

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Rozměrová stabilita a borcení konstrukčního masivního a lepeného
dřeva z buku**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Pavλίna Pecháčková

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Rozměrová stabilita a borcení konstrukčního masivního a lepeného dřeva z buku zpracovala 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 ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědoma, 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

Velice bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. Dr. Ing. Petru Horáčkovi, který byl ochotný, vždy mně poradil a pomohl s řešením problémů. Dále děkuji Jakubu Mokrému, který mi pomáhal s výrobou a měřením vzorků. Také děkuji spolužákům a pracovníkům Ústavu nauky o dřevě za spolupráci při výrobě vzorků, za cenné rady a připomínky. Poděkování patří i mé rodině za podporu a možnost studovat na této škole.

Abstrakt

Autor: Pavlína Pecháčková

Název práce: Rozměrová stabilita a borcení konstrukčního masivního a lepeného dřeva z buku

Cílem práce je porovnat bobtnání a borcení konstrukčního masivního a lepeného dřeva z buku. Hranoly o rozměrech 10x10x1000 mm jsou 30 dní ponořené ve vodě a poté jsou experimentálně stanovené hodnoty bobtnání, koeficienty bobtnání a příčné a podélné borcení. Je analyzován vliv stavby bukového dřeva u masivních hranolů a vliv lepidla a jednotlivých lamel u lepených hranolů. Podle našeho experimentu jsou hodnoty objemového bobtnání větší u masivního dřeva a u tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání je to naopak. Příčného borcení dosahuje vyšších hodnot u lepených hranolů a podélné borcení se podařilo stanovit pouze u masivních hranolů.

Klíčová slova

Bobtnání, borcení, dřevo, buk, lepení dřeva

Abstract

Author: Pavlína Pecháčková

Thesis title: Dimensional stability and collapse of structural massive and laminated wood of beech.

The aim of the thesis is to compare swelling and collapsing of structural massive and laminated wood of beech. Prisms of size 10x10x1000 mm are for 30 days submerged in water. Thereafter the experimental values of swelling are settled and also are settled the coefficients of swelling and transverse and longitudinal collapsing. The repercussions of beech wood by solid prisms and effect of glue and individual plates with glued blocks are analysed. In our experiment, the values are larger volumetric swelling in solid wood and in tangential, radial and longitudinal swelling the opposite is true. Cross warping achieves higher values for laminated prisms and longitudinal collapsing has been measured only in solid samples.

Keywords

Swelling, collapsing, wood, beech, wood gluing

Obsah

1 Úvod	8
2 Literární přehled	9
2.1 Struktura bukového dřeva	9
2.1.1 Nepravé jádro.....	10
2.2 Bobtnání dřeva	11
2.2.1 Faktory ovlivňující bobtnání dřeva.....	13
2.3 Borcení dřeva	14
2.4 Lepení dřeva.....	16
3 Cíl práce	17
4 Metodika	18
4.1 Zkušební materiál.....	18
4.2 Materiál - lepidla	18
4.3 Zařízení a pomůcky.....	18
4.4 Příprava zkušebních vzorků	19
4.5 Výpočet w_{max}	19
4.6 Stanovení hustoty vlhkého dřeva ρ_w při vlhkosti po 30 dnech máčení	20
4.7 Stanovení hustoty absolutně suchého dřeva ρ_0 při vlhkosti 0%	20
4.8 Stanovení částečného bobtnání a výpočet koeficientu bobtnání.....	20
4.9 Stanovení diferenciálního bobtnání α_{dif}	21
4.10 Zařazení jednotlivých čel do skupin A1, A2, B1, B2 podle umístění v kmeni	22
4.11 Stanovení příčného borcení.....	23
4.12 Stanovení podélného borcení u masivního dřeva.....	23
4.13 Zpracování výsledků	23
5 Výsledky	25
5.1 Měřená data	25
5.2 Výpočty	31
5.2.1 Stanovení bobtnání a koeficientů bobtnání.....	31
5.2.2 Stanovení příčného borcení	38
5.2.3 Stanovení podélného borcení.....	40
5.3 Závislost bobtnání a koeficientů bobtnání na hustotě	45
5.3.1 Závislost bobtnání masivních vzorků na hustotě.....	45

5.3.2	Závislost bobtnání lepených vzorků na hustotě.....	46
5.3.3	Závislost koeficientů bobtnání masivních vzorků na hustotě.....	47
5.3.4	Závislost koeficientů bobtnání lepených vzorků na hustotě.....	48
5.4	Srovnání bobtnání a borcení masivních a lepených vzorků.....	49
5.4.1	Porovnání bobtnání masivních a lepených vzorků	49
5.4.2	Porovnání příčného borcení masivních a lepených vzorků	51
6	Diskuze	52
6.1	Bobtnání masivního dřeva.....	52
6.2	Borcení masivního dřeva.....	55
6.3	Bobtnání lepeného dřeva.....	56
6.4	Borcení lepeného dřeva.....	58
6.5	Rozlepení lepených hranolů.....	59
6.6	Závislost bobtnání na hustotě.....	59
6.7	Srovnání bobtnání a borcení masivního a lepeného dřeva.....	59
6.8	Návrh optimální skladby lepeného hranolu	60
7	Závěr	61
8	Literatura	62
9	Summary	63
10	Přílohy	64
10.1	Seznam obrázků a grafů	64
10.2	Seznam tabulek	65

1 Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřená na bobtnání a borcení masivního hranolu z bukového dřeva a lepeného hranolu z bukových lamel. Bobtnání a borcení patří mezi fyzikální vlastnosti dřeva. Tyto vlastnosti nám mohou ovlivnit použitelnost dřeva, a proto je dobré vědět, jak se dřevo zachová při styku s vodou. Každé dřevo má jinou strukturu a chová se jinak. Buk patří mezi dřeva, u kterých je bobtnání a borcení poměrně velké. Při bobtnání dřevo přijímá vodu nebo vlhkost z okolí a zvětšuje své rozměry ve všech směrech. Dřevo bobtná pouze do meze nasycení buněčných stěn a poté už nezvětšuje své rozměry, ale pouze se zvyšuje hustota dřeva.

Borcení je důsledkem bobtnání, protože dřevo bobtná v tangenciálním směru více nežli ve směru radiálním a tím se mění tvar dřeva. Borcení pozorujeme na příčném řezu a také v podélném směru. U hranolu na příčném řezu se borcení může projevit zkosením a v podélném směru můžeme pozorovat kroucení, průhyb nebo ohyb hranolu. U lepeného dřeva je bobtnání a borcení omezené, proto je hlavním cílem této práce masivní a lepené dřevo porovnat a zjistit vliv lepení a lepidla na bobtnání a borcení.

2 Literární přehled

2.1 Struktura bukového dřeva

Buk patří mezi dřeva s roztroušeně pórovitou stavbou a má vysokou hustotu, což ovlivňuje bobtnání a borcení dřeva tak, že od něho můžeme čekat velké rozměrové změny a i borcení. V tabulce 1 jsou uvedené hustoty dřev podle Požgaje (1997). Buk patří mezi dřeva středně těžké a oproti jehličnatým dřevinám je jeho hustota značně větší.

Tab. 1 – Hustota jednotlivých dřev při nulové vlhkosti (Požgaj, 1997)

Dřevo	Hustota ρ_0 (kg/m ³)
Smrk, jedle, topol	350-400
Lípa, osika	400-450
Borovice	500
Douglaska, vrba, bříza	500-600
Javor, kaštan	630
Dub	640-650
Buk	680
Akát, habr	730-800

Podle Šlezingerové (2005) a Požgaje (1997) buk řadíme mezi dřeva bělová s vyvrálým jádrem. Vyvrálé jádro lze pozorovat u čerstvě pořezané kulatiny jako světlejší centrální část kmene. Běl je tmavší protože obsahuje více vody, nežli vyvrálé jádro. Po vyschnutí už nelze pozorovat barevný rozdíl mezi bělí a vyvrálým jádrem. Vyvrálé dřevo má všechny znaky jádra a tudíž ovlivňuje i bobtnání dřeva. Má vyšší hustotu nežli běl a nižší vlhkost. Bukové dřevo se skládá z limbriformních vláken, mikrocév, tracheid a parenchymatických buněk, které tvoří dřeňové paprsky nebo axiální parenchym. Důležitá je struktura buňkové stěny a orientace fibril v nich. Kúdela (2003) popisuje, že u buku je úhel fibril v S2 vrstvě pouze 15°, proto tedy nebude podélné bobtnání velké. Buk má široké dřeňové paprsky, které mají velice velký vliv na bobtnání a borcení v příčném směru. Jsou četné, mohou mít výšku až 5 mm a jejich vrstevnatost je 1 až 25 vrstev. Jsou uloženy kolmo na osu kmene a podle Kúdely (2003) se jejich počet zmenšuje s rostoucí vzdáleností od dřeně. Dřeň má také vliv na vlastnosti dřeva. U buku podle Šlezingerové (2005) má dřeň trojúhelníkový tvar, nachází se ve středu kmene a prvních deset let obsahuje živé buňky. Negativně ovlivňuje vlastnosti dřeva, například při vysychání vznikají od dřeně dřeňové trhliny, které porušují celistvost dřeva. Hustota dřeva u buku roste od dřeně směrem k obvodu po určitou hranici a poté klesá. Toto je důsledkem nepravidelnosti šířky letokruhů a můžeme to

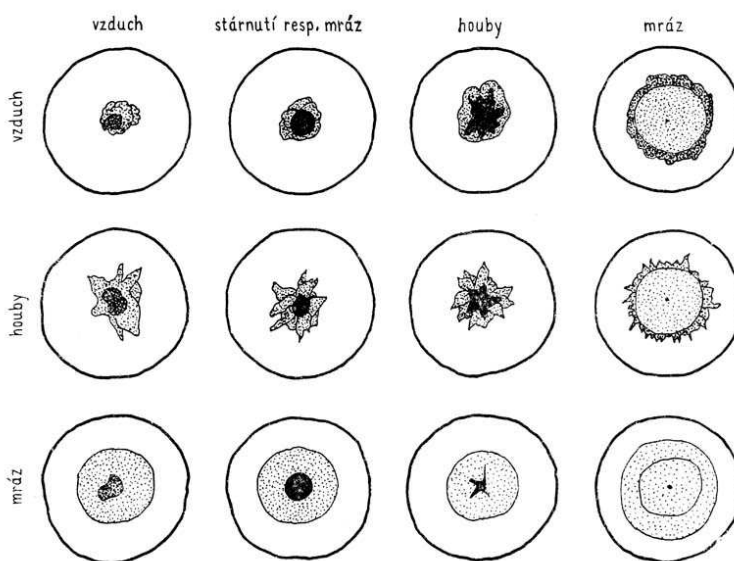
vidět v tabulce 2. U buku se také můžeme setkat s nepravým jádrem (podkapitola 3.1.1 Nepravé jádro).

Tab. 2 – Hustota bukového dřeva v různých vzdálenostech od dřene

	Vzdálenost od dřene (mm)							
	0-10	12-32	34-54	56-76	78-98	100-120	122-142	144-164
Hustota buku kg/m ³	679	712	686	686	644	677	631	635

2.1.1 Nepravé jádro

Šlezingrová (2005), Požgaj (1997) a Hrádek (1966) popisují, že nepravé jádro je tmavé zbarvení vnitřní části dřeva listnatých dřevin, které jsou bělové nebo s vyžralým dřevem. Zbarvení má různé odstíny, intenzitu, je nepravidelného tvaru a se zřetelně ohraničenou tmavou linií. Nepravé jádro se vytváří po poškození stromu vlivem biotických a abiotických činitelů (vlivem průniku vzduchu do dřeva, nízkých teplot, působením hub.). Příčinou vzniku jsou biochemické změny (oxidace tříslovin – zbarvení jádra), ke kterým dochází v procesu stárnutí dřeviny. U zdravého nepravého jádra je hlavní podmínkou dostatečné množství vzduchu v části vyžralého dřeva. Poté začínají odumírat živé parenchymatické buňky a cévy se ucpávají thylami. Vstupním místem pro vzduch může být mechanické poškození, poranění, suky, trhliny při extrémním mrazu. Zdravé nepravé jádro řadíme mezi estetické vady dřeva. Příčinou vzniku nezdravého nepravého jádra jsou dřevokazné houby. Způsobují hnilobu a u nezdravých nepravých jader se vyskytují hyfy hub. Tvar nepravého jádra je zpravidla okrouhlý, složený z jedné nebo více okrouhlých ploch nebo složené s nepravidelnými výběžky.



Obr. 1 - Příčiny vzniku nepravých jader u buku

(Šlezingerová, 1996) považuje za příčinu velkého rozsahu nepravého jádra u bukových kmenů nedostatečné probírky. Během vývoje porostu je nutné odstraňovat vidlicovité, silně větvené, sukovité a poraněné stromy. Buk s velkou korunou má malou část vyzrálého dřeva a malé nepravé jádro, naopak buk s malou korunou má velkou část vyzrálého dřeva a velké nepravé jádro. Bukové dřevo nepravého jádra (bez hniloby) se svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi neliší od zdravého dřeva. Některá nepravá jádra však mohou mít vyšší vlhkost.

2.2 Bobtnání dřeva

Požgaj, A. (1997), Kúdela, J. (2003) a Gandelová (2004) napsali, že při bobtnání dřevo přijímá vodu vázanou, která se ukládá do buněčných stěn, kde dochází k oddalování fibrilární struktury. Tím se mění rozměry jednotlivých elementů a i celkové rozměry dřeva. Dřevo zvětšuje svoje lineární rozměry, plochu nebo objem pouze do bodu nasycení vláken. Nad bod nasycení vláken dřevo přijímá vodu volnou, která vyplňuje lumeny, případně mezibuněčné dutiny, takže rozměry dřeva se nezvětšují.

Bobtnání může být lineární (v jednotlivých anatomických směrech – podélném, radiálním a tangenciálním), plošné (změna plochy tělesa) a objemové (změna objemu tělesa). Celkové (maximální) bobtnání je bobtnání dřeva od absolutně suchého stavu do meze hygroscopicity. Pokud dřevo bobtná v menším intervalu, jedná se o bobtnání částečné.

Bobtnání vyjadřujeme jako podíl příslušné změny a původní hodnoty veličiny. Po vynásobení 100 získáme hodnotu bobtnání v procentech.

$$\alpha_i = \frac{a_{iw_2} - a_{iw_1}}{a_{iw_1}} * 100 [\%]$$

a_{iw_2} – lineární rozměr v libovolném směru, plocha nebo objem po ukončení bobtnání

a_{iw_1} – lineární rozměr v libovolném směru, plocha nebo objem před bobtnáním

Pro praktické účely je vhodné znát koeficient bobtnání, což je procentická změna rozměrů, plochy nebo objemu, pokud se vlhkost změní o 1%.

$$K_{\alpha_i} = \frac{\alpha_i}{w_2 - w_1} = \frac{\alpha_i}{\Delta w}$$

α_i – částečné bobtnání

Δw – rozdíl vlhkostí

Bobtnání má anizotropní charakter. Podél vláken je bobtnání velmi malé, podle Horáčka (2008) průměrná hodnota celkového podélného bobtnání pro naše dřeviny je 0,1 – 0,4 %. V příčném směru je mnohem větší, v radiálním směru 3 – 6 % a v tangenciálním 6 – 12 %. Pro bukové dřevo jsou znázorněny hodnoty bobtnání v tabulce 3. Dále se můžeme podívat v tabulce 4 na hodnoty koeficientů bobtnání různých dřev.

Tab. 3 – Hodnoty bobtnání bukového dřeva

	Lexa, 1952	Požgaj, 1997
Objemové bobtnání (%)	17,5	17,9
Tangenciální bobtnání (%)	11,8	11,8
Radiální bobtnání (%)	5	5,8
Podélné bobtnání (%)	0,3	0,3
Koeficient bobtnání (-)		0,58

Tab. 4 – Koeficienty bobtnání různých druhů dřeva (Ugolev, 1975)

Druh dřeva	koeficient bobtnání (-)		
	objemového	tangenciálního	radiálního
	$K\alpha$	$K\alpha$	$K\alpha$
Modřín	0,61	0,39	0,2
Borovice	0,51	0,31	0,18
Smrk	0,5	0,31	0,17
Bříza	0,64	0,34	0,28
Buk	0,55	0,35	0,18
Jasan	0,52	0,31	0,19
Dub	0,5	0,29	0,19

Poměr bobtnání v tangenciálním, radiálním a podélném směru je $\alpha_t : \alpha_r : \alpha_l = 20 : 10 : 1$.

Šlezingrová (1996) a Horáček (2008) ukazují, že poměr bobtnání v radiálním a tangenciálním směru se nazývá diferenciální bobtnání a je dáno vztahem:

$$\alpha_{dif} = \alpha_t / \alpha_r$$

α_t – bobtnání v tangenciálním směru

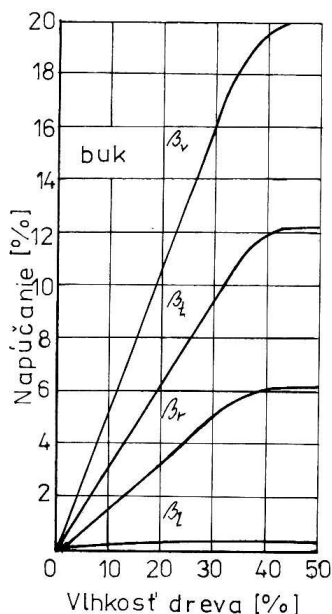
α_r – bobtnání v radiálním směru

Hodnota diferenciálního bobtnání závisí na hustotě, s klesající hustotou se zvyšuje. Proto mají listnaté dřeviny celkově nižší hodnotu než jehličnaté dřeviny. Průměrná hodnota se pohybuje kolem 2, běžně se však pohybuje v intervalu od 1 do 3,5.

2.2.1 Faktory ovlivňující bobtnání dřeva

Vlhkost, hustota a anatomická stavba dřeva ovlivňují rozměrové změny způsobené změnami vlhkosti v rozsahu vody vázané.

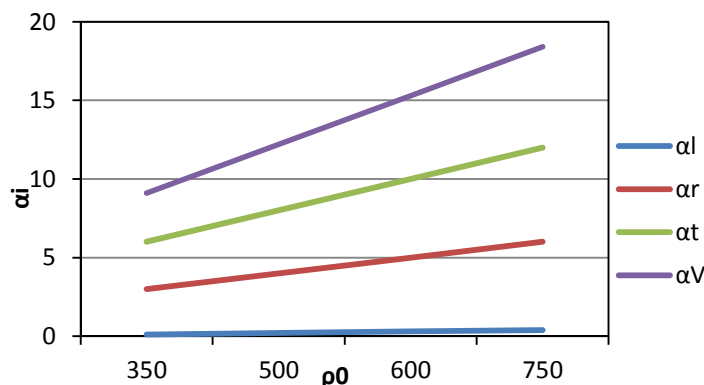
Požgaj (1997) ukazuje, že vlhkost dřeva velmi ovlivňuje jeho bobtnání, a to tím že se vzrůstající vlhkostí vzrůstá i bobtnání dřeva (obrázek 2).



Obr. 2 - Závislost bobtnání dřeva na vlhkosti dřeva (Požgaj, 1997)

Hustota dřeva je také důležitá pro bobtnání. Horáček (2008) a Gandelová (2004) popisují, že se vzrůstající hustotou roste i bobtnání dřeva (Obr. 3), což souvisí s větším

zastoupením chemických konstituent v jednotkovém objemu hustšího dřeva. Čím má tedy dřevo tlustší buněčné stěny, tím má větší počet potenciálních sorpčních míst a rozměrové stěny jsou větší. S rostoucí hustotou dochází také k výraznému modifikování tvaru anatomických elementů a zmenšování rozdílů v radiálním a tangenciálním směru, což má za výsledek snížení anizotropie rozměrových změn.



Obr. 3 - Graf znázorňující závislost bobtnání na hustotě

Velice významný vliv na bobtnání má i struktura dřeva na všech úrovních – submikroskopická, mikroskopická a makroskopická. Ze submikroskopické struktury je podle Kúdely (2005), Požgaje (1997) a Panshin (1980) rozhodující stavba buněčné stěny a orientace fibril v jednotlivých vrstvách. S rostoucím odklonem fibril v S2 vrstvě vzrůstá podélné bobtnání, což se projeví v podélném borcení dřeva. Malé bobtnání v podélném směru si vysvětlujeme tím, že molekuly vody nemohou vnikat mezi fibrily, takže nenastává rozestupování v tomto směru. Odklon fibril od podélné osy buňky je malý, a tedy neumožňuje větší změnu jejich polohy jako v příčných směrech. Na mikroskopické úrovni jsou důležité tloušťky buněčné stěny v radiálním a tangenciálním směru a přítomnost dřevných paprsků. Rozdíl v bobtnání mezi radiálním a tangenciálním směrem můžeme vysvětlit vlivem dřevných paprsků. Dřevné paprsky jsou uloženy kolmo na osu kmene a bobtnají více do šířky, což je v tangenciálním směru.

2.3 Borcení dřeva

Požgaj (1997) a Kúdela (2003) napsali, že v důsledku rozdílného bobtnání dřeva v jednotlivých anatomických směrech nastává změna tvaru dřeva nebo sortimentu, které jsme z něho vyrobili. Tuto tvarovou změnu nazýváme borcení dřeva. Borcení se může vyskytovat v příčném nebo podélném směru sortimentů.

Tab. 5 - Tabulka diferenciálního bobtnání různých druhů dřev (Ugolev, 1975)

	α_{dif}
Modřín	1,95
Borovice	1,72
Smrk	1,82
Bříza	1,21
Buk	1,94
Jasan	1,63
Dub	1,53

Příčné borcení je vyvolané rozdílem radiálního a tangenciálního bobtnání a je tím větší, čím je větší vzdálenost od dřeně k obvodu kmene. V tabulce 5 můžeme vidět diferenciální bobtnání různých druhů dřev. Ukazují nám poměr tangenciálního a radiálního bobtnání. Pokud je poměr vysoký, značí to větší bobtnání v tangenciálním směru nežli v radiálním. Toto významně ovlivňuje borcení, protože dřevo bobtná více v tangenciálním směru. U buku je diferenciální bobtnání 1,94, což je s modřínem nejvyšší hodnota a očekáváme u něho velké borcení. Tvar po bobtnání velice ovlivňuje to, z které části příčného řezu kmene sortiment pochází. Různé části desky se například neseschnou stejným způsobem, to je dáno tím, že vnitřní část směrem ke dření má větší podíl radiální roviny a vnější strana tangenciální roviny. Vznikne žlábkovité prohnutí, způsobené rozdílným bobtnáním radiální a tangenciální roviny.



Obr. 4 - Příklad příčného strukturního borcení výřezů rozdílných tvarů z různých míst příčného průřezu kmene (Kollmann, 1951)

Podélné borcení vzniká nerovnoměrným podélným bobtnáním dřeva, způsobující prohnutí nebo stočení dřeva. Průhyb je vyvolaný rozdíly v podélném bobtnání mezi zónou bělového a jádrového dřeva nebo přítomností reakčního dřeva. Stočení způsobuje točivost kmene, která vzniká v důsledku točivého průběhu vláken v kmeni. Borcení je vážným nedostatkem dřeva, které ztěžuje jeho opracování, použití

na konstrukce a výrobky ze dřeva v prostředí, kde se často mění vlhkost vzduchu a teplota.

2.4 Lepení dřeva

Lepení dřeva nám umožňuje výrobu hranolů a nosníků takové délky a průměru, které by se z jednoho kmene nedaly vyrobit. Navíc slepováním několika dřevěných lamel můžeme vyloučit některé přirozené vady dřeva.

Eisner (1966) popisuje, že lepidla neboli pojidla (adheziva) jsou nekovové materiály o vysoké vnitřní soudržnosti (kohezi), schopné spojovat tuhá tělesa následkem své přilnavosti (adheze) k povrchům tuhých těles (adherendu). Král (2011) popisuje, že pevnost lepeného spoje závisí na dokonalé přilnavosti lepidla na povrch adherendu, na dobré soudržnosti molekul lepidla po vytvrzení a na vysoké kohezi. Na pevnosti lepení také závisí čistota povrchu dřeva a úprava povrchu dřeva. Výhodnější je hladký povrch, který dovoluje dokonalejšímu styku obou lepených ploch. Výběr dřeva je také důležitý. Podle Eisnera (1966) je buk na lepení choulostivější, protože vlivem vlhkostních změn podléhá velkým objemovým změnám a tyto pnutí mohou lepený spoj poškodit. U buku se vyžaduje dokonalejší povrch než třeba u borovice, u které se nerovnosti měkkého povrchu mohou při lisování vyrovnat. U buku by použitím vyššího tlaku k odstranění nerovností mohlo způsobit vytlačení lepidla z klišní spáry. Maximální přípustná vlhkost lepeného dřeva je 15%. Vlhkost lepených lamel musí být rovnoměrná v celém jejich průřezu, aby nedocházelo k namáhání spojů vnitřním pnutím.

Fenolformaldehydová lepidla: Král (2011) a Eisner (1966) popisují, že tyto lepidla se používají k lepení dřeva od roku 1935 a to především k lepení překližek. Jejich výroba se rozšiřuje, protože mají vhodné vlastnosti. Velice dobré mechanické vlastnosti lepených spojů, jejich pružnost, odolnost proti studené a vroucí vodě, povětrnostním vlivům, mikroorganismům, většinou rozpouštědel, stárnutí. Používají se na desky, které musí být odolné vůči vodě. Jedná se zejména o desky OSB a DTD, vodovzdorné překližky a jiné materiály používané ve stavebnictví.

Polyuretanová lepidla: Eisner (1966) k přednostem polyuretanových lepidel přiřazuje dobré mechanické pevnosti spojů, jejich velká pružnost, odolnost dynamického namáhání, dále dobrá odolnost vlhkosti a povětrnostním vlivům. Lepidla jsou vhodná pro spojování mnoha materiálů, např. dřeva, kovů, keramiky, pryže, porcelánu jejich vzájemných kombinací.

3 Cíl práce

Cílem práce je stanovení bobtnání a borcení u konstrukčního masivního hranolu z bukového dřeva a u konstrukčního vícevrstvého lepeného hranolu z bukových lamel. Na hranolech experimentálně stanovit objemové, tangenciální, radiální a podélné bobtnání a koeficienty bobtnání. Dále zjistit příčné a podélné borcení a všechny hodnoty porovnat s literaturou. Analyzovat vliv stavby dřeva u masivního hranolu, především přítomnost dřene a nepravého jádra. U vícevrstvého lepeného hranolu analyzovat vliv jednotlivých lamel a lepidla. Na závěr porovnat rozměrové stability a borcení hranolů z masivního a lepeného dřeva a navrhnout optimální skladbu lepeného hranolu.

4 Metodika

4.1 Zkušební materiál

Pro danou zkoušku jsou vybrány vzorky z bukového dřeva. Deset vzorků je z rostlého bukového dřeva o rozměrech 100 x 100 x 1000 mm. Další desíť vzorků je lepených z bukových lamel a celkový rozměr je opět 100 x 100 x 1000 mm. Materiál je bez jakéhokoliv mechanického poškození nebo biotického napadení.

4.2 Materiál - lepidla

Lepidlo na dřevo Lear D4 – polyuretanové jednosložkové lepidlo pro vysoce vodovzdorné montážní a plošné lepení dřeva, odolnost vůči vodě D4. Pro měkké, tvrdé i exotické dřevo. Lepení veškerého dřeva, dřevotřísky, MDF, kovů, izolačních a pěnových hmot. Výroba truhlářských výrobků, hranolů, kuchyní, zahradního nábytku a modelářství. Spoj odolává i exteriérovému působení vody nebo zvýšené vlhkosti, je tvrdý. Teplotní odolnost spoje do +120 °C. Lepidlo nanášíme na čisté, suché plochy bez prachu a mastnot. Lepidlo nanášíme na jednu plochu v celkovém množství 100 - 200 g/m² a během 15 minut spojíme plochy k sobě. Držíme stlačené mírným tlakem 60 minut za minimální pracovní teploty +15 °C.

Fenolformaldehydové lepidlo lignofen G/3/D - lepidlo je plně vodovzdorné (i vodě s vyšší teplotou) s tmavým zabarvením, odolné stárnutí a mikroorganismům. Využívá se např. pro lepení nosníků, které jsou exponovány povětrnostním vlivům. Nevytvrzené lepidlo je rozpustné vodou - znečišťuje odpadní vody. Karcinogenního formaldehydu lepidlo obsahuje minimum. Vhodné i pro dřevo s vyšší vlhkostí do cca 25 %. Nanášené množství lepidla je zpravidla mezi 100 g/m² a 200 g/m², otevřená doba až 15 minut. Lisujeme za maximální teploty 125°C při tlaku 0,2 – 1,0 MPa.

4.3 Zařízení a pomůcky

Formátovací pila na masiv

Horizontální tloušťkovací fréza

Elektronická váha Scaltec

Elektronické posuvné měřidlo

Sušárna

Lis

Nádrž na vodu – pro namočení vzorků

Notebook – pro zapisování výsledků

Fotoaparát

Program ImageJ

4.4 Příprava zkušebních vzorků

Vzorky z rostlého dřeva byly nařezány na hrubé rozměry na pile a poté převezeny do Útěchova, kde jsme je vysušili a nařezali na čisté rozměry 100 x 100 x 1000 mm. Dále jsme vyřezali z bukových fošen 50 lamel, které jsme vysušili na přibližně 10% a ohoblovali jsme je pro lepší a hladší povrch. Jeden vzorek se skládal z pěti lamel o rozměrech 20 x 100 x 1000 mm. Použili jsme dvě odlišná lepidla, takže 5 vzorků jsme lepili lepidlem polyuretanovým a pět vzorků fenolformaldehydovou pryskyřicí. Nanesli jsme lepidlo na jednu stranu lamely o nánosu 180g/m², poté jsme 5 lamel slepili do 15 minut a celé hranoly vložili do lisu. U lepidla polyuretanového byly vzorky v lisu 1 h s tlakem 1,2 MPa a u fenolformaldehydové pryskyřice byly vzorky v lisu 10 h, opět s tlakem 1,2 MPa a za zvýšené teploty. U všech vzorků jsme pomocí laserového měřiče změřili délku a příčné rozměry jsme změřili pomocí digitálního posuvného měřítka. Příčné rozměry jsme měřili na třech místech vzorku, a to na obou čelech a uprostřed. Dále jsme vzorky zvážili na laboratorní váze a poté jsme je vložili do nádoby s vodou, kde zůstaly 30 dní. Po vytažení z vody jsme je opět změřili a zvážili.

4.5 Výpočet w_{max}

Pro výpočet w_{max} u rostlých i lepených vzorků je potřeba zvážít vzorky před máčením a po 30 dnech máčení. Vlhkost w_1 byla zjištěná pomocí odřezků ze vzorků před máčením, které jsme zvážili, poté vysušili na vlhkost 0% a vypočítali průměrná vlhkost w_1 . Maximální vlhkost dřeva se vypočítá podle vzorce:

$$Wmax = \left(\frac{m_w - m_1}{m_1} * 100 \right) + w_1 \text{ [%]}$$

W_{max} – maximální vlhkost dřeva (%)

m_w – hmotnost vzorku po 30 dnech máčení (kg)

m_1 – hmotnost vzorku před máčením (kg)

w_1 – vlhkost vzorku před máčením (%)

4.6 Stanovení hustoty vlhkého dřeva ρ_w při vlhkosti po 30 dnech máčení

Vzorky z rostlého i lepeného dřeva byly 30 dní ponořené ve vodě a poté se vyndaly, zvážily se na laboratorní váze s přesností 0,01g a změřila se délka pomocí laserového měřiče a příčné rozměry pomocí digitálního posuvného měřítka. Současný objem vzorku lze považovat za maximální, protože vzorky jistě dosáhly vlhkosti meze nasycení buněčných stěn i meze hydroskopicity. Za touto hranicí je objem vzorku považován za konstantní a maximální. Vzorec pro výpočet je:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

ρ_w – hustota vlhkého vzorku (kg/m³)

m_w – hmotnost vlhkého vzorku (kg)

V_w - objem vlhkého vzorku (m³)

4.7 Stanovení hustoty absolutně suchého dřeva ρ_0 při vlhkosti 0%

U tohoto výpočtu využijeme hustoty vzorků před a po máčení a také vlhkosti před a po máčení. Tento výpočet provádíme pro rostlé i lepené dřevo. Vzorec pro tento výpočet je:

$$\rho_w = \rho_0 \frac{1+w_w}{(1+0,28\rho_0)} \text{ [kg/m}^3\text{]} \longrightarrow \rho_0 = \frac{\rho_w}{(1+w_w)-0,28\rho_w} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

ρ_w – hustota vzorku po 30 dnech máčením (kg/m³)

w_w - vlhkost vzorku po 30 dnech máčením (%)

4.8 Stanovení částečného bobtnání a výpočet koeficientu bobtnání

Při výpočtu bobtnání α_i a koeficientu K_{oi} u vzorků z rostlého dřeva se musí nejprve na příčném řezu zjistit odklon vláken. Pokud je odklon menší než 10°, výpočet probíhá podle vzorce:

$$\alpha_i = \frac{i_{max} - i_1}{i_1} * 100 \text{ [%]}$$

i_{\max} – hodnoty vzorků po 30 dnech máčení V, R, T, L (m^3 , m, m, m)

i_1 – hodnoty vzorků před máčení V, R, T, L (m^3 , m, m, m)

Pro výpočet koeficientu bobtnání je důležitá mez nasycení buněčných stěn, kterou jsme našli v materiálech pro předmět Fyzikální vlastnosti dřeva. Je to hodnota vypočítaná pomocí sorpční izotermy. Koeficient bobtnání se vypočítá podle vzorce:

$$K\alpha_i = \frac{\alpha_i}{w_{MNBS} - w_1}$$

α_i - částečné bobtnání (%)

w_{MNBS} - vlhkost meze nasycení buněčných stěn (%)

w_1 - vlhkost vzorku pře máčením (%)

Pokud je odklon vláken větší než 10° , musíme provést transformace deformací vzniklých hydroexpansí dřeva. U lepených vzorků jsme počítali s odklonem vláken 20° . Výpočet se provádí podle tohoto vzorce:

$$\varepsilon = T^{-1} * \bar{\varepsilon}$$
$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \alpha_R \\ \alpha_T \\ - \end{bmatrix} \quad \bar{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_R \\ \bar{\alpha}_T \\ \phi \end{bmatrix}$$
$$T^{-1} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & + \sin \theta * \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & - \sin \theta * \cos \theta \\ -2 * \sin \theta * \cos \theta & +2 * \sin \theta * \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

Pro výpočet borcení jsme použili hodnoty, které jsou měřené podle obrázku 6 a dále počítané podle vzorce:

$$\phi = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$$

4.9 Stanovení diferenciálního bobtnání α_{dif}

Poměr bobtnání v radiálním a tangenciálním směru se nazývá diferenciální bobtnání. Ten počítáme pro rostlé i lepené dřevo. Vypočítá se podle vzorce:

$$\alpha_{dif} = \frac{\alpha_T}{\alpha_R}$$

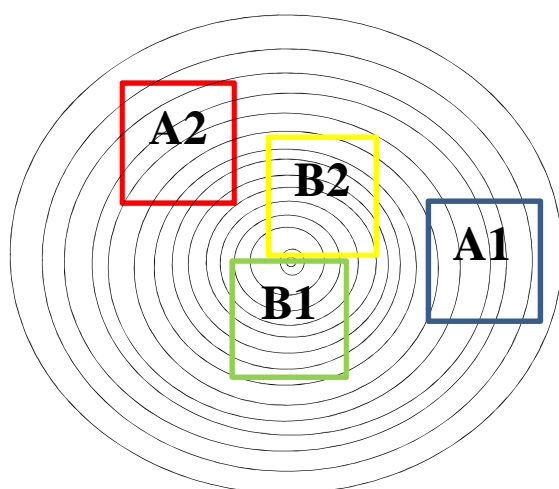
α_R – diferenciální bobtnání (%)

α_R - bobtnání ve směru tangenciálním (%)

α_T - bobtnání ve směru radiálním (%)

4.10 Zařazení jednotlivých čel do skupin A1, A2, B1, B2 podle umístění v kmeni

Podle fotografií jednotlivých čel, bylo každé čelo zařazeno do skupiny podle toho, z jaké části kmene bylo vyřezáno. Skupina A má dřeň vně vzorku a naopak skupina B má dřeň uvnitř vzorku. Tyto dvě skupiny se dále rozdělili na skupinu A1, která má dřeň vně vzorku a uprostřed a A2, která má dřeň vně vzorku a směrem k rohu vzorku. Dále skupina B1 má dřeň uvnitř vzorku a to uprostřed a skupina B2 má dřeň uvnitř vzorku, ale ne uprostřed. Umístění skupin v kmeni můžeme vidět na obrázku 4 a dále v tabulce 6 je přehledný popis jednotlivých skupin.



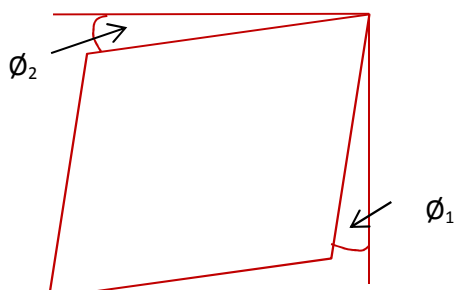
Obr. 5 - Zařazení jednotlivých skupin podle umístění v kmeni

Tab. 6 - Tabulka s rozdělením dřev do skupin A1, A2, B1, B2

	1	2
A	bez dřene $\varnothing = 0^\circ$	bez dřene $\varnothing > 0^\circ$
B	s dřením $\varnothing = 0^\circ$	s dřením $\varnothing > 0^\circ$

4.11 Stanovení příčného borcení

Pro stanovení příčného borcení byl využit program ImageJ, kde byl zjištěn úhel borcení v radiálním a tangenciálním směru.



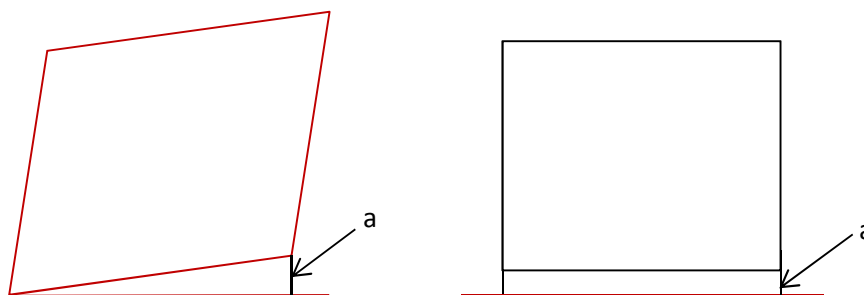
Obr. 6 - Stanovení příčného borcení

Vzorec pro výsledné borcení je:

$$\varnothing = \varnothing_1 + \varnothing_2$$

4.12 Stanovení podélného borcení u masivního dřeva

Pro stanovení podélného borcení jsme opět využili fotografie a program ImageJ. Měřili jsme vzdálenost vzorku od podložky. Pokud byl vzorek od podložky vzdálený po celé délce, jedná se o průhyb, a pokud byl vzdálený pouze na jedné straně vzorku tak je to krut.



Obr. 7 - Stanovení podélného borcení

4.13 Zpracování výsledků

Naměřené a vypočtené hodnoty se zpracují do tabulek, grafů a příloh. U všech tabulek bude uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient.

Aritmetický průměr se počítá podle vzorce:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Směrodatná odchylka se počítá podle vzorce:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}$$

Variační koeficient se počítá podle vzorce:

$$S_{\%} = \frac{S}{x} * 100 (\%)$$

5 Výsledky

V této části mé práce jsou uvedené tabulky s naměřenými daty, vypočtenými hodnotami a z nichž jsou vytvořené grafy. V podkapitole 5.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty před a po máčení hranolů a také zařazení jednotlivých hranolů do skupin podle umístění v kmeni. Z těchto hodnot jsme vypočítali jednotlivé bobtnání, koeficienty bobtnání, diferenciální bobtnání a stanovili jsme příčné a podélné borcení. V další podkapitole jsou grafy se závislostí jednotlivých bobtnání na hustotě a grafy se závislostí koeficientů bobtnání na hustotě. Na závěr jsou pomocí grafů porovnány hodnoty bobtnání a borcení masivního a lepeného dřeva.

5.1 Měřená data

Tab. 7 - Naměřené hodnoty u vzorků z masivního dřeva

Číslo vzorku	šířka (mm) čelo1	výška (mm) čelo1	šířka (mm) uprostřed	výška (mm) uprostřed	šířka (mm) čelo2	výška (mm) čelo2	délka (mm)	hmotnost m_1 (Kg)
1	100,44	100,42	100,91	100,49	100,81	100,37	999	7,36
2	100,62	100,38	100,5	100,52	100,74	100,47	999	7,69
3	100,32	100,63	100,45	100,64	100,73	100,58	999	8,14
4	100,53	100,39	100,44	100,59	100,37	100,57	999	7,74
5	100,4	100,74	100,34	100,63	100,43	100,49	999	7,39
6	100,8	100,49	100,89	100,65	100,53	100,4	998	7,9
7	100,55	100,47	100,81	100,49	100,61	100,62	999	7,7
8	100,47	100,4	100,28	100,56	100,21	100,55	1000	8,22
9	100,52	100,44	100,47	100,46	100,45	100,56	999	7,4
10	100,65	100,48	100,84	100,77	100,41	100,73	1000	8,46
Aritmetický průměr \bar{x}	100,53	100,48	100,59	100,58	100,53	100,53	999,10	7,80
Směrodatná odchylka S	0,14	0,12	0,24	0,10	0,19	0,11	0,57	0,38
Variační koeficient S	0,14	0,11	0,24	0,09	0,19	0,11	0,06	4,84

V tabulce 7 jsou naměřené hodnoty masivních vzorků před máčením. Šířka a výška byla měřena na třech místech vzorku a to na obou čelech a uprostřed. Průměrná hodnota šířky na čele 1 je 100,53 mm, uprostřed 100,59 mm a na čele 2 je to 100,53 mm. Dále průměrná výška na čele 1 je 100,48 mm, uprostřed 100,59 mm a na čele 2 je to 100,53 mm. Průměrná délka je 999,10 mm a hmotnost 7,8 kg.

Tab. 8 - Naměřené hodnoty u vzorků z lepeného dřeva

Číslo vzorku	šířka (mm) čelo1	výška (mm) čelo1	šířka (mm) uprostřed	výška (mm) uprostřed	šířka (mm) čelo2	výška (mm) čelo2	délka (mm)	hmotnost m_1 (Kg)	vlhkost w_1 (%)
1	100,67	100,46	100,57	100,56	100,59	100,57	999	7,23	13,9
2	100,56	100,35	100,4	100,53	100,35	100,57	1000	7,11	12,4
6	100,53	100,77	100,61	100,91	100,46	100,6	1001	7,12	13,4
10	100,5	100,55	100,47	100,61	100,54	100,52	1001	7,1	13,2
5	100,55	100,48	100,52	100,44	100,54	100,55	1000	7,01	12,7
20	100,13	99,91	100,02	99,91	100,06	100,51	1001	7,26	15,6
13	100,17	100,23	100,4	100,49	100,58	100,28	1000	7,33	14,9
16	100,01	100,33	100,05	100,53	100,14	100,3	999	7,28	15,7
18	100,1	100,29	100,17	100,24	100,37	100,31	1000	7,15	15,5
12	100,13	100,3	100,08	100,28	100,16	100,6	1000	7,12	14,9
Arit. průměr \bar{x}	100,34	100,37	100,33	100,45	100,38	100,48	1000,1	7,17	14,22
Směr. odchylka S	0,25	0,23	0,23	0,26	0,20	0,13	0,74	0,10	1,25
Var.koeficient S	0,25	0,22	0,23	0,26	0,20	0,13	0,07	1,39	8,80

Tabulka 8 nám ukazuje naměřené hodnoty lepených vzorků před máčením. Šířka a výška byla opět měřena na třech místech vzorku, stejně jako u masivních vzorků. Průměrná hodnota šířky na čele 1 je 100,34 mm, uprostřed 100,33 mm a na čele 2 je 100,38 mm. Dále průměrná výška na čele 1 je 100,37 mm, uprostřed 100,45 mm a na čele 2 je 100,48 mm. Průměrná délka je 1000,1 mm, hmotnost 7,17 kg a vlhkost 14,22 %.

V tabulce 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty masivních vzorků po 30 dnech máčení. Šířka a výška byla měřena na třech místech vzorku a to na obou čelech a uprostřed. Průměrná hodnota šířky na čele 1 je 105,77 mm, uprostřed 104,43 mm a na čele 2 je 105,17 mm. Dále průměrná výška na čele 1 je 105,66 mm, uprostřed 105,25 mm a na čele 2 je 105,98 mm. Průměrná délka je 1000,2 mm a hmotnost 10,25 kg.

Tab. 9 - Naměřené hodnoty u mokrých vzorků z masivního dřeva

Číslo vzorku	šířka (mm) čelo1	výška (mm) čelo1	šířka (mm) uprostřed	výška (mm) uprostřed	šířka (mm) čelo2	výška (mm) čelo2	délka (mm)	hmotnost m_w (kg)
1	109,22	107,24	106,19	105,8	107,44	106,53	1000	9,67
2	102,53	107,95	102,87	106,96	103,94	106,33	1000	10,31
3	103,79	106,55	102,36	105,8	103,56	106,16	1000	10,63
4	107,75	105,8	105,77	104,96	105,95	105,17	1001	10,03
5	103,12	106,26	103,74	103,9	103,82	104,4	1001	9,47
6	108,47	104,23	106,86	103,7	107,11	105,28	1000	10,61
7	110,38	104,36	109,06	104,95	109,03	106,85	999	10,17
8	102,19	104,42	102,25	106,27	102,94	106,29	1001	10,61
9	108,04	104,84	103,48	105,17	105,61	105,22	999	10,54
10	102,22	104,97	101,75	105,03	102,27	107,6	1001	10,43
Aritmetický průměr x	105,77	105,66	104,43	105,25	105,17	105,98	1000,20	10,25
Směrodatná odchylka S	3,27	1,31	2,41	1,00	2,21	0,95	0,79	0,41
Variační koeficient S	3,09	1,24	2,31	0,95	2,10	0,90	0,08	4,01

Tab. 10 - Naměřené hodnoty u mokrých vzorků z lepeného dřeva

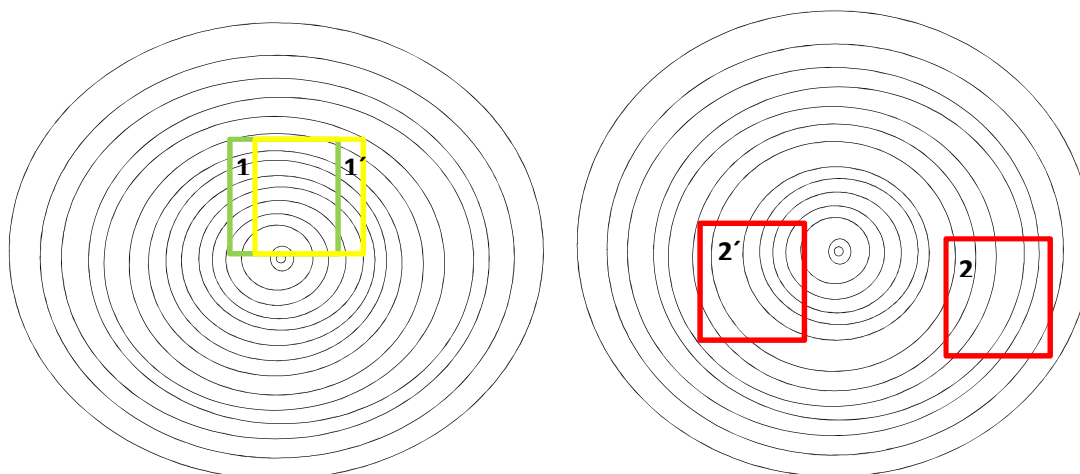
Číslo vzorku	šířka (mm) čelo1	výška (mm) čelo1	šířka (mm) uprostřed	výška (mm) uprostřed	šířka (mm) čelo 2	výška (mm) čelo 2	délka (mm)	hmotnost m_w (Kg)
1	108,27	117,98	108,13	107,6	107,16	107,47	1002	10,83
2	109,89	107,33	107,93	105,8	108,74	112,45	1003	10,38
6	108,03	109,27	106,34	106,37	107,85	111,9	1006	10,49
10	107,17	111,45	106,71	107,58	105,64	108	1003	10,21
5	108,68	118,22	107,62	107,78	107,86	106,81	1002	10,55
20	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-
Aritmetický průměr x	108,41	112,85	107,35	107,03	107,45	109,33	1003,20	10,49
Směrodatná odchylka S	1,00	5,01	0,78	0,89	1,16	2,64	1,64	0,23
Variační koeficient S	0,92	4,44	0,73	0,83	1,08	2,42	0,16	2,18

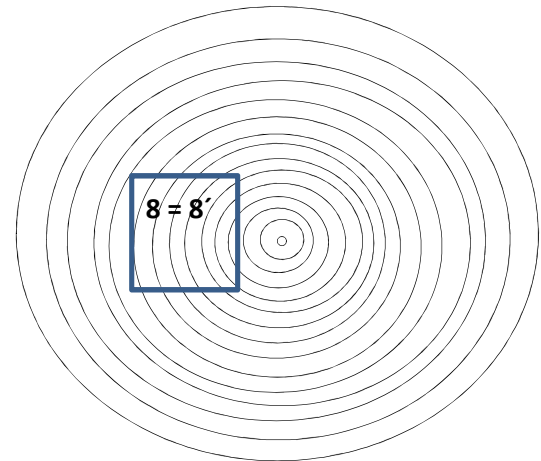
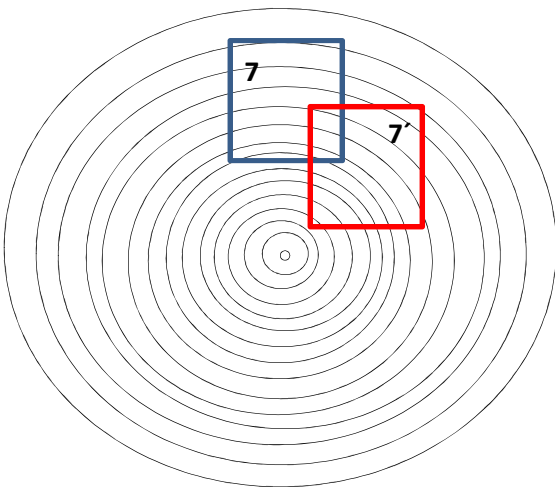
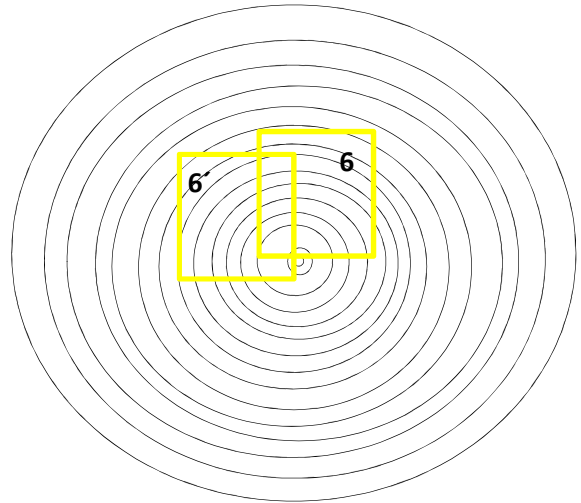
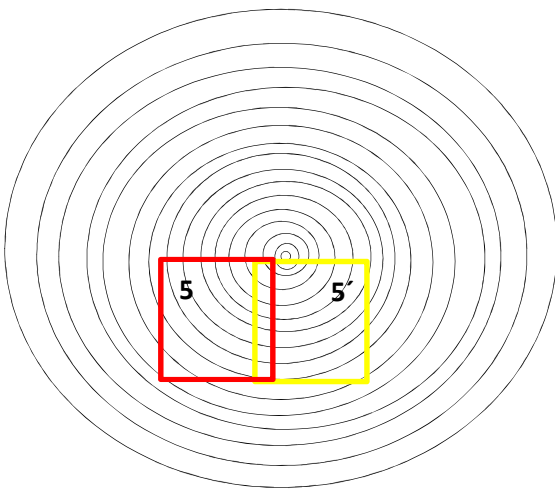
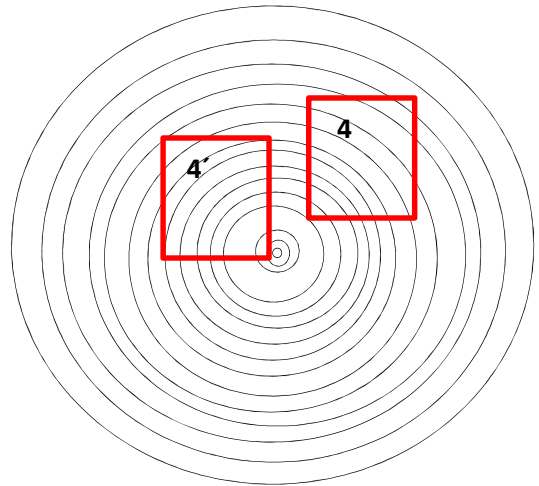
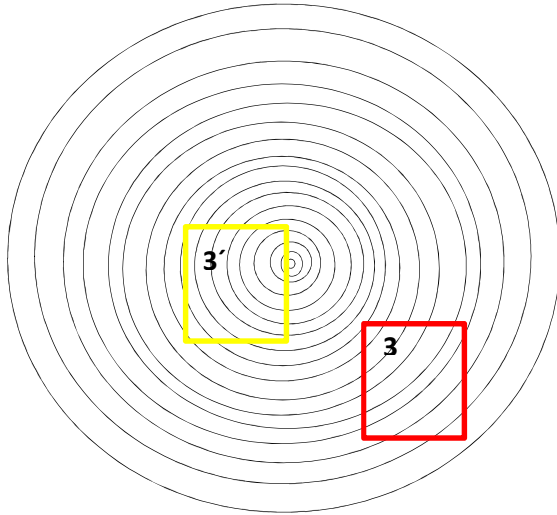
Po 30 dnech máčení u lepených vzorků jsme naměřili hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 10. Šířka a výška byla měřena na třech místech vzorku a to na obou čelech a uprostřed. Vzorky lepené fenolformaldehydovou pryskyřicí 20, 13, 16, 18 a 12 byli rozlepeny na jednotlivé lamely a proto nebyly měřeny žádné hodnoty. Průměrná hodnota šířky na čele 1 je 108,41 mm, uprostřed 107,35 mm a na čele 2 je 107,45 mm. Dále průměrná výška na čele 1 je 112,85 mm, uprostřed 107,03 mm a na čele 2 je 109,33 mm. Průměrná délka je 1003,2 mm a hmotnost 10,49 kg.

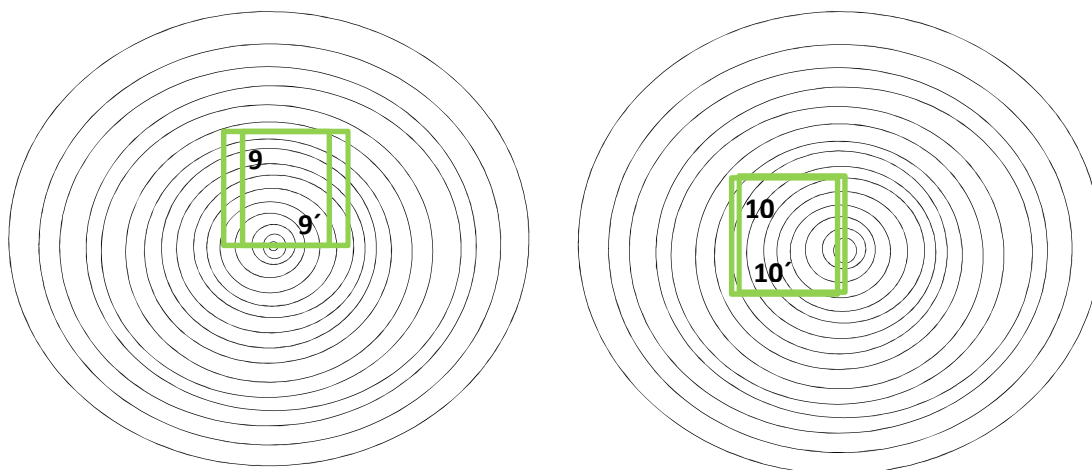
Tab. 11 - Rozdělení masivních vzorků do skupin podle umístění v kmeni

dřeň vně		dřeň uvnitř	
A1	A2	B1	B2
7	2	1	1'
8	2'	9	3'
8'	3	9'	5'
	4	10	6
	4'	10'	6'
	5		
	7'		

U každého vzorku jsme obě čela zařadili do určité skupiny podle umístění v kmeni. Na obrázku 8 jsou zakreslené jednotlivá čela, z jaké části kmene by mohli být. Dále v tabulce 11 můžeme vidět, že největší zastoupení má skupina A2. Naopak nejméně je vzorků ze skupiny A1.



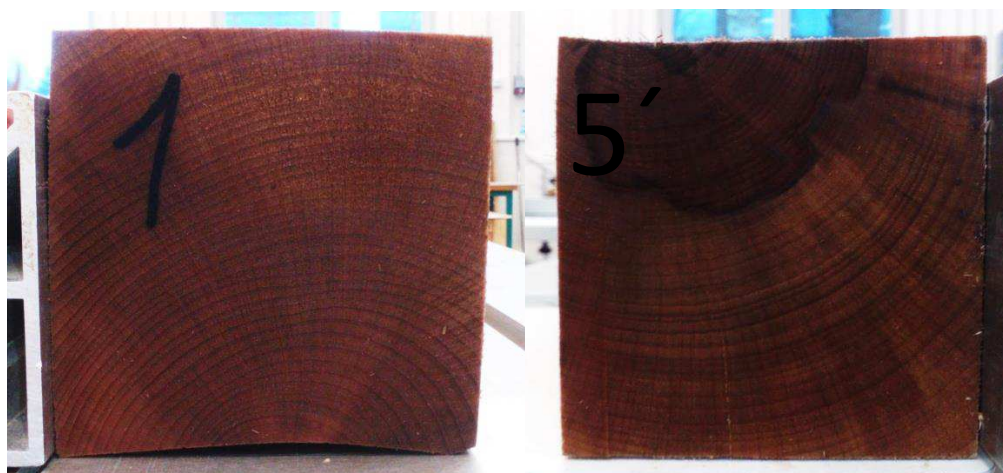




Obr. 8 - Obrázek jednotlivých čel masivních vzorků, které jsou zařazeny do jednotlivých skupin podle umístění v kmeni



Obr. 9 - Obrázek vybraných zástupců ze skupiny A1 a A2



Obr. 10 - Obrázek vybraných zástupců ze skupiny B1 a B2

Na obrázku 9 jsou hranoly, které mají dřeň vně hranolu. Zástupcem skupiny A1 je hranol s číslem 7 a zástupcem skupiny A2 je hranol s číslem 3. Obrázek 10 nám ukazuje dva hranoly, která mají dřeň uvnitř hranolu. Hranol s číslem 1 zastupuje skupinu B1 a hranol s číslem 5 zastupuje skupiny B2.

5.2 Výpočty

5.2.1 Stanovení bobtnání a koeficientů bobtnání

Tab. 12 - Tabulka s výpočty vlhkosti mokrého dřeva, objemového bobtnání, hustoty mokrého dřeva a hustoty absolutně suchého dřeva u masivních vzorků

Číslo vzorku	m_1 (kg)	m_w (kg)	w_{max} (%)	V_1 (m ³)	V_w (m ³)	α_v (%)	$K_{\alpha v}$ (-)	ρ_w (kg/m ³)	ρ_0 (kg/m ³)
1	7,36	9,67	50,09	0,01010	0,01116	10,44	0,63	866,49	688,65
2	7,69	10,31	52,77	0,01010	0,01069	5,91	0,35	964,07	766,50
3	8,14	10,63	49,29	0,01010	0,01156	14,41	0,86	919,71	744,48
4	7,74	10,03	48,29	0,01009	0,01096	8,65	0,52	915,19	746,11
5	7,39	9,47	46,85	0,01009	0,01081	7,12	0,43	876,04	716,21
6	7,9	10,61	53,00	0,01011	0,01117	10,53	0,63	949,92	751,48
7	7,7	10,17	50,78	0,01011	0,01056	4,46	0,27	963,08	777,86
8	8,22	10,61	47,78	0,01008	0,01056	4,77	0,29	1004,4	839,43
9	7,4	10,54	61,13	0,01009	0,01122	11,19	0,67	939,76	697,05
10	8,46	10,43	41,99	0,01013	0,01084	7,05	0,42	961,87	836,02
Aritmetický průměr x	7,80	10,25	50,20	0,01	0,01	8,45	0,51	936,05	756,38
Směrodatná odchylka S	0,38	0,41	4,98	0,00	0,00	3,18	0,19	42,43	51,42
Variační koeficient S	4,84	4,01	9,93	0,14	2,94	37,62	37,62	4,53	6,80

V tabulce 12 je vypočítaná průměrná vlhkost dosažená po 30 dnech máčení, která je 50,2 %. Dále je zde uvedeno průměrné objemové bobtnání 8,45 %, z něhož je vypočítán průměrný koeficient bobtnání 0,51. Tabulka také obsahuje průměrnou hustotu vzorků po 30 dnech máčení, která je 936,05 kg/m³ a průměrnou hustotu absolutně suchého vzorku 756,38 kg/m³.

V tabulce 13 je uvedena vlhkost před máčením 18,7 %, vlhkost na mezi nasycení buněčných stěn 35,4 % a vlhkost po 30 dnech máčení 50,2 %.

Tab. 13 - Tabulka s hodnotami vlhkosti před namočením, při mezi nasycení buněčných stěn a po 30 dnech máčení u masivních vzorků

w_1 (%)	18,7
w_{MNBS} (%)	35,4
w_{max} (%)	50,2

Tab. 14 - Tabulka s výpočty vlhkosti mokrého dřeva, objemového bobtnání, hustoty mokrého dřeva a hustoty absolutně suchého dřeva u lepených vzorků

číslo vzorku	m_1 (kg)	m_w (kg)	w_{max} (%)	V_1 (m ³)	V_w (m ³)	α_v (%)	$K_{\alpha v}$ (-)	ρ_w (kg/m ³)	ρ_0 (kg/m ³)
1	7,23	10,83	64,01	0,01	0,01	6,80	0,32	1003,57	738,40
2	7,11	10,38	60,21	0,01	0,01	7,44	0,35	957,29	717,57
6	7,12	10,49	61,55	0,01	0,01	5,48	0,26	980,75	731,41
10	7,1	10,21	58,02	0,01	0,01	8,16	0,39	933,08	707,44
5	7,01	10,55	64,72	0,01	0,01	10,72	0,51	943,15	681,90
Aritmetický průměr x	7,11	10,49	61,70	0,01	0,01	7,72	0,36	963,57	715,34
Směrodatná odchylka S	0,08	0,23	2,75	0,00	0,00	1,94	0,09	28,64	22,22
Variační koeficient S	1,10	2,18	4,45	0,18	1,72	25,18	25,18	2,97	3,11

V tabulce 14 je vypočítaná průměrná vlhkost dosažená po 30 dnech máčení, která je 61,7 %. Dále je zde uvedeno průměrné objemové bobtnání 7,72 %, z něhož je vypočítán průměrný koeficient bobtnání 0,36. Tabulka také obsahuje průměrnou hustotu vzorků po 30 dnech máčení, která je 936,57 kg/m³ a průměrnou hustotu absolutně suchého vzorku 715,34 kg/m³.

Tab. 15 - Tabulka s hodnotami vlhkosti před namočením, při mezi nasycení buněčných stěn a po 30 dnech máčení u lepených vzorků.

w_1 (%)	14,22
w_{MNBS} (%)	35,4
w_{max} (%)	61,7

V tabulce 15 je uvedená vlhkost před máčením 14,22 %, vlhkost na mezi nasycení buněčných stěn 35,4 %, která je stejná jako u masivních vzorků, a vlhkost po 30 dnech máčení 61,7 %.

Tab. 16 - Tabulka s výpočtem bobtnání v radiálním a tangenciálním směru a diferenciální poměr u masivních vzorků

Číslo vzorku	odklon hranice letokruhů (°)	Borcení \varnothing (°)	$\bar{\alpha}_R$ (%)	$\bar{\alpha}_T$ (%)	α_R (%)	α_T (%)	$\frac{\alpha_T}{\alpha_R}$
1	16,95	2,72	6,79	8,74	6,2	9,33	1,50
1'	23,53	1,26	6,14	6,58	5,75	6,97	1,21
2	14,16	1,29	1,90	7,54	1,93	7,51	3,89
2'	29,25	1,08	3,18	5,83	3,35	5,66	1,69
3	34,37	1,90	3,46	5,88	3,35	5,99	1,79
3'	17,59	2,37	2,81	5,55	2,38	5,98	2,51
4	32,95	1,53	5,39	7,18	5,24	7,35	1,40
4'	33,80	1,68	4,57	5,56	4,1	6,03	1,47
5	39,05	1,48	2,71	5,48	3,09	5,1	1,65
5'	26,55	0,76	3,38	3,89	3,18	4,09	1,29
6	25,70	1,42	3,72	7,61	3,9	7,43	1,91
6'	27,50	2,27	6,55	4,86	3,95	5,8	1,47
7	7,07	2,44	-	-	3,87	9,78	2,52
7'	36,20	2,01	6,19	8,37	5,99	8,57	1,43
8	7,64	1,33	-	-	1,71	4,00	2,34
8'	7,64	1,33	-	-	2,72	5,71	2,10
9	9,96	1,55	-	-	4,38	7,48	1,71
9'	16,00	2,38	4,63	5,14	4,04	5,73	1,42
10	21,68	1,15	1,56	4,47	1,56	4,47	2,87
10'	21,68	1,15	1,85	6,82	2,13	6,54	3,07
Aritmetický průměr x	22,46	1,65	4,05	6,22	3,64	6,48	1,96
Směrodatná odchylka S	10,11	0,54	1,75	1,40	1,39	1,59	0,70
Variační koeficient S	45,01	32,89	43,11	22,47	38,11	24,57	35,89

Tabulka 16 obsahuje průměrný odklon hranice letokruhů $22,46^\circ$ a průměrné borcení $1,65^\circ$, které je počítané jako průměr borcení v tangenciálním a radiálním směru. Pomocí transformace jsme vypočítali průměrné bobtnání v tangenciálním směru, které je 6,48 %, v radiálním směru 3,64 % a jejich podílem jsme získali diferenciální bobtnání 1,96 %.

V tabulce 17 můžeme vidět průměrný odklon hranice letokruhů 20° a průměrné borcení $2,75^\circ$, které je počítané jako průměr borcení v tangenciálním a radiálním směru. Pomocí transformace jsme vypočítali průměrné bobtnání v tangenciálním směru, které je 6,54 %, v radiálním směru 11,55 % a jejich podílem jsme získali diferenciální bobtnání 1,81 %.

Tab. 17 - Tabulka s výpočtem bobtnání v radiálním a tangenciálním směru a diferenciální poměr u lepených vzorků

Číslo vzorku	odklon hranice letokruhů (°)	Zborcení \varnothing (°)	$\bar{\alpha}_R$ (%)	$\bar{\alpha}_T$ (%)	α_R (%)	α_T (%)	$\frac{\alpha_T}{\alpha_R}$
1	20,00	7,0595	7,55	17,44	6,44	18,55	2,88
1'	20,00	0	6,53	6,86	6,57	6,82	1,04
2	20,00	1,79	9,28	6,96	6,66	9,58	1,44
2'	20,00	2,03	6,79	11,81	6,72	11,88	1,77
6	20,00	1,44	7,46	8,44	7,51	11,76	1,57
6'	20,00	3,61	6,67	11,23	6,74	11,95	1,77
10	20,00	2,58	6,64	10,84	6,33	11,18	1,77
10'	20,00	1,24	5,07	7,44	6,34	7,74	1,22
5	20,00	4,22	8,09	17,66	5,19	17,54	3,38
5'	20,00	3,54	7,28	6,23	6,86	8,51	1,24
Aritmetický průměr x	20,00	2,75	7,14	10,49	6,54	11,55	1,81
Směrodatná odchylka S	0,00	1,98	1,11	4,21	0,58	3,88	0,75
Variační koeficient S	0,00	71,84	15,49	40,12	8,90	33,57	41,57

Tab. 18 - Tabulka s výpočtem podélného bobtnání u masivních vzorků

Číslo vzorku	délka 1 (mm)	délka 2 (mm)	α_L (%)
1	999	1000	0,001
2	999	1000	0,001
3	999	1000	0,001
4	999	1001	0,002
5	999	1001	0,002
6	998	1000	0,002
7	999	999	0
8	1000	1001	0,001
9	999	999	0
10	1000	1001	0,001
Aritmetický průměr x	999,10	1000,20	0,0011
Směrodatná odchylka S	0,57	0,79	0,0007
Variační koeficient S	0,06	0,08	67,11

V tabulce 18 jsou uvedené hodnoty průměrných délek před a po máčení 999,10 mm a 1000,20 mm, z nichž je vypočítáno podélné bobtnání 0,0011 %.

Tab. 19 - Tabulka s výpočtem podélného bobtnání u lepených vzorků

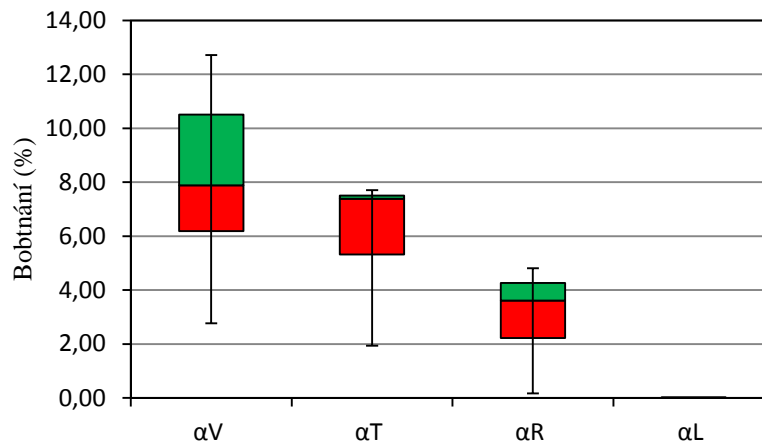
Číslo vzorku	délka 1 (mm)	délka 2 (mm)	α_L (%)
1	999	1002	0,0030
2	1000	1003	0,0030
6	1001	1006	0,0050
10	1001	1003	0,0020
5	1000	1002	0,0020
Aritmetický průměr x	1000,20	1003,20	0,0030
Směrodatná odchylka S	0,84	1,64	0,0012
Variační koeficient S	0,08	0,16	40,78

V tabulce 19 u lepených vzorků je průměrná hodnota délky před máčením 1000,2 mm a po máčení 1003,2. Z těchto délek jsme vypočítali podélné bobtnání, které je 0,0030 %.

Tab. 20 - Tabulka s hodnotami jednotlivých bobtnání a výpočty koeficientů bobtnání u masivních vzorků

Číslo vzorku	α_V (%)	α_T (%)	α_R (%)	α_L (%)	$K_{\alpha V}$ (-)	$K_{\alpha T}$ (-)	$K_{\alpha R}$ (-)	$K_{\alpha L}$ (-)
1	10,44	9,33	6,2	0,001001	0,63	0,56	0,37	0,00006
2	5,91	7,51	1,93	0,001001	0,35	0,45	0,12	0,00006
3	14,41	5,99	3,35	0,001001	0,86	0,36	0,20	0,00006
4	8,65	7,35	5,24	0,002002	0,52	0,44	0,31	0,00012
5	7,12	5,1	3,09	0,002002	0,43	0,31	0,19	0,00012
6	10,53	7,43	3,9	0,002004	0,63	0,44	0,23	0,00012
7	4,46	9,78	3,87	0	0,27	0,59	0,23	0,00000
8	4,77	4,00	1,71	0,001	0,29	0,24	0,10	0,00006
9	11,19	7,48	4,38	0	0,67	0,45	0,26	0,00000
10	7,05	4,47	1,56	0,001	0,42	0,27	0,09	0,00006
Aritmetický průměr x	8,45	6,84	3,52	0,0011	0,51	0,41	0,21	0,00007
Směrodatná odchylka S	3,18	1,94	1,53	0,0007	0,19	0,12	0,09	0,00004
Variační koeficient S	37,62	28,27	43,36	67,11	37,62	28,27	43,36	67,11

V tabulce 20 jsou uvedené hodnoty pro masivní vzorky. Průměrné objemové bobtnání je 8,45 %, tangenciální bobtnání 6,84 %, radiální bobtnání 3,52 % a podélné bobtnání 0,0011 %. Z těchto hodnot byly počítány koeficienty bobtnání. Průměrný koeficient objemového bobtnání je 0,51, koeficient tangenciálního bobtnání 0,41, koeficient radiální bobtnání 0,21 a koeficient podélné bobtnání 0,00007.



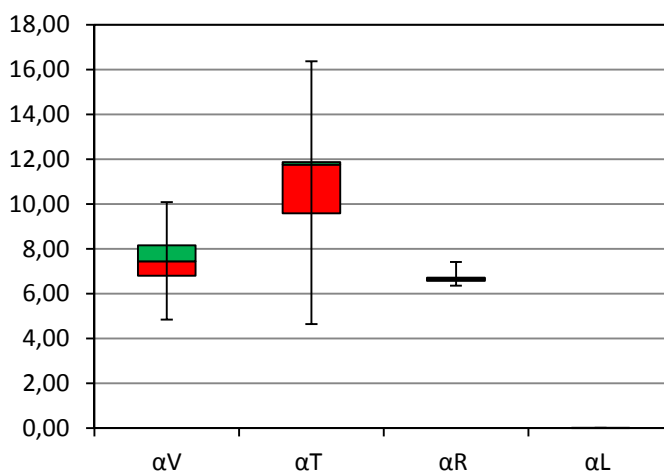
Obr. 11 - Graf statického srovnání objemového, tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání u masivního dřeva

Na obrázku 11 je grafické porovnání objemového, tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání. U objemového bobtnání lze vidět, že větší množství hodnot je zastoupeno v 75 % kvantilu, oproti tomu u tangenciálního bobtnání je v 75 % kvantilu minimum hodnot. Dále u radiálního bobtnání je velké zastoupení hodnot v 25 % kvantilu a u podélného bobtnání jsou hodnoty minimální.

V tabulce 21 jsou hodnoty lepených vzorků. Průměrné objemové bobtnání je 7,72 %, tangenciální bobtnání 11,72 %, radiální bobtnání 6,78 % a podélné bobtnání 0,003 %. Z těchto hodnot byly počítány koeficienty. Průměrný koeficient objemového bobtnání je 0,36, koeficient tangenciálního bobtnání 0,55, koeficient radiální bobtnání 0,32 a koeficient podélné bobtnání 0,000014.

Tab. 21 - Tabulka s hodnotami jednotlivých bobtnání a výpočty koeficientů bobtnání u lepených vzorků

Číslo vzorku	α_V (%)	α_T (%)	α_R (%)	α_L (%)	$K_{\alpha V}$ (-)	$K_{\alpha T}$ (-)	$K_{\alpha R}$ (-)	$K_{\alpha L}$ (-)
1	6,80	18,55	6,44	0,003003	0,32	0,88	0,30	0,00014
2	7,44	6,82	6,57	0,003	0,35	0,32	0,31	0,00014
6	5,48	9,58	6,66	0,004995	0,26	0,45	0,31	0,00024
10	8,16	11,88	6,72	0,001998	0,39	0,56	0,32	0,00009
5	10,72	11,76	7,51	0,002	0,51	0,56	0,35	0,00009
Aritmetický průměr x	7,72	11,72	6,78	0,003	0,36	0,55	0,32	0,00014
Směrodatná odchylka S	1,94	4,34	0,42	0,001	0,09	0,20	0,02	0,00006
Variační koeficient S	25,18	37,02	6,22	40,78	25,18	37,02	6,22	40,78



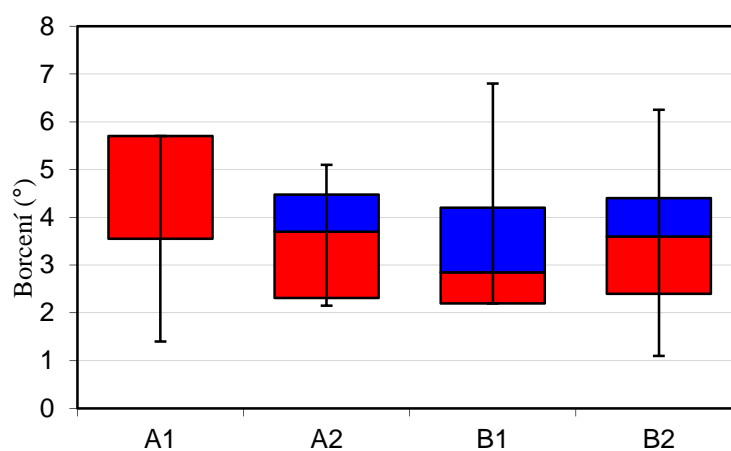
Obr. 12 - Graf znázorňující objemové, tangenciální, radiální a podélné bobtnání lepeného dřeva

Na grafu 12 můžeme vidět, že zastoupení hodnot u objemového bobtnání v 25 % a 75 % kvantilu je stejné. U tangenciálního bobtnání je v 75 % kvantilu minimum hodnot. Dále u radiálního bobtnání je větší zastoupení hodnot v 25 % kvantilu a u podélného bobtnání jsou hodnoty minimální.

5.2.2 Stanovení příčného borcení

Tab. 22 – Tabulka s hodnotami příčného borcení u jednotlivých vzorků na obou čelech u masivního dřeva

Číslo vzorku	Borcení \varnothing (°)
1	4,2
1'	2,4
2	2,15
2'	2,35
3	3,7
3'	4,4
4	2,275
4'	5
5	3,95
5'	1,1
6	3,6
6'	6,25
7	1,4
7'	5,1
8	5,7
8'	5,7
9	2,85
9'	6,8
10	2,2
10'	2,2
Aritmetický průměr x	3,67
Směrodatná odchylka S	1,68
Variační koeficient S	45,89



Obr. 13 - Graf znázorňující příčné borcení vzorků rozdělených do skupin A1, A2, B1, B2

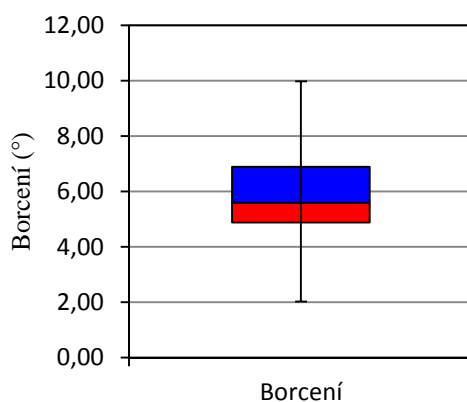
V tabulce 22 jsou jednotlivé vzorky označené barvou podle toho, do které skupiny patří (A1, A2, B1, B2), a je zde uvedena průměrná hodnota borcení 3,67°.

Na grafu 13 je viditelné, že skupina A1 se od ostatních skupin liší. U skupiny A1 je zastoupení pouze v 25 % kvantilu, u skupiny A2 a B2 je také větší zastoupení hodnot v 25 % kvantilu a jedině u skupiny B2 je to opačně.

Tab. 23 - Tabulka s hodnotami příčného borcení u jednotlivých vzorků u lepeného dřeva

Číslo vzorku	Borcení \varnothing (°)
1	7,2
1'	2,75
2	5,85
2'	5,25
6	4,75
6'	10,7
10	3,45
10'	5,35
5	8,45
5'	5,975
Aritmetický průměr x	5,97
Směrodatná odchylka S	2,34
Variační koeficient S	39,13

U lepených vzorků je v tabulce 23 uvedeno průměrné borcení 5,97°. V grafu 14 pro příčné borcení lepeného dřeva je uvedeno, že o něco větší množství hodnot je v 75 % kvantilu.



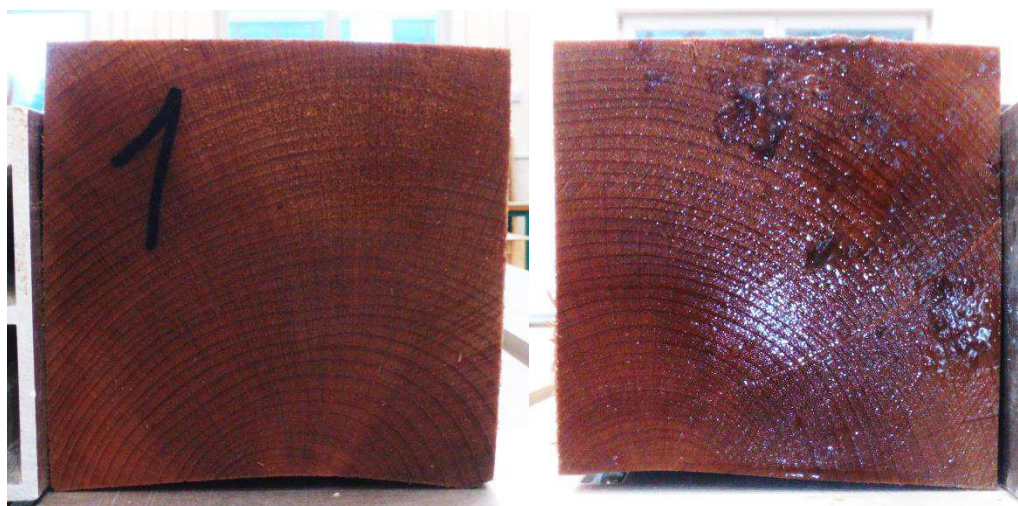
Obr. 14 - Graf znázorňující příčné borcení u lepeného dřeva

5.2.3 Stanovení podélného borcení

Tab. 24 - Tabulka s hodnotami podélného borcení u vzorků z masivního dřeva

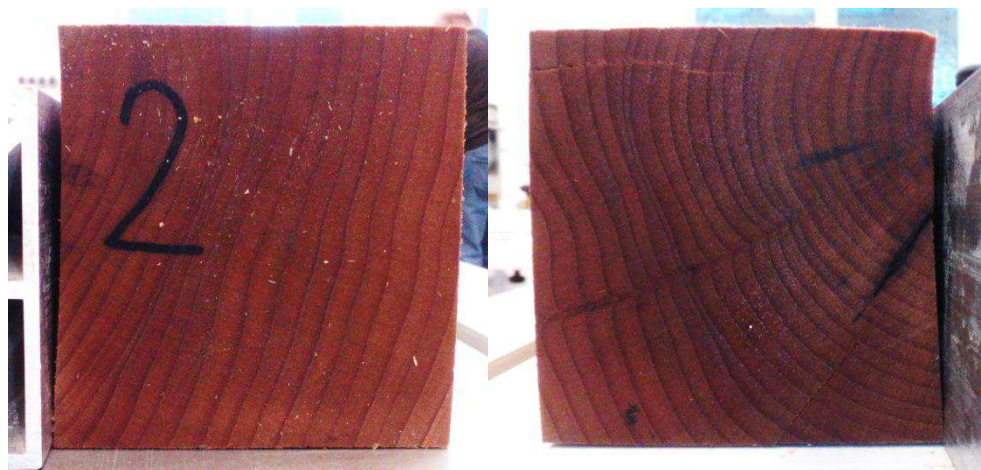
Číslo vzorku	průhyb/ohyb		krut	
	a1 (mm)	a2 (mm)	a1 (mm)	a2 (mm)
1				4,036
2				
3		3,841		
4		2,697	4,661	
5				
6				4,76
7				5,015
8			1,755	
9		3,216		
10				

V tabulce 24 jsou uvedené hodnoty podélného borcení. U každého vzorku je napsaná vzdálenost dřeva od podložky. U vzorku 1 se jedná o krut a vzdálenost je 4,036 mm. Na vzorcích 2, 5 a 10 nebylo pozorováno žádné podélné borcení. Děle u vzorku 3 se jedná o průhyb a vzdálenost je 3,841, na vzorku 4 jsme pozorovali na čele 1 průhyb o vzdálenosti 2,679 mm a na druhém čele krut se vzdáleností 4,661 mm. Vzorek 6 vykazoval na čele 2 krut se vzdáleností 5,015 mm, děle u vzorku 8 byl zřejmý krut se vzdáleností 1,755 a u vzorku 9 se jednalo o průhyb se vzdáleností 3,216 mm.



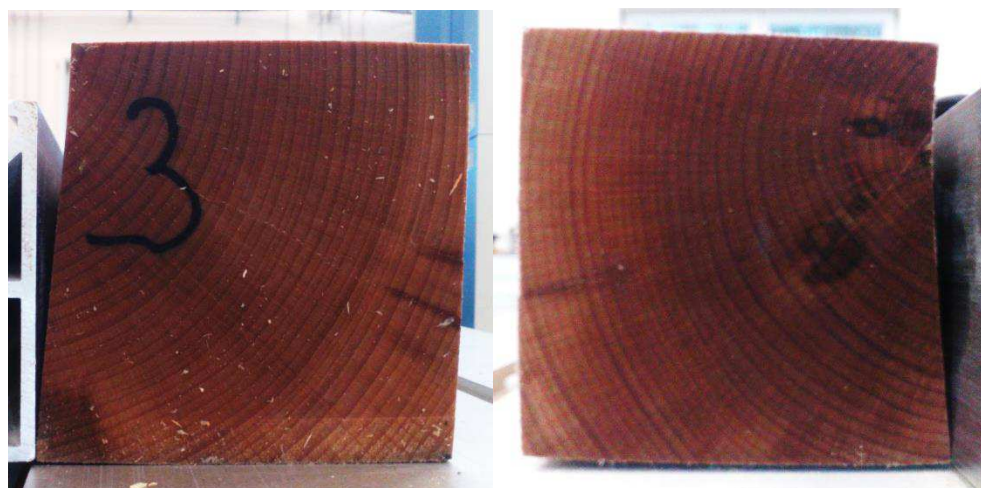
Obr. 15 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 1

Na obrázku 15 u vzorku 1 můžeme vidět krut, kdy na čele 2 na jedné straně je mezi podložkou a dřevem 4,036 mm.



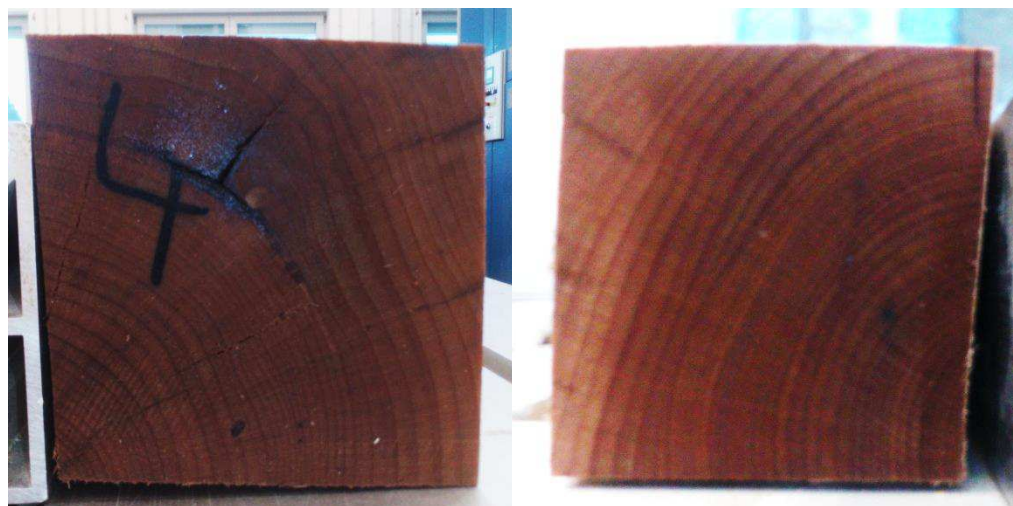
Obr. 16 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 2

U vzorku 2 nebylo zaznamenáno podélné borcení, toho si můžeme všimnout na obrázku 16.



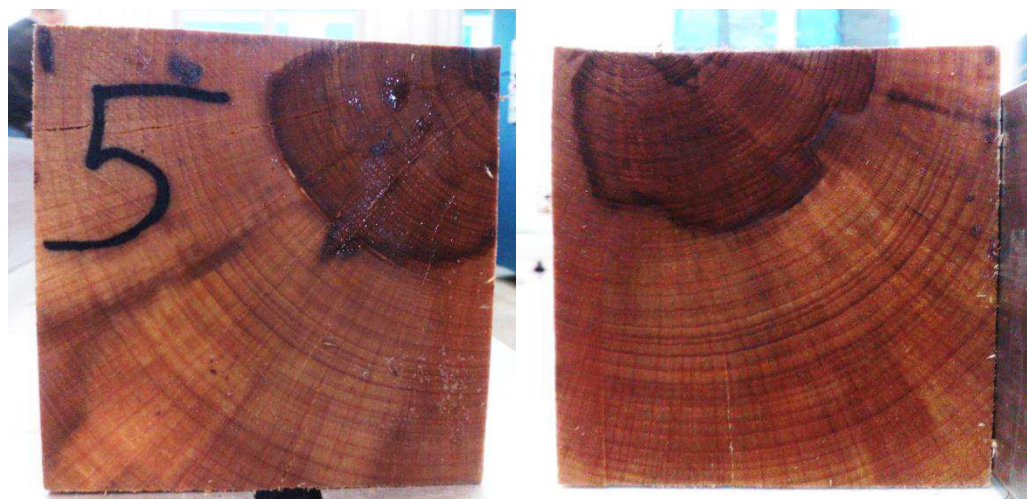
Obr. 17 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 3

Na obrázku 17 u vzorku 3 je vidět na čele 2, že je zde malý průhyb, kde mezi podložkou a dřevem je 3,841 mm.



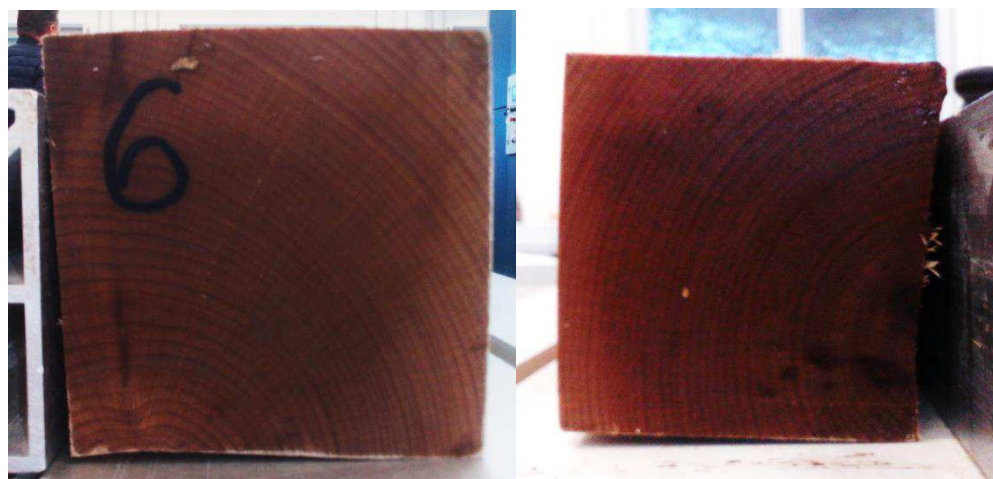
Obr. 18 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 4

Na obrázku 18 na čele 1 u vzorku 4 je zřejmé, že se zde projevil krut a vzdálenost mezi podložkou a dřevem je 4,661 mm. Naopak na čele 2 můžeme vidět, že vzdálenost mezi podložkou a dřevem je 2,679 mm po celé délce vzorku.



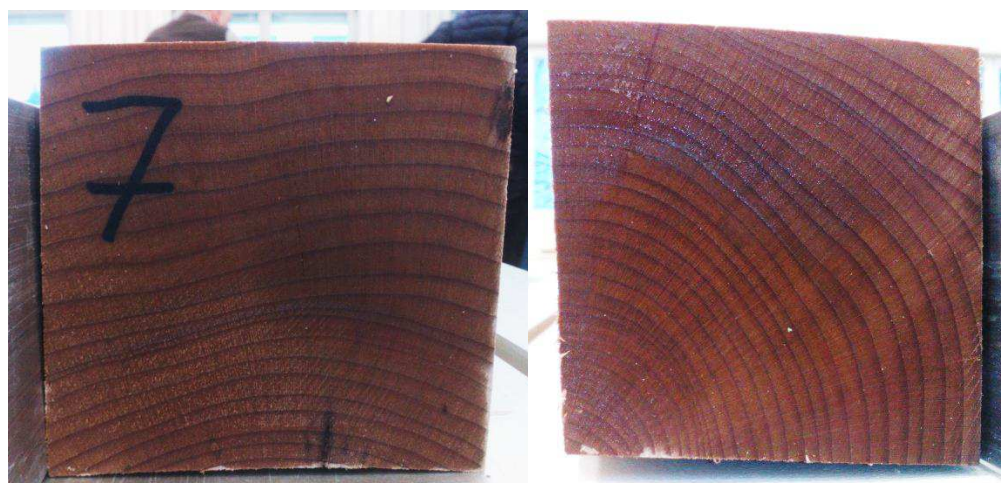
Obr. 19 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 5

Obrázek 19 nám ukazuje vzorek 5, kde nebylo naměřeno žádné podélné borcení.



Obr. 20 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 6

Na obrázku 20 u vzorku 6 můžeme vidět na čele dva krut, kde vzdálenost podložky od dřeva je 4,76 mm.



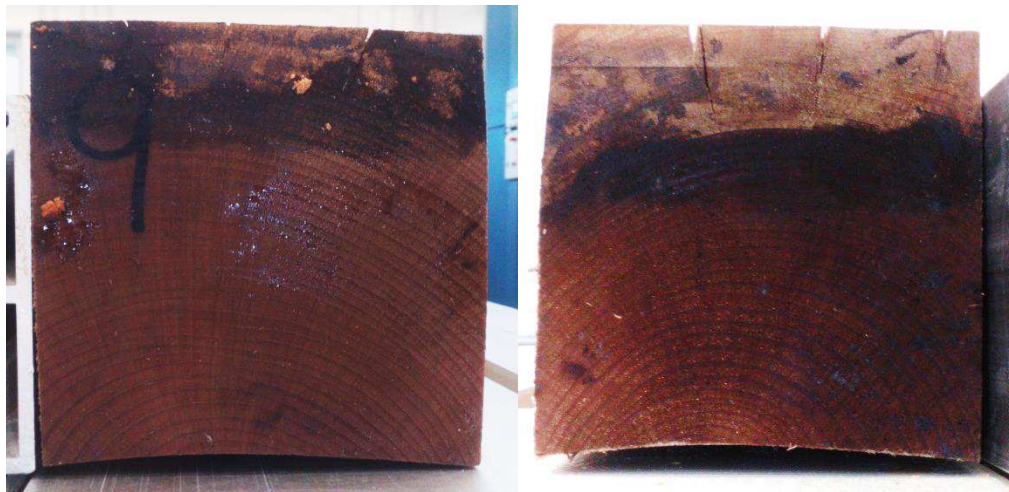
Obr. 21 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 7

Na obrázku 21 na vzorku 7 byl naměřený největší krut, můžeme ho vidět na čele 2, kde vzdálenost podložky od dřeva je 5,017 mm.



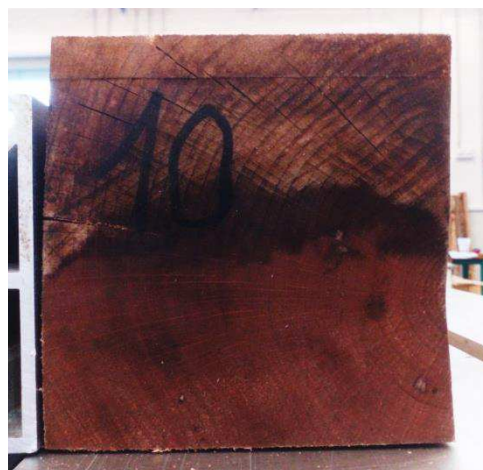
Obr. 22 - Fotografie znázorňující čelo 1 vzorku 8.

Obrázek 22 nám ukazuje vzorek 8, kde je vidět velice malý krut. Vzdálenost dřeva od podložky je 1,755 mm.



Obr. 23 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo 2 vzorku 9

Na obrázku 23 na vzorku 9 na čele 2 je velice dobře vidět průhyb, kde vzdálenost dřeva od podložky je 3,216 mm.

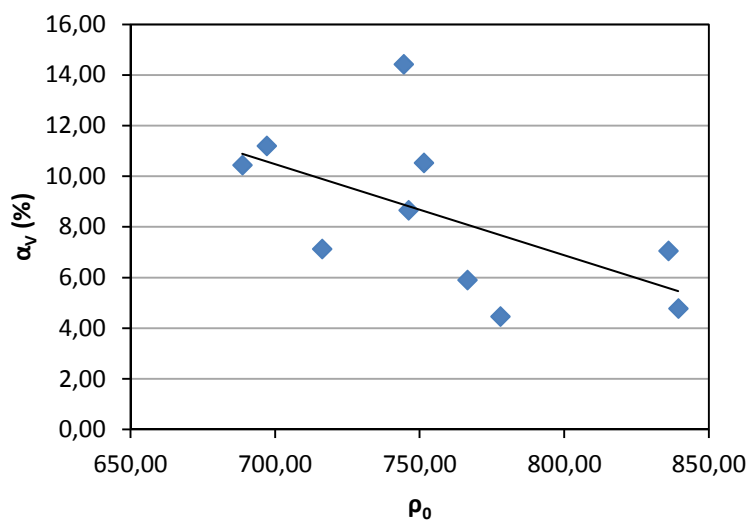


Obr. 24 - Fotografie znázorňující čelo 1 vzorku 10

U vzorku 10 nebylo naměřeno podélné borcení, to můžeme vidět na obrázku 24.

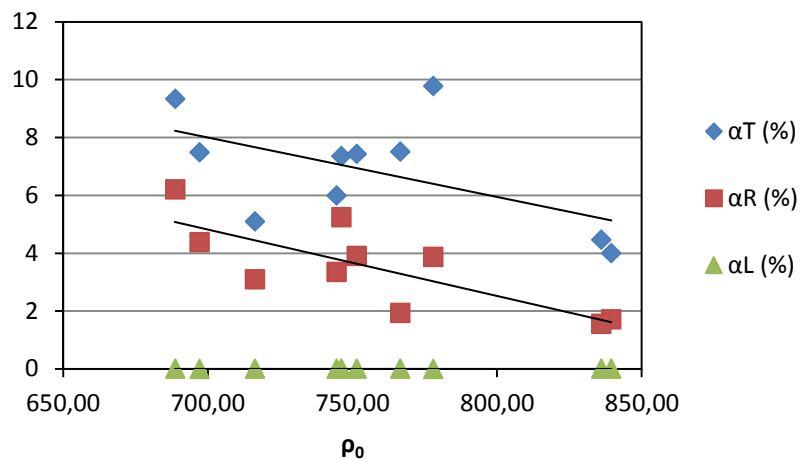
5.3 Závislost bobtnání a koeficientů bobtnání na hustotě

5.3.1 Závislost bobtnání masivních vzorků na hustotě



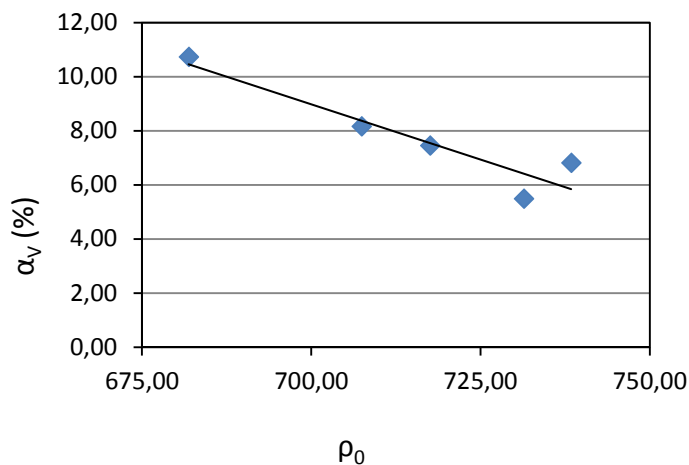
Obr. 25 - Graf znázorňující závislost objemového bobtnání na hustotě u masivního dřeva

Na grafu 25 můžeme vidět, že s rostoucí hustotou klesá objemové bobtnání u masivního dřeva. Na grafu 26 můžeme vidět, že s rostoucí hustotou klesá tangenciální a radiální bobtnání masivního dřeva. Podélné bobtnání je minimální.



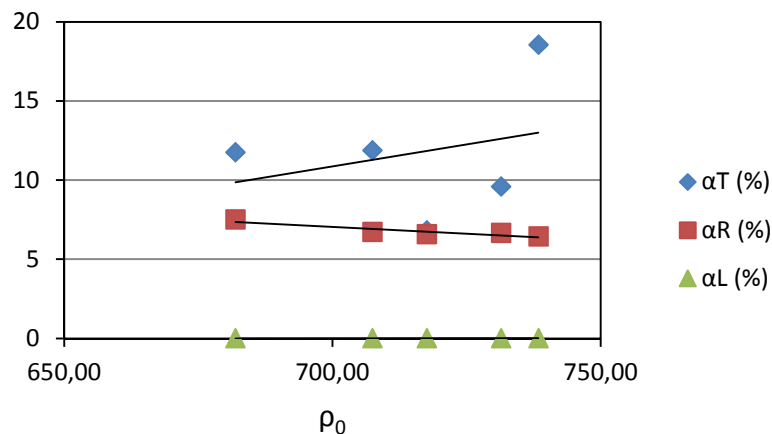
Obr. 26 - Graf závislosti tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání na hustotě u masivního dřeva

5.3.2 Závislost bobtnání lepených vzorků na hustotě



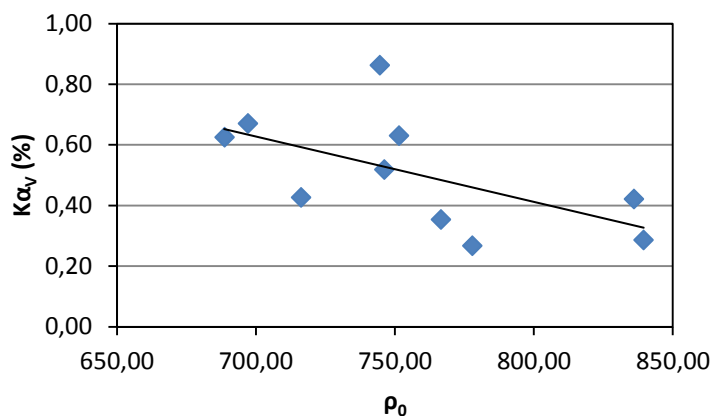
Obr. 27 - Graf znázorňující závislost objemového bobtnání na hustotě u lepeného dřeva

Na grafu 27 můžeme vidět, že s rostoucí hustotou klesá i objemové bobtnání u lepeného dřeva. Na grafu 28 je vidět, že s rostoucí hustotou klesá tangenciální bobtnání a radiální bobtnání není ovlivněno hustotou. Podélné bobtnání je opět minimální.



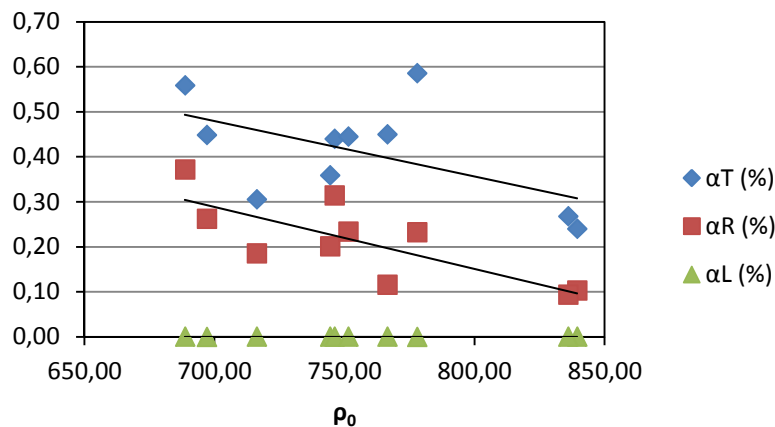
Obr. 28 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání na hustotě u lepeného dřeva

5.3.3 Závislost koeficientů bobtnání masivních vzorků na hustotě



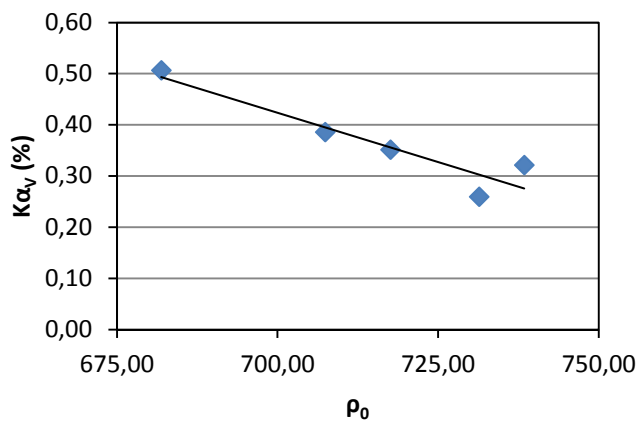
Obr. 29 - Graf znázorňující závislost objemového koeficientu bobtnání na hustotě u masivního dřeva

Graf 29 nám ukazuje, že s rostoucí hustotou klesá koeficient objemového bobtnání a stejně je to i na grafu 30, kdy s rostoucí hustotou klesá koeficient tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání.



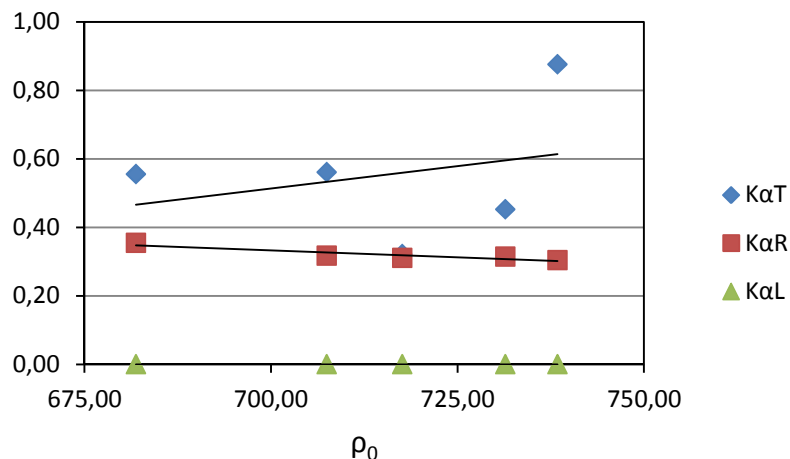
Obr. 30 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného koeficientu bobtnání na hustotě u masivního dřeva

5.3.4 Závislost koeficientů bobtnání lepených vzorků na hustotě



Obr. 31 - Graf znázorňující závislost objemového koeficientu bobtnání na hustotě u lepeného dřeva

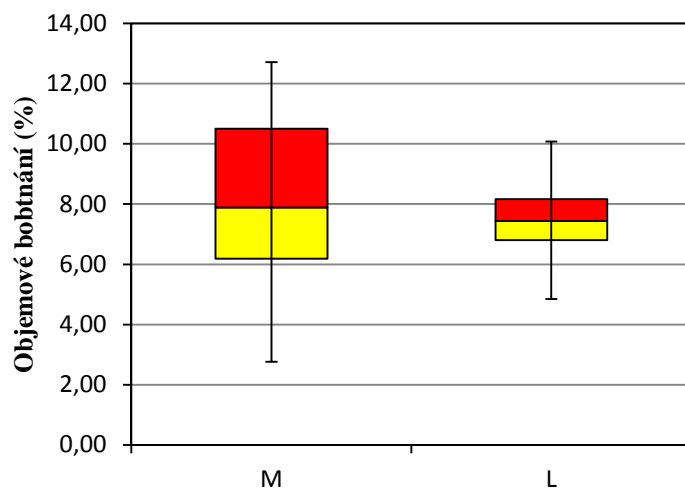
Na grafu 31 je vidět, že s rostoucí hustotou klesá koeficient objemového bobtnání. Graf 32 ukazuje, že s rostoucí hustotou klesá tangenciální bobtnání a radiální bobtnání není ovlivněno hustotou. Podélné bobtnání je minimální.



Obr. 32 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného koeficientu bobtnání na hustotě u lepeného dřeva

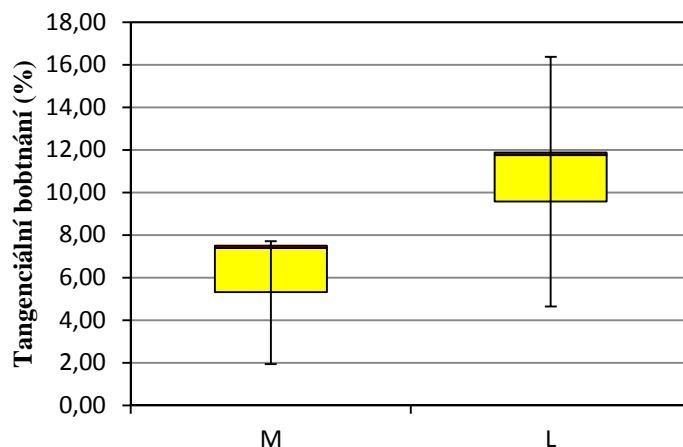
5.4 Srovnání bobtnání a borcení masivních a lepených vzorků

5.4.1 Porovnání bobtnání masivních a lepených vzorků



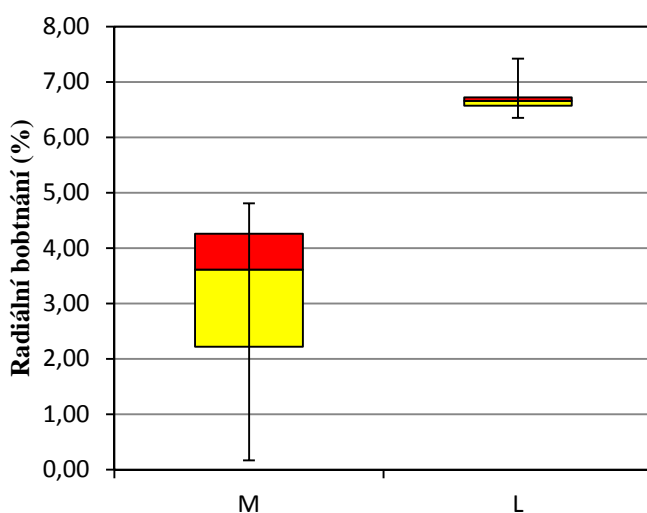
Obr. 33 - Graf porovnávající objemové bobtnání masivního a lepeného dřeva

Z grafu 33 srovnávajícího masivní a lepené dřevo lze vidět, že u lepených hranolů je střední hodnota o malé procento menší. Hodnoty masivního dřeva mají větší zastoupení hodnot v 75 % kvantilu a u lepených vzorků jsou hodnoty v 25 % a 75 % kvantilu přibližně stejné.



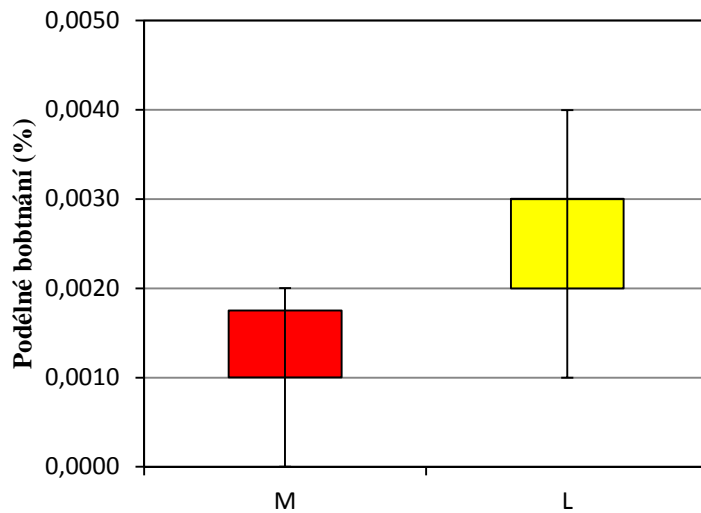
Obr. 34 - Graf porovnávající tangenciální bobtnání masivního a lepeného dřeva

Na grafu 34 jsou velice rozdílné hodnoty tangenciálního bobtnání masivního a lepeného dřeva, ale u obou se pohybuje větší zastoupení hodnot v 25 % kvantilu.



Obr. 35 - Graf porovnávající radiální bobtnání masivního a lepeného dřeva

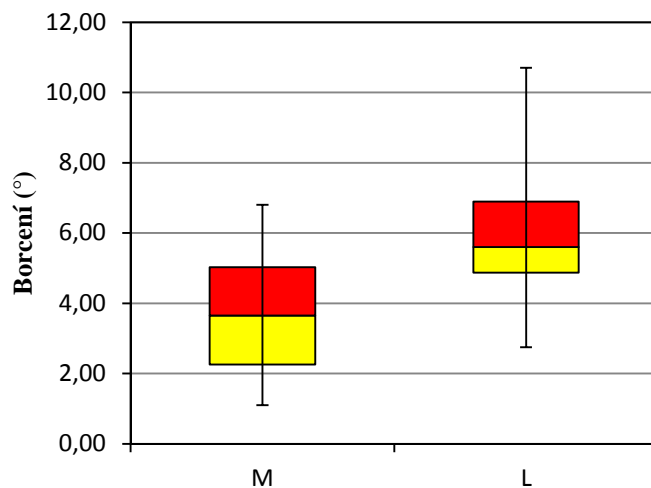
Na grafu 35 je vidět porovnání radiálního bobtnání masivního a lepeného dřeva. U radiálního bobtnání jsou opět hodnoty masivního a lepeného dřeva hodně rozdílné. U masivního dřeva se největší počet hodnot pohybuje v 25 % kvantilu. Lepené dřevo má minimální zastoupení hodnot v 25 % a 75 % kvantilu.



Obr. 36 - Graf porovnávající podélné bobtnání masivního a lepeného dřeva

Na grafu 36 znázorňujícím podélné bobtnání jsou hodnoty minimální. U masivního dřeva je největší zastoupení hodnot v 75 % kvantilu a naopak u lepeného dřeva je největší zastoupení hodnot v 25 % kvantilu.

5.4.2 Porovnání příčného borcení masivních a lepených vzorků



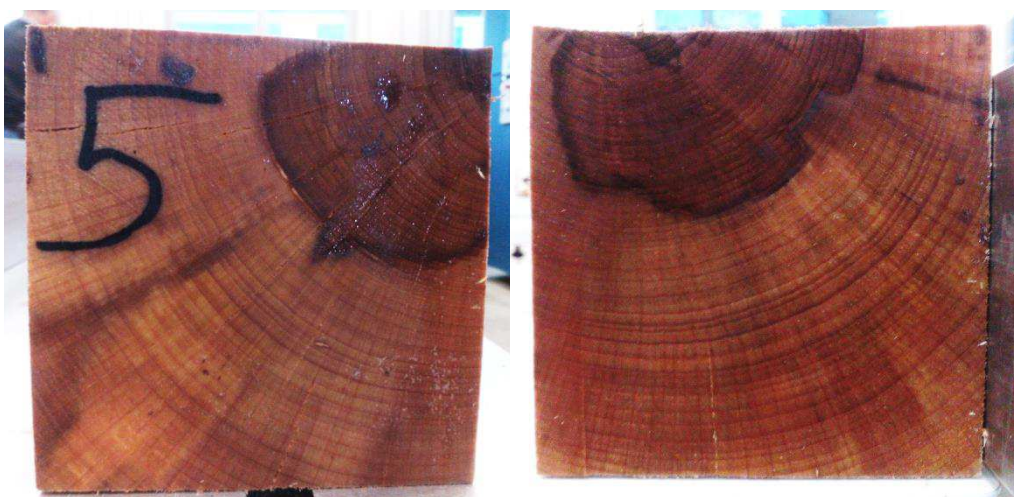
Obr. 37 - Graf porovnávající příčné borcení masivního a lepeného dřeva

Na grafu 37 můžeme vidět porovnání hodnot příčného borcení masivního a lepeného dřeva. U lepeného dřeva jsou hodnoty vyšší a pohybují se převážně v 75 % kvantilu. Masivní dřevo má přibližně stejné zastoupené hodnot v 25 % a 75 % kvantilu.

6 Diskuze

6.1 Bobtnání masivního dřeva

Bobtnání dřeva je fyzikální vlastnost, kterou u dřeva nevyžadujeme, a může nám způsobit problémy při využití dřeva. Buk je dřevo, u kterého je bobtnání velice značné. To je dané jeho hustotou, která je uváděna v literatuře 680 kg/m^3 a patří tedy mezi dřeva středně těžká (Požgaj, 1997). Námi vypočítaná hodnota průměrné hustoty v absolutně suchém stavu je $756,38 \text{ kg/m}^3$. Důvodem vyšší hustoty u měřených vzorků by mohly být vady na vzorcích, ale také by to mohlo být způsobené velkými rozměry vzorků. S rostoucí hustotou roste bobtnání dřeva, můžeme si to vysvětlit tím, že pokud má dřevo větší hustotu, obsahuje buňky s tlustší buněčnou stěnou a pojme tedy více vody. Voda vázaná se váže do buněčných stěn a zvětšuje celkové rozměry dřeva do meze nasycení buněčných stěn, poté už se voda ukládá do cév a lumenů buněk a rozměry dřeva se nemění (Gandelová, 2004). Bukové dřevo patří mezi dřeva bělové s vyzrálým jádrem, které má stejné vlastnosti jako pravé jádro. Ovlivňuje bobtnání tím, že obsahuje buňky s tlustší stěnou, protože plní mechanickou funkci. Naopak běl plní funkci vodivou a tudíž stěny buněk jsou tenčí (Šlezingerová, 2005). U bukového dřeva se také často můžeme setkat s nepravým jádrem. Nepravé jádro by nemělo mít vliv na fyzikální vlastnosti dřeva, takže by nemělo ovlivňovat bobtnání dřeva (Hrádek, 1966). U vzorku číslo 5 jsme zaznamenali nepravé jádro, to si můžeme prohlédnout na obrázku 38. Hodnoty bobtnání se od ostatních vzorků nijak významně neliší.



Obr. 38 - Vzorek číslo 5 – nepravé jádro

Co způsobuje, že je rozdílné bobtnání v tangenciálním, radiálním a podélném směru? Myslím, že velice ovlivňuje tento jev orientace fibril v S2 vrstvě v buněčné

stěně. Fibrily u buku mají sklon přibližně 15° od podélného směru (Kúdela, 2005). Tím si můžeme vysvětlit důvod proč je bobtnání v podélném směru opravdu minimální. Voda vniká mezi fibrily a ty se oddalují a zvětšují rozměry buněčné stěny. V tangenciálním směru je bobtnání větší a v radiálním směru je menší. Tento jev ovlivňují také dřeňové paprsky. Buk má dřeňové paprsky viditelné na všech řezech, což způsobuje jejich tloušťka, protože mohou být 1 až 25 vrstvé. Jsou umístěné kolmo na osu kmene a jejich šířka se zvětšuje mnohem více a proto je bobtnání v tangenciálním směru větší. Buk má spoustu dřeňových paprsků a to tedy způsobuje jeho velké rozměrové změny (Panshin, 1980). A jelikož se množství dřeňových paprsků od dřene směrem k okraji kmene snižuje, mohli bychom říci, že vzorky, které obsahují dřeň nebo jsou blízko dřene, budou více bobtnat (Gomola, 2006). Tuto teorii jsme zkusili porovnat s našimi naměřenými daty, které můžeme vidět v tabulce 25. Zeleně jsou označeny vzorky, které mají dřeň vně hranolu a žlutě jsou označeny vzorky se dřemí uvnitř. Podle našich naměřených hodnot, až na některé výjimky, hranoly se dřemí vně bobtnají méně a hranoly se dřemí uvnitř bobtnají více.

Tab. 25 - Tabulka s hodnotami objemového, tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání u vzorků z masivního dřeva

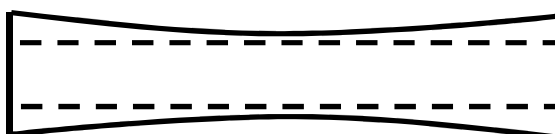
Číslo vzorku	α_V (%)	α_T (%)	α_R (%)	α_L (%)
1	10,44	9,33	6,2	0,001001
2	5,91	7,51	1,93	0,001001
3	14,41	5,99	3,35	0,001001
4	8,65	7,35	5,24	0,002002
5	7,12	5,1	3,09	0,002002
6	10,53	7,43	3,9	0,002004
7	4,46	9,78	3,87	0
8	4,77	4,00	1,71	0,001
9	11,19	7,48	4,38	0
10	7,05	4,47	1,56	0,001
Aritmetický průměr x	8,45	6,84	3,52	0,0011
Směrodatná odchylka S	3,18	1,94	1,53	0,0007
Variační koeficient S	37,62	28,27	43,36	67,11

Podle našich výpočtů součet tangenciálního, radiálního a objemového bobtnání je o něco větší nežli bobtnání objemové. Toto by mohlo být způsobené tím, že tangenciální a radiální bobtnání bylo počítáno z rozměrů jednoho čela. Je možné, že uprostřed vzorku jsou hodnoty tangenciálního a radiálního bobtnání menší. Pro upřesnění a vysvětlení toho jevu jsme z naměřených hodnot uprostřed vzorku vypočítali radiální a tangenciální bobtnání.

Tab. 26 - Tabulka s hodnotami radiálního a tangenciálního bobtnání u vzorků z masivního dřeva

Číslo vzorku	Čelo 1	Čelo 2	střed	Čelo 1	Čelo 2	střed
	α_R	α_R	α_R	α_T	α_T	α_T
1	6,2	5,75	4,35	9,33	6,97	6,16
2	1,93	3,35	2,48	7,51	5,66	6,29
3	3,35	2,38	1,9	5,99	5,98	5,13
4	5,24	4,1	4,14	7,35	6,03	5,51
5	3,09	3,18	2,43	5,1	4,09	4,21
6	3,9	3,95	3,03	7,43	5,8	5,92
7	3,87	5,99	4,42	9,78	8,57	8,2
8	1,71	2,72	2,33	4,00	5,71	5,31
9	4,38	4,04	2,76	7,48	5,73	4,93
10	1,56	2,13	1,09	4,47	6,54	4,04
Aritmetický průměr	3,52	3,76	2,89	6,84	6,11	5,57
Směrodatná odchylka	1,53	1,30	1,10	1,94	1,14	1,19
Variační koeficient	43,36	34,68	38,19	28,27	18,65	21,39

Z tabulky 26 je zřejmé, že hodnota uprostřed vzorku je menší nežli hodnota na čelech, což vysvětluje, proč hodnota objemového bobtnání není rovna součtu tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání. Na obrázku 39 je znázorněn čárkovaně hranol před bobtnáním a plnou čarou je znázorněn hranol po bobtnání.



Obr. 39 – Obrázek znázorňující bobtnání hranolu

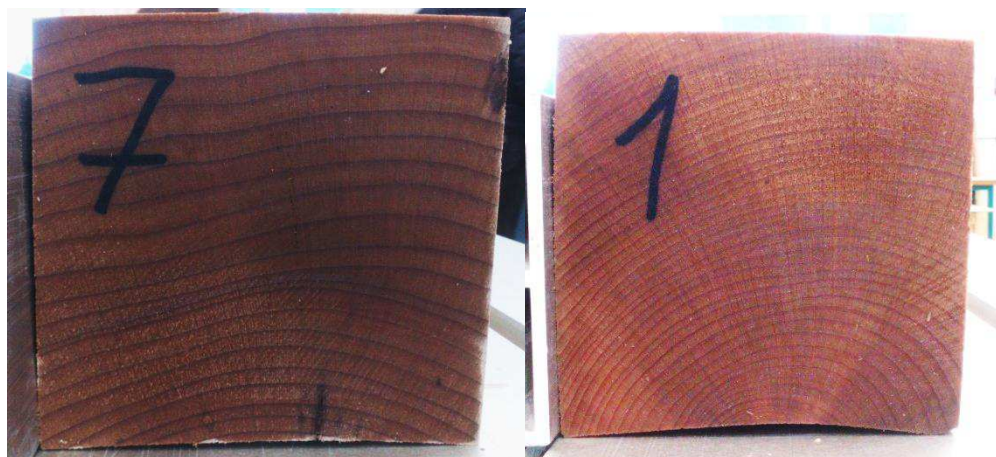
Poměr tangenciálního a radiálního bobtnání u masivních vzorků vychází 1,96. Literatura uvádí, že průměrná hodnota diferenciálního poměru bobtnání se pohybuje kolem 2, takže můžeme říci, že se naše hodnota s literaturou shoduje (Gandelová, 2004).

Koeficient objemového bobtnání u masivního dřeva byl vypočten na průměrnou hodnotu 0,51, což by odpovídalo literatuře, která uvádí pro buk koeficient objemového bobtnání 0,58 (Požgaj, 1997). Dále průměrná hodnota tangenciálního koeficientu bobtnání je 0,41 a hodnota radiálního koeficientu je 0,21. V literatuře je uvedená hodnota tangenciálního koeficientu bobtnání 0,35 a radiální koeficient bobtnání je 0,18 (Horáček, 2008). Vypočítané hodnoty se neliší od hodnot uvedených v literatuře.

6.2 Borcení masivního dřeva

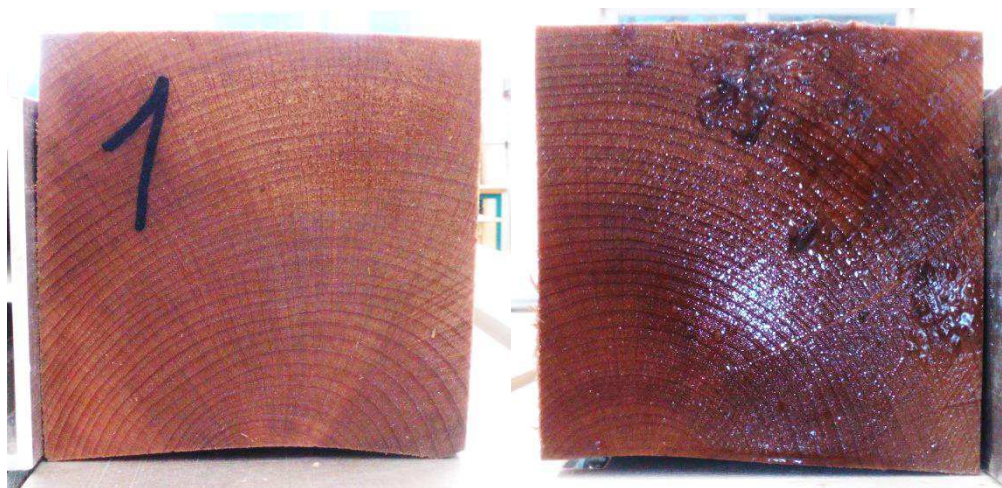
Borcení dřeva je způsobené rozdílným bobtnáním v jednotlivých směrech, což způsobuje změnu tvaru dřeva. Borcení můžeme mít příčné a podélné.

U příčného borcení je příčinou změny tvaru rozdíl mezi tangenciálním a radiálním bobtnáním (Požgaj, 1997). U našich vzorků je diferenciální bobtnání 1,96, které se shoduje s literaturou, kde je uvedená hodnota pro buk 1,94. Čím větší je hodnota diferenciálního bobtnání, tím je borcení větší. Naše vzorky jsme rozdělily do čtyř skupin, podle jejich umístění v kmeni. Na grafu (Obr. 13) můžeme vidět, že nejvíce se liší hodnoty skupiny A1, která má dřeň vně vzorku a uprostřed. Ostatní skupiny mají hodnoty podobné. Podle mého názoru se budou více bortit hranoly, které jsou blíže k dřeni. Je to závislé na bobtnání, a pokud jsme řekli, že dřevo bude více bobtnat u dřene, tak by se mělo i více bortit. Vezmeme si například vzorek číslo 7 a vzorek číslo 1. Na fotografiích (Obr. 40) můžeme vidět, že vzorek 7 je vzdálenější od dřene nežli vzorek 1. Jejich hodnoty borcení jsou rozdílné, u vzorku 7 je to $1,4^\circ$ a u vzorku 1 je to $4,2^\circ$. Příčinou tohoto jevu bych viděla větší množství dřeňových paprsků u dřene (Gomola, 2005). Můžeme vidět, že u vzorku 1 je prohnutí, což je důsledek většího podílu radiální roviny směrem k dřeni.



Obr. 40 - Vzorek 7 a vzorek 1

Podélné borcení vzniká nerovnoměrným podélným bobtnáním dřeva, které může vytvořit průhyb vzorku nebo krut. Průhyb může být způsobený rozdíly v podélném bobtnání mezi zónou bělového a jádrového dřeva nebo přítomností reakčního dřeva (Požgaj, 1997). Stočení způsobuje točitost kmene, která vzniká v důsledku točivého průběhu vláken v kmeni. Podle našeho experimentu se nejvíce projevila točitost u hranolů, které měli na čele 1 dřeň uprostřed, a na čele 2 byla dřeň posunutá. To můžeme vidět na fotografii (Obr. 41), kde u vzorku 1 je čelo 1 položené na podložce a u čela 2 je jeden roh nad podložkou.



Obr. 41 - Vzorek 1

6.3 Bobtnání lepeného dřeva

U lepeného dřeva je velice důležitý výběr lepidla a správný postup při lepení. Také velice záleží na výběru dřeva, protože každé dřevo se chová jinak. Důležitá je vlhkost lamel, která by neměla být větší nežli 15 %, a orientace lamel. Vzorky lepené

fenolformaldehydovou pryskyřicí se bohužel rozlepily, a tudíž jsme nemohli zjišťovat bobtnání a borcení u těchto vzorků. Příčinou by mohl být špatný výběr lepidla a velké rozměrové změny bukového dřeva, které lepidlo nevydrželo. Vzorky lepené polyuretanovou pryskyřicí se nerozlepily na jednotlivé lamely, ale u většiny vzorků došlo k částečnému rozlepení ve střední části hranolu. Myslím, že tyto jevy ovlivňuje hlavně orientace lamel, protože lamely radiálně řezané bobtnají méně a lamely tangenciálně řezané bobtnají mnohem více. Na fotografii (Obr. 42) si můžeme všimnout



Obr. 42 – Vzorek 2

spodní lamely, která je spíše tangenciálně řezaná a lamela nad ní je radiálně řezaná. Je zřejmé, že spodní lamela mnohem více zvětšila své rozměry oproti lamela nad ní. Proto je tedy důležité dbát na to, jak jsou lamely řezané a poskládané na sebe. V našem experimentu jsme neřešili orientaci lamel a jejich poskládání, což by mohl být také jeden z důvodů, proč se hranoly rozlepily.

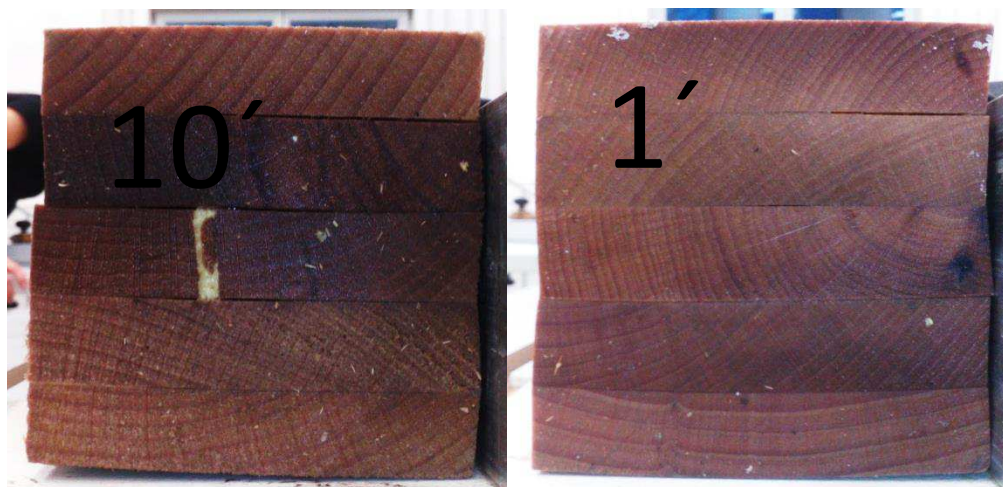
U lepeného dřeva bylo vypočítáno průměrné objemové bobtnání 7,72%, tangenciální bobtnání 11,72% , radiální bobtnání 6,78% a podélné bobtnání 0,003%. Zde můžeme vidět, že je opět podélné bobtnání zanedbatelné. Tangenciální bobtnání bylo naměřeno mnohem větší nežli bobtnání objemové. To by správně nemělo být, protože by měl součet tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání být roven objemovému bobtnání. Důvodem jsou trhliny a mezery (Obr. 43), které vznikly rozlepením mezi lamelami a tudíž rozměry byly v tomto směru větší. Dále bychom měli uvést, že pro výpočet objemového bobtnání jsme vzali hodnoty bez trhlín a rozlepení.



Obr. 43 - Vzorek 10 a vzorek 5 – ukázka rozlepení lamel

6.4 Borcení lepeného dřeva

Borcení dřeva úzce souvisí s bobtnáním dřeva, je způsobené rozdílným bobtnáním v tangenciálním a radiálním směru. U lepených hranolů jsou na sebe lamely poskládány a nejsou stejně řezané, takže každá lamela se bortí jinak. Lepidlo, které tyto lamely spojuje, nedovolí tak velkému borcení, proto bych očekávala od lepených vzorků menší borcení. Vzhledem k tomu, že u většiny lepených hranolů došlo k částečnému rozlepení a vznikaly trhliny a mezery, zvětšovalo to i rozměry borcení. Pokud se podíváme na hranoly, kde na čelech nejsou trhliny a mezery, můžeme vidět, že borcení není příliš velké. Lepidlo podrželo lamely a tak jako jejich bobtnání i jejich borcení je menší, to můžeme vidět na obrázku 44. Opět tu ale hodně záleží na uložení lamel, a jestli jsou tangenciálně nebo radiálně řezané.



Obr. 44 - Vzorek 10' a vzorek 1'

6.5 Rozlepení lepených hranolů

Hranoly lepené fenolformaldehydovým lepidlem byly zcela rozlepeny na jednotlivé lamely. Toto lepidlo nebylo kupované v obchodě, a tudíž neznáme výrobce. Lepidlo bylo přeléváno do nádoby a pak přivezené do Útěchova, kde jsme ho použili. Je možné, že toto mohlo ovlivnit jeho vlastnosti a po natření na lamely nevykazovalo takové vlastnosti, jaké jsme předpokládali. S jistotou, ale nemůžeme říci, co je příčinou rozlepení. Při lepení jsme postupovali podle pokynů, vlhkost lamel byla do 15%, povrch lamel byl hoblovaný, lamely byly po nanesení lepidla do 15 minut spojené a lisovací čas byl dostatečně dlouhý. Myslím, že velký vliv měly velké rozměrové změny bukového dřeva.

6.6 Závislost bobtnání na hustotě

Na grafu závislosti objemového bobtnání na hustotě u masivního i lepeného dřeva se stoupající hustotou klesá bobtnání dřeva. Toto se neshoduje s literaturou, která říká, že hustší dřevo má tlustší buněčné stěny a tím má větší počet potenciálních sorpčních míst. Dřevo s větší hustotou bude více bobtnat (Požgaj, 1997). V případě tangenciálního a radiálního bobtnání opět s rostoucí hustotou klesá bobtnání. Důvodem by mohlo být juvenilní dřevo, které se nachází ve středové části kmene a jeho anatomická stavba i vlastnosti jsou jiné. Juvenilní dřevo má trochu nižší hustotu nežli dřevo vyzrálé, ale podle našeho experimentu více bobtnaly hranoly blízko dřeně. Příčinou by mohli být dřeňové paprsky, které jsou v juvenilním dřevě o menších rozměrech, ale četnější (Gomola, 2006). Takže pokud by dřevo obsahovalo juvenilní dřevo, mohlo by mít menší hustotu, ale jeho bobtnání by bylo větší. U lepených vzorků radiální bobtnání s rostoucí hustotou klesá a tangenciálního bobtnání naopak s rostoucí hustotou stoupá.

6.7 Srovnání bobtnání a borcení masivního a lepeného dřeva

Při srovnání objemového bobtnání masivního a lepeného dřeva, jsou hodnoty lepeného dřeva menší. Průměrná hodnota bobtnání masivního dřeva je 8,45 % a u lepeného je to 7,72 %. Můžeme tedy říci, že lepené dřevo méně bobtná. Je to způsobené tím, že v místě lepení dvou lamel nemůže dřevo tolik zvětšovat své rozměry. Lepidlo nedovolí dřevu tolik bobtnat.

Při srovnání tangenciálního bobtnání masivního a lepeného dřeva jsou hodnoty vyšší u lepeného dřeva. To je způsobené rozlepením lamel a vzniku trhlin a mezer, které se projeví v rozměrech v tangenciálním směru.

V radiálním směru je bobtnání menší u masivních vzorků nežli u lepených vzorků. Myslím, že hlavním důvodem je orientace lamel u lepených vzorků, protože pro radiální směr jsme uvažovali šířku hranolu a lamely nebyly všechny uloženy v radiálním směru. Lamely jsme neskládali na sebe podle toho, jestli jsou tangenciálně nebo radiálně řezané, tudíž u hranolů lepených nelze říci, kde je tangenciální a kde radiální řez.

Podélné bobtnání je u lepených i masivních vzorků zanedbatelné. Hodnoty jsou velice malé, a proto myslím, že nejsou tak podstatné jako hodnoty příčného bobtnání.

U porovnání příčného borcení jsou nižší hodnoty u masivního dřeva. Toto bych vysvětlila tím, že u lepeného dřeva se lamely vlivem rozlepení pootočily a tím zvětšily hodnoty borcení. Toto je těžké posuzovat, protože kdyby se lepené hranoly nerozlepily, mohly by být hodnoty přesnější a výsledky jiné.

6.8 Návrh optimální skladby lepeného hranolu

Při návrhu optimální skladby lepeného hranolu bych se zaměřila hlavně na jednotlivé lamely, které jsou poskládané na sebe. Myslím, že pokud by všechny lamely byly radiálně řezané, tak by bylo bobtnání i borcení minimální. Především by všechny lamely bobtnaly ve stejném směru a nedocházelo by k bobtnání každé lamely jinak, a tudíž by nemuselo docházet k rozlepování. Vzhledem k tomu, že hranoly se nejvíce rozlepovaly v střední části, tak bych lamely stejně řezané a orientované umísťovala především tam. Lamely na vnějšku hranolu mají větší prostor k zvětšování rozměrů, protože jsou omezené lepidlem pouze z jedné strany.

7 Závěr

U masivních i lepených hranolů bylo stanoveno bobtnání a koeficienty bobtnání. U masivních hranolů je průměrné objemové bobtnání 8,45 %, tangenciální bobtnání 6,84 %, radiální bobtnání 3,52 % a podélné bobtnání 0,0011 %. Z těchto hodnot byly počítány koeficienty. Průměrný koeficient objemového bobtnání je 0,51, koeficient tangenciálního bobtnání 0,41, koeficient radiálního bobtnání 0,21 a koeficient podélné bobtnání 0,00007. Průměrné objemové bobtnání u lepených hranolů je 7,72 %, tangenciální bobtnání 11,72 %, radiální bobtnání 6,78 % a podélné bobtnání 0,003 %. Z těchto hodnot byl vypočítán koeficient objemového bobtnání 0,36, koeficient tangenciálního bobtnání 0,55, koeficient radiálního bobtnání 0,32 a koeficient podélné bobtnání 0,000014. Příčné borcení u masivních hranolů bylo 3,67° a u lepených hranolů 5,97°. Podélné borcení se podařilo zjistit pouze u vzorků masivních.

U masivních vzorků nejvíce ovlivňovala bobtnání a borcení stavba dřeva, především četnost a velikost dřeňových paprsků. Také jsme zjistili, že přítomnost dřeně ve vzorku dokáže velice ovlivnit bobtnání i borcení. Čím blíže u dřeně je vzorek, tím více bobtná a bortí se. Podle našeho experimentu nepravé jádro nijak neovlivnilo bobtnání a borcení dřeva. U lepených vzorků je velice důležité vybrat správné lepidlo, například v našem experimentu se polovina vzorků rozlepila. Významný vliv na bobtnání a borcení lepených hranolů má orientace lamel, protože lamely tangenciálně řezané budou více bobtnat nežli lamely radiálně řezané.

Při porovnání masivního a lepeného dřeva jsme zjistili, že hodnoty objemového bobtnání jsou menší u lepeného dřeva. U masivního dřeva je objemové bobtnání 8,45 % a u lepeného 7,72 %. Dále jsme porovnávali hodnoty tangenciálního a radiálního bobtnání. U masivního dřeva je tangenciální bobtnání 6,84 % a radiální bobtnání 3,52 %. Lepené dřevo má větší hodnoty tangenciálního bobtnání 11,72 % a i radiálního bobtnání 6,78 %. Podélné bobtnání u masivního dřeva je 0,0011 % a u lepeného dřeva je 0,003 %. Můžeme tedy říci, že podélné bobtnání je u obou zanedbatelné.

8 Literatura

EISNER K. et al., 1966. Příručka lepení dřeva. Praha, Nakladatelství technické literatury, 288 s. ISBN 04-821-66.

GANDELOVÁ L., ŠLEZINGEROVÁ J., HORÁČEK P., 2004. Nauka o dřevě. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 184 s. ISBN 8071575771.

GOMOLA Š., 2006. Stavba a vybrané vlastnosti dřeva buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) z vybraných stanovišť.

HORÁČEK P., 2008. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2.

HRÁDEK V., KLÍR J., SVATOŠ F., 1966. Vady dřeva. Praha, Nakladatelství technické literatury, 204s. ISBN 04-826-66.

KRÁL P., 2011. Dýhy, překližky a lepené materiály. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.

KÚDELA J., 2003. Vlhkostné a tepelné namáhanie bukového dreva. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 141s. ISBN 8022814865.

PANSHIN A. J., ZEEUW C., 1980. Textbook of wood technology: Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods. New York, McGraw-Hill, 722 s. ISBN 0070484414.

POŽGAJ A. et al., 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, PRÍRODA, 488 s. ISBN 80-07-00960-4.

ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., 2005. Stavba dřeva. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 187 s. ISBN 8071576360.

WIEDENHOEFT A., 2010. Structure and Function of Wood. Wood handbook—Wood as an engineering materiál.

9 Summary

Swelling and warping of wood are physical characteristics which may affect the usability of wood. We expect minor dimensional changes with laminated wood than for massive wood. The aim of this thesis is to compare the swelling and collapsing prism of structural massive beech wood and multi-layer structural glued prisms of beech slats.

The prisms are made of beech wood with dimensions 100 x 100 x 1000 mm. Ten prism is made of solid wood and ten prism is made of glued slats. The prisms are 30 days submerged in the water and then are detected their volume, tangential, radial and longitudinal swelling and swelling coefficients. It is calculated transverse collapsing and longitudinal collapsing only by massive prisms.

Solid wood swelled more than wood glued. For glued wood dimensional changes are limited adhesive, so it is little swelling. For solid wood has a large influence on the swelling marrow and false core does not affect the swelling. The collapsing is less for solid wood. The reason is delamination and the formation of gaps in laminated wood. When we select good adhesive and correct put on himself slats could be laminated wood better values swelling and collapsing.

10 Přílohy

10.1 Seznam obrázků a grafů

- Obr. 1 - Příčiny vzniku nepravých jader u buku
- Obr. 2 - Závislost bobtnání dřeva na vlhkosti dřeva
- Obr. 3 - Graf znázorňující závislost bobtnání na hustotě
- Obr. 4 - Příklad příčného strukturního borcení výřezů rozdílných tvarů z různých míst příčného průřezu kmene
- Obr. 5 - Zařazení jednotlivých skupin podle umístění v kmeni
- Obr. 6 - Stanovení příčného borcení
- Obr. 7 - Stanovení podélného borcení
- Obr. 8 - Obrázek jednotlivých čel masivních vzorků, které jsou zařazeny do jednotlivých skupin podle umístění v kmeni
- Obr. 9 - Obrázek vybraných zástupců ze skupiny A1 a A2
- Obr. 10 - Obrázek vybraných zástupců ze skupiny B1 a B2
- Obr. 11 - Graf statického srovnání objemového, tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání u masivního dřeva
- Obr. 12 - Graf znázorňující objemové, tangenciální, radiální a podélné bobtnání lepeného dřeva
- Obr. 13 - Graf znázorňující příčné borcení vzorků rozdělených do skupin A1, A2, B1, B2
- Obr. 14 - Graf znázorňující příčné borcení u lepeného dřeva
- Obr. 15 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 1
- Obr. 16 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 2
- Obr. 17 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 3
- Obr. 18 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 4
- Obr. 19 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 5
- Obr. 20 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 6
- Obr. 21 – Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo2 vzorku 7
- Obr. 22 - Fotografie znázorňující čelo 1 vzorku 8.
- Obr. 23 - Fotografie znázorňující čelo 1 a čelo 2 vzorku 9
- Obr. 24 - Fotografie znázorňující čelo 1 vzorku 10
- Obr. 25 - Graf znázorňující závislost objemového bobtnání na hustotě u masivního dřeva

- Obr. 26 - Graf závislosti tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání na hustotě u masivního dřeva
- Obr. 27 - Graf znázorňující závislost objemového bobtnání na hustotě u lepeného dřeva
- Obr. 28 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání na hustotě u lepeného dřeva
- Obr. 29 - Graf znázorňující závislost objemového koeficientu bobtnání na hustotě u masivního dřeva
- Obr. 30 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného koeficientu bobtnání na hustotě u masivního dřeva
- Obr. 31 - Graf znázorňující závislost objemového koeficientu bobtnání na hustotě u lepeného dřeva
- Obr. 32 - Graf znázorňující závislost tangenciálního, radiálního a podélného koeficientu bobtnání na hustotě u lepeného dřeva
- Obr. 33 - Graf porovnávací objemové bobtnání masivního a lepeného dřeva
- Obr. 34 - Graf porovnávací tangenciální bobtnání masivního a lepeného dřeva
- Obr. 35 - Graf porovnávací radiální bobtnání masivního a lepeného dřeva
- Obr. 36 - Graf porovnávací podélné bobtnání masivního a lepeného dřeva
- Obr. 37 - Graf porovnávací příčné borcení masivního a lepeného dřeva
- Obr. 38 - Vzorek číslo 5 – nepravé jádro
- Obr. 39 – Obrázek znázorňující bobtnání hranolu
- Obr. 40 - Vzorek 7 a vzorek 1
- Obr. 41 - Vzorek 1
- Obr. 42 – Vzorek 2
- Obr. 43 - Vzorek 10 a vzorek 5 – ukázka rozlepení lamel
- Obr. 44 - Vzorek 10' a vzorek 1'

10.2 Seznam tabulek

- Tab. 1 – Hustota jednotlivých dřev při nulové vlhkosti
- Tab. 2 – Hustota bukového dřeva v různých vzdálenostech od dřene
- Tab. 3 – Hodnoty bobtnání bukového dřeva
- Tab. 4 – Koeficienty bobtnání různých druhů dřeva
- Tab. 5 - Tabulka diferenciálního bobtnání různých druhů dřev
- Tab. 6 - Tabulka s rozdělením dřev do skupin A1, A2, B1, B2
- Tab. 7 - Naměřené hodnoty u vzorků z masivního dřeva

- Tab. 8 - Naměřené hodnoty u vzorků z lepeného dřeva
- Tab. 9 - Naměřené hodnoty u mokrých vzorků z masivního dřeva
- Tab. 10 - Naměřené hodnoty u mokrých vzorků z lepeného dřeva
- Tab. 11 - Rozdělení masivních vzorků do skupin podle umístění v kmeni
- Tab. 12 - Tabulka s výpočty vlhkosti mokrého dřeva, objemového bobtnání, hustoty mokrého dřeva a hustoty absolutně suchého dřeva u masivních vzorků
- Tab. 13 - Tabulka s hodnotami vlhkosti před namočením, při mezi nasycení buněčných stěn a po 30 dnech máčení u masivních vzorků
- Tab. 14 - Tabulka s výpočty vlhkosti mokrého dřeva, objemového bobtnání, hustoty mokrého dřeva a hustoty absolutně suchého dřeva u lepených vzorků
- Tab. 15 - Tabulka s hodnotami vlhkosti před namočením, při mezi nasycení buněčných stěn a po 30 dnech máčení u lepených vzorků.
- Tab. 16 - Tabulka s výpočtem bobtnání v radiálním a tangenciálním směru a diferenciální poměr u masivních vzorků
- Tab. 17 - Tabulka s výpočtem bobtnání v radiálním a tangenciálním směru a diferenciální poměr u lepených vzorků
- Tab. 18 - Tabulka s výpočtem podélného bobtnání u masivních vzorků
- Tab. 19 - Tabulka s výpočtem podélného bobtnání u lepených vzorků
- Tab. 20 - Tabulka s hodnotami jednotlivých bobtnání a výpočty koeficientů bobtnání u masivních vzorků
- Tab. 21 - Tabulka s hodnotami jednotlivých bobtnání a výpočty koeficientů bobtnání u lepených vzorků
- Tab. 22 – Tabulka s hodnotami příčného borcení u jednotlivých vzorků na obou čelech u masivního dřeva
- Tab. 23 - Tabulka s hodnotami příčného borcení u jednotlivých vzorků u lepeného dřeva
- Tab. 24 - Tabulka s hodnotami podélného borcení u vzorků z masivního dřeva
- Tab. 25 - Tabulka s hodnotami objemového, tangenciálního, radiálního a podélného bobtnání u vzorků z masivního dřeva
- Tab. 26 - Tabulka s hodnotami radiálního a tangenciálního bobtnání u vzorků z masivního dřeva