [kJ/m<sup>2</sup>].

#### 6.1.5 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Titebond III

Z níže uvedených tabulek (tab. 15, 16, 17 str. 40), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z bukové PDP při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Titebond III, je zjevné, že mezi naměřenými hodnotami v klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 % a teplota -30 °C a RVV 0 %, jsou opravdu minimální rozdíly. Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 30,98 [kJ/m<sup>2</sup>], naopak nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 26,05 [kJ/m<sup>2</sup>].

Tab. 15: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$

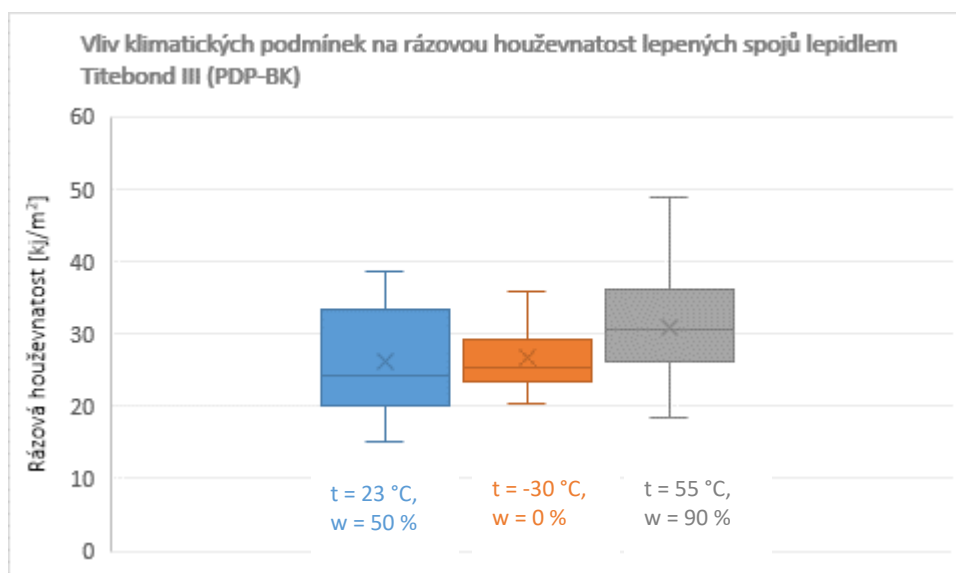
$t=23\text{ °C}$ RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	26,05	15,81	3,95
Medián	24,35	14,78	3,69
Sm. odch.	7,03	4,27	1,07

Tab. 16: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$

$t=-30\text{ °C}$ RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	26,62	16,28	4,07
Medián	25,33	15,50	3,87
Sm. odch.	4,30	2,63	0,66

Tab. 17: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$

$t= 55\text{ °C}$ RVV = 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	30,98	20,94	5,23
Medián	30,57	20,66	5,16
Sm. odch.	7,80	5,28	1,32



Obr. 15: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Titebond III

V grafu 5 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Titebond III a bukové PDP. Největší rozptyl hodnot jsme zaznamenali u vzorků při klimatických podmínkách, teplota  $55\text{ °C}$



a RVV 90 %, kde maximální hodnota rázové houževnatosti je 48,76 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižší hodnota je 18,35 [kJ/m<sup>2</sup>], což činí rozdíl 30,41 [kJ/m<sup>2</sup>].

### 6.1.6 Výsledky závislosti rozdílů rázové houževnatosti bukové PDP při různých klimatických podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3

Z níže uvedených tabulek (tab. 18, 19, 20 str. 41), ve kterých jsou uvedeny hodnoty aritmetického průměru, mediánu a směrodatné odchylky pro rázovou houževnatost, absorbovanou energii a energii vzorků z bukové PDP při různých klimatických podmínkách a za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3, je zjevné, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 23,44 [kJ/m<sup>2</sup>], naopak nejnižších hodnot aritmetického průměru dosáhly měřené vzorky při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, a to 16,98 [kJ/m<sup>2</sup>].

Tab. 18: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$

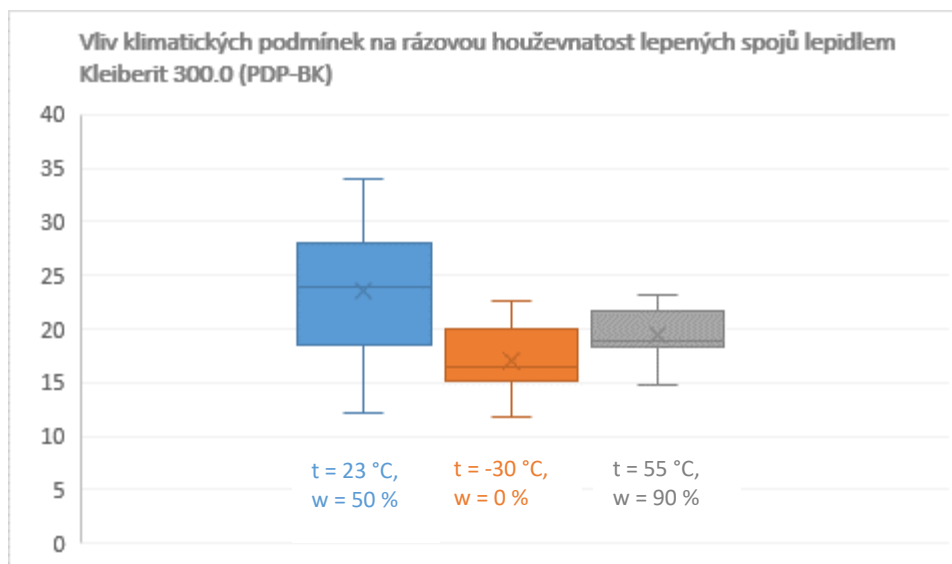
t=23 °C RVV= 50 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	23,44	14,14	3,53
Medián	23,83	14,37	3,59
Sm. odch.	6,02	3,63	0,91

Tab. 19: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$

t=-30 °C RVV= 0 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	16,98	9,84	2,46
Medián	16,48	9,54	2,39
Sm. odch.	2,99	1,73	0,43

Tab. 20: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkám  $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$

t=55 °C RVV= 90 %	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	Absorbovaná energie [%]	Energie [J]
Art. Průměr	19,38	12,38	3,10
Medián	18,81	12,02	3,01
Sm. odch.	2,28	1,45	0,36



Obr. 16: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP, vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3

V grafu 6 vidíme krabicový graf závislosti rázové houževnatosti na zvolených klimatických podmínkách při použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 a bukové PDP. Největší rozptyl hodnot jsme zaznamenali u vzorků při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, kde maximální hodnota rázové houževnatosti je 33,9 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižší hodnota je 12,18 [kJ/m<sup>2</sup>], což činí rozdíl 21,72 [kJ/m<sup>2</sup>].

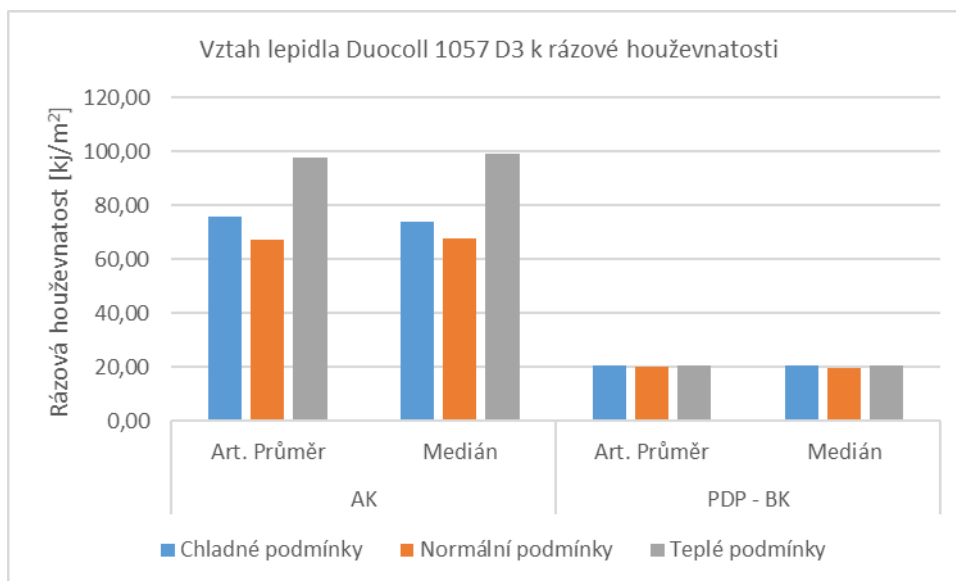
## 6.2 Vliv použitého lepidla na rázovou houževnatost

Na vyhodnocení výsledků vztahu použitého lepidla na houževnatost lepeného spoje byly použity hodnoty aritmetického průměru a mediánu z hodnot naměřených na Charpyho kladivu. Konkrétní hodnoty z měření na Charpyho kladivu jsou uvedeny v příloze (tab. 25, 26 str. 63, tab. 27, 28 str. 64, tab. 29, 30 str. 65)

### 6.2.1 Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Duocoll 1057 D3 při různých klimatických podmínkách

Tab. 21: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3

Duocoll 1057 D3 [kJ/m <sup>2</sup> ]	AK		PDP - BK	
	Art. Průměr	Medián	Art. Průměr	Medián
Chladné podmínky	75,73	73,69	20,47	20,67
Normální podmínky	67,19	67,62	20,15	19,84
Teplé podmínky	97,89	99,12	20,74	20,43



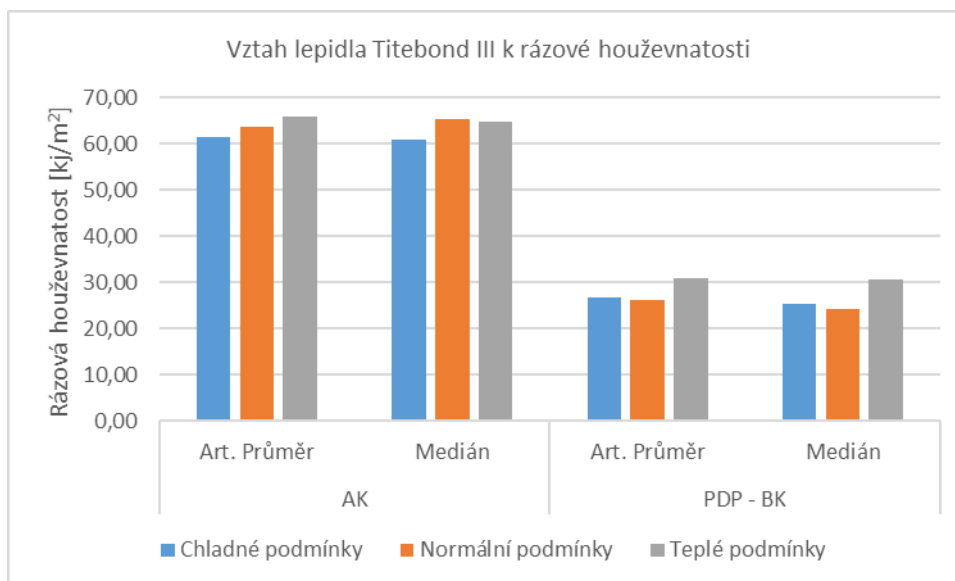
Obr. 17: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 v závislosti na různých podmínkách

Na obrázku 7 vidíme, že lepidlo Duocoll 1057 D3 dosahovalo nejvyšších hodnot rázové houževnatosti u akátového dřeva při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 97,89 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižších hodnot u PDP-BK při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 20,15 [kJ/m<sup>2</sup>]. Také si můžeme všimnout, že u PDP-BK jsou jen minimální rozdíly v řádech desetín.

## 6.2.2 Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Titebond III při různých klimatických podmínkách

Tab. 22: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Titebond III

Titebond III [kJ/m <sup>2</sup> ]	AK		PDP - BK	
	Art. Průměr	Medián	Art. Průměr	Medián
Chladné podmínky	61,55	60,85	26,62	25,33
Normální podmínky	63,62	65,29	26,05	24,35
Teplé podmínky	65,83	64,72	30,98	30,57



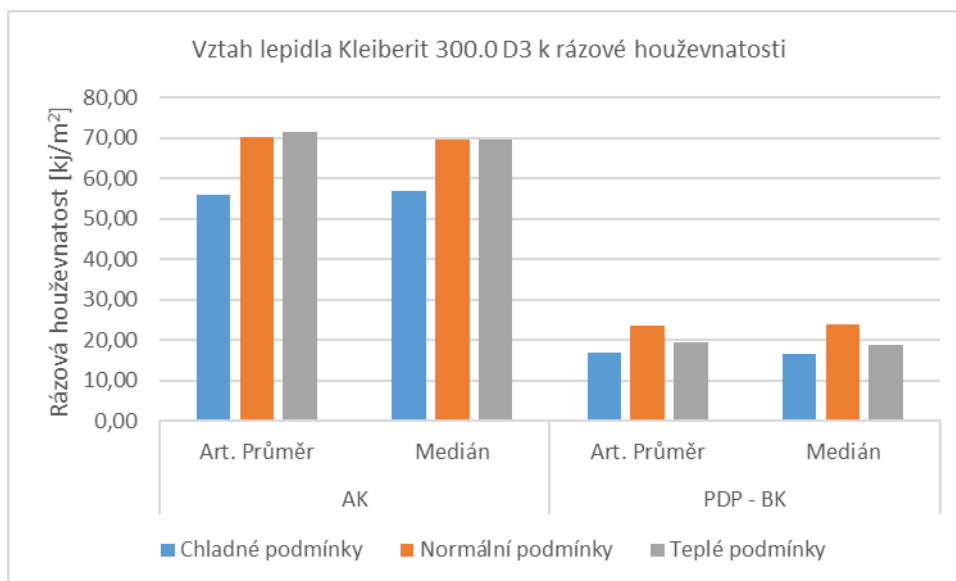
Obr. 18: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Titebond III v závislosti na různých podmínkách

Na obrázku 8 vidíme, že lepidlo Titebond III dosahovalo nejvyšších hodnot rázové houževnatosti u akátového dřeva při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 65,83 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižších hodnot u PDP-BK při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 30,98 [kJ/m<sup>2</sup>].

### 6.2.3 Výsledky rázové houževnatosti za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 při různých klimatických podmínkách

Tab. 23: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3

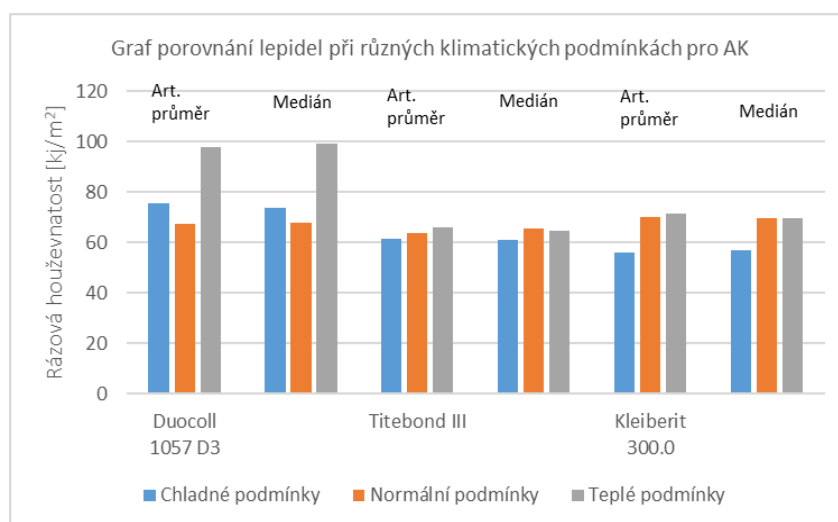
Kleiberit 300.0 D3 [kJ/m <sup>2</sup> ]	AK		PDP - BK	
	Art. Průměr	Medián	Art. Průměr	Medián
Chladné podmínky	55,85	56,89	16,98	16,48
Normální podmínky	70,12	69,55	23,44	23,83
Teplé podmínky	71,60	69,70	19,38	18,81



Obr. 19: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 v závislosti na různých podmínkách

Na obrázku 9 vidíme, že lepidlo Kleiberit 300.0 D3 dosahovalo nejvyšších hodnot rázové houževnatosti u akátového dřeva při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 %, a to 71,60 [kJ/m<sup>2</sup>], kdežto nejnižších hodnot u PDP-BK při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, a to 23,44 [kJ/m<sup>2</sup>].

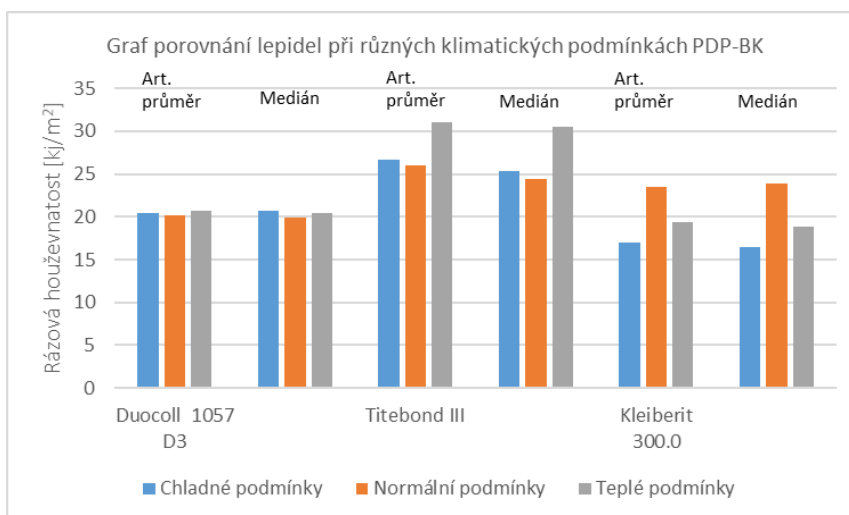
#### 6.2.4 Porovnání rázové houževnatosti v rámci všech použitých lepidel při různých klimatických podmínkách



Obr. 20: Závislost rázové houževnatosti vzorků ze dřeva akátu, lepených všemi použitými lepidly v závislosti na různých podmínkách

Obrázek 10 nám ukazuje porovnání všech lepidel při různých klimatických podmínkách pro akátové dřeva. Lze si všimnout, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosahuje lepidlo Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách, teplota -

30 °C a RVV 0 % a teplota 55 °C a RVV 90 %. Nejvyšších hodnot rázové houževnatosti při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 % dosahuje lepidlo Kleiberit 300.0 D3. Nejhůře je na tom lepidlo Titebond III, které dosahuje nejnižších hodnot při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 % a 55 °C a RVV 90 %.



Obr. 21: Závislost rázové houževnatosti vzorků z bukové PDP lepených všemi použitými lepidly v závislosti na různých podmínkách

Obrázek 10 nám ukazuje porovnání všech lepidel při různých klimatických podmínkách pro bukovou PDP. Lze si všimnout, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosahuje lepidlo Kleiberit III, a to při všech klimatických podmínkách. Nejhůře je na tom lepidlo Kleiberit 300.0 D3, které dosahuje nejnižších hodnot při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 % a 55 °C a RVV 90 %.

### 6.3 Vliv použitých materiálů na rázovou houževnatost

Na vyhodnocení výsledků vztahu použitého materiálu na houževnatost byly použity hodnoty aritmetického průměru a mediánu z hodnot naměřených na Charpyho kladivu. Konkrétní hodnoty z měření na Charpyho kladivu jsou uvedeny v příloze (tab. 25, 26 str. 63, tab. 27, 28 str. 64, tab. 29, 30 str. 65).

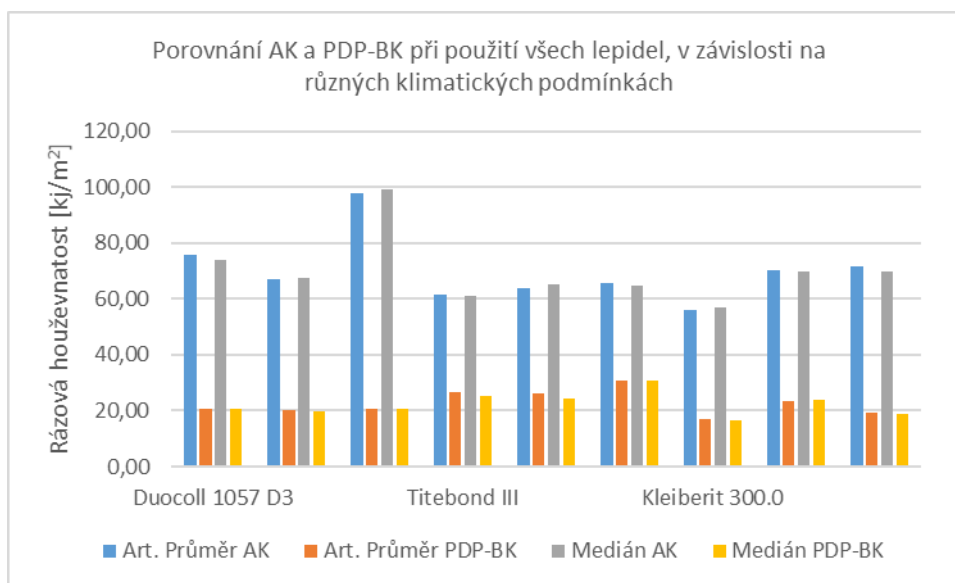
#### 6.3.1 Výsledky rázové houževnatosti za použití všech lepidel při různých klimatických podmínkách v závislosti na použitém materiálu

Tabulka 24 i obrázek 12 nám ukazují porovnání průměrných hodnot použitých materiálů pro všechna lepidla a za všech klimatických podmínek. Je zřejmé, že dřevina

akát dosahuje mnohem větší rázové houževnatosti u všech lepidel i za všech klimatických podmínek.

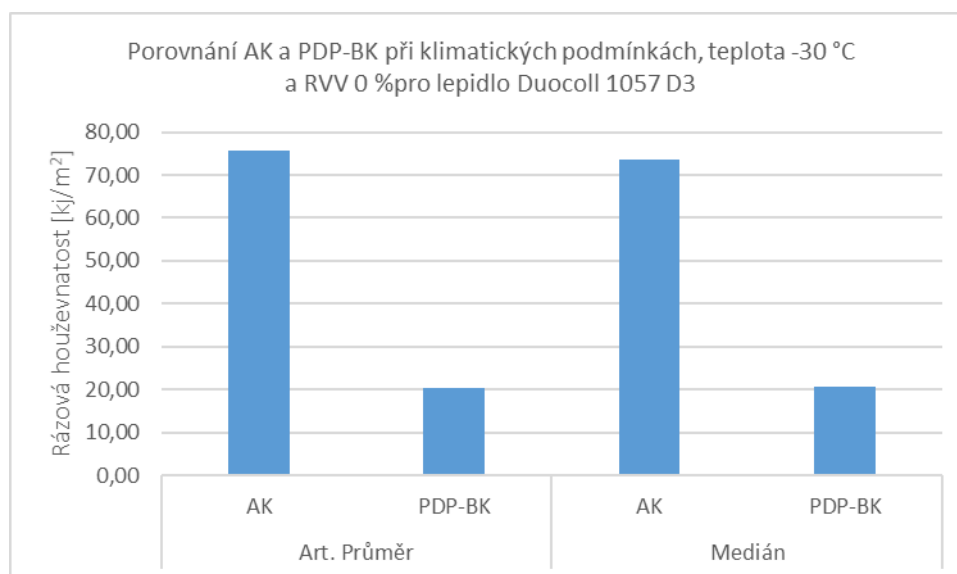
Tab. 24: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití všech lepidel v závislosti na použitém materiálu

Porovnání AK a PDP-BK [kJ/m <sup>2</sup> ]		Art. Průměr		Medián	
		AK	PDP-BK	AK	PDP-BK
Duocoll 1057 D3	Chladné podmínky	75,73	20,47	73,69	20,67
	Normální podmínky	67,19	20,15	67,62	19,84
	Teplé podmínky	97,89	20,74	99,12	20,43
Titebond III	Chladné podmínky	61,55	26,62	60,85	25,33
	Normální podmínky	63,62	26,05	65,29	24,35
	Teplé podmínky	65,83	30,98	64,72	30,57
Kleiberit 300.0	Chladné podmínky	55,85	16,98	56,89	16,48
	Normální podmínky	70,12	23,44	69,55	23,83
	Teplé podmínky	71,60	19,38	69,70	18,81

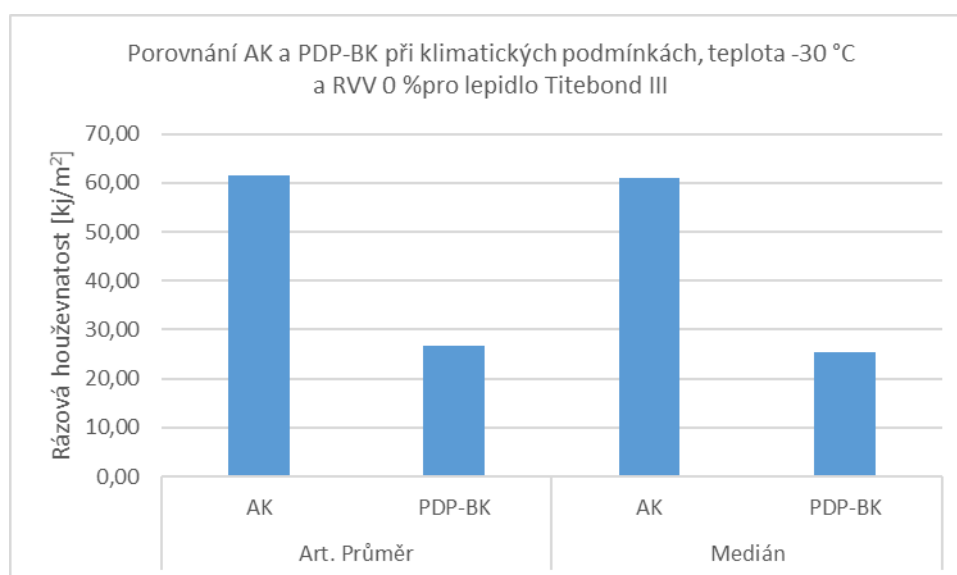


Obr. 22: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených všemi použitými lepidly a při všech klimatických podmínkách v závislosti na použitém materiálu

### 6.3.2 Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel při klimatických podmínkách teplota -30 °C a RVV 0 % v závislosti na použitém materiálu

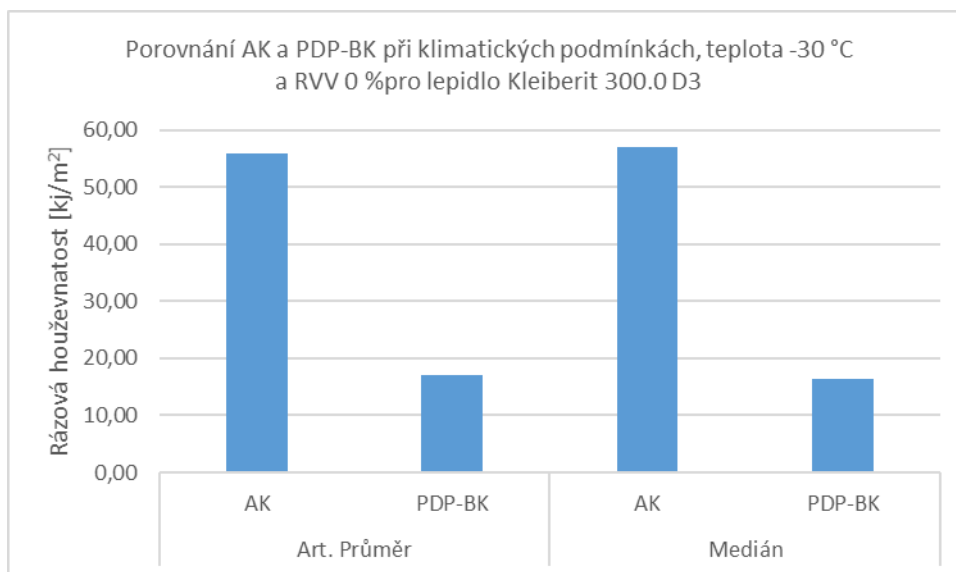


Obr. 23: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 % v závislosti na použitém materiálu



Obr. 24: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota -30 °C a RVV 0 % na použitém materiálu

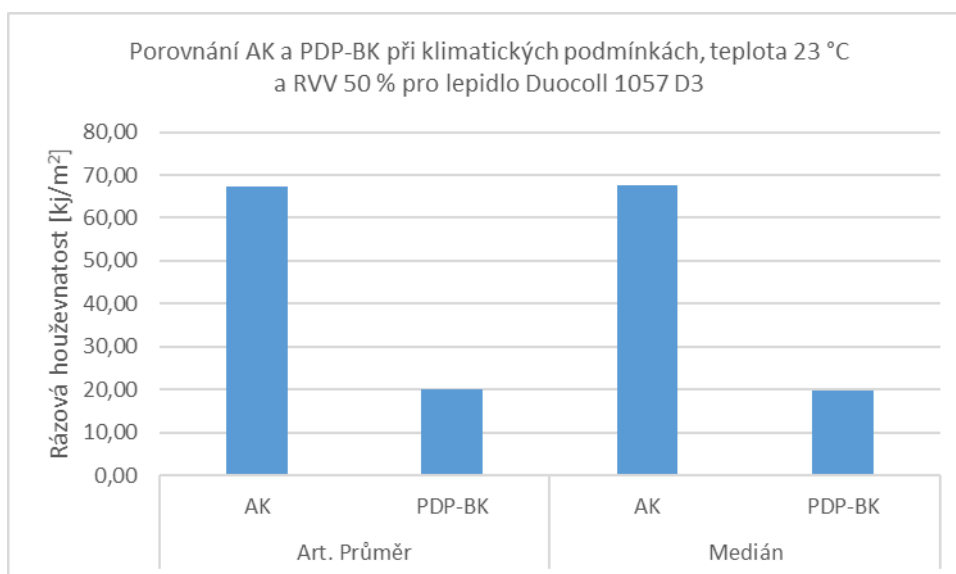




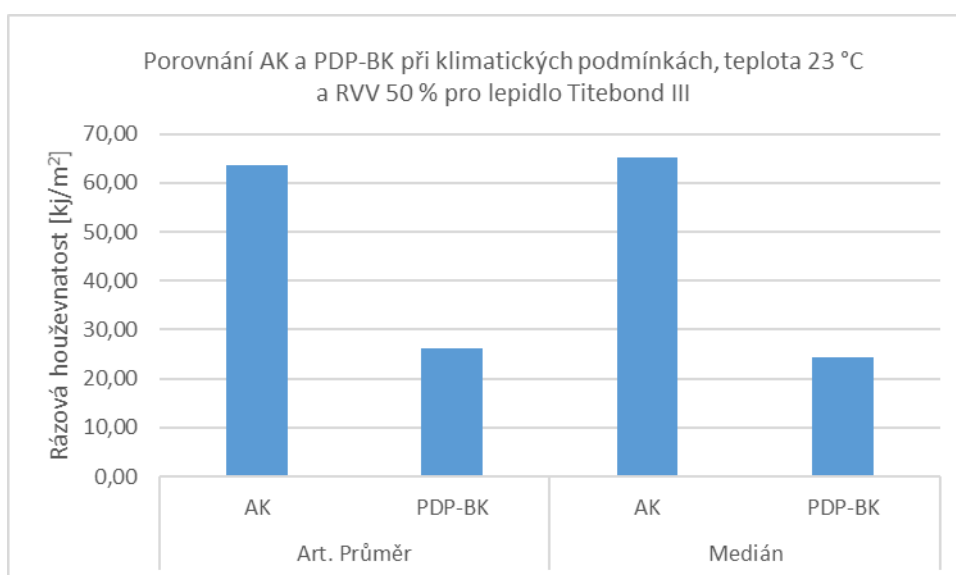
Obr. 25: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, v závislosti na použitém materiálu

Na obrázcích 13, 14 a 15 vidíme, že při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, dosahuje dřevina akát vyšších hodnot rázové houževnatosti než buková PDP. Nejvyšší hodnotu sledujeme u akátu za použití lepidla Duocoll 1057 D3, a to 97,89 [kJ/m<sup>2</sup>]. Naopak nejnižší hodnotu má buková PDP lepená lepidlem Kleiberit 300.0 D3, a to 16,98 [kJ/m<sup>2</sup>].

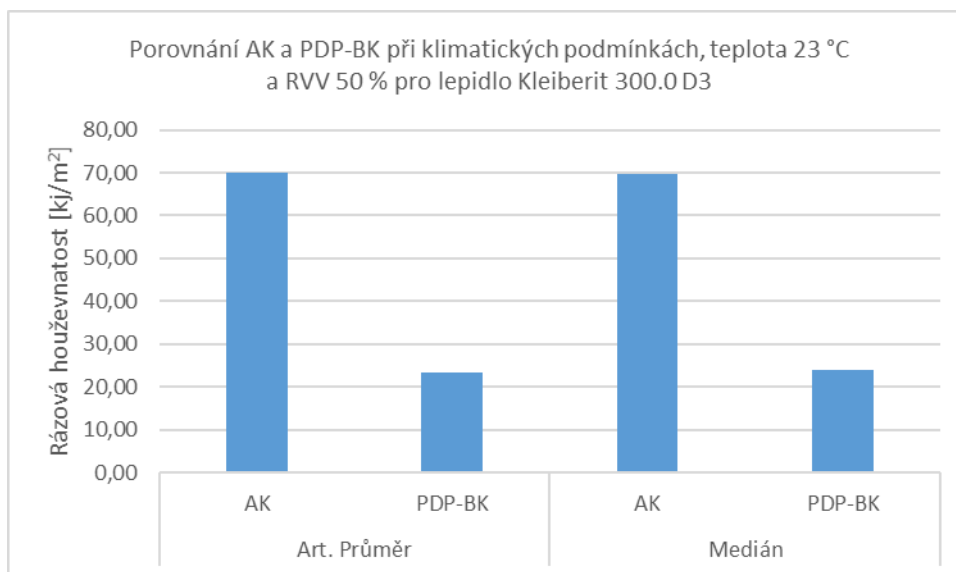
### 6.3.3 Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel, při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu



Obr. 26: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu



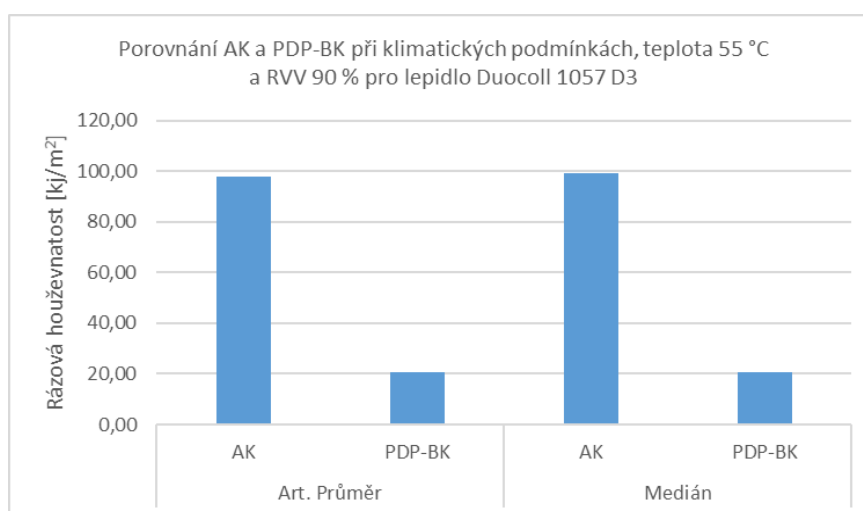
Obr. 27: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu



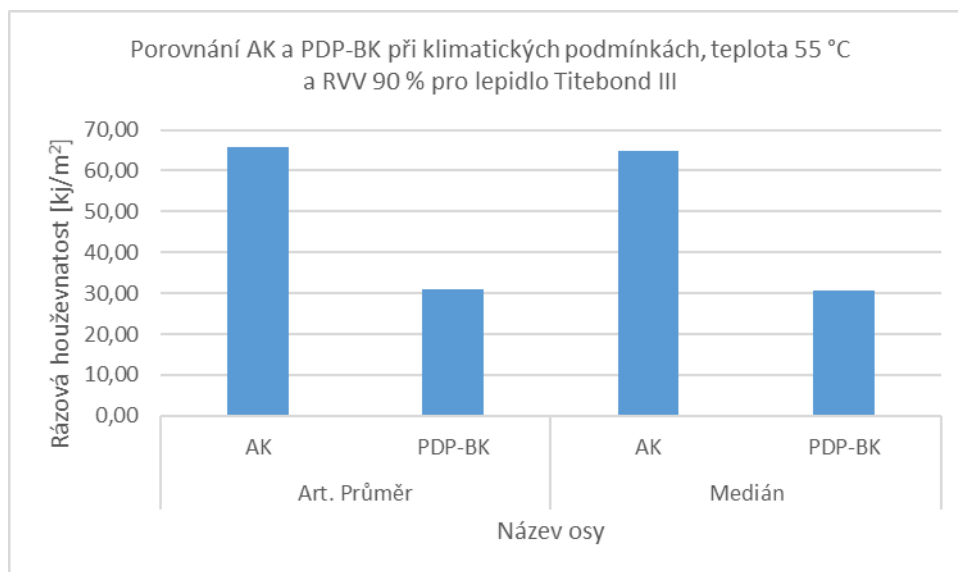
Obr. 28: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu

Na obrázcích 16, 17 a 18 vidíme, že při klimatických podmínkách, teplota 23 °C a RVV 50 %, dosahuje dřevina akát vyšších hodnot rázové houževnatosti než buková PDP. Nejvyšší hodnotu sledujeme u akátu za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3, a to 70,12 [kJ/m<sup>2</sup>]. Naopak nejnižší hodnotu má buková PDP lepená lepidlem Duocoll 1057 D3, a to 20,15 [kJ/m<sup>2</sup>].

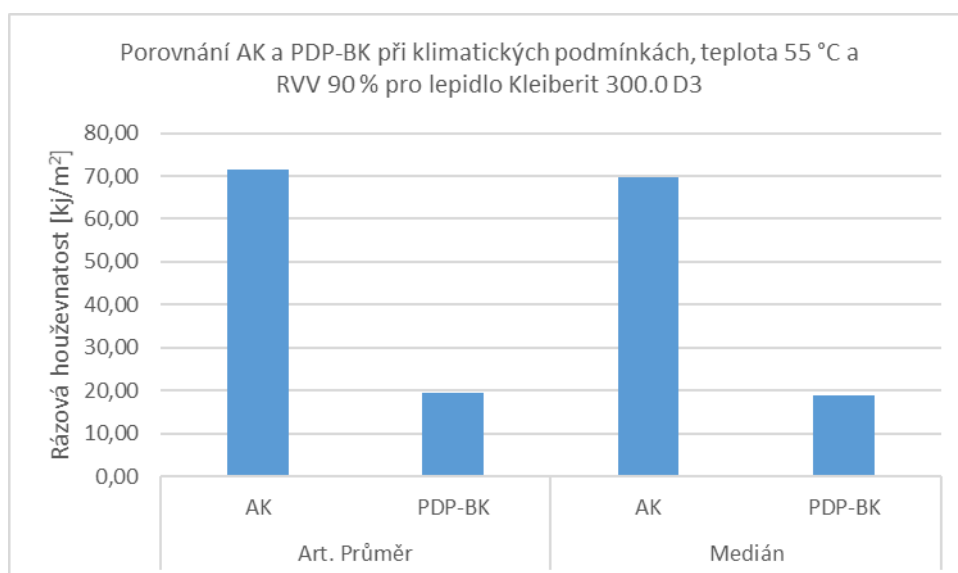
#### 6.3.4 Porovnání rázové houževnatosti za použití všech lepidel při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu



Obr. 29: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu



Obr. 30: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu



Obr. 31: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu

Na obrázcích 19, 20 a 21 vidíme, že při klimatických podmínkách, teplota 55 °C a RVV 90 % dosahuje dřevina akát vyšších hodnot rázové houževnatosti než buková PDP. Nejvyšší hodnotu sledujeme u akátu za použití lepidla Duocoll 1057 D3, a to 97,89 [kJ/m<sup>2</sup>]. Naopak nejnižší hodnotu má buková PDP lepená lepidlem Kleiberit 300.0 D3 a to 19,38 [kJ/m<sup>2</sup>].

## 7 Diskuse a vyhodnocení výsledků

Z naměřených výsledků je jasné, že nejvyšší rázové houževnatosti dosahovaly vzorky skladované v teplých klimatických podmínkách ( $t = 50\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$ ), toto tvrzení platí u akátu pro všechny druhy lepidel a u bukové PDP také pro všechna lepidla, kromě Kleiberitu 300.0 D3, u kterého jsem zjistil, že vykazuje nejvyšší houževnatost při klimatických podmínkách standartních ( $t = 23\text{ °C}$  a  $RVV = 50\%$ ). Skutečnost, že vzorky vykazovaly vysokou houževnatost při vysoké teplotě a vlhkosti, bych vysvětlil na základě rozdílné vlhkosti skladování. Domnívám se, že se zvyšující se vlhkostí dochází k tvorbě vodíkových můstků, což zapříčiňuje pevnější vazbu a tím i vyšší houževnatost.

U lepidla Duocoll 1057 D3 byla naměřena nejnižší hodnota houževnatosti při klimatických podmínkách standartních ( $t = 23\text{ °C}$ ,  $RVV = 50\%$ ), a to jak u akátového dřeva, tak u bukové PDP. Lze tedy tvrdit, že lepidlo Duocoll 1057 D3 je vhodné pro použití do extrémních podmínek či exteriéru. Zkouškou se konkrétně prokázalo, že nejlepší houževnatosti dosahuje při zvýšené teplotě a vlhkosti ( $t = 55\text{ °C}$ ,  $RVV = 90\%$ ).

Lepidlo Titebond III vykazovalo velmi podobné hodnoty rázové houževnatosti při všech podmínkách skladování, což lze vysvětlit tím, že patří do skupiny lepidel D4. To znamená, že je velmi odolné vůči vlhkosti, takže nebylo extrémními podmínkami tolik ovlivňováno.

Co se týká vlivu použitého materiálu na rázovou houževnatost, tak zkouška prokázala, že akátové dřevo dosahuje mnohem větších hodnot ve všech klimatických podmínkách. Nejvyšší hodnotu rázové houževnatosti jsem naměřil u akátu pro lepidlo Duocoll 1057 D3 při teplých klimatických podmínkách ( $t = 55\text{ °C}$  a  $RVV = 90\%$ ), a to  $97,89\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ , kdežto nejnižší hodnota byla naměřena u PDP-BK při klimatických podmínkách chladných ( $t = -30\text{ °C}$  a  $RVV = 0\%$ ), a to  $16,48\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ . Toto měření vykazuje rozdíl v rázové houževnatosti mezi vzorky 84%. Domnívám se, že je to dáno rozdílnou pevností mezi chemickými silami, které drží strukturu akátového dřeva pohromadě, naproti slabšímu lepenému spojení dých do překližované desky.

## 8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala vlivem podmínek skladování lepených materiálů na bázi dřeva na houževnatost lepených spojů. Pro zkoušku byl vyhodnocován vliv dřeva akát a bukové PDP za použití tří typů PVAc lepidel. Všechny vzorky byly klimatizovány v různých podmínkách. Konkrétně se jednalo o tři podmínky, kde první prostředí bylo chladné (teplota  $-30^{\circ}\text{C}$  a RVV 0 %), druhé bylo standardní (teplota  $23^{\circ}\text{C}$ , RVV 50 %) a poslední prostředí bylo teplé (teplota  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90 %).

Z naměřených laboratorních výsledků vyplývá, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti dosahovaly vzorky klimatizované v teplém prostředí (teplota  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90 %). Kromě jednoho případu, a to konkrétně u vzorků bukové překližky lepené lepidlem Kleiberit 300.0 D3, která byla klimatizována ve standardním prostředí (teplota  $23^{\circ}\text{C}$ , RVV 50 %). Celkově ze všech naměřených hodnot dosáhla nejvyšší rázové houževnatosti dřevina akát lepená lepidlem Duocoll 1057 D3 a klimatizována v teplém prostředí (teplota  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90 %), jejíž hodnota byla  $97,89 \text{ [kJ/m}^2\text{]}$ . Naopak nejnižší hodnota byla naměřena u bukové překližky lepené Kleiberitem 300.0 D3, která byla klimatizována v chladném prostředí (teplota  $-30^{\circ}\text{C}$  a RVV 0 %), a to  $16,98 \text{ [kJ/m}^2\text{]}$ .

Co se týká vyhodnocení tří typů lepidel, zjistíme, že lepidlo Duocoll 1057 D3 je nejlepší pro dřevinu akát, a to v každém klimatickém prostředí. Pro bukovou překližku je to lepidlo Titebond III.

Obecně ve všech klimatických podmínkách lepidlo Titebond III vykazovalo nejvyšších hodnot rázové houževnatosti u bukové překližky a zároveň byly naměřeny minimální rozdíly hodnot pro všechny klimatické podmínky, což prokazuje jeho odolnost vůči vlhkosti.

U porovnání materiálů na bázi dřeva zjišťujeme, že akátové dřevo výrazně překonalo bukovou překližku ve všech měřených hodnotách rázové houževnatosti. Nejvyšší hodnota naměřená u akátu byla  $97,89 \text{ [kJ/m}^2\text{]}$ , kdežto u bukové překližky se jedná o hodnotu  $30,98 \text{ kJ/m}^2$ . Což činí rozdíl přesně  $66,91 \text{ [kJ/m}^2\text{]}$ .

Závěrem měření bylo zjištěno, že jako nejvhodnější kombinace se jeví použití akátové dřeviny klimatizované v teplém prostředí (teplota  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90 %) s lepidlem Duocoll 1057 D3.

## 9 Summary

This bachelor thesis deals with the influence of the conditions of storage of bonded wood-based materials on the toughness of bonded joints. Wood acacia and beech plywood were used for the test using three types of PVAc adhesives. All samples were air-conditioned in different ways. Specifically, there were three conditions; the first environment was cold (temperature  $-30^{\circ}\text{C}$  and RVV 0%), the second one was standard (temperature  $23^{\circ}\text{C}$ , RVV 50%) and the last environment was warm (temperature  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90 %).

Laboratory results showed that the highest impact strengths were achieved when the samples were air-conditioned to be used in the warm environment (temperature  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90%). Except for one case, specifically for Kleiberit 300.0 D3 glued beech plywood samples, which were air-conditioned to a standard environment (temperature  $23^{\circ}\text{C}$ , RVV 50%). Altogether, from all measured values, the highest impact toughness was achieved by the acacia wood, glued with Duocoll 1057 D3, which was air-conditioned to a warm environment (temperature  $55^{\circ}\text{C}$ , RVV 90%) with a value of  $97.89\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ . On the contrary, the lowest value was measured for Kleiberite 300.0 D3 glued beech plywood, which was air-conditioned to a cold environment (temperature  $-30^{\circ}\text{C}$  and RVV 0%), namely  $16.98\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ .

Regarding the evaluation of three types of adhesives, it was found that Duocoll 1057 D3 is the most ideal adhesive for acacia wood, in every climatic environment. For beech plywood, it is Titebond III.

Generally, in all climatic conditions, Titebond III adhesive exhibited the highest values of impact strength for beech plywood. Moreover, these measured values varied only very slightly demonstrating the adhesive's resistance to humidity.

When comparing wood-based materials, it was found that acacia wood sovereignly surpassed beech plywood in all measured values of impact strength. The highest value measured for acacia was  $97.89\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ , whereas for beech plywood it was  $30.98\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ . Which makes a difference of exactly  $66.91\text{ [kJ/m}^2\text{]}$ .

Based on the results of all the measurements, it was concluded that the most suitable combination appears to be acacia wood air-conditioned to a warm environment (temperature  $55^{\circ}\text{C}$ , 90% RVV) together with the Duocoll 1057 D3 adhesive.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- BOUBLÍK, V.: *Lepidla a jejich příprava*, Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1. Vydání, 190 s., 1966
- BROCKMANN, W. *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. Weinheim: Wiley-VCH, c2009. ISBN 978-3-527-31898-8.
- DRÁPELA, Jindřich. *Technologie nábytku*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 240s.
- DRÁPELA, Jindřich. *Výroba nábytku: technologie*. Praha: SNTL, 1980.
- GLEN A ROWLAND, *Adhesives and Adhesion*, CHEM NZ, 1998, No.71, 17-27.
- HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2.*, přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.
- KRÁL, Pavel. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-552-2.
- LEE, Lieng-Huang. *Fundamentals of adhesion*. New York: Plenum Press, c1991. ISBN 0306434709.
- LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIČIK, M.: *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*, Alfa Bratislava, 519 s., 1989
- MACHÁŇ, Josef. *Výroba obalů. Část 1, Technologické postupy zpracování papíru a lepenek*. 2. upr. a dopl. vyd. Štětí: Střední odborná škola, 1998. ISBN 80-902540-1-2.
- OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. Polytechnická knihovna. Řada 2, Příručky.
- PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5.
- PIZZI, A. a K. L. MITTAL. *Handbook of adhesive technology*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, c2003. ISBN 08-247-0986-1.
- SEDLIAČIK, J. *XVII. symposium Pokroky vo výrobe a použití lepidel v drevopriemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 251 s. ISBN 80-228-1425-3



STOKKE, Douglas D., Qinglin WU a Guangping HAN. *Introduction to wood and natural fiber composites*. Chichester: Wiley, 2014. Wiley series in renewable resource. ISBN 978-0-470-71091-3.

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 978-80-7157-636-5.

ŠUDŘICH, P. *Vliv použitého lepidla a klimatických podmínek na pevnost lepeného spoje dýha – DTD*. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. citováno dne 1. 5. 2017

ZEMIAR A KOL., Ján. *Technológia výroby nábytku*. I. Technická univerzita vo Zvolenu, 2009, 287 s. ISBN 978-80-228-20-64-6.

### **10.1 Normy**

ČSN EN 923. *Lepidla – Termíny a definice dle ČSN EN 923*. 2008.

ČSN EN ISO 179-1. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy - Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška dle ČSN EN ISO 179-1*. 2011.

### **10.2 Technické listy**

*Technický list: Titebond III*. 2007.

*Technický list: Duocoll 1057 D3*. 2007.

*Technický list: Kleiberit 300.0*. 2011.

### **10.3 Internetové zdroje**

WOOD MENDELU [online]. 2017 [cit. 2017-05-09] Dostupné z:

[http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba\\_dreva/lexikon/index.htm](http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/index.htm)

## 11 Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled základních mechanických vlastností bukového dřeva ( <a href="http://www.nlcsk.sk/files/1526.pdf">http://www.nlcsk.sk/files/1526.pdf</a> ).....	14
Tab. 2: Přehled základních mechanických vlastností akátového dřeva (Horáček 2008).....	15
Tab. 3: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkách $t = 23\text{ °C}$ a $RVV = 50\%$ .....	33
Tab. 4: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkách $t = -30\text{ °C}$ a $RVV = 0\%$ .....	33
Tab. 5: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK, lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkách $t = 55\text{ °C}$ a $RVV = 90\%$ .....	34
Tab. 6: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = 23\text{ °C}$ a $RVV = 50\%$ .....	35
Tab. 7: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = -30\text{ °C}$ a $RVV = 0\%$ .....	35
Tab. 8: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = 55\text{ °C}$ a $RVV = 90\%$ .....	35
Tab. 9: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = 23\text{ °C}$ a $RVV = 50\%$ .....	37
Tab. 10: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = -30\text{ °C}$ a $RVV = 0\%$ .....	37
Tab. 11: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u dřeva AK lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = 55\text{ °C}$ a $RVV = 90\%$ .....	37

Tab. 12: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkách $t = 23$ °C a RVV = 50%.....	38
Tab. 13: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 D3 vystavených podmínkách $t = -30$ °C a RVV = 0 %.....	38
Tab. 14: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Duocoll 1057 vystavených podmínkách $t = 55$ °C a RVV = 90 % .....	38
Tab. 15: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = 23$ °C a RVV = 50% .....	40
Tab. 16: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = -30$ °C a RVV = 0 % .....	40
Tab. 17: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Titebond III vystavených podmínkách $t = 55$ °C a RVV = 90 % .....	40
Tab. 18: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = 23$ °C a RVV = 50%.....	41
Tab. 19: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = -30$ °C a RVV = 0 %.....	41
Tab. 20: Statistické vyhodnocení veličin naměřených na Charpyho kladivu u bukové PDP lepeného lepidlem Kleiberit 300.0 D3 vystavených podmínkách $t = 55$ °C a RVV = 90 %.....	41
Tab. 21: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Duocoll 1057 D3.....	42
Tab. 22: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Titebond III .....	43
Tab. 23: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 .....	44

Tab. 24: Průměrné hodnoty rázové houževnatosti vzorků při různých podmínkách za použití všech lepidel v závislosti na použitém materiálu .....	47
Tab. 25: Hodnoty rázové houževnatosti pro dřevinu AK .....	63
Tab. 26: Hodnoty rázové houževnatosti pro PDP-BK .....	63
Tab. 27: Hodnoty absorbované energie pro dřevinu AK .....	64
Tab. 28: Hodnoty absorbované energie pro PDP-BK .....	64
Tab. 29: Hodnoty energie pro dřevinu AK.....	65
Tab. 30: Hodnoty energie pro PDP-BK. ....	65

## 12 Seznam obrázků

Obr. 1: Buk, příčný řez ( <a href="http://ldf.mendelu.cz">http://ldf.mendelu.cz</a> ).....	13
Obr. 2: Trnovník akát, příčný řez ( <a href="http://ldf.mendelu.cz">http://ldf.mendelu.cz</a> ). .....	15
Obr. 3: Úhel smáčení kapky na pevném povrchu (L.-H Lee 1991). .....	19
Obr. 4: Struktura polyvinylacetátu (Douglas D., Stokke, 2013) .....	23
Obr. 5: Zkušební vzorek AK .....	26
Obr. 6: Zkušební vzorek PDP-BK.....	26
Obr. 7: Laboratorní váha KERN série FKB-A ( <a href="http://www.vaheta.cz">www.vaheta.cz</a> ) .....	28
Obr. 8: Charpyho kladivo Instron CEAST 9050.....	29
Obr. 9: Klimatizační komora MEMMERIT HPP ( <a href="http://www.witko.com.pl">www.witko.com.pl</a> ) .....	30
Obr. 10: Mrazicí box ELCOLD UNI 21 ( <a href="http://www.chladservis.cz">www.chladservis.cz</a> ) .....	30
Obr. 11: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti lepených spojů dřeva akát lepidlem Duocoll 1057 D3 na klimatických podmínkách skladování.....	34
Obr. 12: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro dřevo akát, vystaveno různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Titebond III .....	36
Obr. 13: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro dřevo akát vystaveno různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 .....	37
Obr. 14: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Duocoll 1057 D3 .....	39
Obr. 15: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Titebond III .....	40
Obr. 16: Krabicový diagram závislosti rázové houževnatosti pro bukovou PDP, vystavenou různým klimatickým podmínkám za použití lepidla Kleiberit 300.0 D3 .....	42
Obr. 17: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 v závislosti na různých podmínkách.....	43
Obr. 18: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Titebond III v závislosti na různých podmínkách .....	44
Obr. 19: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 v závislosti na různých podmínkách.....	45

Obr. 20: Závislost rázové houževnatosti vzorků ze dřeva akátu, lepených všemi použitými lepidly v závislosti na různých podmínkách .....	45
Obr. 21: Závislost rázové houževnatosti vzorků z bukové PDP lepených všemi použitými lepidly v závislosti na různých podmínkách .....	46
Obr. 22: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených všemi použitými lepidly a při všech klimatických podmínkách v závislosti na použitém materiálu .....	47
Obr. 23: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 % v závislosti na použitém materiálu .....	48
Obr. 24: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota -30 °C a RVV 0 % na použitém materiálu	48
Obr. 25: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách, teplota -30 °C a RVV 0 %, v závislosti na použitém materiálu .....	49
Obr. 26: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu .....	50
Obr. 27: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu .....	50
Obr. 28: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách teplota 23 °C a RVV 50 % v závislosti na použitém materiálu .....	51
Obr. 29: Závislost rázové houževnatosti vzorků lepených lepidlem Duocoll 1057 D3 při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu .....	51
Obr. 30: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Titebond III při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu .....	52
Obr. 31: Závislost rázové houževnatosti vzorků, lepených lepidlem Kleiberit 300.0 D3 při klimatických podmínkách teplota 55 °C a RVV 90 % v závislosti na použitém materiálu .....	52

## 13 Příloha

Tab. 25: Hodnoty rázové houževnatosti pro dřevinu AK

Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ] AK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	93,98	73,02	96,75	39,63	79,47	57,74	78,12	43,67	64,54
2	88,88	77,18	132,58	76,98	53,67	82,20	68,47	57,80	97,43
3	67,67	92,03	69,16	99,48	50,69	63,25	36,48	39,16	63,67
4	43,20	89,74	94,17	41,23	55,70	77,27	98,64	74,34	72,56
5	52,73	60,32	98,87	80,70	54,49	68,92	95,72	42,63	32,26
6	53,15	68,68	101,54	67,23	66,70	52,20	48,70	61,13	100,58
7	72,59	72,94	105,36	48,55	59,70	51,18	55,20	63,16	63,77
8	68,11	80,15	99,37	69,74	62,16	78,65	68,17	49,49	78,66
9	60,49	83,70	76,26	55,96	62,00	71,99	73,93	63,50	90,17
10	82,70	74,36	111,36	78,21	70,32	63,19	69,89	48,18	71,20
11	67,58	71,26	99,89	63,34	51,16	66,20	78,98	55,98	68,19
12	55,17	65,37	89,37	42,37	72,50	57,20	69,20	71,17	56,17
<b>Průměr</b>	67,19	75,73	97,89	63,62	61,55	65,83	70,12	55,85	71,60
<b>Medián</b>	67,62	73,69	99,12	65,29	60,85	64,72	69,55	56,89	69,70
<b>Sm. odch.</b>	14,80	9,03	15,39	17,87	8,76	9,85	16,95	10,88	17,97

Tab. 26: Hodnoty rázové houževnatosti pro PDP-BK

Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ] PDP-BK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	23,92	20,44	17,81	24,02	35,87	29,53	26,75	19,55	18,90
2	18,93	20,98	15,36	38,65	26,65	37,65	30,37	11,69	22,54
3	20,29	20,89	21,32	17,09	28,77	48,78	28,40	20,29	23,16
4	19,84	14,30	19,64	33,29	23,09	37,07	33,91	17,01	19,15
5	21,02	19,02	20,88	15,22	24,58	25,34	21,48	16,48	18,73
6	19,93	18,93	19,99	19,45	26,08	32,92	19,67	22,55	22,81
7	23,82	25,63	18,94	33,49	29,46	28,44	18,07	15,59	18,73
8	19,84	22,08	21,95	27,06	24,58	31,35	12,18	20,01	18,73
9	16,64	25,53	20,97	24,39	24,29	18,35	26,84	16,48	18,90
10	19,38	18,05	26,48	33,69	20,46	19,82	17,11	13,27	14,85
11	18,93	23,00	26,48	24,30	22,45	32,70	20,34	14,98	17,88
12	19,26	16,75	19,02	21,98	33,12	29,78	26,19	15,86	18,14
<b>Průměr</b>	20,15	20,47	20,74	26,05	26,62	30,98	23,44	16,98	19,38
<b>Medián</b>	19,84	20,67	20,43	24,35	25,33	30,57	23,83	16,48	18,81
<b>Sm. odch.</b>	1,94	3,21	3,07	7,03	4,30	7,80	6,02	2,99	2,28

Tab. 27: Hodnoty absorbované energie pro dřevinu AK

Absorbovaná energie [%] AK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	68,33	52,42	70,79	28,20	55,34	42,67	53,81	31,07	46,81
2	64,62	55,40	97,01	54,78	37,37	60,74	47,16	41,13	70,67
3	49,20	66,06	50,60	70,79	35,30	46,74	25,13	27,87	46,18
4	31,41	64,42	68,90	29,34	38,78	17,01	67,94	52,90	52,63
5	38,34	43,30	72,34	57,42	37,94	50,93	65,93	30,33	23,40
6	38,65	49,30	74,29	47,84	46,44	38,57	77,32	58,09	72,95
7	52,78	52,36	77,09	34,55	41,57	37,82	38,02	52,49	46,25
8	49,52	57,54	72,70	49,62	43,28	58,12	46,95	35,21	57,05
9	43,98	60,08	55,79	39,82	43,17	53,20	50,92	45,18	65,40
10	60,12	53,38	81,48	55,66	48,97	46,70	48,14	34,29	51,64
11	49,14	51,15	73,08	45,08	35,62	48,92	54,40	39,84	49,46
12	40,11	46,93	65,39	30,15	50,48	42,27	47,66	50,64	40,74
<b>Průměr</b>	48,85	54,36	71,62	45,27	42,86	45,31	51,95	41,59	51,93
<b>Medián</b>	49,17	52,90	72,52	46,46	42,37	46,72	49,53	40,48	50,55
<b>Sm. odch.</b>	10,76	6,48	11,26	12,72	6,10	10,92	13,23	9,73	13,03

Tab. 28: Hodnoty absorbované energie pro PDP-BK

Absorbovaná energie [%] PDP-BK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	14,24	12,41	11,01	14,58	21,94	19,96	16,13	11,33	12,08
2	11,27	12,74	9,49	23,46	16,31	25,45	18,32	6,77	14,41
3	12,08	12,68	13,18	10,37	17,60	32,97	17,13	11,75	14,81
4	11,81	8,68	12,14	20,20	14,13	25,06	20,45	9,85	12,24
5	12,52	11,54	12,90	9,24	15,03	17,13	12,95	9,54	11,97
6	11,86	11,49	12,35	11,81	15,96	22,25	11,86	13,06	14,58
7	14,18	15,55	11,70	20,33	18,02	19,22	10,90	9,03	11,97
8	11,81	13,40	13,57	16,42	15,03	21,19	7,35	11,59	11,97
9	9,91	15,50	12,96	14,81	14,86	12,41	16,19	9,54	12,08
10	11,54	10,95	16,37	20,45	12,51	13,40	10,32	7,69	9,49
11	11,27	13,96	16,37	14,75	13,73	22,10	12,27	8,68	11,43
12	11,47	10,17	11,76	13,34	20,26	20,13	15,79	9,19	11,59
<b>Průměr</b>	12,00	12,42	12,82	15,81	16,28	20,94	14,14	9,84	12,38
<b>Medián</b>	11,81	12,54	12,63	14,78	15,50	20,66	14,37	9,54	12,02
<b>Sm. odch.</b>	1,16	1,95	1,90	4,27	2,63	5,28	3,63	1,73	1,45



Tab. 29: Hodnoty energie pro dřevinu AK.

Energie [J] AK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	17,08	13,10	17,69	7,05	13,83	10,66	13,45	7,77	11,70
2	16,15	13,85	24,24	13,69	9,34	15,18	11,79	10,28	17,66
3	12,30	16,51	12,65	17,69	8,82	11,68	6,28	6,97	11,54
4	7,85	16,10	17,22	7,33	9,69	4,25	16,98	13,22	13,15
5	9,58	10,82	18,08	14,35	9,48	12,73	16,48	7,58	5,85
6	9,66	12,32	18,57	11,96	11,61	9,64	19,32	14,52	18,23
7	13,19	13,08	19,27	8,63	10,39	9,45	9,50	13,12	11,56
8	12,38	14,38	18,17	12,40	10,82	14,53	11,73	8,80	14,26
9	10,99	15,02	13,94	9,95	10,79	13,29	12,73	11,29	16,34
10	15,03	13,34	20,36	13,91	12,24	11,67	12,03	8,57	12,91
11	12,28	12,78	18,26	11,27	8,90	12,23	13,60	9,96	12,36
12	10,02	11,73	16,34	7,54	12,62	10,56	11,91	12,66	10,18
<b>Průměr</b>	12,21	13,59	17,90	11,31	10,71	11,32	12,98	10,39	12,98
<b>Medián</b>	12,29	13,22	18,12	11,61	10,59	11,68	12,38	10,12	12,63
<b>Sm. odch.</b>	2,69	1,62	2,81	3,18	1,52	2,73	3,31	2,43	3,26

Tab. 30: Hodnoty energie pro PDP-BK.

Energie [J] PDP-BK	Duocol 1057 D3			Titebond III			Kleiberit 300.0 D3		
	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky	Normální podmínky	Chladné podmínky	Teplé podmínky
1	3,56	3,10	2,75	3,64	5,48	4,99	4,03	2,83	3,02
2	2,82	3,18	2,37	5,86	4,07	6,36	4,58	1,69	3,60
3	3,02	3,17	3,29	2,59	4,40	8,24	4,28	2,94	3,70
4	2,95	2,17	3,03	5,05	3,53	6,26	5,11	2,46	3,06
5	3,13	2,88	3,22	2,31	3,76	4,28	3,24	2,39	2,99
6	2,97	2,87	3,09	2,95	3,99	5,56	2,96	3,26	3,64
7	3,54	3,89	2,92	5,08	4,50	4,80	2,72	2,26	2,99
8	2,95	3,35	3,39	4,10	3,76	5,30	1,84	2,90	2,99
9	2,48	3,87	3,24	3,70	3,71	3,10	4,05	2,39	3,02
10	2,88	2,74	4,09	5,11	3,13	3,35	2,58	1,92	2,37
11	2,82	3,49	4,09	3,69	3,43	5,52	3,07	2,17	2,86
12	2,87	2,54	2,94	3,33	5,06	5,03	3,95	2,30	2,90
<b>Průměr</b>	3,00	3,10	3,20	3,95	4,07	5,23	3,53	2,46	3,10
<b>Medián</b>	2,95	3,13	3,16	3,69	3,87	5,16	3,59	2,39	3,01
<b>Sm. odch.</b>	0,29	0,49	0,47	1,07	0,66	1,32	0,91	0,43	0,36