

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

TRENDY V DESIGNU A TVORBĚ NOVÝCH MATERIÁLŮ
NA BÁZI ZHUŠTĚNÉHO BUKOVÉHO DŘEVA
A NEDŘEVĚNÝCH KOMPONENTŮ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

Dřevařské inženýrství

Pracoviště (katedra/ústav):

Katedra základního zpracování dřeva

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Gaff, PhD

Konzultant diplomové práce:

Ing. Adam Sikora

Praha 2020

Matyáš Olmr

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Matyáš Olmr

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

Trendy v designu a tvorbě nových materiálů – na báze zhuštěného bukoveho dřeva a nedřevních komponentů

Název anglicky

Trends in design and creation of new materials – based on compressed beech wood and non-wood components

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení vlivu vybraných faktorů, jako druh dřeviny (Buk), tloušťka materiálu (5 a 9 mm), stupeň zhuštění dřeva (30, 40, 50%), použitý nedřevní komponent (Laminát, Carbon) a jejich slepení na základní mechanické charakteristiky zjišťované tří-bodovým ohybem (modul pružnosti, modul plasticity, ohybová pevnost, práce v pružné oblasti a práce v plastické oblasti) zhuštěného rostlého dřeva spolu s nedřevním komponentem a zhuštěného vrstveného dřeva spolu s nedřevním komponentem.

Metodika

1. Analýza literárních zdrojů s následným teoretickým rozbohem dané problematiky.
2. Příprava zkušebních těles a jejich testování
3. Statistické vyhodnocení získaných dat
4. Zhodnocení výsledků spolu s diskusí
5. V závěru popsat přínos pro vědu a pro praxi

Doporučený rozsah práce

80 stran

Klíčová slova

Vrstvený materiál, buk, stupeň zhuštění, nedřevní komponenty, karbon, laminát, ohybové charakteristiky, modul pružnosti, modul plasticity, ohybová pevnost, práce v pružné oblasti, práce v plastické oblasti

Doporučené zdroje informací

- Gaff, M., Babiak, M., Vokatý, V., Ruman, D. (2017). " Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region ", Composites Part B Engineering 116(1):
- Gaff, M., Babiak, M., (2017). "Methods for determining the plastic work in bending and impact of selected factors on its value", Composite Structures, 163(1):410-422, November 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.036>
- Gaff, M., Babiak, M., (2018). "Tangent modulus as a function of selected factors ", Composite Structures, 163 (1):410-422, November 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.02.052>
- Gaff, M., Gašparík, M., Babiak, M., Vokatý, V. (2017). "Bendability characteristics of wood lamellae in plastic region", Composite Structures, 163(1):410-422, March 2017 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.12.052>
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 ZS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 26. 05. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Trendy v designu a tvorbě nových materiálů vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, dne 15. 05. 2020

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Milanovi Gaffovi, PhD. za předané zkušenosti a odborné vedení diplomové práce, Ing. Adamovi Sikorovi za technickou pomoc při výzkumu a věcné rady, v neposlední řadě mé rodině za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt v rodném jazyce

Předmětem diplomové práce je zkoumání a následné porovnání základních mechanických charakteristik (modul pružnosti, modul plasticity, ohybová pevnost, práce v pružné oblasti, práce v plastické oblasti) u samotného či vrstveného, zhuštěného bukového dřeva, s aplikací vysoko pevnostního vlákna, pomocí mechanické zkoušky tříbodovým ohybem.

Na základě analýzy literárních zdrojů byla vybrána metodika výzkumu, který se zaměřuje na samostatné i vrstvené bukové lamely v tloušťkách 5 mm a 9 mm, při stupni zhuštění 30 % a 40 %. Testování bylo rozděleno do několika souborů, kde byly samostatné i podélně vrstvené lamely bez podlepení textilií ze skelných vláken, samostatné lamely podlepené textilií ze skelných vláken a podélně vrstvené lamely podlepené textilií ze skelných vláken. Pro vrstvení materiálu bylo použito lepidlo na bázi PVAc.

Při provedených zkouškách byl prokázán pozitivní efekt zhuštění, vrstvení i aplikace vlákna na vybrané mechanické vlastnosti. Míra zhuštění materiálu se pozitivně projevila u modulu plasticity a ohybové pevnosti, kdy u samostatných lamel s 40% zhuštěním dosahují přibližně 13% zvýšení hodnot oproti lamelám s 30% zhuštěním. Aplikace textilie ze skelných vláken se kladně projevila u pevnosti v ohybu, na zbylé charakteristiky neměla dobrý vliv. U modulu pružnosti a modulu plasticity měla aplikace skelného vlákna výrazný negativní vliv, kdy u 9 mm lamel došlo ke 20% poklesu hodnot u těchto charakteristik. Výsledky práce mohou být přínosem pro další tvorbu nových vrstvených materiálů.

Klíčová slova:

zhuštěné dřevo, vrstvený materiál, nedřevěný komponent, pevnost v ohybu

Abstrakt v cizím jazyce

The topic of the diploma thesis is the research and comparison of basic mechanical characteristics (modulus of elasticity, plasticity of the modulus, flexural strength, work in the elastic region, work in the plastic region) by three-point bending of single or layered densified beech wood, with the application of high strength fibers.

The research methodology was selected based on the analysis of literature sources, where the focus is on a single and layered beech lamella of the thicknesses of 5 mm and 9 mm, with a degree of compaction of 30% and 40%. The testing was performed in files, where there were single and layered layers without adhesion of glass fiber fabrics, then individual lamellas glued with glass fiber fabrics and layered lamellas as well as layered lamellas of glued glass fiber fabrics. An adhesive for the composition of PVAc was used to layer the material.

The tests have shown a positive effect of densification, layering and application of fibers on selected mechanical properties. The degree of material compaction has a positive effect on the modulus of plasticity and flexural strength, where individual lamellas with 40% compaction reached a 13% increase compared to lamellae with 30% compaction. The application of a glass fiber fabric indicated positive effect on flexural strength and did not have a beneficial impact on the remaining properties. The indicator of elasticity and modulus of plasticity were significantly negatively affected by the application of glass fiber, where at 9 mm the lamella decreased by 20% of the expected value for these characteristics. The conclusion of the work may be advantageous for further production of new layered materials.

Key words:

densified wood, laminated material, nonwooden component, bending strength.

Obsah

1 Cíl práce	13
2 Kompozitní materiály	14
2.1 Princip kompozitního materiálu	14
2.2 Teorie tvorby	15
2.3 Různá vlákna v kompozitech.....	15
2.3.1 Uhlíková vlákna	17
2.3.2 Aramidová vlákna.....	17
2.3.3 Skleněná vlákna	17
3 Kompozitní materiál na bázi dřeva	19
3.1 Účel vzniku kompozitních materiálů na bázi dřeva	19
3.2 Výhody kompozitních materiálů na bázi dřeva.....	20
3.3 Výroba kompozitních materiálů na bázi dřeva.....	20
3.3.1 Suroviny pro výrobu	21
3.4 Schématické rozdělení materiálů na bázi dřeva	21
4 Charakteristika rostlého dřeva	23
4.1 Obecné vlastnosti bukového dřeva	23
4.2 Strukturální hladiny dřeva	24
4.3 Charakteristické vlastnosti dřeva.....	26
Anizotropie.....	26
Hygroskopicitá	26
Nehomogenita	26
5 Modifikace dřeva.....	27
5.1 Obecné shrnutí modifikací	28
5.1.1 Strukturální vlastnosti modifikace dřeva	28
5.1.2 Mechanismy modifikace dřeva	28
5.1.3 Procesy modifikace dřeva	28
5.2 Chemická modifikace	29
5.3 Modifikace zhuštěním	30
5.3.1 Spring back (zpětné odpružení)	31
5.3.2 Speciální metody zhuštění	32
5.4 Modifikace vrstvením.....	32
5.4.1 Vrstvené materiály vyrobené z řeziva.....	33
5.4.2 Vrstvené materiály vyrobené z dýh	34

5.4.3	Vrstvené materiály vyrobené z plochých třísek.....	35
6	Lepidla.....	36
6.1	Lepení.....	36
6.2	Vybraná lepidla pro dřevařství.....	36
6.2.1	Močovino-formaldehydová lepidla – UF.....	36
6.2.2	Fenol formaldehydová lepidla – PF.....	37
6.2.3	Epoxidová lepidla.....	37
6.3	PVAc lepidla.....	37
7	Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.....	39
7.1	Obecné rozdělení.....	39
7.1.1	Fyzikální vlastnosti:.....	39
7.1.2	Mechanické vlastnosti:.....	39
7.2	Mechanické namáhání.....	40
7.3	Důležité pojmy.....	41
7.4	Pracovní diagram.....	42
7.5	Ohyb.....	43
8	Metodika práce.....	46
8.1	Rozměrová příprava lamel.....	46
8.2	Rozdělení do jednotlivých kategorií.....	47
8.3	Řešení zkušebních vzorků.....	47
8.4	Zhušťování lamel.....	51
8.5	Vrstvení lepením.....	52
8.6	Provádění vlastní mechanické zkoušky.....	54
8.7	Metodika vyhodnocení.....	55
9	Zhodnocení výsledků a diskuze.....	56
10	Závěr.....	65
11	Seznam použité literatury.....	66
	Seznam ilustrací.....	71
	Seznam tabulek.....	72
	Seznam grafů.....	73
	Seznam příloh.....	74

Seznam použitých zkratek a symbolů

MOE	modul pružnosti / modul of elasticity
MOP	modul plasticity / modul of plasticity
MOR	pevnost v ohybu / modul of rupture
MPa	megapascal
μm	mikrometr
SWP	vícevrstvá deska z masivního dřeva
MFP	multifunkční panel
OSB	deska z orientovaných plochých třísek
LVL	vrstvené dřevo
PSL	vrstvené dřevo z paralelních třísek
MDF	středně tvrdá dřevovláknitá deska
HDF	tvrdá dřevovláknitá deska
LA	textilie ze skelného vlákna
PVAC	polyvinylacetátové lepidlo

Úvod

Dřevo je přírodní, obnovitelný materiál, který je poměrně snadno dosažitelný. Má řadu využití. Slouží například jako designový prvek nebo konstrukční materiál. Je nezbytnou součástí lidských potřeb a objevuje se prakticky všude. Jde o organický materiál vyznačující se dobrými fyzikálními i mechanickými vlastnostmi. Pro některá využití je však masivní dřevo nevhodné pro řadu svých nedokonalostí jako například povrchové vady či rozměrové omezenosti, a to i z hlediska své nehomogenity a anizotropie. Existuje mnoho možností, jak dřevní hmotu upravit, aby se daly nedostatky dřeva eliminovat a výrazně tak omezit jeho nevhodné charakteristiky.

Dřevní surovina je během posledních let stále více oblíbenější. Dochází k velkému rozmachu využití veškerých materiálů na bázi dřeva. Se zvyšujícím se technickým rozvojem spotřeba dřeva stále roste. Vzhledem ke zvýšenému zájmu o životní prostředí se průmysl stále více zaměřuje na přírodní a ekologické materiály z trvale udržitelných zdrojů. Celosvětové omezování fosilních paliv se stalo častou tématikou a do popředí se dostávají zdroje obnovitelné, které nemají negativní dopady na environmentální prostředí (Bal, 2014, Böhm a kol. 2012, Sandberg a kol. 2018).

Největší předpoklady pro splnění těchto požadavků má dřevní surovina. Je vhodným substitutem pro materiály vyráběné na bázi silikátů, kovů a plastů. U těchto surovin můžeme argumentovat také náročným průmyslovým zpracováním a množstvím odpadu a škodlivých látek, které se na jejich výrobu či likvidaci váže. Naopak u materiálů na bázi dřeva probíhá likvidace s maximální mírou recyklace a minimálním dopadem na prostředí (Gaff a kol. 2018).

Nově vznikají materiály se specifickými vlastnostmi s různorodým využitím. Díky pokročilejším adhezivním přípravkům a povrchovým úpravám je možné dřevo vystavit i oblastem s trvale se měnící vlhkostí, což je, jak obecně známo, pro neupravené dřevo nežádoucí (Böhm a kol. 2012). Úlohou výrobního systému je transformace vstupních surovin na požadované výrobky s vhodnými funkčními hodnotami (Gaff, 2014).

Ohybová zkouška je nejčastěji užívaným způsobem testování průmyslových prvků, neboť nejlépe rekonstruuje jejich skutečná zatížení při reálném využití. Sledované charakteristiky jsou v praxi nejužitečnějším ukazatelem chování materiálu při zatížení (Gaff a Gašparík, 2015).

Obecně je znám vztah mezi hustotou dřeva a většinou jeho mechanických vlastností. Dřevo s vyšší hustotou prokazuje daleko lepší mechanické vlastnosti než dřevo s nižší hustotou (Sadatnezhad a kol. 2017, Kutnar a kol. 2015). Modifikováním je do určité míry možné ovlivnit vlastnosti dřevěného materiálu, eliminovat jeho nežádoucí prvky. Pro různá technologická a průmyslová využití je potřeba materiál cíleně upravit pomocí mechanické, termické, chemické modifikace, nebo jejich kombinací (Gaff a kol. 2014, Svoboda a kol. 2019).

Podle dříve zveřejněných studií o vyztužení dřevěného materiálu nedřevním komponentem, kterými se zabývali zejména Laufenberg a kol. a Bulleitje, je znám pozitivní vliv aplikace syntetických vláken na jejich mechanické vlastnosti (Bal, 2014).

Sledováním vybraných charakteristik, jakými jsou například ohybová pevnost, modul pružnosti, modul plasticity, zjišťujeme rozdíly u různých modifikací materiálu. U tohoto výzkumu se věnujeme především bukovému dřevu, které bylo upraveno termo mechanickou modifikací. Pomocí mechanického lisu s vyhřívanou spodní i horní plochou došlo k finálnímu zhuštění o 30 % a 40 %. Vybrané bukové lamely se následně spojovaly polyvinylacetátovým lepidlem a k určeným položkám byla přidána výztuž v podobě laminátového vlákna. Všechny zkoumané dílce posléze podstoupily ohybovou zkoušku. Během všech těchto procesů byly pečlivě zaznamenány veškeré rozměrové hodnoty potřebné pro další výpočty.

Pro další architektonické využití jsou důležité materiály s vyhovujícími fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Proto se pomocí tohoto a zejména řady dalších výzkumů zajímáme o cílené úpravy materiálů na bázi dřeva pro daná průmyslová využití. Postupným testováním řady různých složek materiálů a způsobů modifikací se můžeme dopracovat k materiálům, které budou vykazovat zajímavé hodnoty při cíleném mechanickém testování a mohou se prakticky zapracovat do průmyslového odbytu či jiných odvětví.

1 Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení vlivu a interakce zhuštěného vrstveného dřevěného materiálu s nedřevěným laminátovým komponentem na vybrané charakteristiky, pomocí tříbodového ohybu.

Zkoumané charakteristiky:

- pevnost v ohybu,
- modul pružnosti,
- modul plasticity.

Sledovaným faktorem je druh dřeviny, Buk lesní – (*Fagus sylvatica Linné*) resp. lamely tloušťky 5 mm a 9 mm s tloušťkovým zhuštěním 30 % a 40 %, výztuž v podobě textilie ze skelného vlákna a stupeň vrstvení s použitím polyvinylacetátového lepidla. Pro každý soubor zkušebních těles bylo sledováno 30 vzorků. Výsledky mohou sloužit jako další možný materiál pro výzkumnou činnost zejména v oblasti využití vrstvených materiálů.

2 Kompozitní materiály

Společných definicí od dob vznikajících kompozitních materiálů se napsalo mnoho, avšak pro další dění je podstatné, že se jedná o vícesložkové materiály (každá složka představuje specifickou funkci a jiné materiálové vlastnosti), které svými charakteristickými vlastnostmi převyšují složky samotné a odstraňují negativní vlastnosti homogenních materiálů. Díky tomu se velice rozšiřuje spektrum a variabilita materiálů pro dané účely. Pro explicitní vyjádření jsem vybral následující definici.

Kompozity jsou složené materiály, které si ponechávají základní charakteristiky jednotlivých složek. Jsou vloženy do materiálového systému tak, aby se maximálně uplatnily jejich přednosti, potlačily jejich nedostatky a tím došlo ke zlepšení jeho vlastností (Bareš a kol. 1988).

„Za kompozity tedy lze považovat materiály složené ze dvou nebo více složek (fází), odlišného chemického složení a zároveň fyzikálních a mechanických vlastností“ (Míšek, 2003).

Pro určení hlavních charakteristik kompozitů, jako jsou fyzikální a mechanické vlastnosti je určující objemové zastoupení složek, jejich geometrický tvar a geometrické uspořádání. Podstatná je vlastní interakce složek a jejich vzájemná adheze (Machek a kol. 2008).

2.1 Princip kompozitního materiálu

Pro kompozity platí nepsané pravidlo – nikdy se nenavrhují všeobecně, pro univerzální použití, ale zásadně pro určité použití. Z tohoto důvodu se stávají energeticky i ekonomicky využitelnějšími.

V běžné konstruktérské praxi se využívají materiály, které mají homogenní, izotropní, materiálové a pevnostní vlastnosti. Při pevnostním návrhu se volí takový materiál, který bude vyhovující pro maximální zatížení při namáhání. Materiál je efektivně využitý pouze v oblasti namáhání. Technologie kompozitních materiálů umožňuje vytvořit takovou strukturu, která odpovídá deformaci právě v místě, kde je to nejvíce vyžadováno. Nejen to, kompozitní materiály mají řadu dalších výhod, které překonávají vlastnosti běžných homogenních materiálů. (Vrbka, 2008).

Důležitou hodnotou, kterou kompozity převyšují ostatní materiály jsou tzv. měrné vlastnosti, což jsou hodnoty jednotlivých vlastností (pevnost, hmotnost, pružnost, ale

i cena) vztažené na jednotku hmotnosti kompozitu. Z tohoto hlediska pak kompozitní materiály představují nejučinnější využití možností hmoty (Machek a kol. 2008).

Působí-li na kompozitní vláknový materiál rostoucí zatížení, matrice s nižším modulem pružnosti začne nejdříve „téci“ (ustupovat zatížení, elasticky nebo plasticky se přetvářet), vlákna, která jsou obklopena měkkou matricí jsou nucena převzít zatížení (Bareš a kol. 1988).

2.2 Teorie tvorby

Kompozitní materiál je tvořen fází spojitou – **matricí** a fází nespojitou – **výztuží**. Základní funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na vyztužující fázi a je požadována dobrá soudržnost matrice s výztuží. Od vyztužující fáze se vyžaduje vysoká pevnost a modul pružnosti (Míšek, 2003).

Tvorba kompozitních materiálů je založena na vzájemné synergii složek. Takzvaným synergickým efektem se snažíme zajistit vzájemnou kombinaci pozitivních vlastností složek jednotlivých materiálů, a to hlavně u vlastností, na kterých nám pro daný účel nejvíce záleží (Daďourek a kol. 2007).

2.3 Různá vlákna v kompozitech

Nejvhodnějším materiálem pro výztuže u kompozitních materiálů na bázi dřeva jsou vlákna, ty jsou vždy mnohem pevnější než stejné materiály v kompaktní podobě. Pevnost vlákna závisí na průřezu a délce. Pevnost roste při zmenšujícím se průřezu, neboť u nich dochází k minimálním defektům. Většina vyráběných vláken pro toto použití je kruhového průřezu o průměru od 5 do 20 μm (Ústav materiálového inženýrství, 2014).

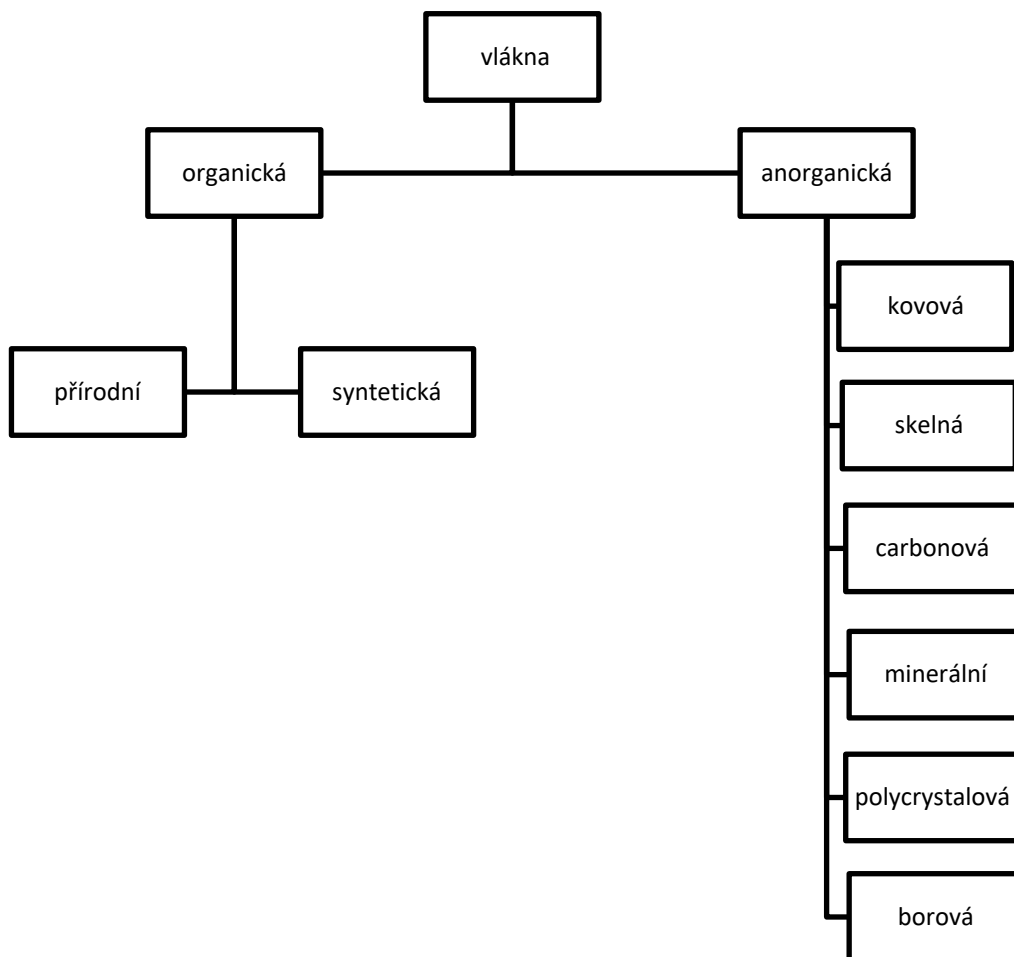


Obr. 2.1 Dělení kompozitních materiálů dle uspořádání výztuže (Kratochvíl a kol. 2005).

V kompozitech se používají nejrůznější druhy vláken, můžeme je rozdělit takto:

- přírodní vlákna
- skleněná vlákna
- uhlíková a grafitová vlákna
- aramidová a silonová vlákna
- keramická vlákna
- whiskery (Daďourek a kol. 2007)

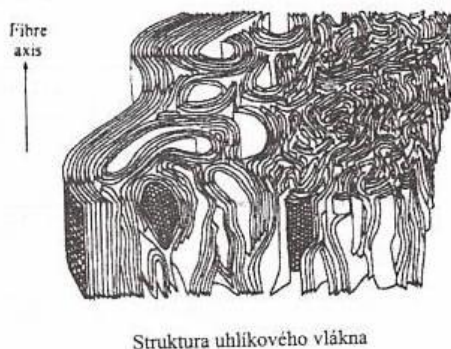
Nejčastěji využívaná vlákna pro materiály na bázi dřeva jsou vlákna uhlíková, aramidová a skelná, která jsou použita i při našem testování.



Obr. 2.2 Schématické rozdělení vláken (Jančár, 2003)

2.3.1 Uhlíková vlákna

Velkou výhodou uhlíkových vláken je vysoká pevnost, modul pružnosti a tepelná odolnost s nízkou měrnou hmotností. Mají jednu z nejvyšších hodnot modulu pružnosti vůči jednotce hmotnosti.



Obr. 2.3 Struktura uhlíkového vlákna (Jančár, 2003)

2.3.2 Aramidová vlákna

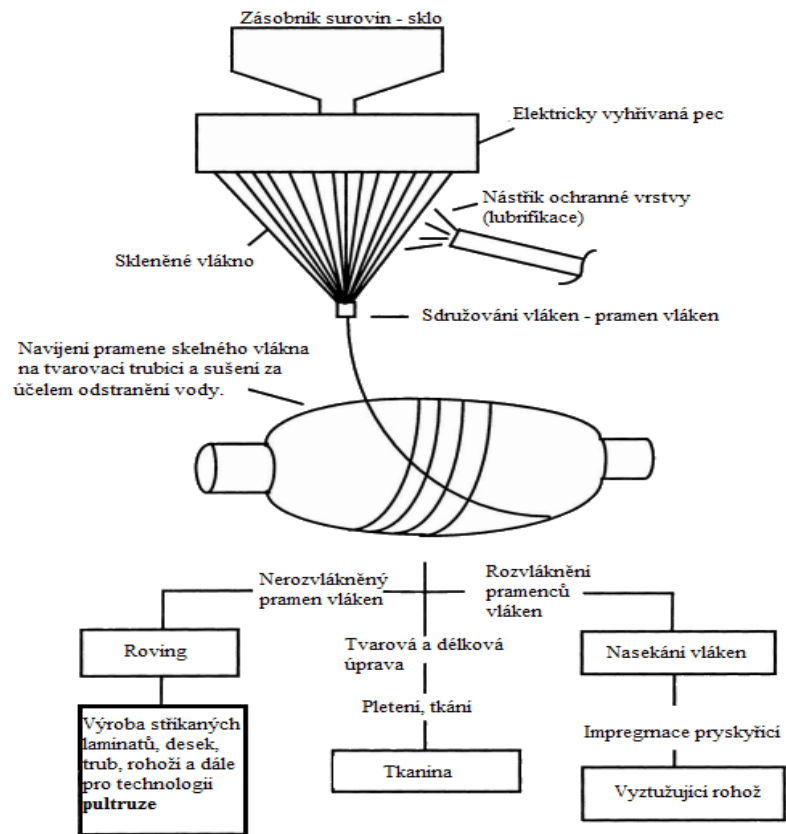
Aramidová vlákna, často známá jako kevlar, jsou organická vlákna s vysokou pevností a malou měrnou hmotností. Tato vlákna jsou vyráběna rozpouštěním polymerů v koncentrované kyselině sírové a vytlačováním tryskami do studené vody. Poté je propíráno a sušeno na cívkách (Ústav mechaniky těles, 2008).

2.3.3 Skleněná vlákna

Sklená vlákna jsou nejpoužívanější výztužné materiály kompozitů. Mají vysokou pevnost v tahu a dobrou chemickou odolnost. Tahovou pevnost může ovlivnit teplota, chemická koroze a je limitována časem u trvalých zatížení. Při vysokých teplotách se pevnost v tahu snižuje, stejně tak může být ovlivněna i chemickou korozí, která odlišně působí u kyselého a zásaditého prostředí (Babík, 2010).

Skleněná vlákna disponují velmi příhodným poměrem kvality a ceny. Nejčastěji se vyrábějí tažením nebo navíjením. Výrobní proces je zobrazen na Obr. 2.4. Pojivo a pryskyřice spojují vlákna do určených tvarů, chrání je před vnějšími vlivy a přenášejí zatížení mezi kompozitním dílcem. I přes své dobré mechanické vlastnosti, hlavně tuhost a pevnost, jsou skleněná vlákna poměrně křehká a mají nízký modul pružnosti (Jančár, 2003).

Na obr. 2.4. je schéma výrobního procesu skelných vláken, která jsou ze zásobníku roztavena ve vyhřívané peci a následně navijena na cívku, kde probíhá sušení a příprava k dalšímu zpracování do finální úpravy dle charakteru použití.



Obr. 2.4 Schéma výroby skelných vláken (Kaw, 2006).

3 Kompozitní materiál na bázi dřeva

Kompozitní materiály postupně vznikají za účelem maximálního využití dřevní hmoty a zlepšení mechanických vlastností materiálů. Všeobecně se vyznačují slepením několika vrstev, středově či symetricky uspořádaným, dle jednotlivého charakteru materiálu.

„Kompozitní materiál na bázi dřeva patří mezi nejvýznamnější inovativní dřevařské výrobky v celosvětovém měřítku. Kompozitní výrobky na bázi dřeva, které se také označují jako rekonstituované dřevo, materiály na bázi dřeva, kompozity na bázi dřeva, nebo umělé dřevo, jsou obecně dřevěnými konstrukčními materiály pro průmyslové použití při výrobě nábytku v interiérech a exteriérech, v konstrukcích budov a v infrastrukturních dřevěných konstrukcích, jako jsou mosty, věže a cesty“ (Sandberg a kol. 2018).

Pojem kompozitní materiál na bázi dřeva je využíván pro jakýkoliv dřevěný materiál adhezivně spojený. Zahrnuje to širokou škálu produktů, které se využívají ve velkém spektru (Maloney, 1986).

3.1 Účel vzniku kompozitních materiálů na bázi dřeva

Dřevo je velice pestrý a kvalitní materiál pro všemožné způsoby použití. Je to komplexní surovina z přírodních zdrojů a její největší výhodou je obnovitelnost a relativně snadná dostupnost. I přes velmi široké uplatnění rostlého dřeva není ideálním materiálem pro různé konstrukční či povrchové využití a má několik charakteristických nedostatků, jako například nehomogenita, anizotropie nebo rozměrové omezení kmene.

Vrstvené materiály si nadále zachovávají původní vlastnosti materiálu a možnost dalšího tvarování a obrábění. V porovnání s přírodním dřevem se lepené vrstvené materiály vyznačují vyšší odolností, tuhostí i trvanlivostí.

Díky rozsáhlému vývoji v oboru dřevěných materiálů se dospělo k výrobě kompozitních materiálů na bázi dřeva, které se snaží potlačovat negativní vlivy snižující mechanické vlastnosti, nehomogenitu, anizotropii i jiné. Hlavním důvodem, který vedl k vývoji materiálů na bázi dřeva, byla snaha o výrobu produktů využívajících příznivé vlastnosti dřeva (izolační vlastnosti, snadná obrobitelnost, příznivé působení na prostředí, nízké výrobní nároky na energii) a zároveň překonávajících jeho nevýhody (Böhm a kol. 2012).

Vrstvené materiály překonávají tři hlavní nedostatky masivního dřeva, materiálovou anizotropii a heterogenitu, nedostatečnou rozměrovou stabilitu při změnách vlhkosti a omezené rozměry materiálů. Vrstvené materiály si nadále zachovávají původní vlastnosti materiálu a možnost dalšího tvarování a obrábění. V porovnání s přírodním dřevem se lepené vrstvené materiály vyznačují vyšší odolností, tuhostí i trvanlivostí (Hrázský a kol. 2007).

Za vznikem stojí také fakt, že je podmíněn stále klesajícím výskytem rostlého dřeva i díky značně se zvyšující hrozbě dřevokazného hmyzu. To je dalším důvodem, proč je kladen důraz na maximální využití hlavní i zbytkové dřevní hmoty.

3.2 Výhody kompozitních materiálů na bázi dřeva

Díky velkému výčtu kladných vlastností je dřevo velmi oblíbeným materiálem. Ač je velmi lehké, vykazuje velice vysokou pevnost, velmi dobře izoluje a při velmi vysokém zatížení tlumí vibrace. Odjakživa se dřevo využívalo především ve stavebním a nábytkářském průmyslu. Díky technologickému vývoji je možné vrstveným materiálem konkurovat v podmínkách, kde měla výsadu pouze ocel či beton. V mnohých prostorách jsou stavební prvky z oceli nebo betonu nahrazeny dřevem. Vrstvené materiály mají odstranit hlavní nedostatky rostlého masivního dřeva především tím, že umožňují velkoplošné formáty, široký sortiment výrobků a snaží se docílit homogenních vlastností. Hlavními výhodami vrstveného materiálu na bázi dřeva jsou:

- nižší vlhkostní roztažnost,
- velkoplošné formáty,
- široký sortiment,
- lehkost a zároveň pevnost materiálu,
- snadná opracovatelnost,
- akustické a tepelné vlastnosti,
- mechanické vlastnosti vzhledem k hustotě (Böhm a kol. 2012).

3.3 Výroba kompozitních materiálů na bázi dřeva

Vrstvené materiály jsou v moderní době velice oblíbené a často využívané, zejména ve stavebnictví, architektuře, výrobě nábytku i u menších dřevěných prvků. U konstrukčních vrstvených materiálů díky vysokému zájmu a stále širšímu segmentu

využití vede k dalším výzkumům mechanických a elastických vlastností materiálů. Tyto vlastnosti nejvíce ovlivňuje samotné složení materiálu, a proto se dále kombinují s různými materiály, které podporují mechanické vlastnosti dřevěných prvků (Hrázský a kol. 2007).

Hlavní a nejdůležitější surovinou vstupující do výrobního procesu je pochopitelně dřevo, které zastupuje přibližně 94 % celkové hmotnosti, elementy jsou adheziva, případně další nedřevěné komponenty.

Kompozitní materiály na bázi dřeva se člení do skupin podle velikosti dřevních komponentů použitých k jejich výrobě. Z výrobního hlediska je však možné je zjednodušeně charakterizovat jako:

- kompozitní materiály na bázi dřeva vyrobeného z řeziva,
- kompozitní materiály na bázi dřeva vyrobeného z dýh,
- kompozitní materiály na bázi dřeva vyrobených z plochých třísek, proužků částic nebo vláken (Sandberg a kol. 2018).

3.3.1 Suroviny pro výrobu

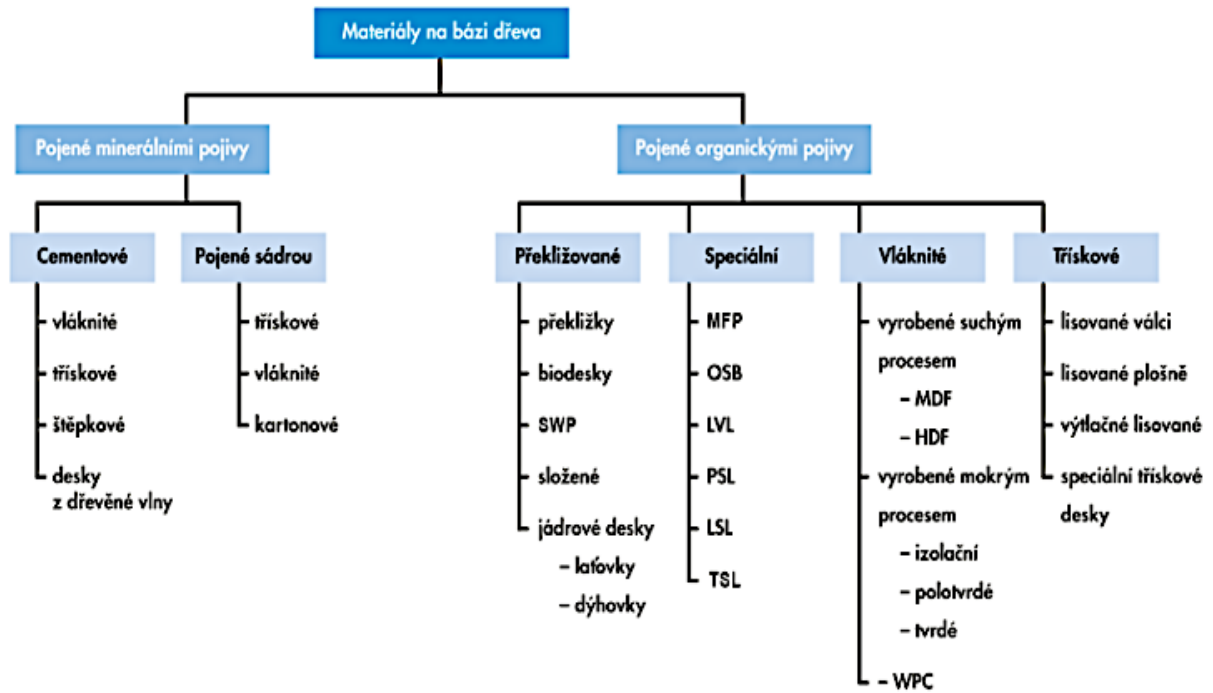
Do výroby kompozitních materiálů na bázi dřeva vstupují jak různé druhy dřevin, tak i velikosti a druhy zpracování. Pro výrobu třískových desek mají zásadní význam parametry jako například hustota dřeva, velikost třísek, podíl běle a jádra, pH dřeviny.

Ve výrobě vláknitých desek jsou podstatné vlastnosti jako délka dřevních vláken, obsah ligninu a hemicelulózy a rozvláknitelnost (Hrázský a kol. 2007).

Jak je zmíněno výše, poměr dřeva pro tyto kompozitní materiály je velmi vysoký. V nastávající situaci vzhledem k dostupnosti dřevní suroviny je kladen důraz na maximální využitelnost a v blízké budoucnosti bude žádoucí snižovat tento poměr a částečně nahrazovat dřevo jinou spolehlivou surovinou, která nebude mít negativní dopady na kvalitu materiálu.

3.4 Schématické rozdělení materiálů na bázi dřeva

Kategorii dřevěných materiálů můžeme rozdělit dle několika kritérií, např. na velkoplošné, konstrukční, kompozitní, aglomerované, dle způsobu použití. Na obr. 3.2. je vyobrazeno schéma rozdělení materiálu na bázi dřeva podle druhu pojiva a způsobu konstrukce.



Obr. 3.1 Rozdělení materiálů na bázi dřev (Böhm a kol. 2012).

4 Charakteristika rostlého dřeva

Dřevo patří k nejstarším a nejoblíbenějším přírodním materiálům s nejvšestrannějším využitím. Postupné prohlubování poznatků o struktuře dřeva, chemickém složení, fyzikálních a mechanických vlastnostech vyvolává intenzivní rozvoj techniky a technologie jeho zpracování a mnohostrannosti jeho využívání.

Dřevo představuje přírodní materiál rostlinného původu, který při odborném hospodaření v lesích může být neustále obnovován, a to v předpokládaném množství a přibližně předpokládané kvalitě. Dřevo představuje pevný, pružný, a přitom lehký materiál, který má dobré teplotně-izolační vlastnosti, lehce se opracovává, tlumí vibrace, je odolné proti chemikáliím, schopné při změnách praskat, relativně dobře spojitelné a lehce manipulovatelné. Tyto přirozené vlastnosti dřeva umožňují jeho využití v rozmanitých průmyslových odvětvích (Grandelová a kol. 2002).

4.1 Obecné vlastnosti bukového dřeva

Bukové dřevo se řadí mezi naše tvrdé dřeviny, má střední pevnost v ohybu, tuhost a rázovou houževnatost, vysokou pevnost v tlaku a výjimečně dobré předpoklady pro ohýbání. Je velice dobře opracovatelné ručně i strojně. Ve spojích dobře drží a lze výborně povrchově upravovat. Dřevo je náchylné k napadení červotoči a tesařiky (Walker, 2009).

Buk má velmi světlé až krémové dřevo bez barevně odlišného jádra, s jemnou a pravidelnou strukturou. Vyniká jemnými póry, kratšími vlákny a širokými dřeňovými paprsky, viditelnými ve všech směrech řezů. Při páření bukového dřeva se jeho barva mění do tmavší béžové až narůžovělé (Šlezingerová a kol. 2008).



Obr. 4.1 Kresba buku lesního v tangenciálním řezu (cs.wikipedia.org).

4.2 Strukturální hladiny dřeva

Dřevo je různorodý vláknitý materiál vyráběný živými organismy – stromy. Široká škála využitelnosti a kvality jednotlivých druhů je výsledkem specifických vlastností vycházejících ze struktury a složení buněk různých druhů stromů.

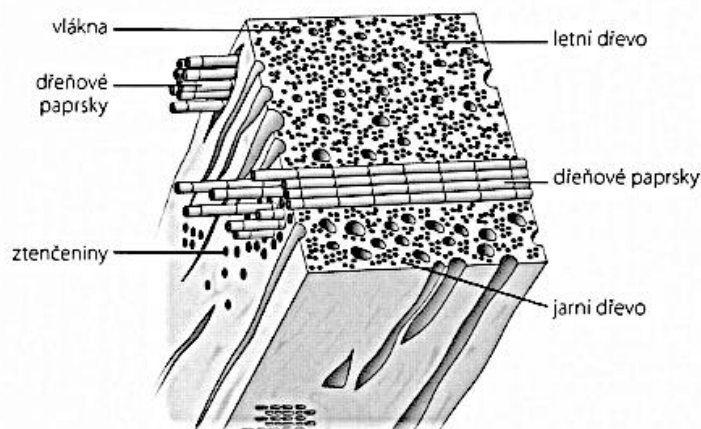
ORGANICKÉ SLOŽKY DŘEVA:

celulóza	40–50 %
lignin	25–30 %
hemicelulóza	20–25 %
pryskyřice, tanin, tuky, barviva	zbytek % (Vigué, 2010).

Veškeré dřevo je tvořeno buňkami, které od se od sebe vzhledově liší podle toho, jaká je jejich hlavní funkce. Cévní buňky rozvádějí po těle stromu mizu, podpůrné buňky zajišťují pevnost a stabilitu stromu a zásobní buňky vytvářejí měkká pletiva, jež tvoří až pětinu celkové velikosti stromu (Walker, 2009).

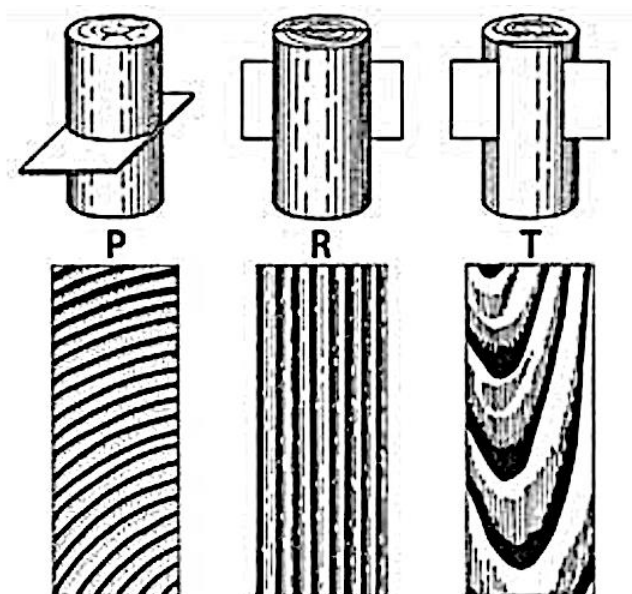
U dřeva rozlišujeme tři základní typy buněčné struktury. Odlišnou strukturu mají jehličnaté dřeviny, u listnatých se rozděluje na kruhově pórovité (např. DUB) a roztroušeně pórovité (např. BUK).

Mezi póry/cévami jarního a letního dřeva, je velmi malý až minimální velikostní rozdíl. Zásobní pletivo, které není tak výrazné jako u kruhově pórovitého dřeva, tvoří dřeňové paprsky, které probíhají kolmo k letokruhům (Walker, 2009).



Obr. 4.2 Buněčná struktura roztroušeně pórovitého dřeva (Walker, 2009).

Makroskopickou strukturu dřeva tvoří soubor morfologických znaků, které vytvářejí jeho charakteristickou kresbu.



Obr. 4.3 Základní řezy kmenem (Balabán, 1955).

Základní makroskopické znaky, které tvoří strukturu dřeva, jsou letokruhy (podíl jarního a letního dřeva) jádro, běl, cévy, dřevné paprsky, pryskyřičné kanálky, dřevné skvrny a suky. U dřeva buku není typicky rozlišeno jádro a běl. Barva dřeva je narůžovělá, nahnědlá, občas až červenohnědá. U starých stromů se často vyskytují nepravá jádra. Pro roztroušeně pórovitou dřevinu jsou typické vyskytující se zřetelné letokruhy ve všech řezech (Šlezingerová a kol. 2008).

Základní mikroskopické znaky, které tvoří mikrostrukturu dřeva, jsou jednolitě cévy v podélném směru. V radiálním směru se vyskytují nanejvýš do 4 kusů. V nepravém jádru buku se mohou vyskytovat thyly a jádrové látky. V radiálním směru je perforace cév jednoduchá i žebříčková a stěny cév jsou hladké. V tangenciálním směru jsou dřevné paprsky jednovrstvé až mnohovrstvé a stěny stejně jako v radiálním směru hladké (Šlezingerová a kol. 2008).

4.3 Charakteristické vlastnosti dřeva

Základní vlastnosti dřeva odpovídají jeho chemické a anatomické stavbě. Ze stavby dřeva vyplývá **anizotropie, pórovitost, hygroskopicita a nehomogenita**. Tyto základní charakteristiky dřeva předurčují všechny následné fyzikální a mechanické vlastnosti.

Anizotropie

Nejvíce se anizotropní charakter dřeva projevuje při rozměrových změnách spojených s příjmem a výdejem vody, pohybem vody a tepla ve dřevě, a zejména při mechanickém namáhání. V zásadě platí, že dřevo ohýbané ve směru vláken vykazuje několikanásobně vyšší pevnost a pružnost než ve směru kolmém na vlákna.

Hygroskopicita

Nepříjemným důsledkem změny obsahu vody ve dřevě jsou rozměrové změny (bobtnání a sesychání) a také změny pevnosti i pružnosti při mechanickém namáhání.

Nehomogenita

Při posuzování pevnosti dřeva není rozhodující např. šířka letokruhů, ale zpravidla podíl letního dřeva, které zabezpečuje převážně funkci mechanickou (Grandelová a kol. 2002).

5 Modifikace dřeva

Dřevo je přírodním materiálem s výbornými vlastnostmi, ale i řadou nedostatků. Některé vlastnosti dřeva jsou méně žádoucí, jako například nestabilita vůči vlhkosti, degradace v důsledku různých biotických činitelů, vysoká hořlavost. Tyto negativní činitele je zapotřebí odstranit pomocí různých modifikací. Nesmíme zapomínat, že při všech úpravách dřeva hraje klíčovou roli samotná variabilita materiálu. Diverzifikace se objevují nejen u stejného materiálu z různých, potažmo stejných oblastí výskytu, ale i u stejného stromu na mikrostrukturální úrovni.

Modifikace dřeva je všeobecný termín popisující použití mechanických, fyzikálních, chemických nebo biologických metod ke změně vlastností materiálu. Taková definice je prakticky všeobíhající termín, který zahrnuje téměř vše, co se s dřevním materiálem odehrává poté, co opustí les. Cílem však je získat lepší vlastnosti materiálu, což má za následek zlepšení rozměrové stability, odolnosti proti hnilobě, odolnosti proti povětrnostním vlivům aj. Žádoucí je zamezit toxikování upravovaného materiálu pro zachování hladiny životního prostředí a vyloučit tak tvorbu toxických zbytků. Během posledních pěti let došlo k významnému vývoji v technologiích pro úpravu dřeva, zejména v komerčním sektoru (Hill, 2006, Hill, 2011).

Vývoj v oblasti modifikace dřeva v posledních desetiletích se výrazně zrychlil. Toto zrychlení je způsobeno řadou okolností jako je povědomí o životním prostředí, rostoucí poptávka po vysoké a stálé kvalitě dřevní suroviny a rostoucí ceny a zhoršená dostupnost kvalitního dřeva. To vedlo k rozšiřování portfolia a řadě technických úprav dřeva na trhu (Homan a kol. 2004).

Modifikace dřeva je metoda, která se používá ke zlepšení materiálových vlastností dřeva změnou jeho chemické povahy a v širším smyslu je to také pasivní proces, ve kterém dochází také ke změnám vlastností, ale bez změny chemie materiálu (Petrič, 2013). Nezbytnou součástí definice modifikace dřeva je to, že zahrnuje změnu vlastností dřeva zásahem na úrovni buněčné stěny. Nejznámější a komerčně používané metody jsou chemická, tepelná a impregnační modifikace. Každá z nich disponuje řadou materiálových vylepšení, ale i nevýhod, pokud jde o jejich vlastnosti a složitost výrobního procesu (Hill, 2011).

5.1 Obecné shrnutí modifikací

U modifikací dřeva dochází k řízeným změnám jeho přirozených vlastností. Tyto změny vedou k cílenému zlepšení vlastností materiálu, které zvyšují jeho užitnou hodnotu (Matovič, 1993, Hill, 2006). Dále je obecně shrnuto několik dějů.

5.1.1 Strukturální vlastnosti modifikace dřeva

Struktura dřevěné buněčné stěny je polymerní a skládá se z celulózy, hemicelulózy a ligninu. Všechny tyto složky obsahují hydroxylové skupiny, které jsou podstatné pro interakci mezi vodou a dřevem. Právě v těchto místech dochází k největší reakci. V procesu, kdy dřevo absorbuje vodu, se mezi dřevními polymery usazují molekuly vody, které vytvářejí vodíkové vazby mezi hydroxylovými skupinami a jednotlivými molekulami vody. Voda si nachází volné prostory v buněčné stěně, což vede k bobtnání dřeva. Veškeré modifikace dřeva ovlivňují výše popsané mechanismy podobným způsobem, mění se polymery buněčných stěn v molekulární strukturu (Homan, 2000).

5.1.2 Mechanismy modifikace dřeva

Jako dva hlavní mechanismy modifikace můžeme popsat aktivní a pasivní modifikaci. Aktivní modifikace spočívá v přeměně chemické povahy materiálu, načež v pasivní modifikaci dochází ke změně vlastností, aniž by došlo k chemické proměně.

U většiny doposud zkoumaných aktivních modifikačních metod dochází k reakci činidla s hydroxylovými skupinami na buněčné stěně. Právě hydroxylové skupiny jsou důležité v interakci dřeva a vody.

U vlhkého dřeva se vodní molekuly usazují mezi dřevními polymery a utvářejí vodíkové vazby mezi hydroxylovými skupinami a jednotlivými vodními molekulami. Při změně vodních molekul dochází k sesychání nebo bobtnání dřeva. Právě tento mechanismus ovlivňuje všechny typy modifikací dřeva (Sandberg a kol. 2017).

5.1.3 Procesy modifikace dřeva

V procesu modifikace dřeva dochází k působení chemického, biologického nebo fyzického činidla na materiál, což má způsobit požadované zlepšení jeho vlastností.

Dřevo je přírodní materiál a považuje se za netoxický prvek. Dřevo upravené modifikací by mělo toto kritérium také splňovat a neuvolňovat žádné toxické látky, a to jak během provozu, tak ani při jeho likvidaci nebo recyklaci. Nevylučuje to však použití nebezpečných látek při přípravě či samotném průběhu za předpokladu, že po dokončení úpravy nezůstanou žádné nebezpečné prvky.

K úpravě dřeva lze použít čtyři hlavní typy procesů:

- chemické ošetření,
- termo-hydro (TH) a termo-hydro-mechanické (THM) ošetření,
- ošetření založené na biologických procesech,
- fyzikální ošetření pomocí elektromagnetického záření nebo plazmy (Sandberg a kol. 2017).

5.2 Chemická modifikace

U chemické modifikace dochází k reakci chemického činidla s polymerními složkami dřeva – ligninu, celulózy a hemicelulózy, která vytváří stabilní kovalentní vazby mezi činidlem a polymery buněčné stěny (Rowell, 1983).

Tato modifikace je považována za aktivní, neboť jejím důsledkem je chemická změna v polymerech buněčné stěny (Sandberg a kol. 2017).

Dřevo je porézním materiálem. V buněčných stěnách se váže voda na hydroxylové skupiny. V důsledku toho je při zvyšující se vlhkosti dřevo více náchylné k mikroorganismům, které zde mají hostinné podmínky a díky jejich kolonizaci dochází k procesu rozpadu. Za předpokladu, že jsou tyto hydroxylové skupiny chemicky nahrazeny hydrofobnějšími chemickými skupinami, chemická látka rozšíří buněčnou stěnu a sníží úroveň vlhkosti a zamezí kolonizaci škodlivých mikroorganismů.

Jednou z nejvíce využívaných komerčních metod tohoto typu je acetylace. Veškeré dřevo obsahuje nízkou hodnotu acetylových skupin. Zvýšením jejich obsahu se mění vlastnosti dřeva. Pokud značný počet hydroxylových skupin acetyluje konzistentně, dřevo dosáhne maximální rozměrové stability a trvanlivosti (Rowell a kol. 2014).

5.3 Modifikace zhuštěním

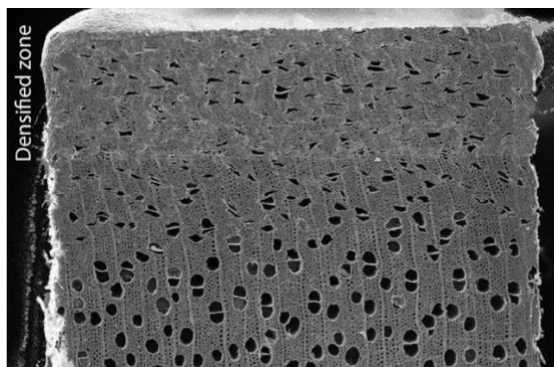
Je mnoho variant k vylepšení vlastností dřevěných materiálů, klíčový je účel využití, který rozhoduje o tom, jaký materiál bude vhodný a jakým způsobem bude modifikován. Zhušťování dřeva je proces, který dosahuje zvýšení hmotnosti dřeva na jednotku objemu pomocí mechanických sil, většinou kompresí, bez předúpravy nebo změkčení (Gaff a kol. 2015).

Dřevěný materiál se obecně považuje za nedostačující pro strukturální využití, neb je brán jako měkký, a ne příliš odolný pro tato využití. Pokud by se zvýšila jeho hustota a pevnost, může být alternativou pro různé konstrukční materiály. Požadované mechanické vlastnosti souvisí především s hustotou, proto se po zhuštění materiálu zvyšuje jeho tvrdost a zlepšují mechanické vlastnosti obecně (Senol a kol. 2016).

Termo hydro a termo hydro mechanické modifikace slouží za účelem zlepšení vnitřní struktury dřeva tak, aby sloužilo k potřebám inženýrů, aniž by se změnila jeho ekologické vlastnosti. Tento druh zpracování dřeva je založen výhradně na působení vody a tepla, potažmo mechanické síly (Sandberg a kol. 2013).

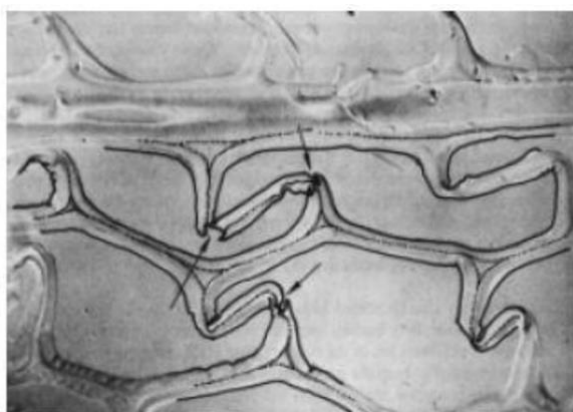
Běžnými procesy modifikace za použití tepla a vody jsou například páření, vaření, sušení při vysokých teplotách. Oproti tomu procesy termo hydro mechanické se používají při tvarování a formování dřeva například svařováním, zhušťováním, ohýbáním ve smyslu tvarování. Výsledky obou těchto technik závisí na tom, zda je proces otevřený nebo uzavřený. V otevřeném procesu není možné upravovat procesní parametry jako je například vlhkost, čas, teplota aj. Naopak v uzavřeném procesu je možné všechny tyto parametry přesně a cíleně regulovat. Nejznámějším příkladem je tepelná degradace dřeva, u které je zásadní rozdíl v závislosti na tom, zda je či není přítomen vzduch (Sandberg a kol. 2013).

Povrchové zhuštění má ve srovnání s hloubkovým několik výhod. Povrchově zhuštěné dřevo má z konstrukčního hlediska vyšší účinnost využití materiálu. U některých materiálů napomáhají hloubkově nezhuštěné části dřeva k lepším charakteristikám tím, že zabraňují regeneraci zhutněných buněk při návratu zpět do vlhkého prostředí. To umožňuje rychlejší a méně nákladné procesy (Neyses, 2016).



Obr. 5.1 Průřez dřeva po povrchovém zhuštění (Sandberg a kol. 2017).

Po zhuštění v celém objemu se snižuje velikost materiálu, což může být v některých případech nevýhodou. Tento jev lze minimalizovat laminováním dřeva zhuštěného, ale i nezhuštěného dřeva, dosáhneme tím navýšení potřebného objemu (Kutnar a kol. 2008). Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím modul pružnosti je kompresní rychlost, nastavení teploty pro tento proces nemá takový význam. Po termo mechanickém zhuštění může dojít ke snížení objemu mezibuněčných prostor, a naopak ke zvýšení obsahu buněčných stěn. U mikrobiologického zkoumání se projevují teplotní a rychlostní výkyvy. Při pozorování se zjistilo, že při nízké teplotě a vysoké kompresní rychlosti dochází častěji k rozpadu buněčných stěn, což významně sníží mechanické vlastnosti materiálu (Senol, a kol. 2016)

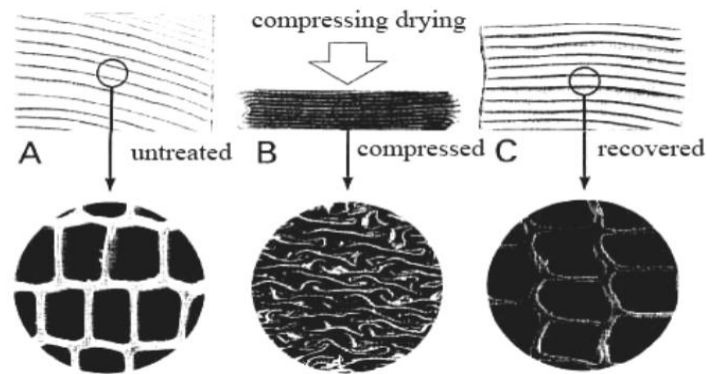


Obr. 5.2 Deformace buněčné struktury u TM modifikace (Senol a kol. 2016).

5.3.1 Spring back (zpětné odpružení)

Při kompresním zhušťování hraje důležitou roli přírodní elastická struktura dřeva. Pokud je teplota dřeva nad kritickou teplotou, může být dosaženo zhuštění bez významné

deformace v amorfních polymerech a bez buněčných havárií. Kompresní vlastnosti většinou závisí na hustotě dřeva, vlhkosti, objemu buněčné stěny a směru stlačení. Jedním z problémů při operaci zahušťování je zpětné zhuštění. Pokud je dřevo po zhuštění vystaveno vlhkosti nebo vodě, má tendence vrátit se zpět do původního stavu a objemově nabývá (Senol a kol. 2016).



Obr. 5.3 Zpětné zhuštění u kompresně stlačeného materiálu (Senol a kol. 2016).

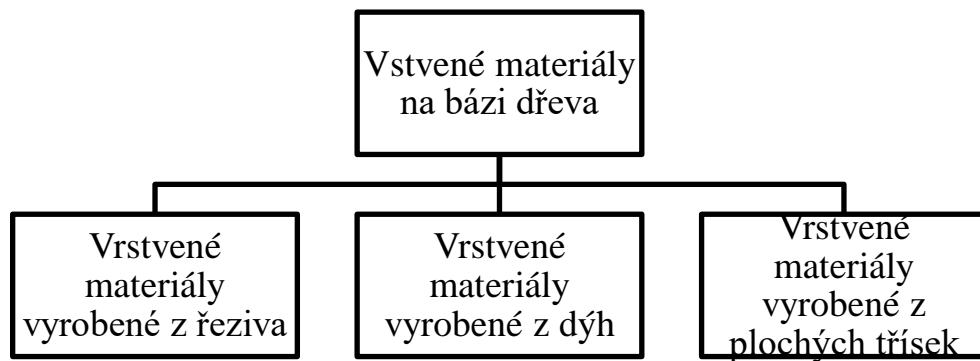
5.3.2 Speciální metody zhuštění

Výše popisované zhuštění je dle (Song a kol. 2018) neúplné, tedy nedostatečně rozměrově stabilní a dochází k reakcím, zejména ve vlhkém prostředí. Dle tohoto výzkumu, kdy při předběžném zpracování dřeva párou, teplem, amoniakem nebo válcováním za studena a následným zahuštěním, došlo ke zvýšenému mechanickému výkonu přírodního dřeva. Přesněji tento dvoustupňový proces zahrnuje částečné odstranění ligninu a hemicelulózy z přírodního dřeva jeho vařením ve vodní směsi NaOH a Na₂SO₄, následným lisováním za tepla, díky čemuž dojde k úplnému rozpadu buněčných stěn a totálnímu zhuštění přírodního dřeva. Tato modifikace dokáže až desetinásobně zvýšit pevnost, houževnatost a rozměrovou stabilitu. U této modifikace nezáleží na druhu dřeva. Výsledné pevnosti dosahují lepších výsledků než strukturální kovy a slitiny (Song a kol. 2018).

5.4 Modifikace vrstvením

Vrstvení dřevěných materiálů vzniká z několika důvodů, kterými jsou zejména rozměrová omezenost a anizotropní vlastnosti. Vrstvením je možné vytvořit několik

homogenních i heterogenních vrstev materiálu a velkou měrou odbourat negativní vlastnosti rostlého dřeva. Variací dřev různé hustoty, tvrdosti a jiných charakteristik, je s kombinací lepidel i nedřevních komponentů možné vytvořit materiály, které budou svými vlastnostmi schopné plně konkurovat ostatním materiálům v průmyslovém odvětví. Variant vrstvení dřevěných materiálů je mnoho. Níže je popsáno několik způsobů vrstvení, které jsou nejvíce typově podobné testovaným vzorkům (Sandberg a kol. 2018).



Obr. 5.4 Schéma vrstvených materiálů na bázi dřeva (Vlastní zpracování).

5.4.1 Vrstvené materiály vyrobené z řeziva

Vrstvené materiály vyrobené z řeziva jsou jedním z nejjednodušších produktů na bázi dřeva. Je vyráběno z prořezů vhodného sortimentu dřeva v závislosti na využití. Nejužívanějšími materiály vyrobenými z řeziva jsou spárovky, lepené lamelové dřevo (Sandberg a kol. 2018, Böhm a kol. 2012).

Spárovky jsou vyrobeny z bočních ploch přířezů masivního dřeva (lamel), lepeny vzájemně bočními plochami, do formátu desek. Spárovky se občas lepí podélně, nejčastěji ozubovým spojem, pro vytvoření velkých ploch. Pro výrobu jsou použity nejrůznější kvality materiálu vzhledem ke konečnému využití. Pro lepení je nejčastěji užíváno PVAC lepidlo. Nejčastější využití najdeme u truhlářských výrobků a interiérů (Sandberg a kol. 2018, Böhm a kol. 2012).

Lepené lamelové dřevo je vyrobeno z tloušťkově lepených přířezů masivního dřeva s rovnoběžnou orientací vláken. Je to konstrukční materiál pro nosné účely.

Na výrobu jsou častěji používány jehličnaté dřeviny, obvykle smrk, modřín a borovice. Velkou výhodou lepeného lamelového dřeva je vysoká pevnost a tuhost. Proto je hojně využíváno pro konstrukce s širokým rozpětím a zvýšenou únosností (Sandberg a kol. 2018).

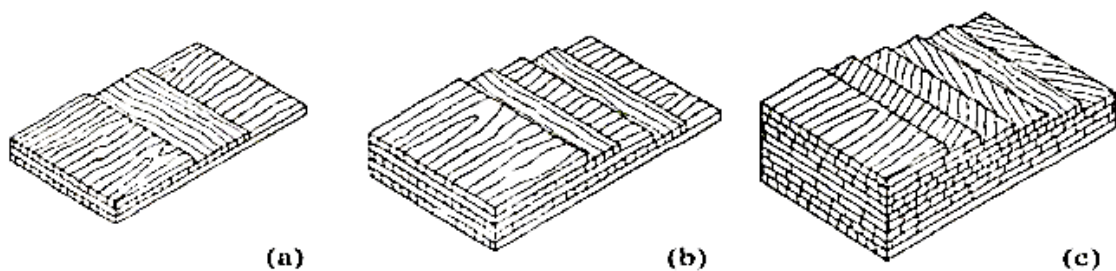
5.4.2 Vrstvené materiály vyrobené z dýh

Dýha je tenká vrstva dřeva vyráběna loupáním, krájením nebo řezáním. Pro základní rozlišení můžeme dýhy rozdělit na konstrukční – vyztužovací středová vrstva materiálu a okrasné – vrchní dekorativní vrstva. U této kategorie nás nejvíce zajímají překližky a vrstvené dýhové dřevo – LVL.

Překližky jsou složeny vždy z lichého počtu dýh. Jsou takzvaně překližovány, tedy křížově lepeny, nejčastěji v 90° orientaci vláken. Díky tomu se výrazně snižuje anizotropie materiálu, bobtnání a sesychání. Variací počtu lepených vrstev, kombinací dřevin a různých povrchových úprav je možné vyrobit překližky různého vzhledu a odlišných fyzikálních a mechanických vlastností (Böhm a kol. 2012, Sandberg a kol. 2018).

Na obrázku jsou různě vrstvé překližky:

- třívrstvá, křížem lepená (90°),
- pětivrstvá, křížem lepená (90°),
- devítivrstvá, s orientací vláken ($22,5^\circ$).



Obr. 5.5 Vícevrstvé překližované materiály (Sandberg a kol. 2018).

Vrstvené dýhové dřevo je nejpodobnějším materiálem našeho testování. Je vyrobeno podélným slepením dýh tloušťky 2–5 mm se stejnou orientací vláken. Vrstvené dýhové dřevo – LVL je rozměrově stabilní, má homogenní fyzikální

i mechanické vlastnosti a vysokou pevnost. Dýhy jsou vrstveny synteticky, kdy jsou dýhy nejnižších kvalit vloženy do vnitřní vrstvy a dýhy kvalitnější na vrchní vrstvy. Kvalita povrchových dýh zvyšuje pevnost v ohybu a modul pružnosti (Sandberg a kol. 2018).

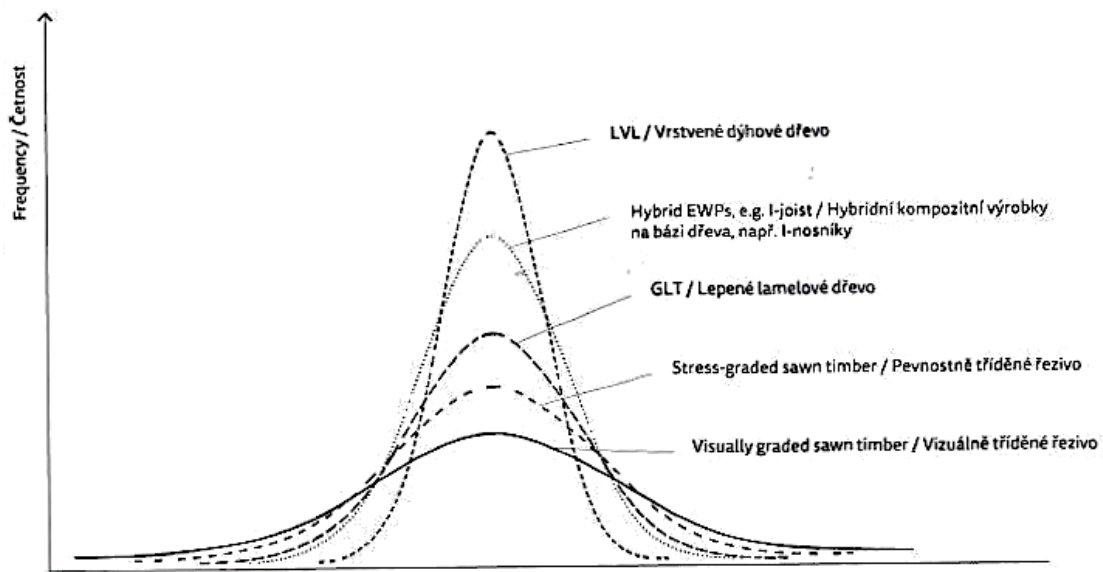
Lamelování je speciální způsob vrstvení materiálu, kdy jsou jednotlivé dřevěné vrstvy – lamely, dýhy, případně desky či masivní dílce lepené tak, že zachovávají stejnou orientaci dřevních vláken (Sedlačík, 1998).

5.4.3 Vrstvené materiály vyrobené z plochých třísek

Tyto materiály jsou vyráběny ze zbytkových dřevních surovin, z méně kvalitních částí kmene nebo z odpadních dřevních materiálů jako je štěpka, třísky, piliny.

U vrstveného dřeva z paralelních třísek – PSL je zachována stejná orientace vláken. Je vyráběno z menších pásů dýh slepených k sobě. Na výrobu jsou nejčastěji použity paralelně orientované dýhové pásy vzniklé při rotačním loupání nebo ze zbytků dýh (Sandberg a kol. 2018).

U následujícího obrázku je graficky znázorněna různá variabilita v rámci typu dřevěných materiálu. U tříděného řeziva dochází k poměrně značným výkyvům, naopak u kompozitních materiálů je variabilita nízká. Tedy na příkladu vysvětleno, u 100 zkušebních vzorků dosahují materiály podobných hodnot.



Obr. 5.6 Distribuce četnosti a variabilita různých materiálů na bázi dřeva (Sandberg a kol. 2018).

6 Lepidla

Lepidla pro dřevěné spoje se rozdělují do různých skupin na základě jejich chemických složení, typu využití a jejich povahy. Různé druhy aditiv a pryskyřic hrají důležitou roli v pevnosti spoje. Ačkoli jsou syntetická lepidla pro dřevěné spoje vhodná a dobře fungují, nastává trend využívání přírodních lepidel, díky své ekologicky šetrné povaze vůči životnímu prostředí (Conner a kol. 2017).

6.1 Lepení

Lepení je spojení dvou pevných ploch. Lepidlo vyplňuje mezeru mezi plochami a utváří tak pevný celek, který je mezi sebou schopen přenášet působící síly. U dřevěných materiálů je lepidlo nanášeno na sloučené plochy, kde vyplňuje buněčné dutiny. U spoje je důležitá jeho pevnost a přilnavost. Funkčnost spoje je měřitelná jako vzájemná kompaktnost lepených dílců vůči různým vnějším vlivům a podmínkám (Sandberg a kol. 2018).

6.2 Vybraná lepidla pro dřevařství

Pro dřevěné spoje existuje velké množství lepidel, řada z nich je schopna utvářet pevnější spoje než dřevo samo. To však závisí na kvalitě dobře provedené aplikace lepidla na lepenou plochu a dalších proměnných, jakými jsou kvalita opracované plochy, rovnoměrný nános filmu lepidla ad. Pro maximální kvalitu spoje je třeba zabezpečit vhodné složení lepidla, teplotu při procesu a kontrolovat jeho lisovací čas, tlak i vlhkost.

Lepidla je možné rozdělit do několika skupin. Nejčastějším rozdělením je třídění podle chemické podstaty a vazebního charakteru (Sandberg a kol. 2018).

Bylo vybráno několik nejužívanějších lepidel pro materiály na bázi dřeva.

6.2.1 Močovino-formaldehydová lepidla – UF

Močovino-formaldehydová lepidla patří k nejrozšířenějším, a to zejména díky své nízké ceně. Jsou to nejpoužívanější lepidla v nábytkářství, především pro interiérová využití, kvůli špatné odolnosti vůči vodě. Mají světlou barvu, velmi rychle vytvrzují a jsou nehořlavá. Slabinou močovino-formaldehydových lepidel je hydrolytická

nestabilita, a navíc se při depolymeraci uvolňuje množství formaldehydu (Sandberg a kol. 2018, Böhm a kol. 2012).

6.2.2 Fenol formaldehydová lepidla – PF

Jde o nejstarší typ syntetických lepidel, který se nadále využívá ve velkém měřítku. Díky jejich dobrým adhezivním vlastnostem a vysokou pevností spoje se zejména v Severní Americe využívají pro výrobu aglomerovaných a konstrukčních materiálů na bázi dřeva, typicky pro konstrukční překližky a desky z orientovaných plochých třísek. Tato lepidla se používají také pro různé druhy laminátů a kompozitů (Sandberg a kol. 2018, Böhm a kol. 2012).

6.2.3 Epoxidová lepidla

Jako jediná z výběru jsou epoxidová lepidla dvousložková polymerní lepidla, která vytvrzují teplem. Velkou výhodou je jejich tepelná a chemická odolnost. Jsou často využívána pro dřevěné kompozitní materiály se skelným vláknem při výrobě dřevěných lodí i pro lepené vrstvené dřevo. Vynikají vysokou trvanlivostí a jsou vcelku snadno aplikovatelná. Naopak nevýhodami jsou poměrně vysoká cena a dlouhé intervaly vytvrzování (Sandberg a kol. 2018).

6.3 PVAc lepidla

PVAc lepidla jsou lineární polymery se základním řetězcem, jsou tedy velmi pružná na rozdíl od tuhé povahy formaldehydových lepidel, která se běžně využívají na dřevo. Polyvinylacetátová lepidla mají vysoký obsah acetátových skupin a flexibilní páteřní vazby, díky tomu tvoří mnoho vodíkových vazeb s různými frakcemi dřeva (Frihart, 2012).

Pro spoje dřevěných dílců se využívají různá termoplastická lepidla. Polyvinylacetátová lepidla (PVAc) disponují velmi dobrými ohybovými vlastnostmi a odolností proti vodě. Díky vysokým emisním rizikům u formaldehydových lepidel se zvyšuje zájem o aplikaci PVAc lepidel u kompozitních materiálů, nábytků a jiných interiérů.

Z hlediska životního prostředí jsou na lepidla kladeny stále vyšší nároky na hygienickou bezpečnost a nezávadnost. Do popředí se proto dostávají lepidla, která nejsou syntetizována pomocí formaldehydu. U PVAc lepidel jsou nulové emise formaldehydu. Vzhledem k tomu se při vrstvení dřevěných materiálů stále více využívají polyvinylacetátová lepidla, která jsou běžně vyráběna jako vodní disperze. PVAc lepidlo má dobré adhezivní vlastnosti, s vysokou pevností a odolností vůči vodě. Lepený spoj je bezbarvý, což je výhodou při viditelných spojkách. Jeho další výhodou je nepochybně i přijatelná cena a nízká viskozita.

Lepidla pro lepení dřeva mají velkou variabilitu mechanických vlastností ve vytvrzeném stavu. U těchto vlastností musíme počítat s ovlivňujícími faktory, jakými jsou například teplota, vlhkost a stárnutí spojů. Vlhkost často způsobuje měknutí filmu a teplota snižuje jeho tvrdost (Böhm a kol. 2012, Šmidriaková a kol. 2015).

7 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Dřevo má oproti jiným materiálům zcela odlišné vlastnosti a charakteristiky. Při různých způsobech zatížení se chová jinak než klasické izotropní materiály. Zde je shrnuto několik základních vlastností dřeva a jeho chování při mechanickém namáhání.

7.1 Obecné rozdělení

Podle základního rozdělení dřeva jsou níže popsány fyzikální a mechanické vlastnosti.

7.1.1 Fyzikální vlastnosti:

Z fyzikálních vlastností dřeva je hustota jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují mechanické testování.

Základní fyzikální vlastnosti dřeva rozdělujeme na:

- vlhkostní vlastnosti,
- hustotu,
- tepelné vlastnosti,
- elektro fyzikální vlastnosti,
- akustické vlastnosti,
- povrchové a optické vlastnosti (Grandelová a kol. 2002).

7.1.2 Mechanické vlastnosti:

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. U dřeva na rozdíl od izotropních materiálů hraje důležitou roli směr zatížení. V podílném a příčném směru zatížení na vlákna se vyskytují významné rozdíly. Mechanické vlastnosti jsou rozděleny do tří základních skupin – **základní, odvozené, technologické** (Požgaj, 1997).

Základní mechanické vlastnosti

- pevnost,
- pružnost,
- plastičnost,
- houževnatost.

Odvozené mechanické vlastnosti

- tvrdost,
- odolnost proti tečení,
- odolnost proti trvalému zatížení,
- odolnost proti únavovému lomu.

Technologické vlastnosti dřeva

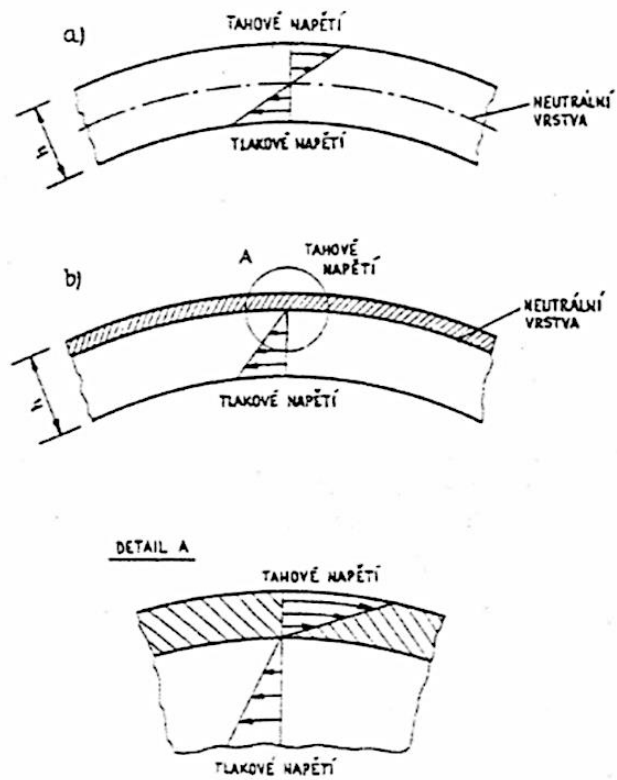
- štípatelnost,
- opotřebovatelnost,
- impregnovatelnost,
- ohýbatelnost (Grandelová a kol. 2002).

7.2 Mechanické namáhání

Mechanické namáhání je děj, při kterém působí vnější mechanická síla na dřevo. Výsledkem tohoto děje jsou dočasné nebo trvalé změny tvaru dřeva. Dle fyzikální podstaty sil rozdělujeme namáhání na mechanické, vlhkostní a tepelné, přičemž započítáváme do úvahy i časovou složku.

Napětí definujeme jako velikost vnitřní síly na jednotku plochy. Jestliže působí síly kolmo na průřezovou plochu tělesa, jedná se o **normálové napětí σ** . Nejrozšířenějším napětím v tomto směru je napětí v **tahu a tlaku**.

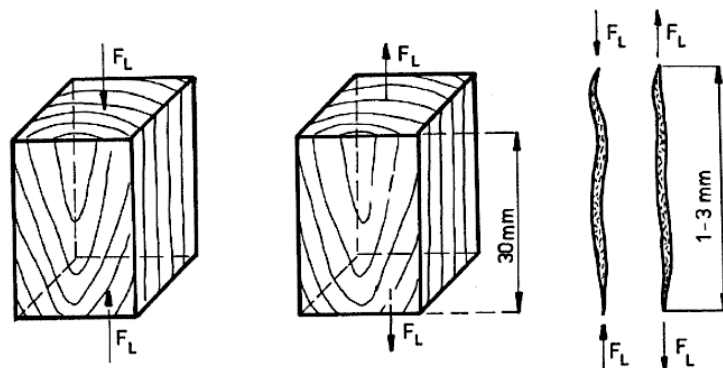
Síly působícími v rovině průřezu vzniká **tangenciální (smykové) napětí τ** . Kombinací normálového a tangenciálního napětí vzniká **ohyb** (Grandelová a kol. 2002).



Obr. 7.1 Namáhání dřevěného hranolu v ohybu (Trávník, 2003).

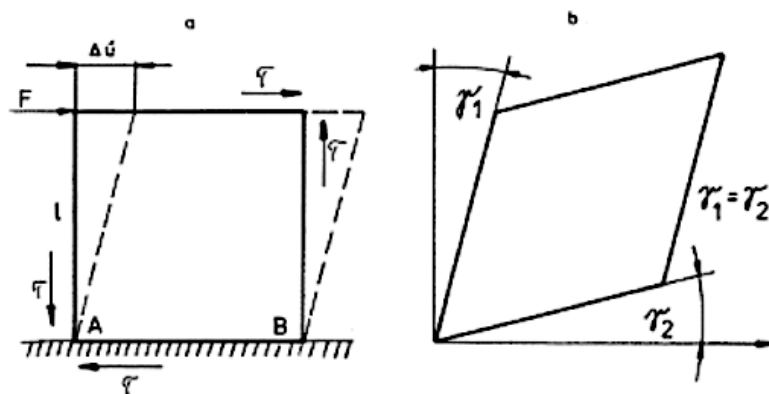
7.3 Důležité pojmy

Napětí je definováno jako síla působící na jednotku plochy. Síla působící kolmo na plochu koná normálové napětí (TAH či TLAK), síla působící ve směru tečny k ploše koná napětí tečné (SMYK).



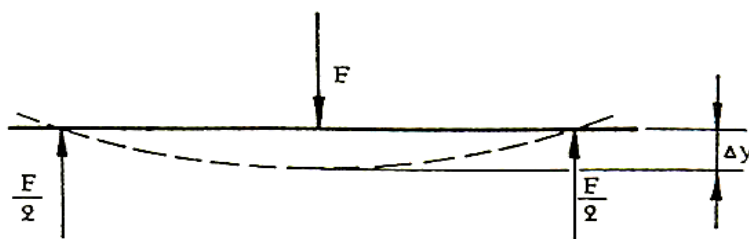
Obr. 7.2 Napětí v tahu a tlaku (Požgaj a kol. 1997).

Deformace je definována jako změna tvaru tělesa působením vnější síly. Deformace pružná (elastická) se po odstranění působící síly vrací do původního stavu. Deformace trvalá (plastická) se nevrací do původního stavu, naopak jsou zde trvalé změny.



Obr. 7.3 Deformace při smykovém napětí (Požgaj a kol. 1997).

Průhyb je vzdálenost namáhaného tělesa od původní vodorovné roviny ve směru namáhání.

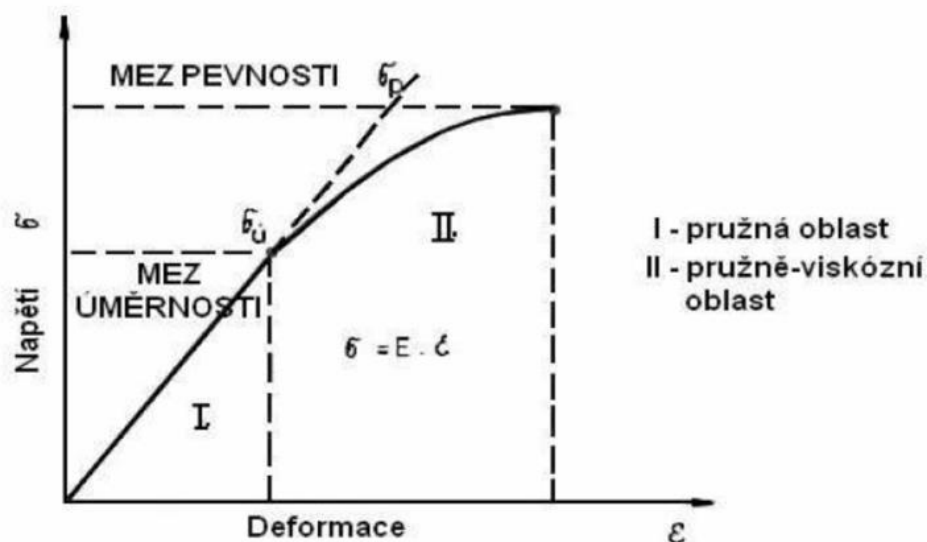


Obr. 7.4 Zobrazení průhybu namáhaného tělesa (Matovič, 1993).

7.4 Pracovní diagram

Pracovní diagram v zásadě rozdělujeme na dvě části. Lineární část po **mez úměrnosti** σ_u a nelineární část nad mezí úměrnosti po **mez pevnosti** σ_p .

Mez úměrnosti je definována jako takové napětí, do kterého v tělese vznikají pouze deformace pružné. Po ukončení působící síly deformace zcela zanikají a těleso se vrací do původního stavu. U napětí nad mezi úměrnosti deformace stále rostou, ale napětí v tělese není rozloženo rovnoměrně. Tato deformace se označuje jako plastická, není přímo úměrná napětí a po ukončení působící síly deformace zůstávají.



Obr. 7.5 Pracovní diagram (Matovič, 1993).

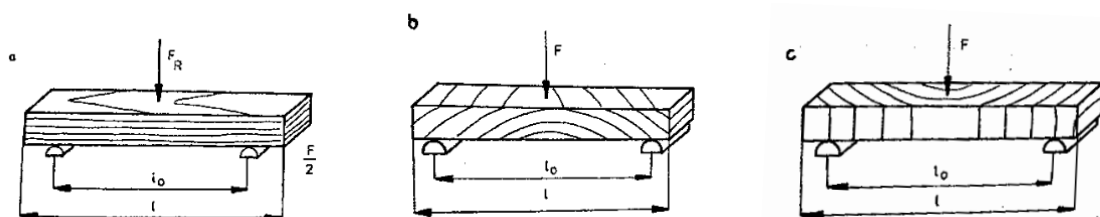
7.5 Ohyb

Ohyb je schopnost dřeva poměrně lehké deformace při působení ohybového momentu. Provádí se ohýbáním dřeva na vyměnitelných šablonách, jejichž poloměr se postupně snižuje až do porušení tělesa – zlomu. Mírou ohýbatelnosti je velikost poloměru oblouku, do kterého je ještě možné dané těleso ohnout bez porušení. Tato schopnost se zvyšuje zejména díky plastifikaci dřeva, jeho pářením či vařením. Dřevo listnatých dřevin se ohýbá lépe než dřevo jehličnatých dřevin. Pozitivně ji ovlivňují dlouhá vlákna s minimálním odklonem od podélné osy, rovnoměrná stavba letokruhů a vlhkost dřeva do MH.

Pevnost dřeva v ohybu je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností. U dřeva rozlišujeme dva základní způsoby pevnosti v ohybu s ohledem na průběh vláken.

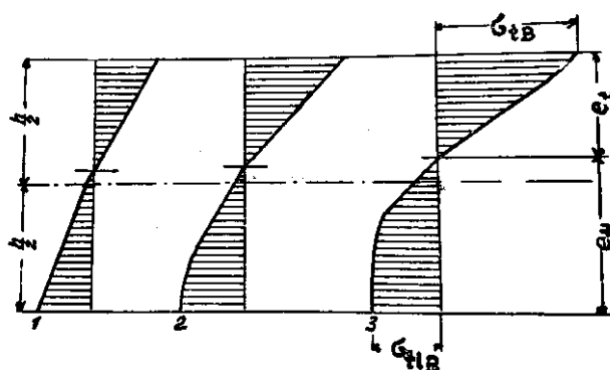
- pevnost v ohybu napříč vláknem v radiálním nebo tangenciálním směru,

- pevnost v ohybu ve směru působící síly (a) nebo kolmo (c).



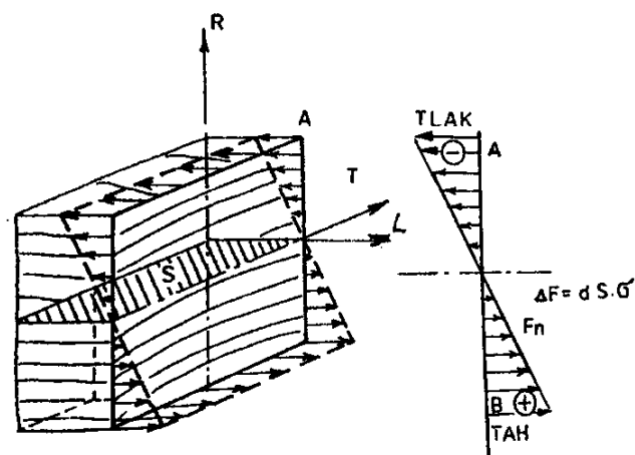
Obr. 7.6 Namáhání nosníku v různých směrech (Požgaj a kol. 1993).

Namáháme – li dřevěný nosník ohybem, deformuje se, přičemž vznikají na vnější (konvexní) straně napětí tahová, na vnitřní (konkávni) straně napětí tlaková. Neutrální osa přibližně uprostřed tělesa je nezatížena.



Obr. 7.7 Rozložení napětí (Trávník, 1952).

Mezi tahovým a tlakovým napětím je tzv. neutrální vrstva, kde přechází tahové napětí v tlakové a vzniká smykové napětí. Vzhledem k tomu, že tlaková pevnost dřeva podél vláken je mnohem menší než tahová pevnost, začíná porušení tělesa při ohybu v tlakové zóně vybočováním vláken, což je málokdy pozorovatelné pouhým okem. Konečné porušení tělesa probíhá v tahové zóně, kdy po překročení meze pevnosti dojde nejdříve k odštěpení krajních vláken, a potom k úplnému zlomení tělesa.



Obr. 7.8 Rozložení napětí ve výšce tělesa (Požgaj a kol. 1993).

Pokud má nastat trvalá deformace, je důležité eliminovat smykové napětí prodloužením tahových zón, a naopak zkrácením zón tlakových. Kritickým místem při ohýbání dřeva je tahová zóna. Roztažnost dřeva v podélném směru je v neupraveném přírodním stavu 0,75 - 1,00 %, pomocí hydrotermické úpravy se zvýší na 1,5 - 2,00 %. Oproti tomu stlačitelnost je mnohonásobně vyšší, dosahuje až 30 %. Po praktické stránce se tedy využívá v ohýbání vyšší stlačitelnost za pomoci čelního tlaku dřeva na kovové pásnice. Přiložením pásnice na vnější stranu hranolu vytváříme posun neutrální (smykové) plochy směrem k pásnici, a tedy zvýšený poměr ohybu. Maximální ohyb dřevěného dílce se uvádí kritickým ohybem, což je poměr tloušťky dílce k poloměru ohybu (Požgaj a kol. 1993, Trávník, 2004).

8 Metodika práce

Na základě cíle práce byla metodika rozdělena do následujících bodů:

- rozměrová příprava lamel,
- rozdělení do jednotlivých kategorií,
- měření zkušebních vzorků,
- zhušťování lamel,
- vrstvení lepením,
- provádění vlastní mechanické zkoušky,
- vyhodnocení sledovaných charakteristik z pracovního diagramu,
- statistické vyhodnocení.

8.1 Rozměrová příprava lamel

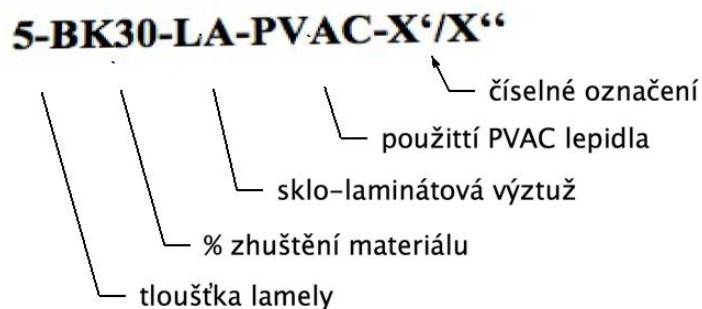
Pro přípravu zkušebních těles bylo získáno omítané radiální řezivo buku lesního (*Fagus sylvatica linné*) z nejvyšší kvality pilařského zpracování 3A, o přibližné vlhkosti $8\% \pm 1\%$. Bukové lamely byly zkráceny formátovou pilou na přesný rozměr. Délka byla v závislosti na spodní podpěry ohýbacího stroje vždy dvacetinásobek tloušťky lamely + 40 mm. Tedy u tloušťky 5 mm lamel 140 mm u samostatných a 240 mm u vrstvených, u tloušťky 9 mm lamel 220 mm u samostatných a 400 mm u vrstvených. Formátování probíhalo dle jasných pravidel, kdy byla tělesa zkušebních vzorků utvořena vždy z jednoho kusu lamely.



Obr. 8.1 Formátování bukových lamel.

8.2 Rozdělení do jednotlivých kategorií

Hned po formátování jednotlivých dílců byly vzorky označeny tak, aby nedocházelo k záměně. Z hlediska statistické relevantnosti byly všechny zkušební soubory složeny ze 30 zkušebních těles, rozděleny celkem do 16 skupin dle zhuštění a vrstvení s celkovým počtem 720 ks zkušebních vzorků bukových lamel. Značení probíhalo dle následujícího schématu:



Obr. 8.2 Označení zkušebních vzorků.

Po označení vzorků došlo k přesnému měření a vážení jednotlivých lamel. Ze zaznamenaných dat byla vypočítána počáteční hustota vzorků.

8.3 Řešení zkušebních vzorků

Výpočet modulu pružnosti.

Pro výpočet modulu pružnosti je znám vzorec:

$$MOE = \frac{(F_2 - F_1) * l_0^3}{4 * b * t^3 * (a_2 - a_1)} \quad [MPa] \quad [1]$$

vzorec 1 Vzorec pro výpočet modulu pružnosti.

l_0 = vzdálenost podpěr (mm)

b = šířka tělesa (mm)

h = výška tělesa (mm)

$F_1 ; F_2$ = dolní a horní hranice zatížení (N)

$a_1 ; a_2$ = průhyb tělesa odpovídající zatížení F_1 a F_2 (mm)

Modul plasticity.

Pro výpočet modulu plasticity je znám vzorec:

$$MOP = \frac{\sigma_d - \sigma_b}{\varepsilon_d - \varepsilon_b} \quad [MPa] \quad [2]$$

vzorec 2 Vzorec pro výpočet modulu plasticity.

σ_d = napětí v mezi pevnosti

σ_b = napětí v mezi proporcionality

ε_d = deformace na mezi pevnosti

ε_b = deformace na hranici proporcionality

Výpočet pevnosti v ohybu.

Pro výpočet pevnosti v ohybu je znám vzorec:

$$MOR = \frac{3 * F_{max} * l_0}{2 * b * t^2} \quad [MPa] \quad [3]$$

vzorec 3 Vzorec pro výpočet pevnosti v ohybu.

l_0 = vzdálenost podpěr

b = šířka tělesa (mm)

t = tloušťka zkušební tělesa

F_{max} = maximální zatížení

Totální práce v plastické oblasti.

Pro výpočet totální práce v plastické oblasti je znám vzorec:

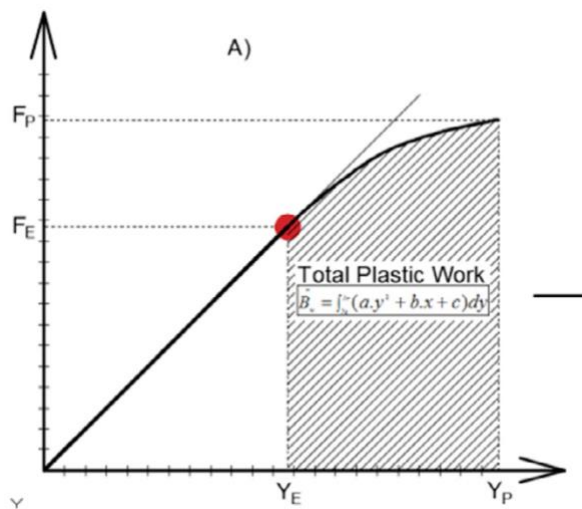
$$A_c = \varphi * F_p * Y_p \quad [J] \quad [4]$$

vzorec 4 Vzorec pro výpočet práce v plastické oblasti.

φ = stupeň vyplnění plochy

F_p = síla pevnosti v ohybu

Y_p = průhyb pevnosti v ohybu



Obr. 8.3 Totální práce v plastické oblasti (Gaff a Babiak, 2017).

Aproximovaná práce v plastické oblasti.

Pro výpočet aproximované práce v plastické oblasti je znám vzorec:

$$\Delta W = \frac{F_p - F_E}{2} * (y_p - y_E) \quad [J] \quad [5]$$

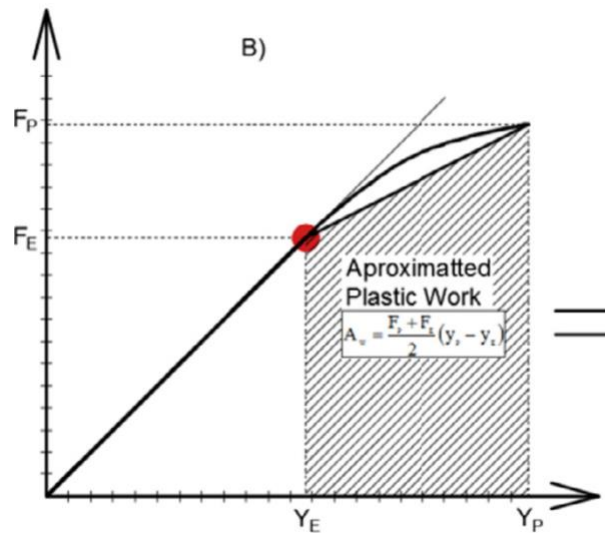
vzorec 5 Vzorec pro aproximovanou práci v plastické oblasti.

F_p = síla v mezi pevnosti

F_E = síla v mezi proporcionality

y_p = průhyb pevnosti v ohybu

y_E = průhyb v mezi proporcionality



Obr. 8.4 Práce v aproximované oblasti (Gaff a Babiak, 2017).

Aproximovaná chyba.

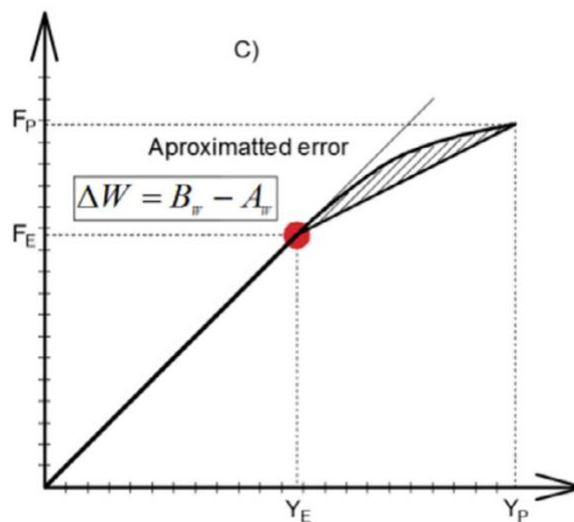
Pro výpočet aproximované chyby v plastické oblasti je znám vzorec:

$$A_W = \frac{B_W - A_W}{B_W} * 100 \% \quad [\%] \quad [6]$$

vzorec 6 Vzorec pro aproximovanou práci v plastické oblasti

B_w = totální práce

A_w = aproximovaná práce



Obr. 8.5 Aproximovaná chyba (Gaff a Babiak, 2017)

8.4 Zhušťování lamel

Na připravených testovacích vzorcích bylo provedeno zhuštění. Lisování probíhalo po jednotlivých kusech na hydraulickém lisu se spodní i horní vyhřívanou deskou. Teplota lisovacích desek byla nastavena na 120°C. Lamely byly ihned po lisování přeměřeny a zváženy. V tabulce 1 jsou průměrné hodnoty lisovacího tlaku a přibližný čas lisování u jednotlivých zhuštění a tloušťky lamel.

Tab. 1 Technické parametry při zhuštění.

Stupeň zhuštění	BK 5 mm		BK 9 mm	
	<i>Tlak (Mpa)</i>	<i>Čas (min)</i>	<i>Tlak (Mpa)</i>	<i>Čas (min)</i>
30 %	34,2	7	42,7	11
40 %	36,3	8	43,4	12

Lamely byly po zhuštění ponechány v místnosti s konstantní pokojovou teplotou 21 °C po dobu jednoho týdne. Jejich průměrná relativní vlhkost dosahovala 6,9 %. Po relaxaci byly znovu přeměřeny a zváženy. Takto se zjišťoval vliv zpětného odpružení. Průměrné hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 2 a 3, rozděleně pro 5 mm a 9 mm lamely.

Tab. 2 Velikost zpětného odpružení a změn hustoty u 5 mm lamel.

Stupeň zhuštění %	Tloušťka před zhuštěním (mm)	Tloušťka po zhuštění (mm)	Tloušťka po zpětném odpružení (mm)	Hustota před zhuštěním (kg/m ³)	Hustota po zhuštěním (kg/m ³)
30 %	5,16	3,71	3,77	711	919,01
40 %	5,2	3,25	3,4	692,34	1059,71

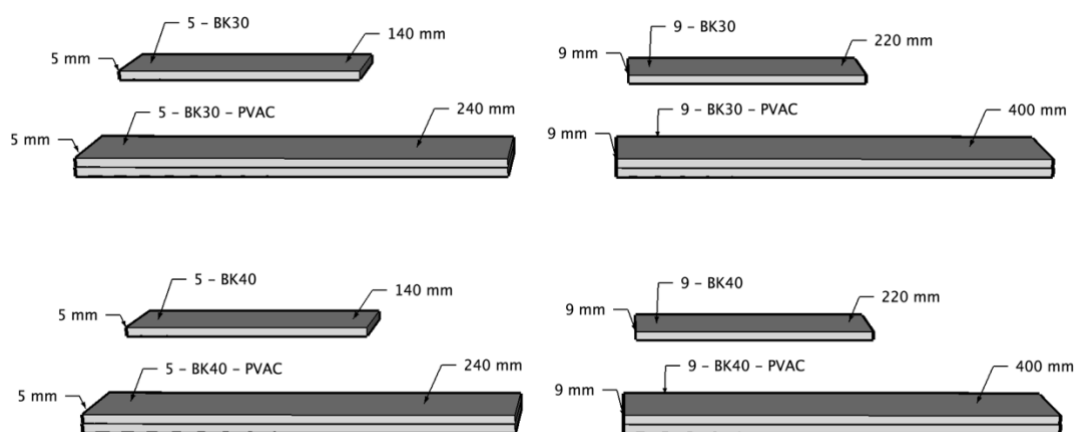
Tab. 3 Velikost zpětného odpružení a změn hustoty u 9 mm lamel.

Stupeň zhuštění %	Tloušťka před zhuštěním (mm)	Tloušťka po zhuštění (mm)	Tloušťka po zpětném odpružení (mm)	Hustota před zhuštěním (kg/m ³)	Hustota po zhuštění (kg/m ³)
30 %	9,21	6,52	6,57	679	904,11
40 %	9,33	5,92	5,96	674,31	992,5

Z tabulek je možné vyčíst, že při stabilizaci zkušebních těles nedošlo k výraznému zpětnému odpružení. U 5 mm lamel se jednalo o změnu v rozmezí 2-5 % zpětného odpružení. U 9 mm lamel byl tento jev prakticky neznatelný, jednalo se přibližně o 1 % zpětného odpružení. Jak je zmíněno výše, v tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty. I když byl u zkoumaných těles dodržen stejný postup měření, uvažujeme nepatrnou odchylku v měření, v jednotkách procent.

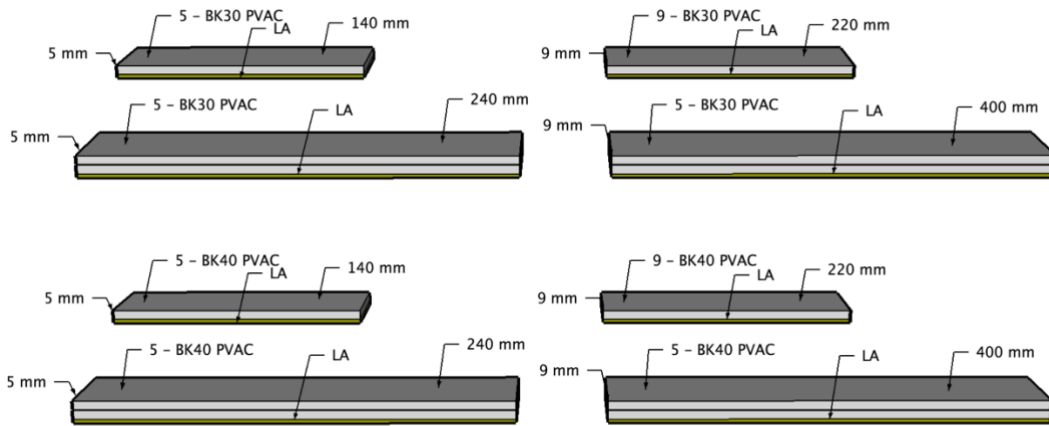
8.5 Vrstvení lepením

Lamely byly po stabilizaci a opětovném přeměření připraveny k vrstvení do finálních souborů. K lepení bylo použito PVAC lepidlo Agglu AG -COLL 8761 D3 viz. příloha A. Dle technického listu je pro dřevěný spoj doporučený dvouvrstvý nános. Postupovalo se dle schématu na obrázku 8.6.

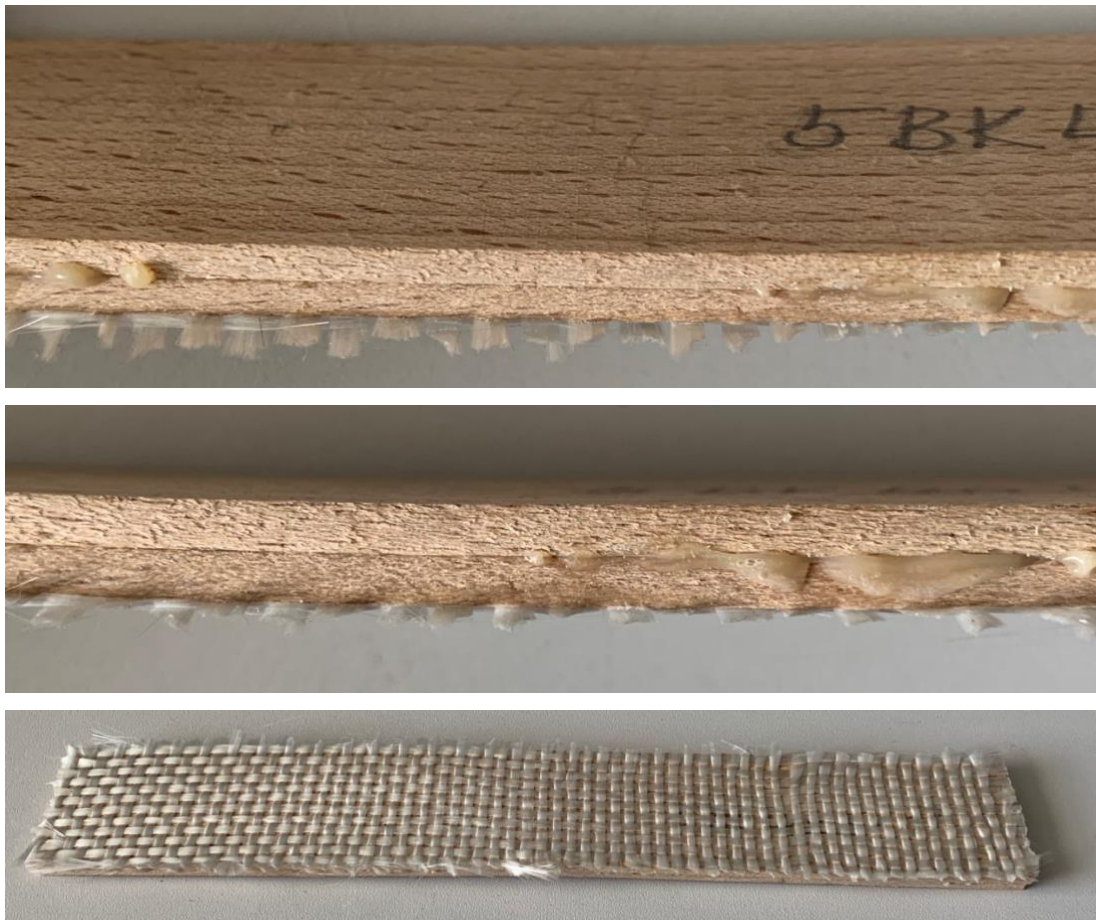


Obr. 8.6 Schéma lepení lamel bez LA výztuže.

U lepení vzorků s textilií ze skelných vláken byl u dřevěných spojů taktéž aplikován dvouvrstvý nános, u spojení dřeva a textilie byl zvolen nános jednovrstvý na dřevěnou plochu lamely. Po rozebrání lepených dílců bylo odstraněno přebytečné vlákno. Postupovalo se dle schématu na obrázku 8.7.



Obr. 8.7 Schéma lepení lamel s LA výztuží.

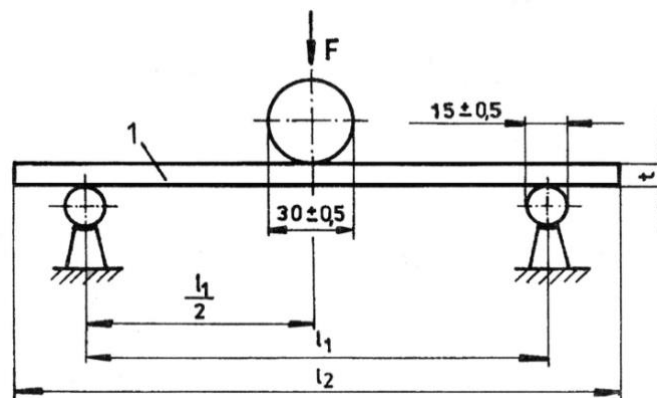


Obr. 8.8 Vrstvená lepená lamela se LA výztuží.

8.6 Provádění vlastní mechanické zkoušky

Zkušební tělesa byla testována tříbodovým ohybem na univerzálním testovací stroji FPZ 100 (TIRA, Německo). Na takto připravených vzorcích proběhla vlastní zkouška dle ČSN EN 310 Stanovení modulu pevnosti a pružnosti v ohybu. Zkoušení probíhalo na univerzálním testovací stroji FPZ TIRA viz. Příloha C.

Schéma zkušebního zařízení při zkoušce tříbodovým ohybem.



Obr. 8.9 Schéma při ohybové zkoušce (ČSN EN 310).

F = zatížení

l = zkušební těleso

t = tloušťka zkušebního tělesa

l_1 = vzdálenost podpěr

l_2 = délka zkušebního tělesa

Podstata zkušební metody:

Podstatou ohybové zkoušky je silové zatížení na středu testovaného tělesa uloženého mezi dvěma podpěrami. Vzdálenost podpěr byla nastavena na dvacetinásobek tloušťky zkušebního tělesa s 20 mm přesahem na každé straně. Při zatížení stroj zaznamenává na základě níže popsáných vztahů mez pevnosti v ohybu, modul pružnosti a modul plasticity.

8.7 Metodika vyhodnocení

Získané výsledné hodnoty sledovaných charakteristik byly po celou dobu zaznamenávány do zkušebního archu v programu MS Excel. Pracovní diagramy byly vyhodnoceny v programu MATESS a výsledná data statisticky zpracována programem STATISTIKA 12. Výsledky jsou graficky i statisticky vyhodnoceny v několika grafech a tabulkách.

Ke zhodnocení výsledků a jejich interakcí byl vybrán Duncanův test, s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Tento test určuje na základě hladiny významnosti P, zda je sledovaný faktor statisticky významný a v jaké míře.

Podle velikosti P se hodnotí sledovaný faktor dle následujících kritérií:

- $P = 0$ – pravděpodobnost, že faktor nepůsobí, je nulová (tzn. faktor **působí**),
- $P \in (0 ; 0,001)$ – vliv faktorů je statisticky velmi významný,
- $P \in < 0,001 ; 0,1)$ – vliv faktorů je středně významný,
- $P < 0,05$ – vliv faktoru **je** statisticky významný,
- $P = 0,05$ – vliv faktoru je na hranici statistické významnosti,
- $P \in < 0,01 ; 0,05)$ – vliv faktorů je statisticky málo významný,
- $P > 0,05$ – vliv faktoru **není** statisticky významný (Gaff a Gáborík, 2009).

9 Zhodnocení výsledků a diskuze

Výsledky vyhodnocení jsou shrnuty do tabulek, kde ke každé hodnotě náleží její variační koeficient (VC), který udává variabilitu měření. U všech získaných měření je výsledný variační koeficient v optimálních hodnotách.

V tabulce č. 4 jsou zaznamenány průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u 5 mm lamel. Pro porovnání jsou seřazeny všechny druhy 5 mm lamel zhuštěných o 30 % i 40 %. Do tabulky byly zařazeny i hodnoty nezhuštěného materiálu pro porovnání.

Tabulka č.4 prezentuje průměrné výsledky testovaných charakteristik u bukových lamel tloušťky 5 mm. Hodnoty uvedené v závorce značí variační koeficient.

Na základě těchto výsledků je vidět pozitivní vliv zhuštění u všech sledovaných charakteristik oproti nezhuštěnému dřevu. To ovšem neplatí pro modul plasticity, u samotných lamel s 40% zhuštěním s textilním vláknem. Samotné zhuštěné lamely dosahují nadprůměrných hodnot u všech testování. Mají nejlepší výsledky jak u modulu pružnosti a pevnosti v ohybu (5 BK40), tak u modulu plasticity (5BK 30). Pro totální plastickou a aproximovanou práci se nejlépe jeví vrstvení i podlepení skelným vláknem. V obou variantách zhuštění mají vysoké hodnoty.

Tab. 4 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u 5 mm lamel.

<i>Materiál</i>	<i>Modul pružnosti „MOE“ (Mpa)</i>	<i>Modul plasticity „MOP“ (Mpa)</i>	<i>Pevnost v ohybu „MOR“ (Mpa)</i>	<i>Plastická práce celková (mJ)</i>	<i>Approximovaná plastická práce (mJ)</i>
<i>5-BK0</i>	13 940 (10,41)	113 (14,94)	143 (7,90)	2 224 (29,76)	2 061 (26,43)
5-BK30	17 902 (15,83)	144 (15,11)	191 (16,44)	1 546 (32,61)	1 475 (31,88)
5-BK30-LA	16 189 (15,12)	116 (16,20)	206 (12,41)	2 702 (22,29)	2 523 (21,43)
5-BK30-BK30	16 640 (11,40)	138 (19,19)	176 (8,28)	7 245 (26,56)	6 824 (25,30)
5-BK30-BK30-LA	16 014 (17,04)	124 (17,85)	189 (12,07)	9 496 (27,47)	8 862 (26,46)
5-BK40	20 476 (11,59)	119 (16,23)	224 (8,56)	1 943 (26,74)	1 838 (25,44)
5-BK40-LA	15 719 (18,69)	85 (14,71)	208 (12,41)	2 962 (33,00)	2 724 (29,45)
5-BK40-BK40	16 015 (16,35)	135 (25,08)	171 (15,46)	6 605 (32,90)	6 221 (31,38)
5-BK40-BK40-LA	15 072 (20,61)	116 (18,13)	191 (15,24)	9 005 (33,96)	8 350 (31,59)

Tabulka č.5 popisuje výsledky u 9 mm lamel. Lze z ní vyčíst, že pro 9 mm lamely platí podobný trend, jako u slabšího materiálu. U všech sledovaných charakteristik dosahují nejlepších hodnot samotné bukové lamely se 40% zhuštěním. V porovnání s 5 mm lamelami dochází k velkému poklesu v modulu plasticity u lamel s 30% zhuštěním. U modulu pružnosti dochází u samotných lamel zhuštěných o 30 % k 22,1% zvýšení oproti nezhuštěnému dřevu, u 40 % zhuštěných lamel dokonce k 31,9% zvýšení hodnot. Pro totální plastickou a aproximovanou práci je stejně jako u 5 mm lamel velký vliv vrstvení i podlepení materiálu textilií ze skelných vláken. Rovněž jsou u obou hodnot zaznamenány nejlepší výsledky.

Tab. 5 Průměrné hodnoty u sledovaných charakteristik u 9 mm lamel.

<i>Materiál</i>	<i>Modul pružnosti „MOE“ (Mpa)</i>	<i>Modul plasticity „MOP“ (Mpa)</i>	<i>Pevnost v ohybu „MOR“ (Mpa)</i>	<i>Plastická práce celková (mJ)</i>	<i>Approximovaná plastická práce (mJ)</i>
<i>9-BK0</i>	<i>13 549 (19,19)</i>	<i>122 (19,74)</i>	<i>122 (16,24)</i>	<i>5 027 (37,90)</i>	<i>4 767 (36,60)</i>
9-BK30	16 584 (11,36)	151 (19,89)	174 (13,68)	3 571 (38,49)	3 433 (37,25)
9-BK30-LA	12 305 (14,38)	90 (16,47)	170 (7,61)	6 889 (30,58)	6 511 (28,62)
9-BK30-BK30	14 831 (9,64)	135 (17,79)	148 (9,89)	13 965 (34,65)	13 334 (32,95)
9-BK30-BK30-LA	15 428 (8,55)	124 (14,29)	171 (7,38)	19 045 (30,02)	18 000 (28,29)
9-BK40	18 223 (11,51)	162 (21,83)	194 (15,69)	3 523 (44,69)	3 361 (43,12)
9-BK40-LA	14 042 (17,18)	111 (20,27)	191 (12,99)	5 538 (37,41)	5 244 (35,23)
9-BK40-BK40	16 053 (8,35)	142 (19,05)	165 (9,58)	14 114 (36,42)	13 413 (34,95)
9-BK40-BK40-LA	12 709 (14,12)	113 (21,09)	157 (10,83)	19 850 (23,64)	18 919 (22,32)

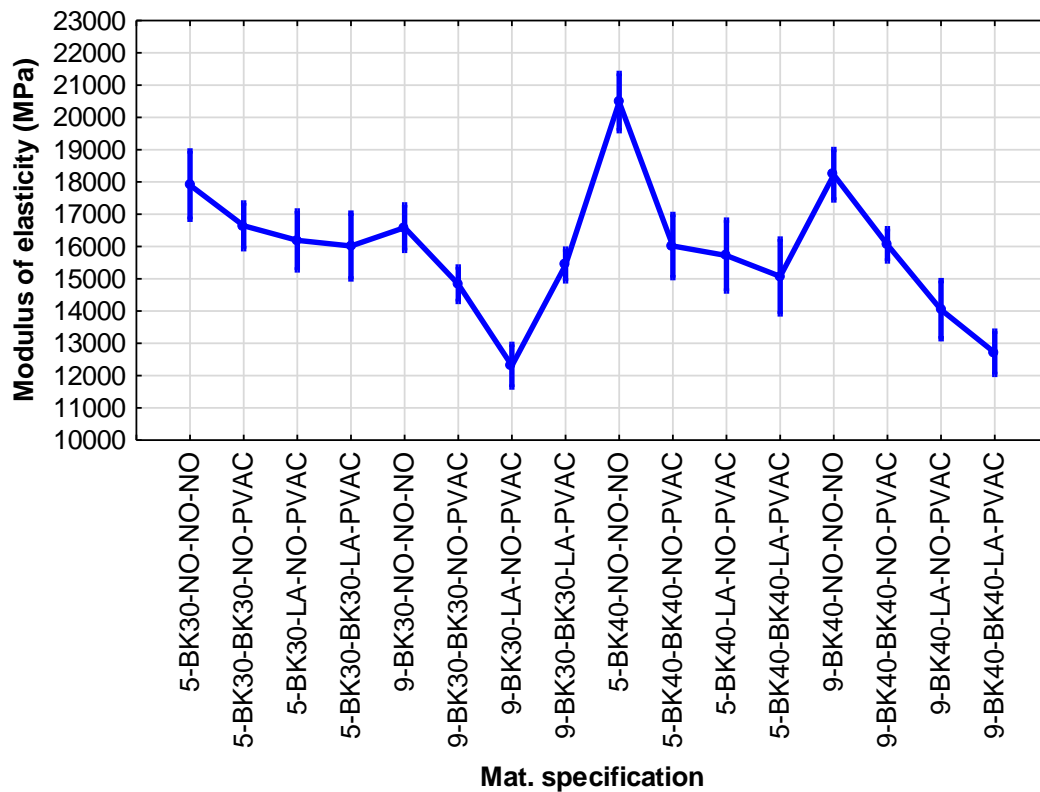
U dosažených výsledků bylo provedeno statistické vyhodnocení pro daný typ materiálu. Z tabulky je patrné, že na základě hodnoty významnosti P, byla zjištěna ve všech sledovaných charakteristikách velmi vysoká hladina významnosti z hlediska materiálu.

Tab. 6 Statistické vyhodnocení faktorů a jejich interakcí na zkoumané charakteristiky.

MODUL PRUŽNOSTI „MOE“ (MPa)					
Faktory	Součet čtverců	Volnost	Odchylka	F - test	P
Intercept	1,211595E+11	1	1,211595E+11	23775,88	***
Materiál	1,803920E+09	15	1,202613E+08	23,60	***
Chyba	2,364499E+09	464	5,095902E+06		

MODUL PLASTICITY „MOP“ (MPa)					
Faktory	Součet čtverců	Volnost	Odchylka	F - test	P
Intercept	7534960	1	7534960	13103,29	***
Materiál	193951	15	12930	22,49	***
Chyba	266820	464	575		

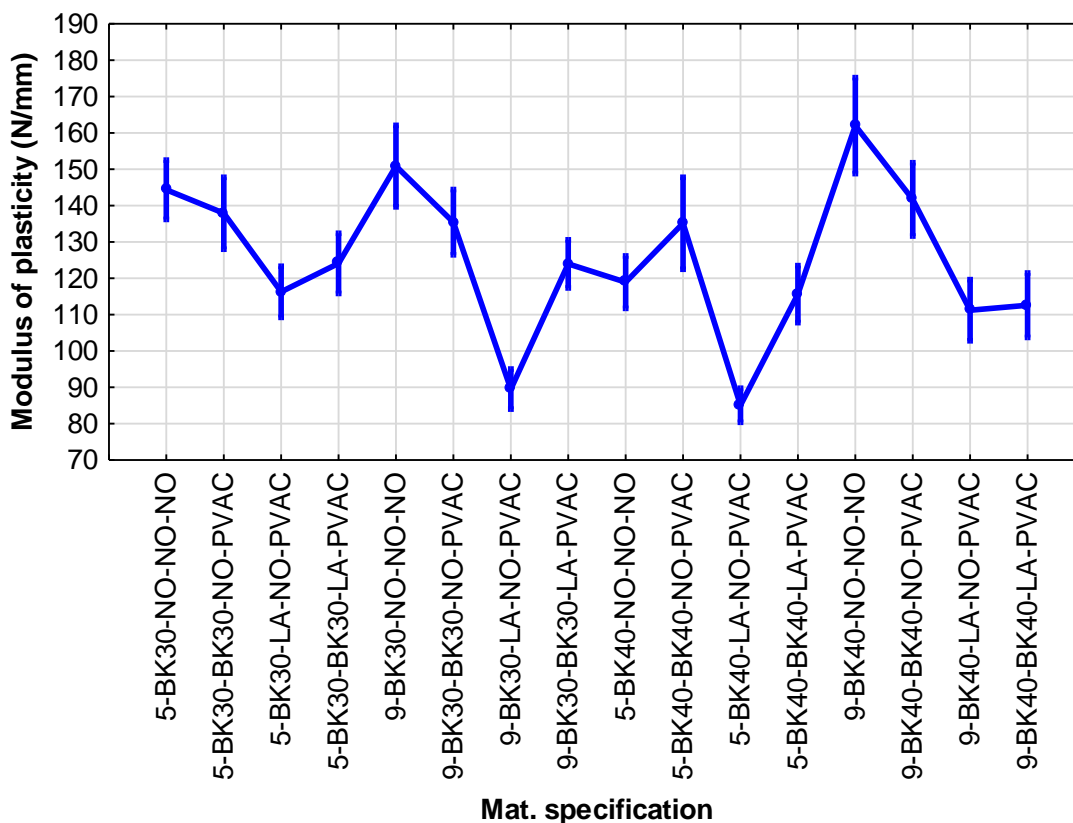
PEVNOST V OHYBU „MOR“ (MPa)					
Faktory	Součet čtverců	Volnost	Odchylka	F - test	P
Intercept	16067558	1	16067558	31555,04	***
Materiál	180716	15	12048	23,66	***
Chyba	236265	464	509		



graf. 1 Vliv modifikací na modul pružnosti.

Modul pružnosti je statisticky významně ovlivněn tloušťkovým zhuštěním materiálu. Nejlepších výsledků dosahuje samotné zhuštěné dřevo. S vyšším stupněm zhuštění se zvyšuje i modul pružnosti, tento jev je pouze u samostatných lamel. Při vrstvení je tento trend nejednoznačný. Při stejném stupni zhuštění je vidět, že je u 5 mm lamel vyšší modul pružnosti než u 9 mm lamel. Při vrstvení u 5 mm lamel klesá modul pružnosti statisticky nevýznamně, zato u 9 mm lamel rovněž klesá s velkou statistickou významností. Aplikace textilie ze skelných vláken má na pružnost spíše negativní vliv. Ze společného výzkumu Miftievy a kol. (2016), kteří zkoumali bukové a osikové dřevo se stupněm zhuštění 10 % a 20 % vyplývá, že zhuštění nemělo statisticky významný vliv na pružnost. U zvýšení tloušťky materiálu byly sníženy hodnoty modulu pružnosti.

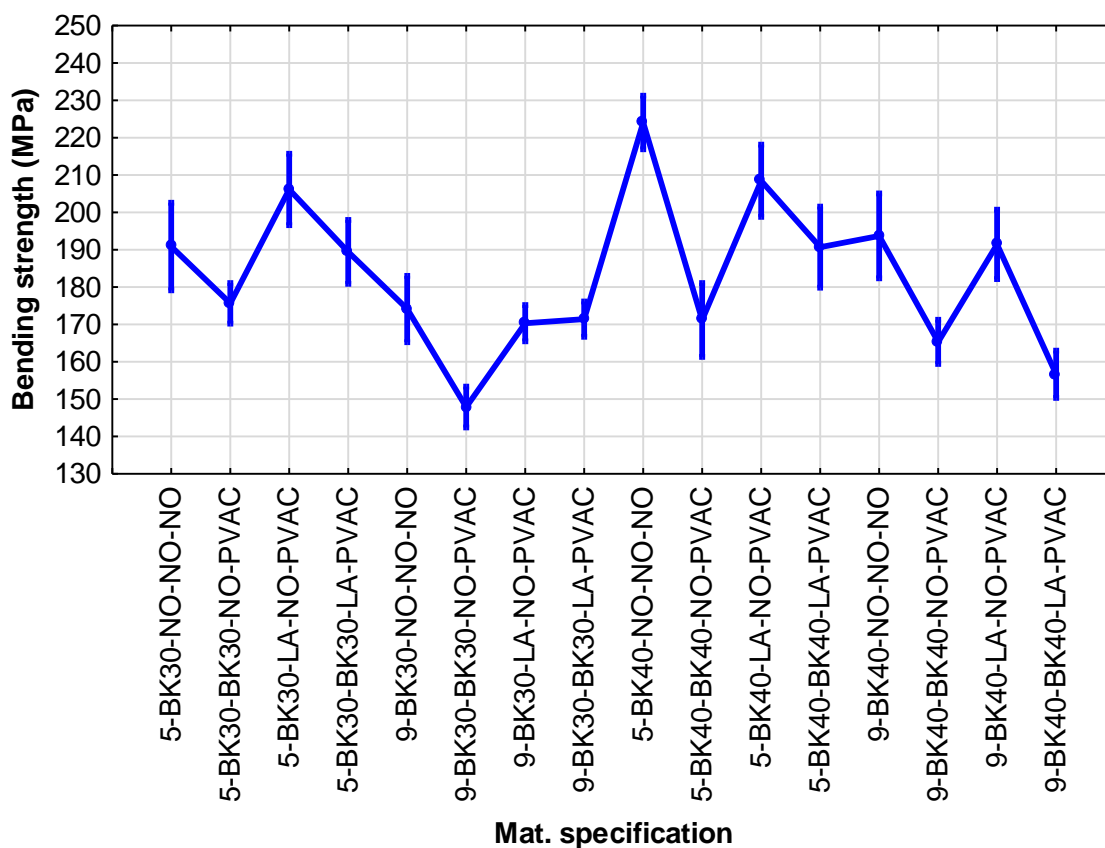
Pro přesnější analýzu vlivu jednotlivých faktorů na sledovanou charakteristiku, byly provedeny Duncanovy testy s hladinou významnosti $P < 0,05$. Tyto testy jsou v přílohách. Díky vyhodnocení Duncanova testu pro modul pružnosti, v příloze č.1 můžeme potvrdit statisticky významné změny u zhuštěných materiálů.



graf. 2 Vliv modifikací na modul plasticity.

Jak uvedl Gaff a kol. (2016) ve svém výzkumu ohybových charakteristik dřevěných lamel, modul plasticity se postupně snižoval s vrstvením. U zhuštění nebyly velké rozdíly. Z výzkumu této práce můžeme tvrdit, že u samostatných lamel mělo zhuštění nejednoznačný vliv. Zatímco u samotných 5 mm lamel plasticita klesá, statisticky významně, u samotných 9 mm lamel plasticity stoupá, i když statisticky nevýznamně. Vrstvení materiálu mělo spíše negativní vliv na plasticitu, i když nebylo statisticky tak významné. U skelného vlákna dochází k negativnímu ovlivnění plasticity, u všech aplikovaných vláken vykazuje plasticita nejnižších hodnot a zejména u samotných lamel dochází ke významným poklesům a z Duncanova testu v příloze č.2 můžeme tyto účinky potvrdit jako statisticky velmi významné.

Nejhůře dopadly samotné zhuštěné lamely s LA, které měly horší hodnoty než nezhuštěné dřevo. V publikaci Gaffa a kol. (2017) se projevilo tvrzení, čím vyšší stupeň zhuštění, tím nižší modul plasticity. Totéž můžeme tvrdit z našich výsledků, pokud se jedná o 5 mm lamely, ty se stupněm zhuštění klesají. U 9 mm lamel, narůstá hodnota při zvýšení stupně zhuštění, Duncanovým testem v příloze č.2 potvrdíme, že tato změna není statisticky významná.

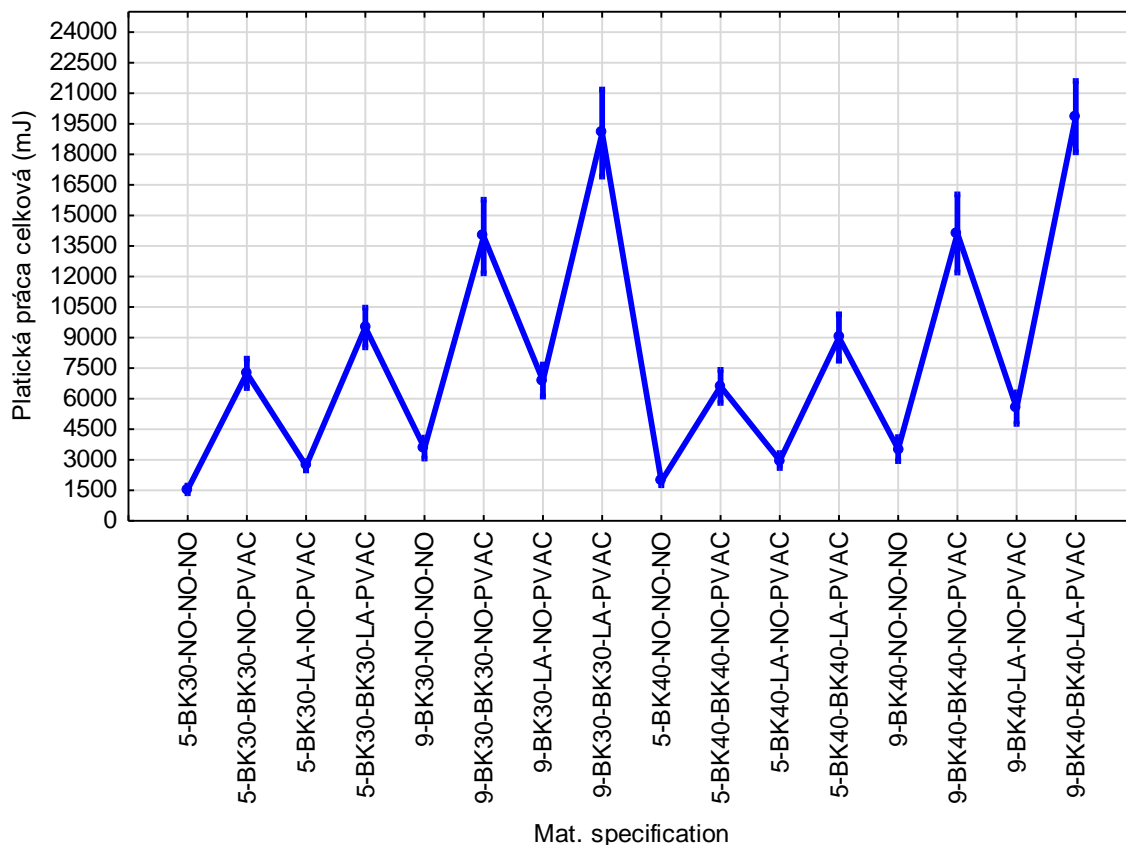


graf. 3 Vliv modifikací na pevnost v ohybu.

Tloušťka materiálu se projevila negativně. Obecně dosahují vyšších ohybových pevností 5 mm lamely. To platí i v interakci se skelným vláknem. Dle výzkumu Gaffa a kol. (2016) se považuje statisticky významný vliv zhuštění v interakci s tloušťkou materiálu. U zhuštění dochází ke zvýšení ohybové pevnosti. Všechny zkušební soubory prokazují lepší výsledky ve 40% zhuštění. Při 40% zhuštění je u 5mm lamel nárůst o 15% oproti lamelám zhuštěným na 30 %. Z tabulky je vidět, že při každém vrstvení materiálu, u stejného stupně zhuštění dochází k poklesu hodnot. Vrstvení má na pevnost v ohybu negativní vliv. Nejvyšší ohybová pevnost je u samostatných lamel.

Aplikace skelného vlákna se projevuje kladně ve většině zkušebních souborů, vyjma vrstvených 9 mm lamel se 40% zhuštěním. Tento pokles však není statisticky významný.

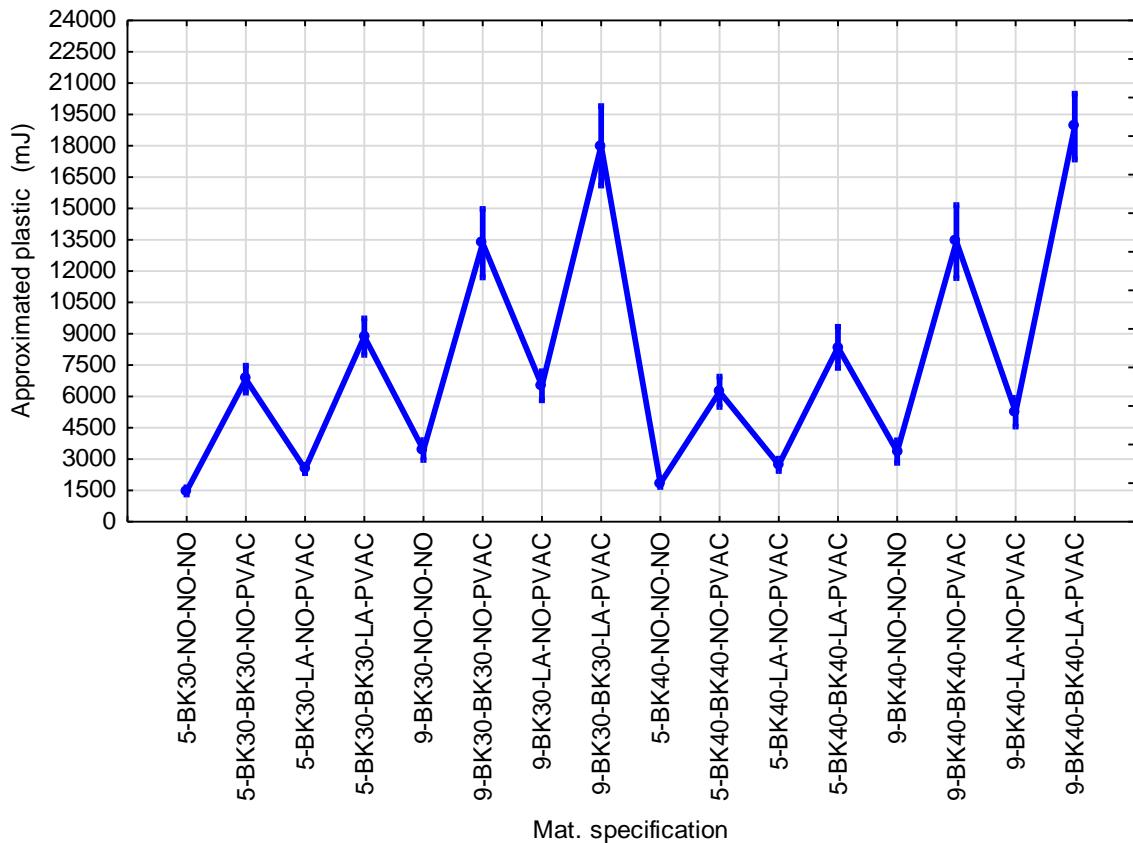
Z vyhodnocení Duncanova testu v příloze č.3, můžeme soudit statisticky velmi významné změny u zhuštění, i aplikace skelných vláken u materiálů se stejnou tloušťkou. U vrstvení dochází často ke statisticky nevýznamným změnám. U 9 mm lamel s 30% zhuštěním je hladina významnosti $P = 0,86$.



graf. 4 Totální plastická práce.

Jak uvedli ve výzkumu Gaff a Babiak (2017), kde zkoumají různé metody práce v plastické oblasti, za každou změnou tvaru u ohýbaného dřeva je práce, která závisí zejména na velikosti působící síly a dosažené deformaci. Velikost oblasti plastické práce pro deformaci těla, nezávisí jen na maximálním zatížení a velikosti průhybu v okamžiku poškození, ale i na tvaru křivky, vlhkosti a hustotě.

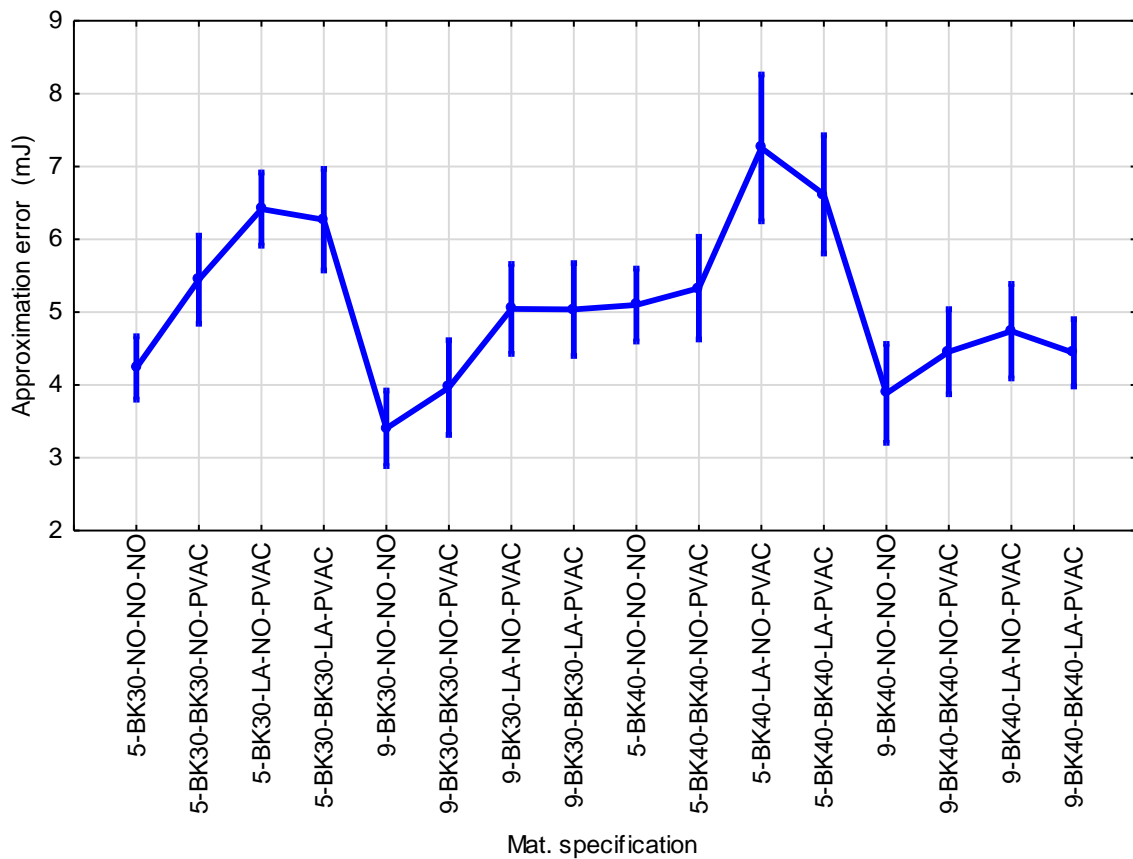
Z našeho grafu je patrné, že zhuštění nemá velký vliv na plastickou práci. Naopak vrstvení je pro plastickou práci zásadní. Při vrstvení samotných lamel i po aplikaci textilie ze skelných vláken je vidět značné zvýšení hodnot. Tyto změny jsou statisticky velice významné, což můžeme potvrdit i z Duncanova testu, který je v příloze č.4. Při aplikaci textilie u samotných lamel jsou nepatrně zvýšené hodnoty, ale nárůst není tak enormní jako u vrstvení.



graf. 5 Aproximovaná plastická práce.

Aproximovaná neboli přibližná plastická práce je zjednodušenou lineární metodou výpočtu totální plastické práce s využitím chord modulu mezi mezi proporcionality a mezi pevnosti.

Při zhodnocení grafu můžeme tvrdit, že při zhuštění nedosahují hodnoty velkých změn. Pro vrstvení to ovšem neplatí. Při vrstvení se statisticky velice významně zvyšuje aproximovaná práce. Totéž platí i pro aplikaci skelného vlákna, kde 9 mm vrstvené lamely se skelným vláknem vykazují dokonce nejvyšších hodnot. Stejně tak jako u totální plastické práce je u samotných lamel se skelným vláknem vidět statisticky významný rozdíl z Duncanova testu, ale hodnoty práce nejsou výrazně navýšeny.



graf. 6 Aproximovaná chyba.

Aproximační chybu můžeme dle Gaffa a Babiaka (2017) vyjádřit jako rozdíl mezi totální plastickou prací a aproximovanou plastickou prací. Z grafu můžeme pozorovat aproximační chybu ve velmi malém rozsahu, přibližně od 3-7%, což ve skutečnosti znamená, že aproximační model plastické práce se blíží tomu skutečnému.

U 9 mm lamel byla všeobecně nižší chybovot než u 5 mm lamel. Po aplikaci textilie ze skelných vláken je z grafu viditelná velmi vysoká chybovot u všech 5 mm lamel, která se pohybuje v rozmetí 6-7,5 %. Stupeň zhuštění se nijak výrazně neprojevuje. Vrstvení má vždy rosotucí tendenci oproti samostatným lamelám.

10 Závěr

Cílem práce je porovnání vlivu zhuštění, vrstvení, a aplikace textilie ze skelného vlákna na vybrané mechanické charakteristiky u zkušebních souborů. Z výsledků je patrné, že dřevo u všech typů provedených modifikací prokazuje výrazně lepší pevnost v ohybu než u nezhuštěného dřeva. U ostatních charakteristik to nelze takto jednoznačně říci. U samostatných zhuštěných lamel, po aplikaci skelného vlákna, klesla hodnota plasticity pod úroveň nezhuštěných lamel. Pro modul pružnosti je podstatný vliv zhuštění a tloušťky materiálu. Pro potřebu pružného materiálu nemá význam vrstvení ani aplikace skelného vlákna, hodnoty modulu pružnosti jsou negativně ovlivněny.

Velice dobré výsledky u všech sledovaných charakteristik mají samotné 9 mm lamely se 40% zhuštěním, které se ve výsledcích převyšovaly ostatní materiály. Ty díky zhuštění zvýšily svůj modul pružnosti o 31,9 % a pevnost v ohybu o celých 37 % oproti hodnotám nezhuštěných lamel.

Neočekávaným výsledkem práce bylo, že aplikace skelného vlákna neměla zásadní vliv na modul pružnosti a modul plasticity, ale pozitivně ovlivnily pevnost v ohybu. Aplikace skelného vlákna velmi negativně ovlivnila modul plasticity, kdy u všech aplikací dosahovala nejhorších hodnot. Modul plasticity nejvíce ovlivnil stupeň zhuštění a tloušťka materiálu.

Ohybová pevnost je ve většině zkušebních vzorků výrazně negativně ovlivněna, kdy při vrstvení ohybová pevnost klesá. Na dosažení dobré ohybové pevnosti má největší účinek tloušťkové zhuštění. Téměř u všech sledovaných charakteristik se se zvyšujícím stupněm zhuštění zlepšují mechanické vlastnosti.

Pro lepší zhodnocení by bylo dobré, zlepšit rozptyl zhušťování a snížit rozdíly mezi jednotlivými stupni zhuštění. Zjistili bychom jaké je optimální zhuštění materiálu v interakci s dalšími modifikacemi pro zkoumané mechanické charakteristiky.

Účelem práce bylo poukázat na pozitivní vlivy modifikací u mechanických vlastností dřeva, třebaže výsledky mohou utvrdit v možnostech využití kompozitních materiálů na bázi dřeva v širokém průmyslovém odvětví.

11 Seznam použité literatury

Bábík, A. Polymerní kompozity s vyššími užitnými vlastnostmi. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 106 s. Vedoucí dizertační práce prof. RNDr. Vladimír Čech, Ph.D..

Bal, Bekir Cihad. Some physical and mechanical properties of reinforced laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*, 2014, 68: 120-126.

Bareš, Richard a Němec, Jaroslav. 1988. Kompozitní materiály. Praha: SNTL, 1988. str. 45.

Böhm, M., Reisner, J. a Bomba, J. 2012. Materiály na bázi dřeva. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.

Conner, A.H. & Bhuiyan, M.S.H.. (2017). Wood: Adhesives. 10.1016/B978-0-12-803581-8.01932-9.

Dařourek, Karel a Technická univerzita v Liberci. 2007. Kompozitní materiály - druhy a jejich užití. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.

Dařourek, Karel a Technická univerzita v Liberci . 2008. Kompozitní materiály - druhy vláken. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008.

Fang, C. -H, Mariotti, N., Cloutier, A., Koubaa, A., and Blanchet, P. (2012). "Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam," *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1-3), 155-163. DOI: 10.1007/s00107-011-0524-4

Frihart, Charles. (2012). 9 Wood Adhesion and Adhesives. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. 10.1201/b12487-13.

Gaff, M. (2014). „Three-dimensional pneumatic molding of veneer,“ *Bioresources* 9(3), 5676-5687. DOI: 10.15376/biores.9.3.5676-5687

Gaff M.; Babiak, M., (2018) Methods for determining the plastic work in bending and impact of selected factors on its value. *Composite Structures*, 2018, 202: 66-76.

Gaff, M., and Gáborík, J. (2014). "Effect of cyclic loading on the elasticity of beech solid and laminated wood," *BioResources* 9(3), 4288-4296. DOI: 10.15376/biores.9.3.4288-4296

Gaff, Milan & Gašparík, Miroslav. (2015). Effect of Cyclic Loading on Modulus of Elasticity of Aspen Wood. *Bioresources*. 10. 290-298. 10.15376/biores.10.1.290-298.

Gaff, M., and Gašparík, M. (2015). "Influence of densification on bending strength of laminated beech wood," *BioRes.* 10(1), 1506-1518

Gaff, M.; & Babiak, M.; Vokatý, V.; Gašparík, M.; Ruman, D.; (2017). Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region. *Composites Part B: Engineering.* 116. 61-75. 10.1016/j.compositesb.2016.12.058.

Gaff, M.; Gašparík, M.; Babiak M.; Vokatý, V.;(2017). Bendability characteristics of wood lamellae in plastic region. *Composite Structures.* 163. 410-422. 10.1016/j.compstruct.2016.12.052.

Gaff, M.; Trgala, K, Adamová, T., (2018). „Environmentální přínos využívání recyklovaného dřeva při výrobě aglomerovaných materiálů“. 10.13140/RG.2.2.22079.41128.

Gaff, M.; Vokatý, V.; Babiak, M.; Bal, B.C. Coefficient of wood bendability as a function of selected factors. *Constr. Build Mater.* 2016, 126, 632–640. [CrossRef]

Gandelová, Libuše, Horáček, Petr a Šlezingerová, Jarmila. 2002. *Nauka o dřevě*. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-577-1.

Homan, Waldemar, et al. Structural and other properties of modified wood. In: *World Conference on Timber Engineering*. 2000

Homan, Waldemar J.; Jorissen, André JM. Wood modification developments. *Heron*, 2004, 49.4: 360-369

Hill Callum AS (2006). *Wood modification - chemical, thermal and other processes*. Wiley Series in Renewable Resources, Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 260.

HILL, Callum AS. Wood modification: An update. *BioResources*, 2011, 6.2: 918-919.

Hrázský, Jaroslav a Král, Pavel. 2007. *Kompozitní materiály na bázi dřeva, Část I: Aglomerované materiály*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-034-3.

Jančár, Josef. 2003. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. místo neznámé: Vysoké učení technické, Fakulta chemická, 2003. 80-214-2443-5.

Kratochvíl, B.; Švorčík, V.; Vojtěch, D.. *Úvod do studia materiálů*. Praha: VSCHT, 2005. 190 s. ISBN 80-7080-568-4

Kamke, F. A. (2006). "Densified radiate pine for structural composites," *Maderas. Ciencia y Tecnología* 8(2), 83-92. DOI: 10.4067/S0718-221X2006000200002

Kaw, Autar K. *Mechanics of composite materials*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2006. Mechanical engineering series (Boca Raton, Fla.), v. 29. ISBN 9780849313431.

Kutnar, A., Kamke, F., and Sernek, M. (2008). "The mechanical properties of densified VTC wood relevant for structural composites," *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(6), 439-446. DOI: 10.1007/s00107-008-0259-z

Machek, Václav, Jaromír Sodomka a České vysoké učení technické v Praze. *Nauka o materiálu*, 4. část: Polymery a kompozity s polymerní matricí. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. s. 37. ISBN 978-80-01-03927-4.

Maloney, T.M. 1986. Terminology and products definitions—a suggested approach to uniformity worldwide. místo neznámé: In: *Proceedings, 18th international union of forest research organization world congress; September*. Ljubljana: Yugoslavia. IUFRO World Congress Or, 1986.

Miftieva, Elena & Gaff, Milan & Svoboda, Tomáš & Babiak, Marian & Gašparík, Miroslav & Ruman, Daniel & Suchopár, Miroslav. (2016). Effects of selected factors on bending characteristics of beech wood. *Bioresources*. 11. 599-611. 10.15376/biores.11.1.599-611.

Míšek, Bohumil. 2003. *Kompozity*. Brno : Technický dozorčí spolek - Sekce materiálů a svařování, 2003. ISBN 80-903386-0-7.

Neyses, Benedikt. *Surface-Densified Wood: From Laboratory-Scale Research Towards a Competitive Product*. 2016. PhD Thesis. Luleå University of Technology.

Petrič, Marko. (2013). *Surface Modification of Wood. Reviews of Adhesion and Adhesives*. 1. 216-24v7. 10.7569/RAA.2013.097308.

Požgaj, Alexander; Chovanec, Dušan; Kurjatko, Stanislav; Babiak, Marián. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava : Príroda, 1993. 485 s. ISBN 80-07-0060-1.

Požgaj, Alexander; Chovanec, Dušan; Kurjatko, Stanislav; Babiak, Marián. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava : Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80- 07-00960-4.

Rowell, Roger M.; Dickerson, James P. *Acetylation of wood*. In: *Deterioration and protection of sustainable biomaterials*. American Chemical Society, 2014. p. 301-327.

Rowell, Roger M., (1983). *Chemical modification of wood: a review*. Commonwealth Forestry Bureau, Oxford, UK, vol. 6, pp. 363-382.

Sandberg, Dick, Kuzman, Manja Kutek a Gaff, Milan. 2018. Engineered Wood Product, Wood as an engineering and architectural material. Prague : Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech Republic, 2018. 978-80-213-2869-3.

Sandberg, Dick & Kutnar, Andreja & Mantanis, George. (2017). Wood modification technologies - A review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10. 895-908. 10.3832/for2380-010.

Sandberg, Dick & Haller, Peer & Navi, Parviz. (2013). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science & Engineering*. 8. 10.1080/17480272.2012.751935.

Senol, Suleyman & Budakci, Mehmet. (2016). Mechanical wood modification methods. 2. 53-53. 10.22531/muglajsci.283619.

Smidriaková, Mária, et al. Aplikácia napenenej PVAc disperzie pri výrobe preglejovaných dosiek/Application of foamed pvac dispersion in plywood production. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen res Publica Slovaca*, 2015, 57.2: 109.

Song, J., Chen, C., Zhu, S. et al. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554, 224–228 (2018). <https://doi.org/10.1038/nature25476>

Svoboda, Tomáš & Sikora, Adam & Záborský, Vladimír & Gaffová, Zuzana. (2019). Laminated Veneer Lumber with Non-Wood Components and the Effects of Selected Factors on Its Bendability. *Forests*. 10. 10.3390/f10060470.

Svoboda, Tomáš & Ruman, Daniel & Gaff, Milan & Gašparík, Miroslav & Miftieva, Elena & Dundek, Lubomír. (2015). Bending characteristics of multilayered soft and hardwood materials. *Bioresources*. 10. 8461-8473. 10.15376/biores.10.4.8461-8473.

Svoboda, Luboš., 'Stavební Hmoty', (2. přeprac. a dopl. vyd. edn, Bratislava, Jaga, 2007). str.334

Šlezingerová, Jarmila a Gandelová, Lucie. 2008. Stavba dřeva (cvičení). Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-168-5.

Trávník, Arnošt a Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Výroba nábytku III. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. s. 15. ISBN 80-7157-755-3.

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, 2008. Publikace k projektu CZ.04.1.03/3.2.15.2/0285 „Inovace VŠ oborů strojního zaměření“

Vigué, Jordi. 2010. Dřevo od A do Z. Čestlice: Rebo, 2010. ISBN 978-80-255-0389-8.
Vrbka, Jan. 2008. Mechanika kompozitů. Brno: Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, 2008.

Walker, Aidan. Dřevo: velká encyklopedie: 150 druhů dřeva : podrobný průvodce "strom za stromem" : svět nejvšestrannějšího přírodního zdroje. Praha: Grada, 2009. s. 14. ISBN 978-80-247-2858-2.

Internetové zdroje:

Ústav materiálového inženýrství, Fakulta strojní. 2014. Kompozitní materiály. Ústav materiálového inženýrství. [Online] 2014. [Citace: 19. 5 2020.] Dostupné z <http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf>.

Wikipedie otevřená encyklopedie. Dřevo [online], poslední aktualizace editována 19. 5. 2020 v 22:26. [cit. 26.5.2020] Wikipedie dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dřevo#cite_note-mezistromy-10>

Normy:

ČSN EN 310. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu. Praha: Český normalizační institut, 1996, 8 s,

Seznam ilustrací

Obr. 2.1 Dělení kompozitních materiálů dle uspořádání výztuže (Kratochvíl a kol. 2005).	15
Obr. 2.2 Schématické rozdělení vláken (Jančár, 2003)	16
Obr. 2.3 Struktura uhlíkového vlákna (Jančár, 2003)	17
Obr. 2.4 Schéma výroby skelných vláken (Kaw, 2006).	18
Obr. 3.1 Rozdělení materiálů na bázi dřev (Böhm a kol. 2012).	22
Obr. 4.1 Kresba buku lesního v tangenciálním řezu (cs.wikipedia.org).....	23
Obr. 4.2 Buněčná struktura roztroušeně pórovitého dřeva (Walker, 2009).....	24
Obr. 4.3 Základní řezy kmenem (Balabán, 1955).....	25
Obr. 5.1 Průřez dřeva po povrchovém zhuštění (Sandberg a kol. 2017).....	31
Obr. 5.2 Deformace buněčné struktury u TM modifikace (Senol a kol. 2016)	31
Obr. 5.3 Zpětné zhuštění u kompresně stlačeného materiálu (Senol a kol. 2016).	32
Obr. 5.4 Schéma vrstvených materiálů na bázi dřeva (Vlastní zpracování).	33
Obr. 5.5 Vícevrstvé překližované materiály (Sandberg a kol. 2018).	34
Obr. 5.6 Distribuce četnosti a variabilita různých materiálů na bázi dřeva (Sandberg a kol. 2018).	35
Obr. 7.1 Namáhání dřevěného hranolu v ohybu (Trávník, 2003).....	41
Obr. 7.2 Napětí v tahu a tlaku (Požgaj a kol. 1997).	41
Obr. 7.3 Deformace při smykovém napětí (Požgaj a kol. 1997).	42
Obr. 7.4 Zobrazení průhybu namáhaného tělesa (Matovič, 1993).	42
Obr. 7.5 Pracovní diagram (Matovič, 1993).	43
Obr. 7.6 Namáhání nosníku v různých směrech (Požgaj a kol. 1993).....	44
Obr. 7.7 Rozložení napětí (Trávník, 1952)	44
Obr. 7.8 Rozložení napětí ve výšce tělesa (Požgaj a kol. 1993).....	45
Obr. 8.1 Formátování bukových lamel	46
Obr. 8.2 Označení zkušebních vzorků	47
Obr. 8.3 Totální práce v plastické oblasti (Gaff a Babiak, 2017)	49
Obr. 8.4 Práce v aproximované oblasti (Gaff a Babiak, 2017).....	50
Obr. 8.5 Aproximovaná chyba (Gaff a Babiak, 2017).....	50
Obr. 8.6 Schéma lepení lamel bez LA výztuže.....	52
Obr. 8.7 Schéma lepení lamel s LA výztuží	53
Obr. 8.8 Vrstvená lepená lamela se LA výztuží	53
Obr. 8.9 Schéma při ohybové zkoušce (ČSN EN 310).....	54

Seznam tabulek

Tab. 1 Technické parametry při zhuštění.....	51
Tab. 2 Velikost zpětného odpružení a změn hustoty u 5 mm lamel.....	51
Tab. 3 Velikost zpětného odpružení a změn hustoty u 9 mm lamel.....	52
Tab. 4 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u 5 mm lamel.....	56
Tab. 5 Průměrné hodnoty u sledovaných charakteristik u 9 mm lamel.....	57
Tab. 6 Statistické vyhodnocení faktorů a jejich interakcí na zkoumané charakteristiky.....	58

Seznam grafů

graf. 1 Vliv modifikací na modul pružnosti.....	59
graf. 2 Vliv modifikací na modul plasticity	60
graf. 3 Vliv modifikací na pevnost v ohybu	61
graf. 4 Totální plastická práce.....	61
graf. 5 Aproximovaná plastická práce	63
graf. 6 Aproximovaná chyba	64

Seznam příloh

Příloha 1: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na modul pružnosti

Příloha 2: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na modul plasticity

Příloha 3: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na pevnost v ohybu

Příloha 4: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na totální práci v plastické oblasti

Příloha 5: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na aproximovanou práci v plastické oblasti

Příloha 6: Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na aproximovanou chybu v plastické oblasti

Příloha 7: Technický list lepidla AGGLU AG – COLL

Příloha 8: Technický list skelné tkaniny

Příloha 9: Univerzální testovací stroj FPZ 100 (TIRA, Německo).

Příloha 1:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na modul pružnosti

NO.	MATERIÁL	MODUL PRUŽNOSTI „MOE“ (MPa)															
		-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
1	5-BK30-NO-NO-NO	17902	16640	16189	16014	16584	14831	12305	15428	20476	16015	15719	15072	18223	16053	14042	12709
2	5-BK30-BK30-NO-PVAC	0,03	0,01	0,47	0,36	0,92	0,01	0	0,08	0	0,35	0,18	0,02	0,01	0,37	0	0
3	5-BK30-LA-NO-PVAC	0,01	0,47		0,79	0,5	0,05	0	0,26	0	0,78	0,48	0,1	0	0,82	0	0
4	5-BK30-BK30-LA-PVAC	0	0,36	0,79		0,39	0,07	0	0,35	0	1	0,61	0,14	0	0,95	0	0
5	9-BK30-NO-NO-NO	0,03	0,92	0,5	0,39		0,01	0	0,09	0	0,38	0,2	0,02	0,01	0,39	0	0
6	9-BK30-BK30-NO-PVAC	0	0,01	0,05	0,07	0,01		0	0,34	0	0,08	0,17	0,68	0	0,07	0,18	0
7	9-BK30-LA-NO-PVAC	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0,49
8	9-BK30-BK30-LA-PVAC	0	0,08	0,26	0,35	0,09	0,34	0		0	0,37	0,62	0,54	0	0,35	0,03	0
9	5-BK40-NO-NO-NO	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
10	5-BK40-BK40-NO-PVAC	0	0,35	0,78	1	0,38	0,08	0	0,37	0		0,64	0,15	0	0,95	0	0
11	5-BK40-LA-NO-PVAC	0	0,18	0,48	0,61	0,2	0,17	0	0,62	0	0,64		0,3	0	0,61	0,01	0
12	5-BK40-BK40-LA-PVAC	0	0,02	0,1	0,14	0,02	0,68	0	0,54	0	0,15	0,3		0	0,15	0,09	0
13	9-BK40-NO-NO-NO	0,58	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	9-BK40-BK40-NO-PVAC	0	0,37	0,82	0,95	0,39	0,07	0	0,35	0	0,95	0,61	0,15	0		0	0
15	9-BK40-LA-NO-PVAC	0	0	0	0	0	0,18	0	0,03	0	0	0,01	0,09	0	0		0,02
16	9-BK40-BK40-LA-PVAC	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0	0	0	0	0	0,02	

Příloha 2:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na modul plasticity

MODUL PLASTICITY „MOP“ (MPa)																	
NO.	MATERIÁL	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
1	5-BK30-NO-NO-NO	144,35	137,9	116,27	124,09	150,85	135,43	89,524	123,96	118,93	135,13	85,083	115,64	161,99	141,7	111,2	112,6
2	5-BK30-BK30-NO-PVAC	0,33	0	0	0,04	0,05	0,69	0	0,04	0,01	0,68	0	0	0	0,54	0	0
3	5-BK30-LA-NO-PVAC	0	0	0,25	0	0	0,08	0	0,24	0,67	0	0	0,92	0	0	0,46	0,58
4	5-BK30-BK30-LA-PVAC	0	0,04	0,25	0	0	0,08	0	0,98	0,44	0,07	0	0,23	0	0,01	0,07	0,11
5	9-BK30-NO-NO-NO	0,29	0,05	0	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0	0	0,07	0,16	0	0
6	9-BK30-BK30-NO-PVAC	0,19	0,69	0	0,08	0,02	0	0	0,09	0,02	0,96	0	0	0	0,34	0	0
7	9-BK30-LA-NO-PVAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0	0	0
8	9-BK30-BK30-LA-PVAC	0	0,04	0,24	0,98	0	0,09	0	0	0,42	0,09	0	0,23	0	0,01	0,07	0,1
9	5-BK40-NO-NO-NO	0	0,01	0,67	0,44	0	0,02	0	0,42	0	0,01	0	0,62	0	0	0,27	0,36
10	5-BK40-BK40-NO-PVAC	0,19	0,68	0	0,07	0,02	0,96	0	0,09	0,01	0	0	0	0	0,34	0	0
11	5-BK40-LA-NO-PVAC	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	5-BK40-BK40-LA-PVAC	0	0	0,92	0,23	0	0	0	0,23	0,62	0	0	0	0	0	0,5	0,62
13	9-BK40-NO-NO-NO	0,01	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	9-BK40-BK40-NO-PVAC	0,67	0,54	0	0,01	0,16	0,34	0	0,01	0	0,34	0	0	0	0	0	0
15	9-BK40-LA-NO-PVAC	0	0	0,46	0,07	0	0	0	0,07	0,27	0	0	0,5	0	0	0	0,82
16	9-BK40-BK40-LA-PVAC	0	0	0,58	0,11	0	0	0	0,1	0,36	0	0	0,62	0	0	0	0,82

Příloha 3:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na pevnost v ohybu

PEVNOST V OHYBU „MOR“ (MPa)																	
NO	MATERIÁL	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
1	5-BK30-NO-NO-NO	190,87	175,64	206,14	189,42	174,13	147,88	170,32	171,43	224,06	171,2	208,45	190,7	193,7	165,32	191,43	156,65
2	5-BK30-BK30-NO-PVAC	0,02		0	0,02	0,79	0	0,43	0,5	0	0,5	0	0,01	0	0,12	0,01	0
3	5-BK30-LA-NO-PVAC	0,01	0		0,01	0	0	0	0	0	0	0,69	0,02	0,03	0	0,02	0
4	5-BK30-BK30-LA-PVAC	0,82	0,02	0,01		0,01	0	0	0	0	0	0	0,83	0,52	0	0,76	0
5	9-BK30-NO-NO-NO	0,01	0,79	0	0,01		0	0,56	0,64	0	0,64	0	0,01	0	0,18	0,01	0,01
6	9-BK30-BK30-NO-PVAC	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13
7	9-BK30-LA-NO-PVAC	0	0,43	0	0	0,56	0		0,86	0	0,88	0	0	0	0,39	0	0,03
8	9-BK30-BK30-LA-PVAC	0	0,5	0	0	0,64	0	0,86		0	0,97	0	0	0	0,35	0	0,02
9	5-BK40-NO-NO-NO	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0,01	0	0	0	0	0
10	5-BK40-BK40-NO-PVAC	0	0,5	0	0	0,64	0	0,88	0,97	0		0	0	0	0,35	0	0,02
11	5-BK40-LA-NO-PVAC	0,01	0	0,69	0	0	0	0	0	0,01	0		0,01	0,02	0	0,01	0
12	5-BK40-BK40-LA-PVAC	0,98	0,01	0,02	0,83	0,01	0	0	0	0	0	0,01		0,65	0	0,91	0
13	9-BK40-NO-NO-NO	0,65	0	0,03	0,52	0	0	0	0	0	0	0,02	0,65		0	0,7	0
14	9-BK40-BK40-NO-PVAC	0	0,12	0	0	0,18	0	0,39	0,35	0	0,35	0	0	0		0	0,14
15	9-BK40-LA-NO-PVAC	0,92	0,01	0,02	0,76	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,91	0,7	0		0
16	9-BK40-BK40-LA-PVAC	0	0	0	0	0,01	0,13	0,03	0,02	0	0,02	0	0	0	0,14	0	

Příloha 4:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na totální práci v plastické oblasti

Duncan test, variabilní Platická práce celková (mu) (Výsledky - 1 Vstve)																
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests																
Error: Between MS = 9005E3, df = 464,00																
Cell No.	Mat. specification	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}
1	5-BK30-NO-NC	1546,0	7244,7	2702,1	9496,4	3571,7	13985,	6889,2	19046,	1943,2	6605,1	2962,2	9005,2	3523,9	14114,	5538
2	5-BK30-BK30-NO-PVAC	0,00001	0,00001	0,160145	0,00002	0,019488	0,00002	0,00001	0,00002	0,608211	0,00005	0,05564	0,00001	0,020462	0,00002	0,00
3	5-BK30-LANO-PVAC	0,160145	0,00005	0,00000	0,005131	0,00009	0,00003	0,646317	0,00004	0,00001	0,440688	0,00004	0,023085	0,00008	0,00004	0,04
4	5-BK30-BK30-LA-PVAC	0,00002	0,005131	0,00001	0,00001	0,312998	0,00001	0,00004	0,00002	0,327305	0,00005	0,737187	0,00001	0,320750	0,00002	0,00
5	9-BK30-NC-NC	0,019488	0,00009	0,312998	0,00004	0,00004	0,00009	0,001424	0,00003	0,00001	0,00447	0,00001	0,526077	0,00005	0,00011	0,00
6	9-BK30-BK30-NO-PVAC	0,00002	0,00003	0,00001	0,00004	0,00005	0,00005	0,00038	0,00001	0,059974	0,00141	0,462633	0,00004	0,050847	0,00001	0,01
7	9-BK30-LANO-PVAC	0,00001	0,646317	0,00004	0,001424	0,00038	0,00004	0,00004	0,00004	0,00005	0,713910	0,00005	0,008726	0,00038	0,00004	0,09
8	9-BK30-BK30-LA-PVAC	0,00002	0,00004	0,00002	0,00003	0,00001	0,00011	0,00004	0,00002	0,00002	0,00005	0,00002	0,00004	0,00001	0,00009	0,00
9	5-BK40-NO-NC	0,608211	0,00001	0,327305	0,00001	0,059974	0,00002	0,00005	0,00002	0,00002	0,00004	0,216849	0,00001	0,061463	0,00002	0,00
10	5-BK40-BK40-NO-PVAC	0,00005	0,440688	0,00005	0,00047	0,00141	0,00004	0,713910	0,00005	0,00004	0,00010	0,00010	0,003520	0,00143	0,00004	0,16
11	5-BK40-LANO-PVAC	0,05564	0,00004	0,737187	0,00001	0,462633	0,00001	0,00005	0,00002	0,216849	0,00010	0,00005	0,00005	0,468440	0,00001	0,01
12	5-BK40-BK40-LA-PVAC	0,00001	0,023085	0,00001	0,326077	0,00004	0,00011	0,008726	0,00001	0,00001	0,003520	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00
13	9-BK40-NC-NC	0,020462	0,00008	0,320750	0,00005	0,050847	0,00001	0,00038	0,00001	0,061463	0,000143	0,468440	0,00004	0,00003	0,00001	0,01
14	9-BK40-BK40-NO-PVAC	0,00002	0,00004	0,00002	0,00011	0,00001	0,87544	0,00004	0,00009	0,00002	0,00004	0,00001	0,00003	0,00001	0,00001	0,00
15	9-BK40-LANO-PVAC	0,00005	0,042655	0,000591	0,00005	0,01148	0,00004	0,099525	0,00001	0,00014	0,168608	0,01638	0,00022	0,012717	0,00005	0,00
16	9-BK40-BK40-LA-PVAC	0,00002	0,00004	0,00002	0,00004	0,00001	0,00003	0,00005	0,299006	0,00002	0,00001	0,00002	0,00004	0,00002	0,00011	0,00

Příloha 5:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na aproximovanou práci v plastické oblasti

Duncan test: variable Approximated plastic work (m.J) (SpreadsheetWORK) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 7269E3, df = 464,00																	
Cell No.	Type of Material	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}
1	5-BK30-LA	2523,3	2724,3	8862,1	1475,5	6824,5	1838,7	6221,4	8350,7	3432,9	6510,6	13334,1	18000,0	3361,3	5244,0	13413,0	18919,0
2	5-BK40-LA	0,772837		0,000001	0,156461	0,000005	0,325379	0,000004	0,000001	0,238628	0,000004	0,000001	0,000002	0,258997	0,000223	0,000002	0,000002
3	5-BK30-BK30-LA	0,772837		0,000001	0,102153	0,000004	0,232514	0,000005	0,000005	0,340814	0,000004	0,000001	0,000002	0,360164	0,000565	0,000001	0,000002
4	5-BK30	0,156461	0,102153	0,000002		0,000001	0,000001	0,000352	0,462513	0,000004	0,001361	0,000009	0,000003	0,000005	0,000005	0,000011	0,000004
5	5-BK30-BK30	0,000005	0,000004	0,004805	0,000001		0,000001	0,418252	0,028353	0,000007	0,652116	0,000003	0,000004	0,000006	0,036295	0,000004	0,000004
6	5-BK40	0,325379	0,232514	0,000001	0,601870	0,000001		0,000004	0,000001	0,039246	0,000005	0,000002	0,000002	0,044169	0,000007	0,000002	0,000002
7	5-BK40-BK40	0,000004	0,000005	0,000352	0,000005	0,418252	0,000004		0,003990	0,000100	0,677767	0,000004	0,000005	0,000079	0,160300	0,000004	0,000001
8	5-BK40-BK40-LA	0,000001	0,000005	0,462513	0,000001	0,028353	0,000001	0,003990		0,000004	0,011251	0,000011	0,000004	0,000004	0,000023	0,000003	0,000004
9	9-BK30	0,238628	0,340814	0,000004	0,11374	0,000007	0,039246	0,000100	0,000004		0,000021	0,000005	0,000001	0,918050	0,009291	0,000001	0,000001
10	9-BK30-LA	0,000004	0,000004	0,001361	0,000001	0,652116	0,000005	0,677767	0,011251	0,000021		0,000004	0,000004	0,000019	0,085199	0,000004	0,000005
11	9-BK30-BK30	0,000001	0,000001	0,000009	0,000002	0,000003	0,000002	0,000004	0,000011	0,000005	0,000004		0,000011	0,000001	0,000004	0,910194	0,000003
12	9-BK30-BK30-LA	0,000002	0,000002	0,000003	0,000002	0,000004	0,000002	0,000005	0,000004	0,000001	0,000004	0,000011		0,000001	0,000001	0,000009	0,186658
13	9-BK40	0,258997	0,360164	0,000005	0,13431	0,000006	0,044169	0,000079	0,000004	0,918050	0,000019	0,000001	0,000001		0,009430	0,000001	0,000002
14	9-BK40-LA	0,000223	0,000565	0,000005	0,000004	0,036295	0,000007	0,160300	0,000023	0,009291	0,085199	0,000004	0,000001	0,009430		0,000005	0,000001
15	9-BK40-BK40	0,000002	0,000001	0,000011	0,000002	0,000004	0,000002	0,000004	0,000003	0,000001	0,000004	0,910194	0,000009	0,000001	0,000005		0,000011
16	9-BK40-BK40-LA	0,000002	0,000002	0,000004	0,000002	0,000004	0,000002	0,000001	0,000004	0,000001	0,000005	0,000003	0,186658	0,000002	0,000001	0,000011	

Příloha 6:

Porovnání účinku druhu materiálu pomocí Duncanova testu na aproximovanou chybu v plastické oblasti

Duncan test; variable: Approximation error. (SpreadsheetWORK) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests. Error: Between. MS = 2,9719, df = 464,00																	
Cell No.	Type of Material	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}
1	5-BK30-LA	6,4152	7,2545	6,2689	4,2339	5,4460	5,0975	5,3297	6,6176	3,4049	5,0440	3,9642	5,0361	3,8846	4,7384	4,4568	4,4415
2	5-BK40-LA	0,074167		0,742483	0,000006	0,038260	0,006455	0,023892	0,649286	0,000002	0,005100	0,000002	0,005407	0,000002	0,000588	0,000049	0,000047
3	5-BK30-BK30-LA	0,074167		0,041481	0,000002	0,000119	0,000008	0,000047	0,152489	0,000002	0,000007	0,000002	0,000004	0,000002	0,000001	0,000001	0,000002
4	5-BK30	0,742483	0,041481		0,000024	0,064470	0,014283	0,044883	0,464548	0,000002	0,011904	0,000003	0,012805	0,000002	0,001757	0,000175	0,000169
5	5-BK30-BK30	0,038260	0,000119	0,064470	0,018618		0,464829	0,793900	0,014263	0,000027	0,418327	0,003358	0,422808	0,001973	0,169705	0,054024	0,053191
6	5-BK40	0,006455	0,000008	0,014283	0,095788	0,464829		0,601969	0,001682	0,000621	0,904302	0,027309	0,897891	0,018527	0,470157	0,205784	0,204333
7	5-BK40-BK40	0,023892	0,000047	0,044883	0,033465	0,793900	0,601969		0,007897	0,000081	0,549438	0,007084	0,555608	0,004384	0,244049	0,086841	0,086131
8	5-BK40-BK40-LA	0,649286	0,152489	0,464548	0,000002	0,014263	0,001682	0,007897		0,000002	0,001247	0,000002	0,001307	0,000002	0,000104	0,000007	0,000007
9	9-BK30	0,000002	0,000002	0,000002	0,089189	0,000027	0,000621	0,000081	0,000002		0,000896	0,238437	0,000867	0,281200	0,007397	0,036420	0,035820
10	9-BK30-LA	0,005100	0,000007	0,011904	0,113576	0,418327	0,904302	0,549438	0,001247	0,000896		0,034034	0,985909	0,023612	0,521794	0,234083	0,234981
11	9-BK30-BK30	0,000002	0,000002	0,000003	0,544541	0,003358	0,027309	0,007084	0,000002	0,238437	0,034034		0,032719	0,858129	0,123466	0,319813	0,315367
12	9-BK30-BK30-LA	0,005407	0,000004	0,012805	0,109846	0,422808	0,897891	0,555608	0,001307	0,000867	0,985909	0,032719		0,022911	0,503542	0,221772	0,228026
13	9-BK40	0,000002	0,000002	0,000002	0,463744	0,001973	0,018527	0,004384	0,000002	0,281200	0,023612	0,858129	0,022911		0,094393	0,259999	0,259649
14	9-BK40-LA	0,000588	0,000001	0,001757	0,308155	0,169705	0,470157	0,244049	0,000104	0,007397	0,521794	0,123466	0,503542	0,094393		0,527079	0,533823
15	9-BK40-BK40	0,000049	0,000001	0,000175	0,640674	0,054024	0,205784	0,086841	0,000007	0,036420	0,234083	0,319813	0,221772	0,259999	0,527079		0,972481
16	9-BK40-BK40-LA	0,000047	0,000002	0,000169	0,640942	0,053191	0,204333	0,086131	0,000007	0,035820	0,234981	0,315367	0,228026	0,259649	0,533823	0,972481	

Příloha 7:

Technický list lepidla AGGLU AG – COLL



Technický list
AG-COLL 8761 D3

AG-COLL 8761 D3

POPIS PRODUKTU

Jednosložkové disperzní lepidlo s výbornou odolností vůči vodě, které splňuje požadavky normy DIN - EN 204 pro lepidla kategorie D3. Speciálně určené pro plošné lepení. Vhodné i na lepení tvrdého a měkkého dřeva v teplém nebo studeném lisu. Možnost použití i ve vysoce frekvenčním lisu.

BÁZE

PVAc

TECHNICKÉ ÚDAJE

Viskozita [mPas]:	7 000 – 13 000 při 23°C
Obsah sušiny [%]:	49 - 51
Hustota [kg/l]:	0,9 – 1,1
pH:	3,8 – 4,5
Barva:	bílá, mléčná

DOPORUČENÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Optimální podmínky použití lepidla:	
Teplota materiálu, prostředí a lepidla [°C]:	18-22
Vlhkost dřeva [%]:	8-12
Relativní vlhkost vzduchu [%]:	65 – 75
Nános lepidla:	jedno nebo dvoustranný
Množství [g/m ²]:	150 – 180
Otevřený čas [min]:	15
Lisovací tlak [N/mm ²]:	0,2 až 0,8
Lisovací čas [min]:	15 až 20

Vhodné pro lepení měkkého a tvrdého dřeva, na lepení laminátových a melaminových papírů na dřevotřísku, MDF a také při výrobě nábytku do kuchyně, kde se požaduje efektivita v kombinaci s pevnou lepenou spárou.



Technický list
AG-COLL 8761 D3

Doporučené lisovací časy:

Materiál	20°C	50°C	70°C
Tvrdé dřevo	17 min	9 min	6 min
Měkké dřevo	15 min	7 min	5 min
Laminát	40 min	7 min	4 min

BALENÍ

1080 IBC kg kontejner

10, 30 kg kbelík

0,25; 0,5; 1 kg láhve

SKLADOVÁNÍ

Minimální doba uskladnění v originálních a dobře uzavřených obalech v suchém a chladném prostředí (5 - 20 ° C) je při IBC kontejnerech 12 měsíců a u balení 30kg 6 měsíců od vyskladnění. Teplota během skladování by neměla překročit 25°C. Držte dál od zdrojů tepla.

Příloha 8:

Technický list skelné tkaniny

SKELNÁ TKANINA

Název výrobku

Skelná tkanina 355 g/m²
Skelná tkanina 500g/m²

Složení

Chemicky inertní sklo povlečené ochrannou vrstvou org.polymerů

Odstín

Bílošedá

Použití

Používá se ve spojení s pryskyřicí lamit 109 k opravám laminátových předmětů.

Bezpečnost a ochrana zdraví

Není nebezpečnou látkou.

První pomoc

Při zdravotních potížích, při náhodném požití a zasažení očí, vždy vyhledejte lékaře a poskytněte mu informace z etikety.

Při zasažení očí: vyplachovat 10 až 15 minut čistou vodou.

Vzhled

bílá skelná tkanina

Balení

0,5m²
80 m² role

Záruční doba v původních obalech záruční doba neomezená.

Příloha 9:

Univerzální testovací stroj FPZ 100 (TIRA, Německo).

