

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra zpracování dřeva a biomateriálů**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Vrstvené kompozity ze dřevních a nedřevních  
materiálů**

**Bakalářská práce**

**Autor: Jaroslav Kunrt**

**Vedoucí práce: Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.**

**2024**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Jaroslav Kunrt
Studijní program:	Dřevařství
Specializace:	Zpracování dřeva
Vedoucí práce:	Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra zpracování dřeva a biomateriálů
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Vrstvené kompozity ze dřevních a nedřevních materiálů</b>
Název anglicky:	<b>Layered composites of wood and non-wood materials</b>
Cíle práce:	Cílem práce je určit vliv vybraných faktorů na ohybové charakteristiky vrstvených materiálů na bázi dřeva a nedřevních komponentů při čtyřbodovém ohýbání.
Metodika:	Student provede analýzu, syntézu, komparaci a deskripci názorů odborníků zabývajících se problematikou výroby a vývoje vrstvených materiálů na bázi dřeva. V praktické části práce se student zaměří na určení vlivu vybraných faktorů na ohybové charakteristiky vrstvených materiálů na bázi dřeva a nedřevních komponentů při čtyřbodovém ohýbání.  Harmonogram práce: květen – srpen 2021: literární rešerše srpen – prosinec 2021: experimentální část prosinec 2021 – březen 2022: vyhodnocení výsledků a sepsání práce duben 2022: odevzdání závěrečné práce
Doporučený rozsah práce:	60 stran
Klíčová slova:	čtyřbodové ohýbání, třibodovém ohýbání, vrstvený materiál
Doporučené zdroje informací:	

1. Amy, K., a Svecova, D. (2004). "Strengthening of dapped timber beams using glass fiber reinforce polymer bars", Canadian Journal of Civil Engineering, 31, 943-955. DOI: 10.1139/104-063
2. André, A. (2007). "Strengthening of timber structures with flax fibres", Licentiate thesis, Luleå University of Technology. ISSN: 1402-1757
3. Babiak, M., Gaff, M., Sikora, A., a Hýsek, Š. (2018). "Modulus of elasticity in three-and four-point bending of wood", Composite Structures, 204(15), 454-465. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.07.113
4. Bal, B. C. (2016). "Some technological properties of laminated veneer lumber produced with fast-growing Poplar and Eucalyptus", Maderas, Ciencia y tecnología, 18(3). DOI: 10.4067/S0718-221X2016005000037
5. Blomberg, B., Persson, A., a Blomberg, A. (2005). "Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties in density", Wood Science and Technology, 39(5), 339-350. DOI: 10.1007/s00226-005-0290-8
6. Gaff, M., a Gašparík, M. (2015). "Influence of densification on bending strength of laminated beech wood", BioResources 10 (1), 1506-1518. DOI: 10.15376/biores.10.1.1506-1518
7. Gaff, M., Babiak, M., Vokatý, V., a Ruman, D. (2017a). "Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region ", Composites Part B Engineering 116(1), DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.058
8. Gaff, M., Gašparík, M., Babiak, M., a Vokatý, V. (2017b). "Bendability characteristics of wood lamellae in plastic region", Composite Structures 163, 410-422. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.12.052
9. Gaff, M., Vokatý, V., Babiak, M., a Bal, B. C. (2016). "Coefficient of wood bendability as a function of selected factors", Construction and Building Materials 126, 632-640. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.085
10. Green, D. W., Winandy, J. E., a Kretschmann, D. E. (1999). "Mechanical properties of wood", Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI : USDA Forest Service, Fores Products Laboratory. pp. 4-1-4.45.

Předběžný termín                    2021/22 LS - FLD  
obhajoby:

Konzultant:                            Ing. Adam Sikora, Ph.D.

Elektronicky schváleno: 22. 9.  
2021

**doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**  
Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno: 4. 2.  
2022

**prof. Ing. Róbert Marušák,**  
**PhD.**  
Děkan

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vrstvené kompozity ze dřevních a nedřevních materiálů vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

---

## **Poděkování**

Touto formou bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce, kterým je Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.za cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích i vypracování bakalářské práce, dále za trpělivost a čas. Také bych rád poděkoval mé rodině za podporu, bez které bych tuto práci nedokončil.

# Vrstvené kompozity ze dřevních a nedřevních materiálů

## Souhrn

V bakalářské práci na téma „Vrstvené kompozity ze dřevních a nedřevních materiálů“ se budu zabývat vybranými faktory na ohybové vlastnosti při čtyřbodovém ohýbání. Teoretická část bude zaměřena na hlavní složku dřevo, rozdělení kompozitních materiálů a způsoby výroby. Z možností zkoumaných faktorů jsem vybral modul pružnosti a mez únosnosti, které se budou zjišťovat destruktivní metodou tzv. zkouškou statického ohybu na zkušebním stroji TIRAtest 2850S. Zkušební vzorky jsou vyrobené vždy ze dvou lamel bukového dřeva slepených k sobě jednosložkovým polyuretanovým lepidlem, část je vyztužená textilií ze skelného vlákna. U vyztužených vzorků se již zmíněná textilie kladla do různých vrstev vzorku. Cílem práce tedy je analyzovat zjištěné hodnoty a porovnat data s ostatními výsledky. Závěrem práce byla zjištěna nejvyšší hodnota modulu pružnosti u vzorku bez výztuže, avšak u tohoto souboru vzorků byl největší rozptyl. Nejvíce spolehlivý, tudíž s nejmenším rozptylem v modulu pružnosti byl vzorek s výztuží umístěnou dole. Dalšími zkoumanými hodnotami byly mez únosnosti a mez kluzu. Zjistilo, že skupina vzorků s výztuží na spodní straně vzorku vykazuje nejvyšší průměrnou i maximální hodnotu ze všech čtyř skupin zkoušených vzorků jak u meze pevnosti, tak i u meze kluzu.

**Klíčová slova:** Čtyřbodové ohýbání, Tříbodové ohýbání, Vrstvený materiál

# **Layered composites of wood and non-wood materials**

## **Summary**

In my Bachelor thesis on "Layered composites of wood and non-wood materials" I will look at selected factors on bending properties in four-point bending. The theoretical part will focus on the main component of wood, the division of composite materials and methods of production. From the options of the studied factors, I selected the flexibility module and load capacity limit, which will be detected by a destructive method called static bending test on the TIRAtest 2850S. The test samples are always made from two slats of beechwood glued together with a single-component polyurethane adhesive, part of which is reinforced with glass fibre fabric. For the reinforced samples, the fabric already mentioned was placed in different layers of the sample. The aim of the work is therefore to analyse the observed values and compare the data with other results. At the conclusion of the work, the highest value of the elasticity module was found for the non-reinforcing sample, but the largest variance was found for this set of samples. The most reliable, therefore with the smallest dispersion in the flexibility module was a pattern with reinforcement located at the bottom. The other values examined were the limit of load capacity and the yield limit. It found that the group of reinforcement samples on the underside of the sample showed the highest average and maximum value of all four groups of test samples for both strength limits and yield limits.

**Key words:** 4-point bending, 3-point bending, layered material

# Obsah

Úvod .....	1
Cíle práce .....	2
<b>1. Teoretická část .....</b>	<b>3</b>
<i>1.1. Kompozitní materiály .....</i>	<i>3</i>
1.1.1. Dělení kompozitních materiálů .....	4
1.1.1.1. Matrice .....	5
1.1.1.2. Výztuž .....	5
1.2. Lepidla .....	6
1.2.1. Dělení lepidel .....	7
1.2.1.1. Počet složek .....	7
1.1.1.1. Chemické složení .....	7
1.3. Výroba a využití .....	8
1.3.1. Výrobní postupy .....	8
1.4. Vlastnosti .....	10
1.4.1. Fyzikální vlastnosti .....	10
1.4.2. Mechanické vlastnosti .....	14
1.5. Dřevo .....	18
1.5.1. Dělení dle dřeviny .....	18
1.5.2. Dělení dle pórovitosti .....	19
1.5.3. Makroskopická stavba .....	19
1.5.4. Mikroskopická stavba .....	20
1.5.5. Chemická stavba .....	20
1.5.6. Dělení dle jakosti .....	21
1.5.7. Výroba krájené dýhy .....	21
1.5.8. Výroba loupaná dýha .....	22
1.5.9. Výroba řeziva .....	22
1.5.10. Výroba štěpky .....	22
1.5.11. Výroba vlákna .....	23
1.5.12. Vady dřeva .....	23



<b>2. Praktická část.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. <i>Materiál a metody</i>.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.1. Postup výroby.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2. Měřicí stroj.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3. Průběh měření.....</b>	<b>29</b>
<b>3. Výsledky měření .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. <i>Statický modul pružnosti</i>.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. <i>Mez pevnosti</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3. <i>Mez kluzu</i>.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. <i>Grafické zobrazení vybraných vzorků</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Diskuze.....</b>	<b>40</b>
<b>5. Závěr .....</b>	<b>41</b>
<b>6. Zdroje .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Seznam obrázků.....</b>	<b>46</b>
<b>8. Seznam tabulek.....</b>	<b>47</b>

## Úvod

S vrstveným kompozitem se setkal určitě každý na této planetě, i když si to mnohokrát ani neuvědomuje. Ať už se jedná o předmět každodenního domácího používání, dopravní prostředek, stavbu, či lékařský zákrok. Vrstvené kompozity nás zkrátka obklopují na každém našem kroku a my se ani nezamyslíme nad tím, jaký je to úžasný pokrok techniky a jak nám zpříjemňuje život.

V době, ve které se nacházíme je kladen stále větší důraz na obnovitelné a šetrné zdroje materiálu. Dřevo je přírodní materiál, který je obnovitelný, všestranně použitelný, se spoustou výhod, nicméně v některých oblastech použití nemusí dostačovat svými mechanickými, či fyzikálními vlastnostmi. Z tohoto důvodu se stále více prosazují kompozitní materiály kombinující dřevní a nedřevní složku, jejíž úkolem je vylepšení výsledného materiálu.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na vrstvené kompozitní materiály ze dřevních a nedřevních materiálů, cílem práce je určení vlivu vybraného faktoru při čtyřbodovém ohýbání. V praktické části pak bude popsána technologie výroby a destruktivní zkouška čtyřbodovým ohybem.

## **Cíle práce**

Cílem práce je určit vliv vybraných faktorů na ohybové charakteristiky vrstvených materiálů na bázi dřeva a nedřevních komponentů při čtyřbodovém ohýbání.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Kompozitní materiály

Kompozitní materiál též nazýván zkráceně jako kompozit se skládá ze dvou či více odlišných surovin. Suroviny z nich je kompozitní materiál vyrobený mají každá jiné vlastnosti. Hlavním úkolem těchto různorodých složek je spojení se v jednotný materiál, který překonává samotnou vstupní surovinu. Kompozitní materiály jsou tedy navrhovány z více důvodů, a to například s cílem zvýšení odolnosti, nemožnost použití jiného homogenního materiálu a v neposlední řadě z ekonomického hlediska. (Vnouček 2022)

Mezi první historicky doložený vrstvený kompozit ze dřevních a



Obrázek 1 Kompozitní luk mongolů

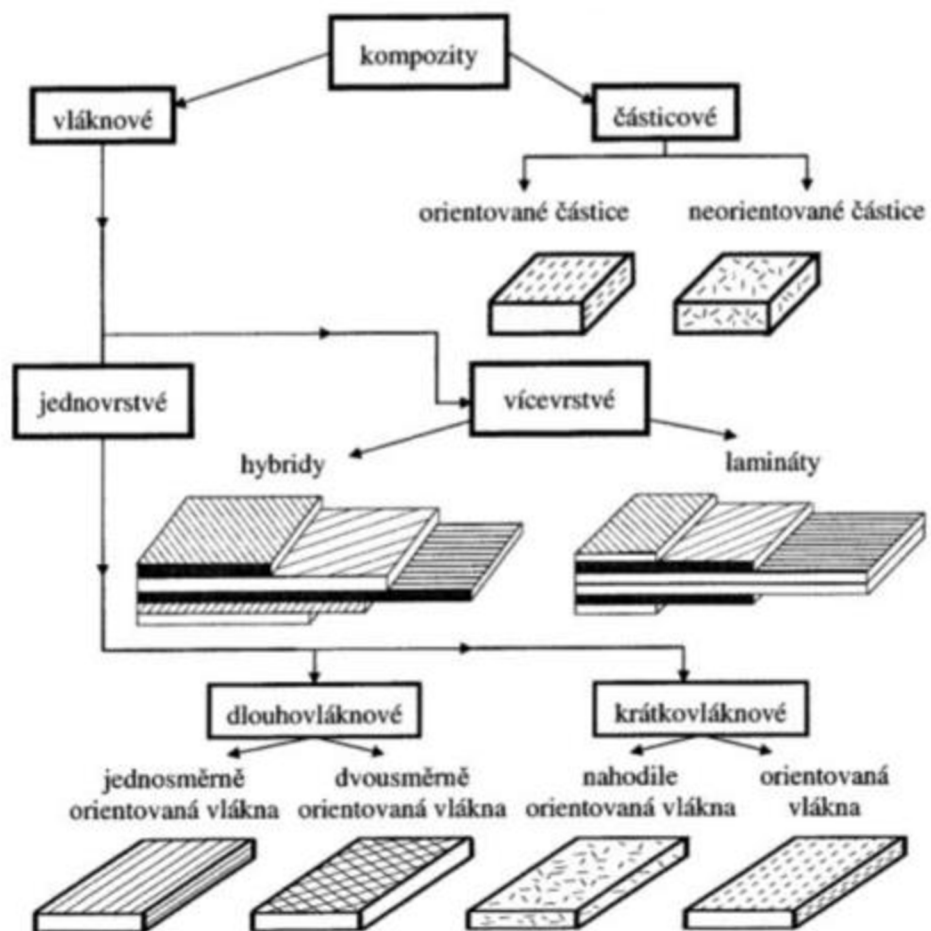
nedřevních materiálů je mongolský luk datovaný do dob 1000 př.n.l. Tento luk byl vyroben Mongoly z rohů, šlach zvířat, dřeva lepidlem byl nejčastěji rybí klíč, který odolával klimatickým podmínkám. Je až neuvěřitelné, jak lidé téměř před třemi tisíci lety dokázali spojit pružné dřevo, roh, který odolává v tlaku, zvířecí šlachy odolávající namáhání na tah a rybí klíč spojující všechny komponenty. Spojením těchto vlastností bylo možné luk zmenšit a docílit většího dostřelu než jiné luky tehdejší doby. Nicméně se doba posunula a tyto luky se stále vyrábí, ale už s použitím laminátu. (RUMSCHLAG, Samuel 2018)

Druhým největším skokem vývoji kompozitních materiálů bylo období druhé světové války. Slané prostředí je velice agresivní a v kombinaci s vlhkostí tvoří pro kovové materiály velmi nepříznivé prostředí, proto bylo třeba získat materiál odolný korozi, a únavovému poškození, též se dbalo na hmotnost. Tyto

kompozity měly zajistit snížení provozní hmotnosti strojů. Nejrozšířenější byly vlákna koudele načež byla vyměněna za polymerní kompozity se skleněnými vlákny. (Varvani-Farahani, A. 2010)

V přítomnosti se již vyrábí nespočet vrstvených kompozitních materiálů na různé bázi s různým využitím a zvýšenou odolností před biotickými, či abiotickými činiteli. (Vnouček 2022)

### 1.1.1. Dělení kompozitních materiálů



Obrázek 2 Rozdělení kompozitních materiálů

### 1.1.1.1. Matrice

Matrice slouží k ochraně výztuže a přenosu zatížení na ni. Kompozity se tedy dělí podle použité matrice na:

**Kovové** – Nejčastěji využívané tam, kde se dbá na elektrickou a tepelnou vodivost. Zajišťují také pevnost a odolnost proti opotřebení. Základními prvky jsou hliník, hořčík, titan, a slitiny niklu. (*Teuchner 2018*)

**Keramické** – Výborné vlastnosti v tlaku a odolnosti proti chemikáliím a vysokým teplotám. Na druhou stranu je tato matrice velmi křehká. (*Teuchner 2018*)

**Polymerní** – Matrice na bázi polymeru jsou nejhojněji používané. Disponují dostatečnou pevností, nízkou hmotností a tepelnou vodivostí, odolávají korozi a tlumí vibrace. Dle zatížení se využívají termoplasty, elastomery, reaktoplasty. (*Teuchner 2018*)

### 1.1.1.2. Výztuž

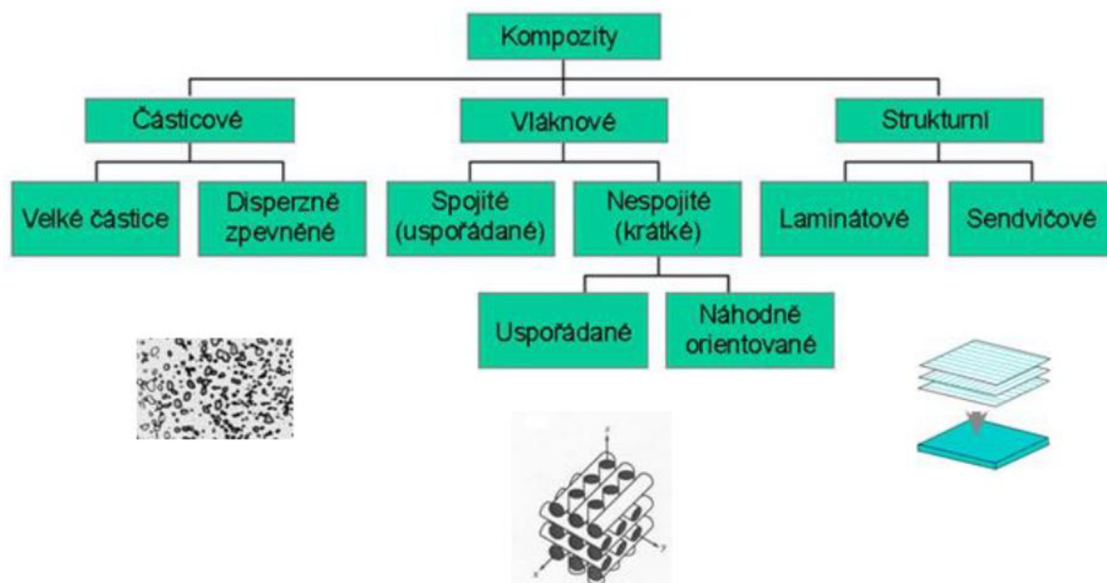
Výztuž, jež slouží k zvyšování pevnosti, tuhosti, aj. U kompozitních materiálů to jsou:

**Částicové** – Pod druhem výztuže se nachází forma prášku. Nejčastěji karbidy, křemičitany, oxidy. Částice mohou být kladeny orientovaně nebo neorientovaně, dalším aspektem je velikost. (*Vrbka 2008*)

**Vláknové** – Vlákna jsou velice anizotropní materiál a jejich uložení zásadně ovlivňuje mechanické vlastnosti, protože největší část zatížení je vyvíjeno právě na výztuž. Jedním ze zásad při tahovém zatížení je, že matrice se nesmí porušit dříve než vlákno. Vlákno se dává v kompozitních materiálech v přesných poměrech k matrici, aby matrice byla schopna obklopit vlákno. Nejčastěji je poměr vláken u ruční výroby pohybuje kolem 40% a až 70% u přesných strojových technologií. Nejvyužívanější vlákna jsou skleněná, uhlíková, aramidová. (*Vrbka 2008*)

**Strukturní** – Matrice je prostoupena u tohoto typu nosnou vrstvou

(*Vlček 2011*)



Obrázek 3 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže

## 1.2.Lepidla

Jsou to chemické látky umožňující spojení pevných látek k sobě. Zajišťují tzv. adhezi (přilnavost). Každé lepidlo má jiné specifikace, od druhu materiálu, na který je lepidlo nanášeno, až po dobu a způsob vytvrzení. Základními parametry k určení správného lepidla jsou tedy: *(Böhm a kol.)*

**Druh povrchu** – Materiály mohou být různě nasákavé, čemuž dopomáhá pórovitost a povrchové napětí materiálu (dřevo-dřevo, dřevo-kov, plast-sklo, aj.) *(Briš a kol.)*

**Využití lepeného předmětu v exteriéru či v interiéru** – Únik těkavých látek do okolí, unikající látky mohou být karcinogenní *(Briš a kol.)*

**Druh spoje** – Rozhodující je určení spoje, pevný nebo pružný. Musí se dbát na namáhání lepeného spoje ať mechanicky (smyk), fyzikálně (vzdušná vlhkost), nebo chemicky (chemické látky). *(Briš a kol.)*

**Druh a doba vytvrzení** – Vytvrzení lepidel probíhá pod UV zářením, za vysokých teplot a tlaku, vychladnutím, aj. *(Briš a kol.)*

## 1.2.1. Dělení lepidel

### 1.2.1.1. Počet složek

**Jednosložkové** – Lepidlo se skládá z jedné složky, která už je připravena v nádobě.

**Vícesložkové** – Musí se smísit jednotlivé složky (lepidlo a tužidlo).

### 1.1.1.1. Chemické složení

**Polyuretanová lepidla** – Jsou vysoce odolná proti vibracím a jsou elastická, těž odolávají kyselinám, ředěným louhům a horké vodě. Nejčastěji se nanášejí stříkáním nebo nátěrem. Teplotní rozsah použití je kolem -20-90 °C. (*Veselý*)

**Epoxidová lepidla** – Mohou být jedno složková, či vícesložková. Využívají se v místech, kde je velké namáhání na tah a smyk. Při větším namáhání se využívají vícesložkové varianty, kvůli ocelovému plnivu, které také zvyšuje odolnost proti vysokým teplotám. Epoxidová lepidla jsou většinou čirá, lehce nažloutlá nebo tmavá. Zpracovávají se v teplotě od -60–200 °C. Po vytvrzení je lepilo tvrdé a křehké. (*Briš a kol.*)

**Kyanoakrylátová lepidla** – Jinými slovy vteřinová lepidla se vyznačují velmi krátkou dobou vytvrzení, které probíhá za přítomnosti vzdušné vlhkosti. Spoj je pevný, odolný vodě, alkoholům, UV záření, aj. Lepidlo se vyznačuje velkým rozsahem použití. (*Veselý*)

**Tavná lepidla** – Jsou termoplasty, která se nanášejí nejčastěji tavnou pistolí, což už naznačuje, že se lepidlo před použitím musí zahřát na teplotu tání (80-190 °C) a poté se nanáší na materiál. Vytvrzení probíhá při chladnutí. Tyto lepidla se vyznačují zdravotní nezávadností a vysokou lepivostí za tepla. (*Veselý*)

**Močovino formaldehydová lepidla** – Jsou nejčastěji využívána v dřevařském průmyslu k výrobě DTD, překližek, aj. nevýhodou těchto lepidel však je uvolňování formaldehydu do ovzduší (karcinogenní látka), kdy je třeba desky opatřit nátěrem, který zamezí úniku formaldehydu. Lepidla mají vysokou pevnost a odolnost proti povětrnostním podmínkám. Vytvrzení probíhá při teplotě 95-105°C. (*Veselý*)

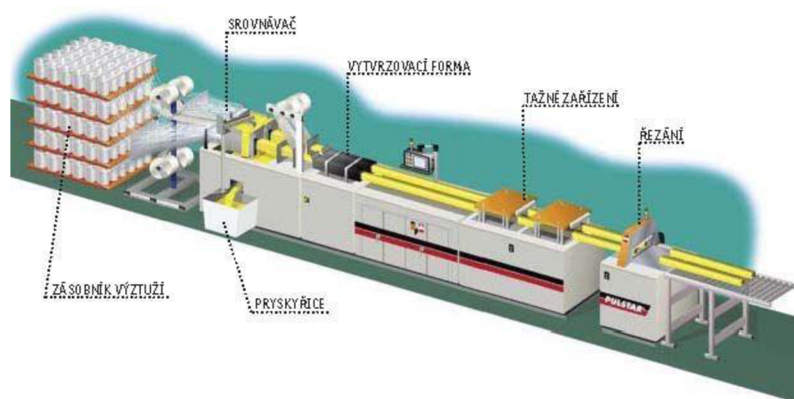


## 1.3. Výroba a využití

Kompozitní materiály se mohou využívat kdekoliv díky svým vlastnostem. Ve stavebnictví, kdy se využívá nosníků, jimž kompozitní materiál propůjčuje vyšší pevnost a menší hmotnost., stavebních komponentů jako jsou např. sendvičové panely jež umožňují snadnou manipulaci zvyšují rychlost stavby a mohou excelovat i v izolačních vlastnostech. Dále pak i ve sportu, kde se kompozitní materiály vyskytují téměř ve všech profesionálních sportovních potřebách od lyží, přes hokejky až po jízdní kola. Technologie výroby vrstveného kompozitu závisí na materiálech, z kterých je vyroben, tvaru výstupního produktu. (Zavadil 2014)

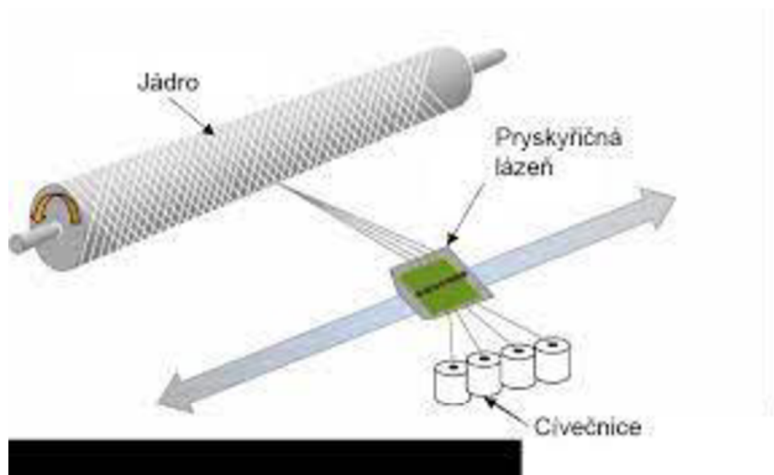
### 1.3.1. Výrobní postupy

**Pultruze** – Česky nazýváno tažení vzniklo z anglického slova „pultrusion“. Jedná se o výrobní proces, jež je zaměřený především na výztuž z vláken. Využívá se hlavně rohoží a rovingu, vstupujících do srovnávače, vlákna rovnoměrně rozmístí. Výrobním postupem je tedy laminování vláknů, impregnační vana s pryskyřicí, vytvrzovací forma, tažné zařízení, řezání. (Bábíček 2019)



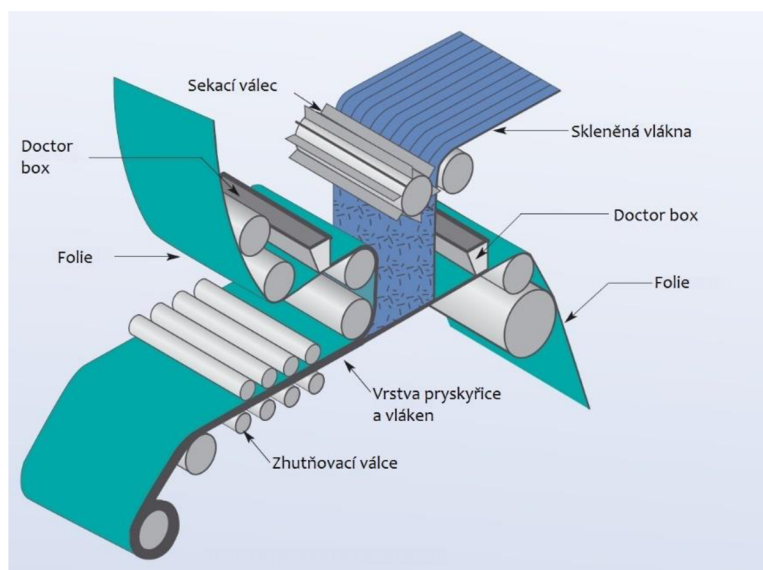
Obrázek 4 Výrobní proces tažením

**Odvíjení** – Výrobní postup je určen pro výrobu dutých komponentů, jako jsou například trubky. Na vřeteno se namotává výztuž s určeným předpětím, která před namotáním prošla lázní s pryskyřicí. Po namotání se vřeteno vyjme, nebo je součástí výrobku a konečným krokem je vytvrzování kompozitu za neustále rotace. (Bábíček 2019)



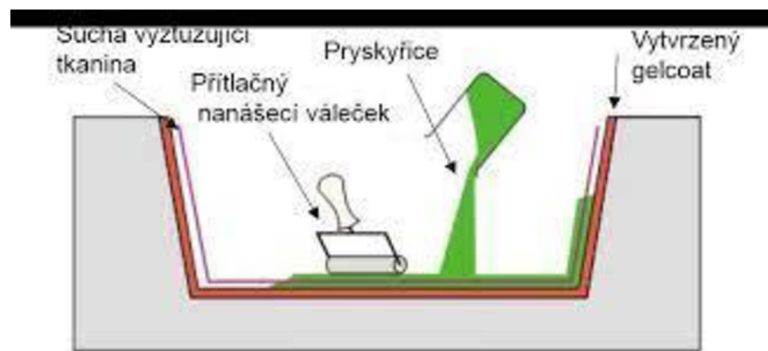
Obrázek 5 Výrobní proces odvíjení

**Lisování** – je způsob výroby kdy se veškeré komponenty kompozitního materiálu vloží do formy a za vysokého tlaku se vylisují a vytvrdí. Metoda lisováním se nejvíce využívá pro SMC (Sheet Moulding Compound) a BMC (Bulk Moulding Compound). (Bábíček 2019)



Obrázek 6 Výrobní proces lisování

**Ruční laminování** – Proces, při kterém je matrice i výztuž kladena ručně. Jedná se o nejstarší způsob. Výrobní postup je: úprava formy činidlem, nanesení pryskyřice, výztuž, další vrstva pryskyřice je vtlačena do výztuže válečkem, který zároveň vytlačí bublinky vzduchu, vytvrzení. (Bábíček 2019)



Obrázek 7 Výrobní proces ruční laminování

## 1.4. Vlastnosti

Důležitým faktorem při určování využitelnosti nově vyvinutého kompozitního materiálu jsou vlastnosti, které jsou dány surovinami, jejich poměrem a uspořádáním kupříkladu kompozitních materiálů na bázi dřeva, nebo vláknové výztuže kvůli anizotropii (jiné vlastnosti v různých směrech). Základními vlastnostmi jsou fyzikální, mechanické a chemické, jež zkoumáme podle norem.

### 1.4.1. Fyzikální vlastnosti

**Hustota** – V SI soustavě je jednotkou kilogram na metr krychlový [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Veličina je označována řeckým písmenem  $\rho$ . Hustota znamená váhu vztahenou k objemu tělesa může se měřit hustoměrem nebo se dá vypočítat vzorcem. (Požgaj a kol.)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  – hustota [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $m$  – hmotnost [ $\text{kg}$ ],  $V$  – objem [ $\text{m}^3$ ]

**Nasákavost** – Jinými slovy schopnost materiálu přijímat vodu. Hygroskopicitu je jev, který se snaží zajistit rovnováhu vlhkosti mezi materiálem a okolním prostředím. Některé materiály při nasákavosti (přijímání vody) zvětšují svůj objem všemi směry stejně, anizotropní materiály, jako je například dřevo ne. Dřevo při přijímání vody zvětšuje svůj objem až do meze nasycení buněčných stěn, v radiálním směru 3-6%, příčný směru 0,1-0,4% tangenciální směru 6-12%. Jednotkou nasákavosti a vlhkosti je [%]. Vlhkost se změří pomocí vlhkoměrů nebo se vypočítá vzorcem, když se těleso vysuší. (*Borůvka*)

### **Absolutní vlhkost**

$$W_{\text{absolutní}} = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100$$

$W_{\text{absolutní}}$  – absolutní vlhkost [%],  $m_w$  – hmotnost při vlhkosti [g]  $W$ ,  $m_0$  – hmotnost v absolutně suchém stavu [g]

(*Künzel a spol.*)

### **Relativní vlhkost**

$$W_{\text{relativní}} = \frac{m_w - m_0}{m_w} * 100$$

$W_{\text{relativní}}$  – relativní vlhkost [%],  $m_w$  – hmotnost při vlhkosti [g]  $W$ ,  $m_0$  – hmotnost v absolutně suchém stavu [g]

(*Künzel a spol.*)

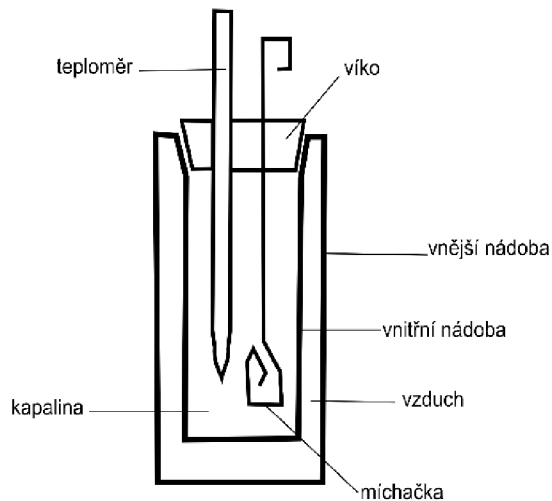
### **Bobtnání**

$$\alpha = \frac{a_w - a_0}{a_0} * 100$$

$\alpha$  – celkové bobtnání [%],  $a_w$  – rozměr při nasáknutí [mm],  $a_0$  – rozměr v absolutně suchém stavu [mm]

(*Požgaj a kol.*)

**Tepelné vlastnosti** – Dělí se na tři charakteristiky, a to na tepelnou vodivost, teplotní vodivost, tepelnou kapacitu. Tepelnou vodivostí rozumíme schopnost materiálu vest teplo, teplotní vodivostí je schopnost materiálu vyrovnávat teplotní rozdíly a tepelná kapacita je množství dodaného tepla k ohřátí o 1K. Jednotlivé charakteristiky se měří různými přístroji, například kalorimetr se používá pro určení tepelné kapacity. (*Kúdela*)



Obrázek 8 Kalorimetr

### **Teplotní vodivost**

$$a = C * \frac{\delta}{\tau}$$

a – teplotní vodivost [ $m^2/s$ ], C – konstanta přístroje,  $\delta$  – tloušťka vzorku [mm],  $\tau$  – čas [s]

(*Kúdela*)

### Tepelná vodivost

$$\lambda = \frac{\rho * \delta}{\Delta t - \rho * k}$$

$\Lambda$  – tepelná vodivost [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ],  $\rho$  – hustota tepelného toku,  $\delta$  – tloušťka zkušební vzorku [mm],  $\Delta t$  teplotní spád [K],  $k$  – konstanta přístroje

(Kúdela)

### Tepelná kapacita

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$C$  – tepelná kapacita [J/K],  $\Delta Q$  – dodané teplo [J],  $\Delta T$  – rozdíl teplot [K]

(Kúdela)

**Akustické vlastnosti** – Se zkoumají z důvodu vedení zvuku, což je vlnění, které se charakterizuje vlnovou délkou, frekvencí a rychlostí šíření. Tuto vlastnost zkoumáme především kvůli rychlosti šíření a vlnovému odporu. Rychlost šíření vln je tak velká, že by jí člověk nedokázal s přesností zaznamenat, proto se využívají přístroje s přesným měřením času. Rychlost šíření pak vypočítáme vzorcem. (Horáček 2008)

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$c$  – rychlost šíření vln [m/s],  $E$  – Youngův modul pružnosti [Pa],  $\rho$  – hustota [ $\text{kg/m}^3$ ]

### Vlnový odpor

$$Z = \rho * c$$

$Z$  – odpor prostředí proti rovinné zvukové vlně [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $\rho$  – hustota [ $\text{kg/m}^3$ ],  $c$  – rychlost šíření zvuku [m/s]

(horáček 2008)

**Elektromagnetické vlastnosti** – Jsou vlastnosti, které umožňují nebo zabraňují toku proudu, takto zabraňující materiály se nazývají izolanty. Mezi nejdůležitější elektrické vlastnosti řadíme elektrickou vodivost nebo spíše měrný odpor což je převrácená hodnota elektrické vodivosti. (*Kúdela*)

$$R = \frac{\rho * d}{S}$$

R – odpor vodiče [ $\Omega$ ],  $\rho$  – měrný odpor [ $\Omega$ ], d – délka vzorku [mm], S – plocha [ $\text{mm}^2$ ]

(*Kúdela*)

**Elektrická pevnost** – Znamená, do jaké míry dokáže být materiál izolantem.

$$E_p = \frac{U_p}{h}$$

$E_p$  – elektrická pevnost [kV/mm],  $U_p$  – průrazové napětí [kV], h – tloušťka materiálu [mm]

(*Kúdela*)

#### 1.4.2. Mechanické vlastnosti

Pod pojmem mechanické vlastnosti se rozumí snášenlivost materiálu za vlivu působících sil na něj. Při působení sil je jasné, že se materiál bude potýkat s deformacemi.

##### Elastické deformace

Za elastickou deformaci považujeme deformaci, kde se síla působící na materiál odstraní a materiál se vrátí do svého původního stavu. (*Požgaj a kol.*)

## Plastické deformace

Jestliže je na materiál vyvíjena větší síla a překročí se mez elasticity nastávají deformace plastické. Po odstranění působících sil je materiál trvale poškozen a deformace jsou nevratné. Při plastických deformacím se může zaznamenat tzv. mez kluzu, kdy dojde sice k náhlému poklesu pevnosti, ale není pro materiál fatální. (*Požgaj a kol.*)

## Destrukce

Když je materiál ještě více zatížen a překoná se mez únosnosti, poté je zcela zničen, zhrouť se a nastává destrukce.

**Pružnost** – Je opakem tvárnosti, tedy schopnost vrátit se do původního stavu po odstranění působících sil. Pružností se tedy rozumí vztah mezi vnějšími silami a deformacemi. Robert Hooke byl britský fyzik, zabývající se právě touto problematikou. Po mez úměrnosti je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení. (*Kollmann*)

## Normálové napětí

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$\sigma$  – normálové napětí [MPa],  $E$  – Youngův modul pružnosti [MPa],  $\varepsilon$  – relativní prodloužení

**Pevnost** – Je schopnost materiálů odolávat různým mechanickým zatížením. Ke zjištění meze pevnosti je třeba speciálních přístrojů, jež zjišťují různé druhy únosnosti materiálů. (*Požgaj a kol*)

**Tah** – Zkouška tlakem spočívá v umístění zkušebního vzorku do specializovaného přístroje, který na vzorek vyvíjí tlak směrem od sebe (tah) až do destrukce vzorku. Na materiál tedy působí dvě stejné síly opačného směru (od sebe) v jedné rovině. Pevnost v tahu se vypočítá vzorcem (*Kollmann*)

$$\sigma = \frac{F}{a * b}$$

$\sigma$  – pevnost v tahu [MPa],  $F$  – zatížení [N],  $a$ ,  $b$  – délka strany [mm]



**Tlak** – Zkouška tlakem spočívá v umístění zkušební vzorku do specializovaného přístroje, který na vzorek vyvíjí tlak směrem k sobě až do destrukce vzorku. Na materiál tedy působí dvě stejné síly opačného směru (k sobě) v jedné rovině. Pevnost v tlaku se vypočítá vzorcem. (*Požgaj a kol.*)

$$\sigma = \frac{F}{a * b}$$

$\sigma$  – pevnost v tahu [MPa], F – zatížení [N], a, b – délka strany [mm]

**Smyk** – Zkouška smykem spočívá v umístění vzorku do specializovaného přístroje, který na vzorek vyvíjí tlak v opačném směru až do destrukce vzorku. Na materiál jsou vyvíjeny síly v rovnoběžném směru opačných hodnot. (*Kollmann*)

$$\sigma = \frac{F}{a * b}$$

$\sigma$  – pevnost v tahu [MPa], F – zatížení [N], a, b – délka strany [mm]

**Ohyb** – Zkouška ohybem se může provádět dvojím způsobem a to 3 bodový ohyb, kde se nachází nežádoucí faktor smyk a druhý způsob je 4 bodový ohyb, kde se faktor smyku eliminuje. Síla, kterou je materiál zatěžován je kolmá k ose materiálu. Pevnost ve statickém ohybu se vypočítá vzorcem. (*Požgaj a kol.*)

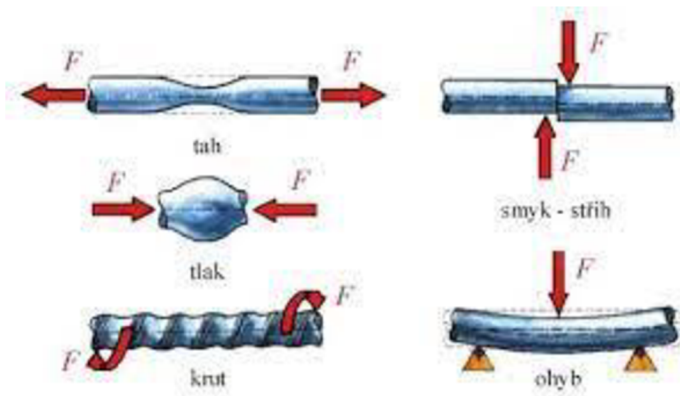
$$\sigma = \frac{3 * F * l}{2 * b * h^2}$$

$\sigma$  – pevnost statického ohybu [MPa], F – zatížení [N], l – vzdálenost podpěr [mm], b – šířka vzorku [mm], h – výška vzorku [mm]

**Krut** – Zkouška krutem spočívá v umístění vzorku do specializovaného přístroje, který na vzorek vyvíjí krouticí moment až do jeho destrukce. Na materiál jsou tedy vyvíjeny dvě dvojice sil s opačným směrem. (*Kollmann*)

$$\tau = \frac{M}{W}$$

$\tau$  – napětí v krutu [MPa], M – krouticí moment [N/m], W – modul průřezu v krutu

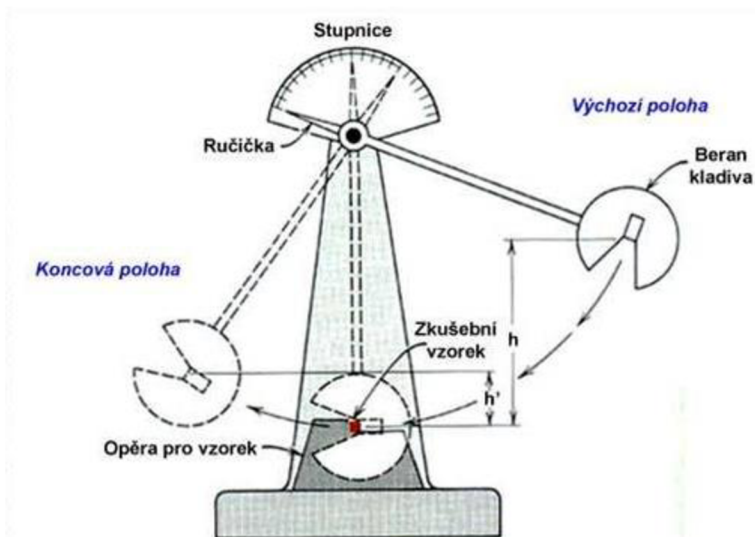


Obrázek 9 Působení sil při různých namáháních

**Houževnatost** – Je schopnost materiálu odolávat rázovému zatížení. Definicí je velikost práce nutná k rozdělení materiálu na dvě části. Podle ČSN je k měření potřeba přístroje, jež minimálně 3krát převýší práci potřebnou k rozdělení materiálu. Snad nepoužívanější metodou k zjištění houževnatosti je zkouška rázem v ohybu podle Charpyho. Přístroj používaný ke změření se jmenuje Charpyho kladivo. (*Požgaj a kol.*)

$$A_w \frac{Q}{b * h}$$

$A_w$  – rázová houževnatost při vlhkosti  $w$  [ $J/cm^2$ ],  $Q$  – práce vynaložená na porušení materiálu [ $J$ ],  $b, h$  – rozměry zkušební vzorku [ $mm$ ]



Obrázek 10 Charpyho kladivo

**Tvrдость** – Je schopnost materiálu odolávat vniknutí cizího předmětu. Existuje mnoho zkoušek k určení tvrdosti. Nejznámější zkoušky jsou Brinellova metoda, kdy se ocelová kulička daného průměru vytváří určitý tlak na materiál. Po odlehčení se zjišťuje průměr otláčené plochy. Další známou zkouškou je zkouška podle Rockwella. Ta je podobná předchozímu příkladu, ale po odlehčení diamantového kužele kvůli plastické deformaci se zkoumá hloubka vtisku. U Vickersovi zkoušky tvrdosti se využívá jehlan s úhlem hrotu  $136^\circ$ . Na jehlan se tlačí určitou silou a ve vzorci je spočítána tvrdost díky změření vytlačených uhlopříček. Nejen tyto metody se používají k určení tvrdosti materiálu, ale jsou i zkoušky dynamické, či vrypové. (*Macháč 2010*)

## **1.5.Dřevo**

Dřevo, jenž je hlavní surovinou při výrobě vrstvených kompozitů dřevních a nedřevních materiálů získáváme z lesů kde roste. V roce 2021 byla lesnatost ČR 37,1 % a neustále se zvyšuje. (*Ústav pro hospodářskou úpravu lesa 2021*)

Dlouhodobá roční těžba na našem území se pohybovala mezi 15-17 mil.  $m^3$  /rok. Výjimku však tvoří události, které roční těžbu zvýšily. V zvýšil těžbu orkán Kirill a nyní zvýšila roční těžbu tzv. „kůrovcová kalamita“ jež posouvá hranici vytěženého dříví za rok, přes 30 mil.  $m^3$ . Vytěžené dříví se dělí několika způsoby. (*silvarium.cz*)

### **1.5.1. Dělení dle dřeviny**

Listnatá tvrdá – buk, javor, habr

Listnatá měkká – lípa, topol, vrba

Jehličnatá – smrk, jedle, borovice, modřín

### 1.5.2. Dělení dle pórovitosti

Kruhovitě pórovitá – dub, akát, jilm, jasan

Polokruhovitě pórovitá – ořešák

Roztroušeně pórovitá – olše, třešeň, jeřáb

Jehličnany – smrk, tis, jinan

### 1.5.3. Makroskopická stavba

**Letokruh** – Je tloušťkový přírust dřeva za jedno vegetační období. V mírném pásmu se letokruhy oddělují jarním a letním dřevem, zpravidla tmavší a světlejší barvou kruhovitěho útvaru na příčném řezu dřeva. (*Zeidler*)

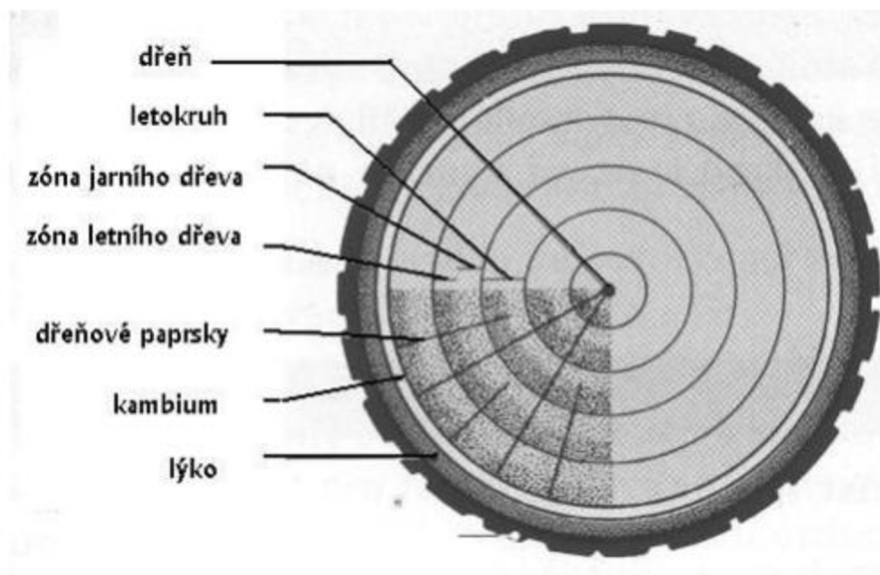
**Jádro** – Nachází se ve středu kmene a jedná se o fyziologicky mrtvé pletivo, zpravidla má tmavší zbarvení. (*Zeidler*)

**Běl** – Rozumíme živou část kmene s vodivými pletivy a parenchymatickými buňkami. Přiléhá ke kambiu na okraji kmene. (*Hoadley*)

**Dřeňové paprsky** – Jsou soubory parenchymatických buněk orientovaných kolmo na osu kmene. Značně ovlivňují mechanické a fyzikální vlastnosti. (*Hoadley*)

**Dřeňové skvrny** – Vytvářejí se z důvodu poškození kambia hojivý parenchym. (*Zeidler*)

**Pryskyřičné kanálky** – Vyskytují se u některých jehličnatých dřevin, např. smrk, borovice, modřín. Jsou to mezibuněčné prostory s vrstvou epitelových buněk na vnitřní straně kanálku. (*Zeidler*)



Obrázek 11 Makroskopická stavba dřeva

#### 1.5.4. Mikroskopická stavba

Veškerou hmotu stromu s výjimkou chemických látek tvoří buňky, které jsou zodpovědné za různé funkce. Počínaje růstem a konče zásobováním.

**Tracheje** – Nacházejí se u listnatých dřevin s podílem cca 10%. Mají vodivou funkci. (*Hoadley*)

**Tracheidy** – Vyskytují se u jehličnatých dřevin. Jejich podíl je 90-94%. Mají vodivou a mechanickou funkci. (*Zeidler*)

**Parenchymatické buňky** – Tvoří dřeňové paprsky, pryskyřičné kanálky, mají zásobní funkci. (*Hoadley*)

**Libriformní vlákna** – Jsou tzv. dřevní vlákna. Zastupují 50-60%, zastávají mechanickou funkci. (*Zeidler*)

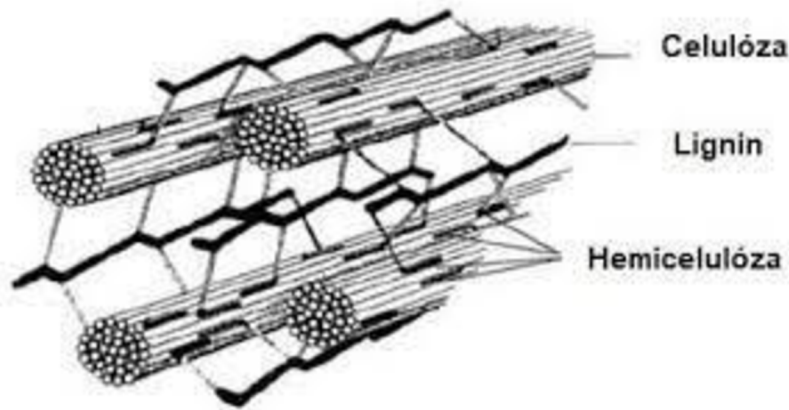
#### 1.5.5. Chemická stavba

**Celulóza** – 32-56% kostra zdřevnatělých buněčných stěn, získává se pro výrobu papíru.

**Hemiceluloza** – 15-35% spojuje celulózu a lignin, výroba lepidel, rozpouštědel.

**Lignin** – 25-35% zajišťuje pevnost dřeva

**Extraktivní látky** – 1-5% ostatní látky obsažené ve dřevě



Obrázek 12 Chemické složení dřeva

(Kačík 2020)

#### 1.5.6. Dělení dle jakosti

- I. Jakost – krájené dýhy, rezonanční výřezy
- II. Jakost – loupané dýhy, speciální výřezy
- III. Jakost – pilařské výřezy
- IV. Jakost – důlní výřezy, tyčovina
- V. Jakost – výroba buničiny
- VI. Jakost – palivové dříví

Dle jakostní třídy se dříví zpracovává v různých pilařských závodech.

(Sarvašová Kvietková 2019)

#### 1.5.7. Výroba krájené dýhy

Kulatina, která se dodá k výrobě krájené dýhy se podélně rozřeže na poloviny, čtvrtiny či více kusů, aby se dosáhlo žádané kresby. Dále se odřezávají i krajiny kvůli lepšímu uchycení na vozík krájecího stroje. Dřevo se tzv. plastifikuje (hydrotermická úprava) čímž se změkčí. Dýha se krájí na horizontálních nebo vertikálních krájecích strojích. Rozdílem těchto dvou strojů je pohyb a rychlost, u horizontálního stroje se pohybuje nůž s tlakovou lištou a

rychlost je 40-50 listů dýhy za minutu, u vertikálního je tomu naopak, pohybuje se výřez a rychlost se zvýší na 60-80 listů za minutu. Nakrájené dýhy se suší, třídí a poté skládají do svazku po 16-32 listech dle dřeviny, jakosti, rozměru. Tento typ dýhy je vyráběn především kvůli kresbě, tudíž k okrasným účelům (*Sarvašová Kvietková 2019*)

#### **1.5.8. Výroba loupaná dýha**

Počátek vstupní suroviny je stejný jako u krájené dýhy, nýbrž po plastifikaci a odkornění se upevňuje celý kus do loupacího stroje. Výřez je upnut do rozety na jednom konci a do upínacího trnu na druhém konci. Roztočením upevněného výřezu a přibližováním nože s tlakovou lištou se po dráze Archimédovi spirály odlupuje tříška v „nekonečném“ páse jenž je právě loupaná dýha. Již zmíněný „nekonečný“ pás se formátuje, třídí, suší. Loupaná dýha se získává za účelem výroby překližek. (*Martin Böhm et al. 2012*)

#### **1.5.9. Výroba řeziva**

Řezivo většinou vzniká na pilách. Kulatina je z lesa dovezena na přejímací místo, kde je změřena, zatříděna do kategorie a zbavena kůry. Dle výrobního závodu se kulatina uskladňuje nebo rovnou pokračuje na pilnici, kde je zpracována rámovými, kotoučovými nebo pásovými pilami. (*Martin Böhm et al. 2012*)

#### **1.5.10. Výroba štěpky**

Dřevní štěpka je vedlejším produktem pilařských podniků, nebo se získává přímo v lese drcením tzv. nehroubí či potěžebních zbytků. Štěpka se rozděluje na kvalitu pro zpracování na vlákno, jiné aglomerované materiály (OSB, DTD, aj.) nebo energetickou, která končí jako palivo v elektrárnách. (*Martin Böhm et al. 2012*)

### 1.5.11. Výroba vlákna

Vyrob vlákna se provádí v rozvlákňovačích, kdy se vloží vstupní materiál pro výrobu vlákna. Dělí se na mechanické, chemické a mechanickochemické. Vzniklé vlákno se poté využívá k výrobě DVD, MDF, aj. (*Martin Böhm et al. 2012*)

### 1.5.12. Vady dřeva

**Suky** – Jsou růstovou vadou každého stromu, jsou to zbytky zarostlých větví, jež jsou nezbytné k růstu stromu. U suků měříme nejmenší hodnotu průměru. Rozdělujeme je na suky otevřené a zarostlé, zdravé a nezdravé (poškozené hnilobou). (*Požgaj a kol.*)

**Trhliny** – Vznikají dvojího typu, a to čelní a boční. Čelní trhliny se dále dělí na odlupčivé, kdy se trhlinka objevuje mezi letokruhy a trhliny dřeňové, které probíhají kolmo na letokruhy (v radiálním směru). Boční trhliny se dělí na mrazové, jež jsou způsobeny mrazem na rostoucím stromě od kůry směrem ke dřeni. Výsušné trhliny vznikají na pokácených stromech důsledkem změny vlhkosti. (*Zeidler*)

**Křivost** – Řadíme mezi růstové vady. V raném věku mohlo dojít k okusu terminálního pupenu, či špatné výchovy. Může být jednoduchá nebo složená podle počtu prohnutí kmene stromu. Odchýlení z osy kmene měříme v cm na 1bm délky. Odchýlením vláken se mění mechanické vlastnosti. (*Zeidler*)

**Sbíhavost** – Je to vada zapříčiněná například dědičností, zápojem v porostu nebo druhem dřeviny. Jedná se o úbytek hmoty od oddenku k terminálnímu pupenu. Normální hodnota je 1cm na 1bm kulatiny. (*Požgaj a kol.*)

**Točitost** – Jsou spirálovitě zatočená vlákna kolem osy kmene. Za normální hodnotu považujeme točitost do 10cm na 1bm pod 5% se za vadu nepovažuje. (*Zeidler*)

**Zásušek** – Je to odumřelá část dřeva vzniklá poraněním kmene, může způsobovat nepravidelnost letokruhů. (*Požgaj a kol.*)



**Zárost** – Dělí se na úplný a částečný. Jedná se o odumřelou část kmene obrůstající dřevem. Takto poraněné dřevo je velmi náchylné na napadení dřevokaznými houbami. (*Požgaj a kol.*)

**Nepravé jádro** – Se vyskytuje u listnatých dřevin jako je buk, bříza nebo javor. Většinou není ohraničeno letokruhy. Vyskytuje se při narušení fyziologických procesech ve dřevě. (*Zeidler*)

**Hniloba** – Rozděluje se na hnědou, kdy dřevokazné houby rozkládají ve dřevě celulózu a zůstává lignin a na bílou, kdy dřevokazné houby napadají lignin a nechávají celulózu a hemicelulózu. (*Zeidler*)

**Trouchnivost** – Je to poslední stadium napadení dřevokaznými houbami a dřevo se úplně rozpadá.

(*Zeidler*)

## 2. Praktická část

Praktická část této práce je zaměřena na metodiku výroby, testování destruktivní metodou na trhacím stroji a vyhodnocení výsledků testů na zkušebních vzorcích.

### 2.1. Materiál a metody

Pro zkušební vzorek byly vybrány bukové lamely o rozměrech 550x35x5-6 mm (délka x šířka x tloušťka), jednosložkové polyuretanové lepidlo odolnosti D4 Kestopur 1010. Doporučena spotřeba je 150 g/m<sup>2</sup> podle nasákavosti materiálu, doba lisování je 30 minut.

Tkanina ze skelného vlákna značky Kittfort. Skelná vlákna jsou chemicky inertní sklo potažené ochranou vrstvou organických polymerů. Hmotnost je 355 g/m<sup>2</sup>.



Obrázek 13 Využití lepidlo Kestopur 1010

### 2.1.1. Postup výroby

Vzorky byly stanoveny na 4 kategorie a každá kategorie má po 15 vzorcích

- dvě lamely slepené k sobě
- výztuž ze skelného vlákna je mezi dvěma lamelami
- výztuž ze skelného vlákna je na vrchní straně dvou slepených lamel
- výztuž ze skelného vlákna je na spodní straně dvou slepených lamel

Pro výrobu vzorku byly nařezány lamely z bukového dřeva na určitý rozměr.

Pro první vzorek (dvě lamely bez skelného vlákna) bylo na jednu lamelu ze dvou nanášeno lepidlo v průměrné spotřebě  $93,33 \text{ g/m}^2$  což je méně než doporučená dávka. Poté se lamely přitiskly k sobě a za pomoci mechanických svorek se vzorek lisoval nejméně po dobu 30 minut při pokojové teplotě.



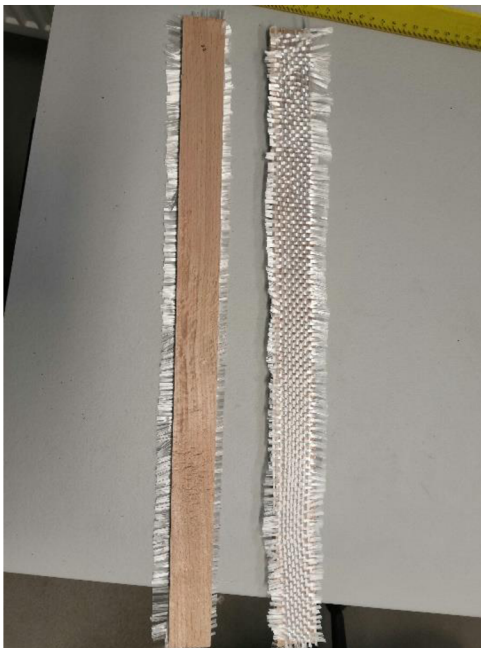
Obrázek 14 Vzorek bez výztuže

Pro druhý vzorek (výztuž ze skelného vlákna mezi dvěma lamelami) bylo na jednu lamelu nanášeno lepidlo v průměrné spotřebě  $191,95 \text{ g/m}^2$ , což je větší spotřeba, než udává doporučená dávka. Přiložila se tkanina ze skelného vlákna druhá lamela a za pomoci mechanických svorek se lisoval nejméně po dobu 30 minut při pokojové teplotě.



Obrázek 15 Vzorek vyztužený uprostřed

Pro třetí a čtvrtý vzorek (výztuž ze skelného vlákna na spodní a vrchní straně dvou slepených lamel) bylo na jednu lamelu z obou stran nanесeno lepidlo v průměrné spotřebě  $188,92\text{g/m}^2$ . Z jedné strany se přiloží tkanina ze skelného vlákna a z druhé strany se přiloží druhá lamela a za pomoci mechanických svorek lisuje minimálně po dobu 30 minut.



Obrázek 16 Vzorek vyztužený na horní a spodní straně

Po vytvrzení lepidla byly vzorky ponechány vzdušné vlhkosti v truhlárně na FLD.



Obrázek 17 Lisování vzorků mechanickými svorkami

### **Bozp při výrobě a zkoušení vzorku**

Je třeba dbát především na ochranu zdraví při práci, a to zejména při zacházení se stroji, chemikáliemi, či jinými dráždivými látkami a materiály, jako jsou zkušební stroj, lepidlo, skelné vlákno. Nutné ochranné prostředky jsou: ochranné brýle, rukavice a ochranný oděv.

#### **2.1.2. Měřící stroj**

Měření probíhalo na certifikovaném stroji TIRAtest 2850S s platnou revizí ČMI. Zařízení je vybaveno příslušenstvím pro více zkoušek (zkouška tlakem, ohybem, tahem aj.). Stroj dokáže vyvinout zatížení maximálně 50kN. S přesností měření 0,5-1% podle normy EN ISO 7500. velikost testovacího prostoru je 1100x450mm (výška x šířka). (technický list TT2850)



Obrázek 18 TIRAtest 2850 S

### 2.1.3. Průběh měření

Testované vzorky byly kladeny do lámacího stroje připraveného ke zkoušce statickým čtyřbodovým ohybem. Před vložením do stroje byl vzorek změřen s přesností na 0,01mm a zvážen s přesností na 0,01g. Po vložení vzorku na podpěry čelisti stroje začaly zatěžovat zkušební těleso podle normy ČSN 490116 jež zní:

„-Zkušební těleso musí být radiální plochou kolmo k ose zatěžování

-Zkušební těleso je zatěžované rovnoměrnou rychlostí nebo rovnoměrnou silou tak, aby za 30 sekund dosáhla síly 800N

-Po dosažení 800N se těleso plynule odlehčí na 200N. Při následujících čtyřech opakování zatěžování se změří průhyb v okamžiku dosažení síly 300N a 800N v průběhu nejvíce 10 sekund s přesností na 0,001mm. Když v rozsahu zatěžovací síly od 300N do 800N není deformace úměrná zatěžovací síle změní se horní a dolní hranice zatěžovací síly, přičemž horní hranice nesmí překročit 50% zatěžovací síly při porušení.“ (ČSN 4900116)



Obrázek 19 Průběh ohybové zkoušky

Po ohybové zkoušce byl zkušební vzorek vyjmut ze stroje a vložen do aklimatizační komory, kde se vysušil na 0% vlhkosti aby bylo možné zjistit jeho vlhkost při zkoušce. Vysušení bylo prováděno dle normy ČSN jež hovoří:

„-Zkušební vzorek se zváží s přesností na 0,01g.

-Zkušební vzorek se vysuší při teplotě  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  na konstantní hmotnost

-Zkušební těleso se ochladí a ihned se zváží, aby vlhkost nestoupala přes 0,1% z přesností na 0,01g“

### 3. Výsledky měření

Při průměrné vlhkosti 7,05% byly výsledky variabilní. Doba jedné zkoušky trvala přibližně půl minuty. Nejvyšší hodnota modulu pružnosti byla naměřena u vzorku bez výztuže, ale zároveň měl největší rozmezí mezi maximem a minimem. Vzorkem, který měl nejmenší rozptyl byl vyhodnocen vzorek s výztuží skelného vlákna umístěného na spodní straně.

#### 3.1. Statický modul pružnosti

U prvního vzorku (bez výztuže) byl zjištěn největší rozptyl mezi horní a spodní hranicí. Maximální hodnota modulu pružnosti byla stanovena na 19612,92 MPa, spodní hodnota byla stanovena na 12323,73 MPa a směrodatná odchylka na 2100,12 MPa.

Tabulka 1 Statistický přehled modulu pružnosti vzorku bez výztuže

Minimum	12323,73 MPa
Maximum	19612,92 MPa
Směrodatná odchylka	2100,12 MPa
Aritmetický průměr	17891,1 MPa

U druhého vzorku (výztuž mezi lamelami) byla nejvyšší naměřená hodnota 18174,77 MPa nejnižší hodnotou bylo 14613,1 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 1248,85 MPa.

Tabulka 2 Statistický přehled modulu pružnosti vzorku s výztuží uprostřed

Minimum	14613,1 Mpa
Maximum	18174,77 MPa
Směrodatná odchylka	1248,85 MPa
Aritmetický průměr	17425,6 MPa



U třetího vzorku (výztuž na vrchní straně lamely) byla nejvyšší naměřená hodnota 17980,36 MPa nejnižší hodnotou bylo 11527,36 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 1865,54 MPa

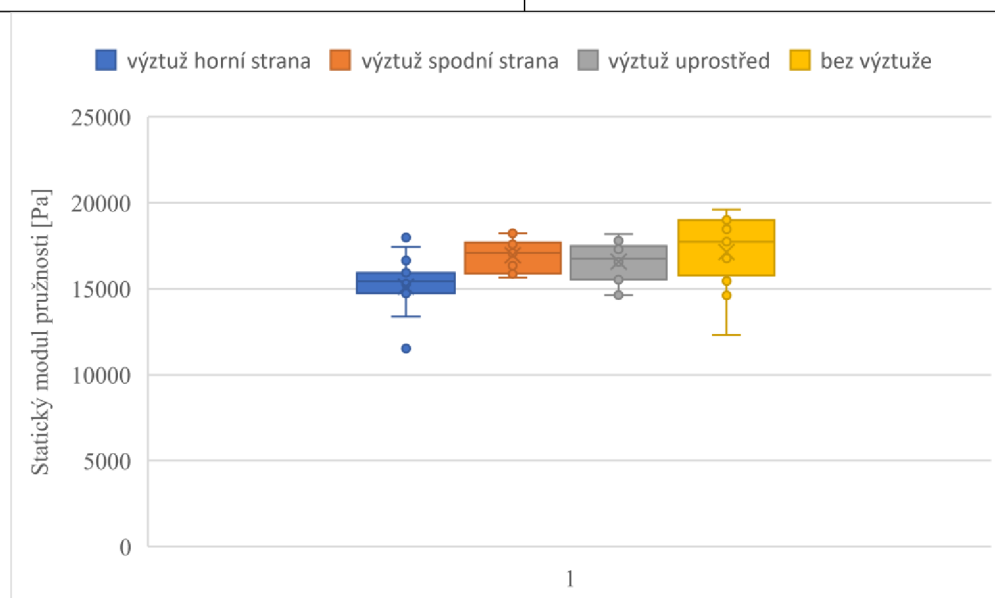
Tabulka 3 Statistický přehled modulu pružnosti vzorků s výztuží na horní straně

Minimum	11527,36 MPa
Maximum	17980,36 MPa
Směrodatná odchylka	1865,54 MPa
Aritmetický průměr	15902,5 MPa

U čtvrtého vzorku (výztuž na spodní straně lamely) se zjistil nejmenší rozptyl ze všech měřených vzorků maximum bylo 18236,2 MPa u minima byla naměřena hodnota 15647 MPa a směrodatná odchylka byla stanovena na 966,66 MPa.

Tabulka 4 Statistický přehled modulu pružnosti vzorků s výztuží na spodní straně

Minimum	15647 MPa
Maximum	18236 MPa
Směrodatná odchylka	966,66 MPa
Aritmetický průměr	17815,6 MPa



Obrázek 20 Vzájemné porovnání modulu pružnosti zkoušených vzorků

Hodnota  $P(0,004) < 0,05$  čímž se potvrzuje závislost na uložení výztuže.

### 3.2. Mez pevnosti

U prvního vzorku (bez výztuže) byla nejvyšší naměřená hodnota 169,69 MPa nejnižší hodnotou bylo 88,69 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 29,61 MPa.

Tabulka 5 Statistický přehled meze pevnosti vzorků bez výztuže

Minimum	88,69 MPa
Maximum	169,69 MPa
Směrodatná odchylka	29,61 MPa
Aritmetický průměr	134,18 MPa

U druhého vzorku (výztuž mezi lamelami) byla nejvyšší naměřená hodnota 159,14 MPa nejnižší hodnotou bylo 98,60 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 18,24 MPa.

Tabulka 6 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží uprostřed

Minimum	98,60 MPa
Maximum	159,14 MPa
Směrodatná odchylka	18,24 MPa
Aritmetický průměr	124,81 MPa

U třetího vzorku (výztuž na vrchní straně lamely) byl zjištěn největší rozptyl mezi horní a spodní hranicí. Maximální hodnota meze pevnosti byla stanovena na 170,72 MPa, spodní hodnota byla stanovena na 58,00 MPa a směrodatná odchylka na 29,63 MPa.

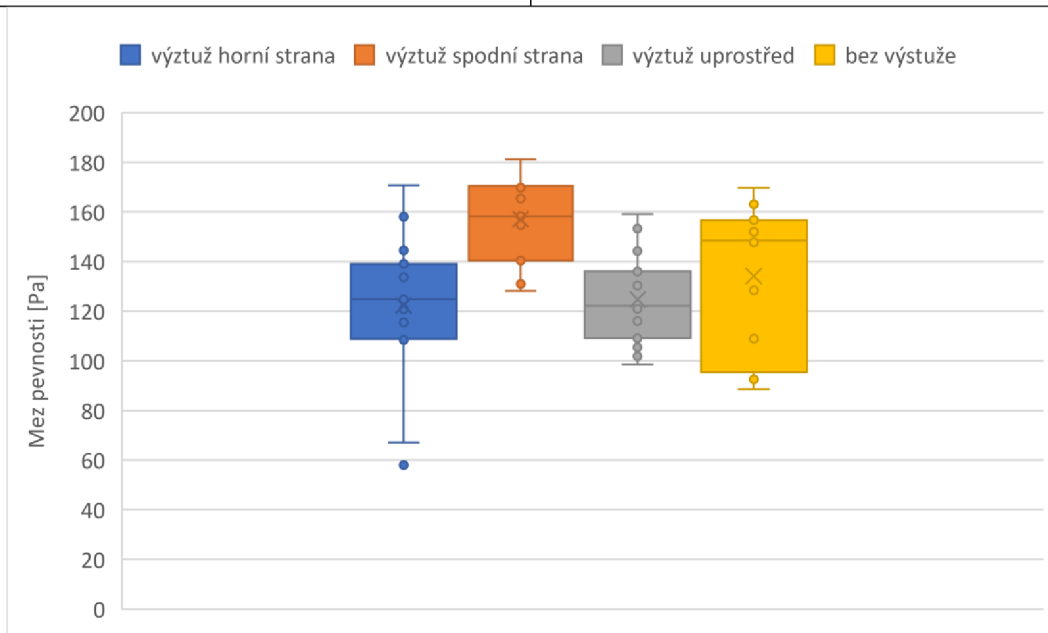
Tabulka 7 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží na horní straně

Minimum	58,00 MPa
Maximum	170,72 MPa
Směrodatná odchylka	29,63 MPa
Aritmetický průměr	122,37 MPa

U čtvrtého vzorku (výztuž na spodní straně lamely) byla nejvyšší naměřená hodnota 181,17 MPa nejnižší hodnotou bylo 128,18 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 16,69 MPa.

Tabulka 8 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží na spodní straně

Minimum	128,18 MPa
Maximum	181,17 MPa
Směrodatná odchylka	16,69 MPa
Aritmetický průměr	157,08 MPa



Obrázek 21 Vzájemné porovnání meze pevnosti zkoušených vzorků

Hodnota  $P(0,001) < 0,05$  čímž se potvrzuje závislost na uložení výztuže.

### 3.3.Mez kluzu

U prvního vzorku (bez výztuže) byla nejvyšší naměřená hodnota 131,53 MPa nejnižší hodnotou bylo 73,18 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 21,08 MPa.

Tabulka 9 Statistický přehled meze kluzu vzorků bez výztuže

Minimum	73,18 MPa
Maximum	131,53 MPa
Směrodatná odchylka	21,08 MPa
Aritmetický průměr	108,92 MPa

U druhého vzorku (výztuž mezi lamelami) byla nejvyšší naměřená hodnota 122,46 MPa nejnižší hodnotou bylo 92,50 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 9,01 MPa.

Tabulka 10 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží uprostřed

Minimum	92,50 MPa
Maximum	122,46 MPa
Směrodatná odchylka	9,01 MPa
Aritmetický průměr	105,15 MPa

U třetího vzorku (výztuž na vrchní straně lamely) byla nejvyšší naměřená hodnota 132,23 MPa nejnižší hodnotou bylo 0,00 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 31,60 MPa.

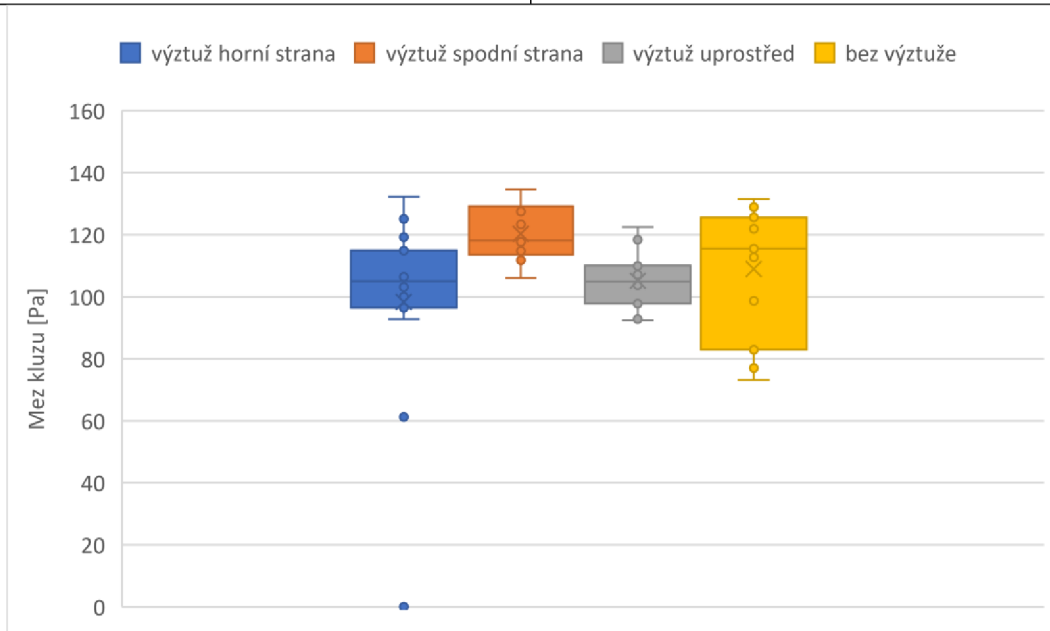
Tabulka 11 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží na horní straně

Minimum	0,00 MPa
Maximum	132,23 MPa
Směrodatná odchylka	31,60 MPa
Aritmetický průměr	98,35 MPa

U čtvrtého vzorku (výztuž na spodní straně lamely) byla nejvyšší naměřená hodnota 134,66 MPa nejnižší hodnotou bylo 106,04 MPa směrodatná odchylka pak byla stanovena na 8,22 MPa.

Tabulka 12 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží na spodní straně

Minimum	106,04 MPa
Maximum	134,66 MPa
Směrodatná odchylka	8,22 MPa
Aritmetický průměr	120,24 MPa



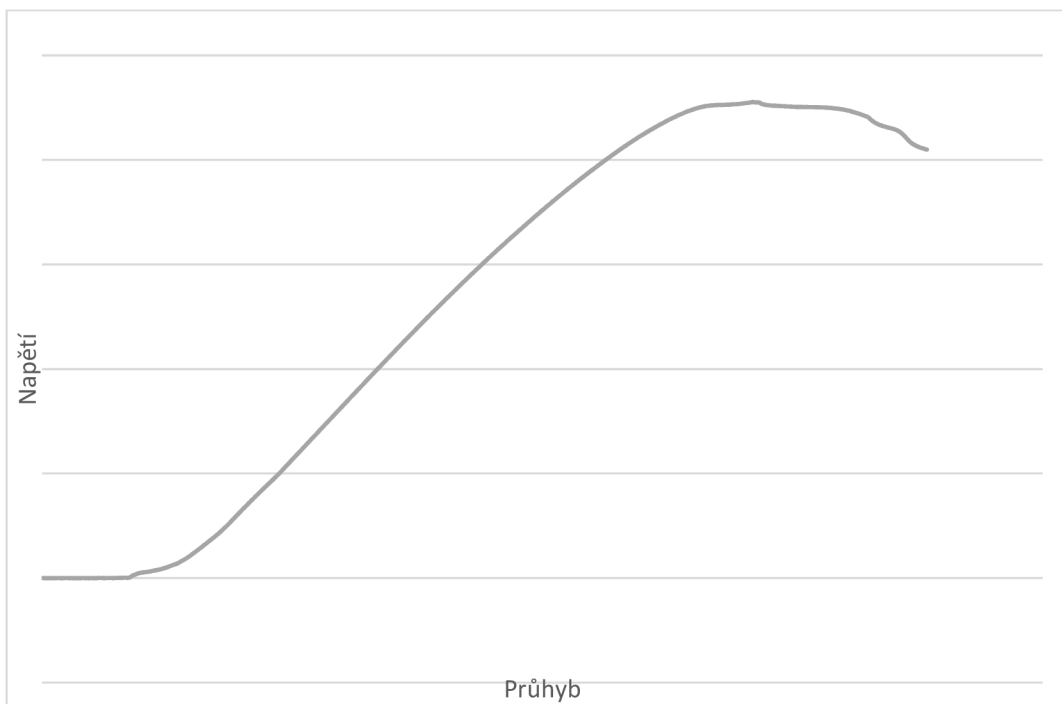
Obrázek 22 Vzájemné porovnání meze kluzu zkoušených vzorků

Hodnota  $P (0,031) <$  čímž se potvrzuje závislost na uložení výztuže.

### 3.4. Grafické zobrazení vybraných vzorků

#### *Diagram vzorku je bez významné meze kluzu*

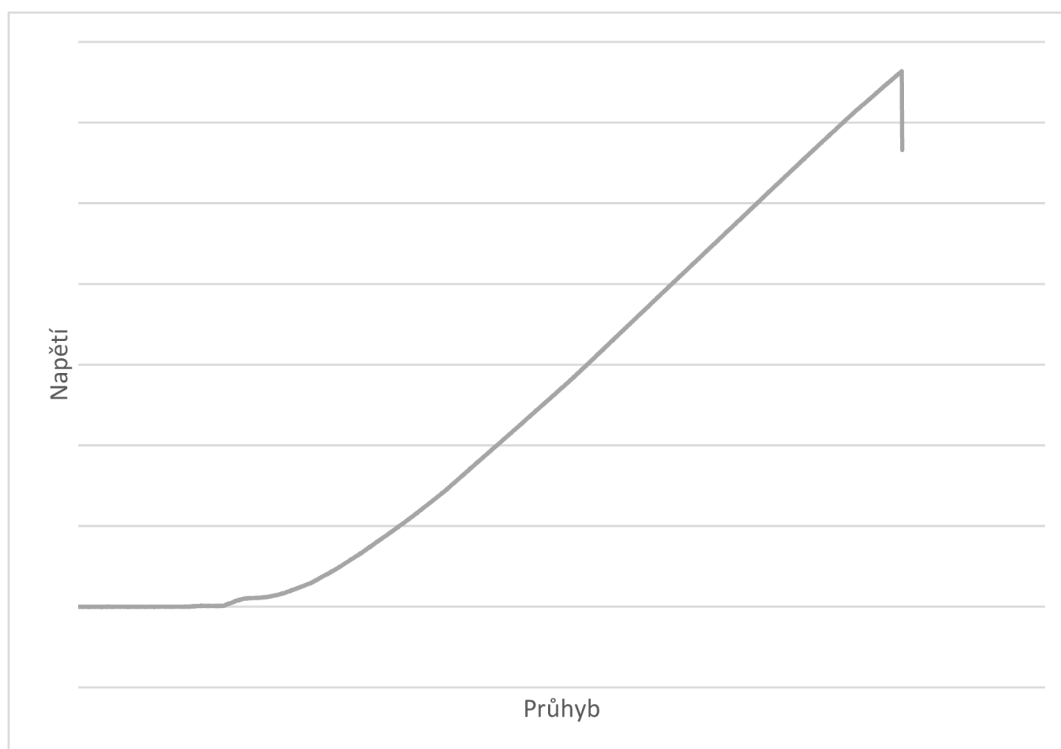
U tohoto pracovního diagramu nelze poznat mez kluzu, proto se zde nachází tzv. „smluvní mez kluzu“, při zvyšování síly působící na vzorek se na vrcholu křivky nachází mez pevnosti, dále pozvolný úbytek pevnosti a přichází lom.



Obrázek 23 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 41

### *Diagram vzorku bez významné meze kluzu*

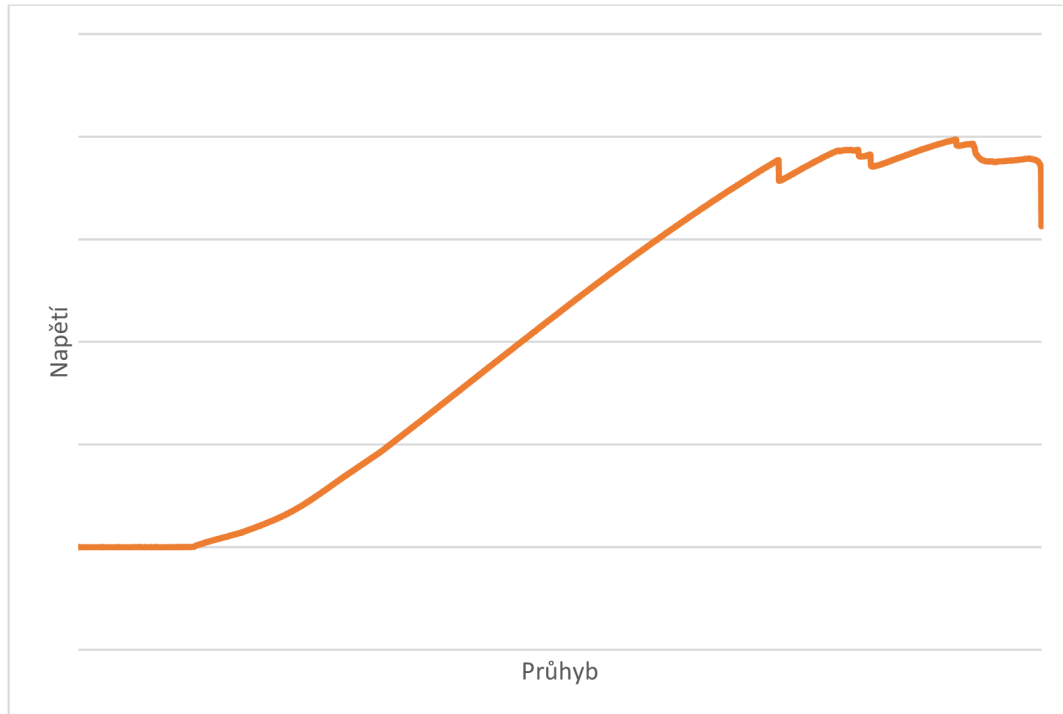
Diagram bez významné meze kluzu, avšak stále se zde vyskytuje „smluvní mez kluzu“ dále se při zvyšování působící síly na vzorek projeví mez pevnosti a okamžitá destrukce.



Obrázek 24 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 13

### *Diagram vzorku s výraznou mezí kluzu*

Diagram vzorku s výraznou mezí kluzu. Jde zřetelně rozeznat horní a spodní mez kluzu i zřetelná mez pevnosti, následuje lom.



Obrázek 25 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 55



## 4. Diskuze

Vrstvenými kompozitními materiály různých druhů se bezpochyby zaobíralo mnoho vědců. Většina prací se ale zaměřuje na vzorky s 12% -ní vlhkostí nebo vzorky vlhké tak, aby bylo možné přepočítat jejich hodnoty modulu pružnosti na již zmíněných 12%, což je podle normy ČSN 490116  $\pm 3\%$ . Tato práce se zaobírala zjištěním hodnot v prostorách s nižším % vlhkosti a posouzení, zda je kompozitní materiál vyztužen skelnými vlákny odolnější.

Statický modul pružnosti je pro bukovou lamelu o tloušťce 10mm a vlhkosti 12%, 13820 MPa (M, Gaff et al. 2017). Snížením vlhkosti a vytvořením kompozitního materiálu slepením dvou tenčích lamel se dosáhlo vyšších hodnot o modulu pružnosti o 15,5%. Správným umístěním výztuže se můžou mechanické vlastnosti viditelně zvýšit (J. Francisco et al. 2017)

Mez pevnosti ve zkoušce statického ohybu zkoušených vzorků byla vyhodnocena s nejvyšší hodnotou skupina vzorků s výztuží umístěnou na spodní straně vzorku s průměrnou hodnotou 157,08 MPa. Mez pevnosti u skupiny vzorků s výztuží umístěnou mezi lamelami s hodnotou 105,15 MPa byl vybrán k porovnání se vzorkem jež tvoří střídavě prokládané vrstvy bukové dýhy a tkaniny ze skelného vlákna spojených epoxidovou pryskyřicí v poměru 3 vrstvy BK dýhy a 4 vrstvy tkaniny ze skelného vlákna. Mez pevnosti této kombinace je 114,1 MPa. (Vítězslav Škrabal 2015) Vzorky konkurenčních vzorků mají hodnoty meze pevnosti o 8,51% vyšší. Což je dáno nejspíše více vrstvami materiálu.

## 5. Závěr

Cílem této práce bylo v teoretické části přiblížení vrstevovitých kompozitů na bázi dřeva a v praktické části pak bylo úkolem zkoumání vybrané mechanické vlastnosti, kterou byla zvolena destruktivní zkouška čtyřbodovým ohybem. Zaměřil jsem se na hodnoty statického modulu pružnosti, meze pevnosti a meze kluzu. Četnost zkoušených vzorků (15 ks x 4 skupiny vzorků) je dostatečně reprezentativní.

Vzorky, které byly namáhány ohybovou zkouškou měly předem nepředvídatelný průběh deformace. U některých vzorků byla destrukce náhlá a rychlá, u jiných byla naopak pozvolná a plynulá. Podle diagramu průběhu zkoušky můžeme odhadnout, zda byl vzorek křehký, či houževnatý.

Jako nejideálnější skupina se jevila ta, která měla výztuž ze skelného vlákna na spodní straně. Tato skupina vzorků vykazovala průměrně nejvyšší hodnoty s nejmenší odchylkou u všech zjišťovaných hodnot, tj. statický modul pružnosti (17815,6 MPa), mez pevnosti (157,08 MPa) a mez kluzu (120,24 MPa). Naopak průměrně největší rozpětí hodnot vždy měla skupina vzorků bez výztuže, výsledkem tudíž je nepředvídatelná odolnost nevyztuženého materiálu.

Závěrem tedy dodávám, že kompozitní materiál vyroben z bukových lamel a tkaniny ze skelných vláken je odolnější a spolehlivější než samotné bukové lamely.

## 6. Zdroje

ŠKRABAL, Vítězslav. *Lisování kombinovaných kompozitů dřevo-polymer*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 82 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33581>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Žaludek, Milan.

KAČÍK, František a JURCZYKOVÁ, Tereza. *Chemie dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2020. ISBN 978-80-213-2938-6.

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. doi:10.1016/j.compositesb.2016.12.058

*Zpráva o stavu lesa 2021* [online]. In: . Praha, 2022, 2022 [cit. 2023-03-16]. ISBN 978-80-7434-669-9. Dostupné z: [https://www.uhul.cz/wp-content/uploads/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2021\\_web.pdf](https://www.uhul.cz/wp-content/uploads/Zprava_o_stavu_lesa_2021_web.pdf)

RESCALVO, Francisco J., et al. Experimental comparison of different carbon fiber composites in reinforcement layouts for wooden beams of historical buildings. *Materials*, 2017, 10.10: 1113.

RUMSCHLAG, Samuel. One Bow (or Stirrup) Is Not Equal to Another: A Comparative Look At Hun and Mongol Military Technologies. *The Silk Road*, 2018, 16: 78-90.

HOADLEY, R. Bruce. *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology*. Newtown: Taunton Press, 2000. 280 p. ISBN 1-56158-358-8.

KOLLMANN, Franz FP; CÔTÉ, Wilfred A.; KOLLMANN, Franz FP. Mechanics and rheology of wood. *Principles of Wood Science and Technology: I Solid Wood*, 1968, 292-419.

Varvani-Farahani, A. Kompozitní materiály: Charakterizace, výroba a aplikace-výzkumné výzvy a směry. *Appl Compos Mater* **17**, 63–67 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10443-009-9107-5>

Lexikon vad dřeva [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: [http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon\\_vad/index.htm](http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/index.htm)

SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, Monika. *Dřevařské komodity I.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019. ISBN 978-80-213-2951-5.

POŽGAJ, A. a kolektiv. *Štuktúra a vlastnosti dreva*, 1997

HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. ISBN 8071573477.

ADAM, Lukáš. *Luk u Mongolů, historie a reflexe ve folklóru.* 2010. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Ústav jižní a centrální Asie. Vedoucí práce Zikmundová, Veronika.

VESELÝ, Jakub. *Vliv stavu povrchu na únavovou a statickou pevnost lepeného spoje.* 2013.

ŠERÝ, Václav. *Spojování kompozitních součástí, volba spoje a testování.* 2018.

BOUCHAL, Petr. *Technologie výroby a zpracování uhlíkových kompozitů.* 2014.

ZAVADIL, Radek. *Využití kompozitních materiálů pro sportovní aplikace.* Vedoucí Rusnáková, Soňa. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2014. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/28504>.

BRIŠ, Petr; KUBĚNA, Jiří a ŠTRKANĚ, Jan. *Lepení v praxi.* Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0247-1.

BÖHM, Martin; REISNER, Jan; BOMBA, Jan. *Materiály na bázi dřeva.* Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012.

TEUCHNER, Dan. *Vliv matrice na porušování vláknových kompozitů.* 2018. Bachelor's Thesis. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.

. VRBKA, J. *Mechanika kompozitů*, Brno : Fakulta strojního inženýrství v Brně, 2008. . [Online] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=83340](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340)

SILVARIUM: *Naučná stezka zakládána Mendelovou univerzitou* [online]. ©2008-2022 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.silvarium.cz/>

FRAXINUS: Makroskopická stavba dřeva - jádro a běl [online]. Mendelova univerzita v Brně [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [https://fraxinus.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba\\_dreva/vyuka/makro/jadro\\_a\\_bel.htm](https://fraxinus.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/jadro_a_bel.htm)

FRAXINUS: Mikroskopická stavba dřeva - dřevné paprsky [online]. Mendelova univerzita v Brně [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [https://fraxinus.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba\\_dreva/vyuka/mikro/drenove\\_paprsky.htm](https://fraxinus.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/vyuka/mikro/drenove_paprsky.htm)

ČEPELKA, Bohumil. Stavba dřeva - multimediální opora [online]. Mendelova univerzita v Brně, ©2006 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/EOPORY/DROCH->

HRÁČEK, Lukáš. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva [online]. SlidePlayer, ©2014 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3099046/>

Präfa Kompozity: Technologie výroby - Pultruze [online]. Präfa Kompozity [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.prefa-kompozity.cz/technologie-vyroby/pultruze-tazeni/>

Präfa Kompozity: Technologie výroby [online]. Präfa Kompozity [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.prefa-kompozity.cz/technologie-vyroby/>

MICHNA, Štěpán, LUKÁČ, Igor, LOUDA, Petr. Kompozitní materiály [online]. Publi.cz, 2005 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/264/07.html>

KOZÁKOVÁ, Gabriela. Kompozitní materiály na bázi dřeva [online]. CORE, 2007 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293705.pdf>

eLEARNING: Zpracování plastů a kompozitů [online]. Integrovaná střední škola automobilní [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1567>

Výukový materiál: Stavba dřeva [online]. Asparateam [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <http://www.elearning.aspara.cz/subdom/elearning/index.php?page=stavba-dreva>

ŘEZNÍČKOVÁ, Jana. Vlastnosti polymerních kompozitů plněných dřevěným odpadem [online]. Masarykova univerzita, 2010 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/eysjf/Reznickova.pdf>. Diplomová práce.

TIRAtest 2850 - Zkoušky dřevěných materiálů [online]. TEMPOS [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.tempos.cz/produkty/tiratest-2850-zkousky-drevenych-materialu/#gallery-3>

BENEŠ, Libor. Kompozitní materiály [online]. České vysoké učení technické v Praze [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/progtech/Kompozity%20\\_%20ZCU.pdf](https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/progtech/Kompozity%20_%20ZCU.pdf)

TIRA. TIRAtest TT 2850: Zkoušky dřeva v tahu, tlaku, ohybu a kroucení [online]. TIRA GmbH, ©2023 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [https://www.tira-gmbh.de/fileadmin/inhalte/download/materialprueftechnik/zug\\_druck\\_biegung\\_torsion/EN/TIRATEST\\_2850/TIRAtest\\_TT\\_2850\\_eng.pdf](https://www.tira-gmbh.de/fileadmin/inhalte/download/materialprueftechnik/zug_druck_biegung_torsion/EN/TIRATEST_2850/TIRAtest_TT_2850_eng.pdf)

KAZDA, Radek. Recyklované polymery a kompozity na bázi recyklátů [online]. VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [http://www.rvhp.cz/wp-content/uploads/2010/07/prednasky/kazda\\_polym.pdf](http://www.rvhp.cz/wp-content/uploads/2010/07/prednasky/kazda_polym.pdf)

VLČKOVÁ, Hana. Studijní materiál pro předmět Materiálové inženýrství [online]. ZČU Plzeň, ©2017 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~vlckov40/MaterialoveInzenyrstvi/Kompozitni-materialy.pdf>

OSIČKA, Stanislav. Technologie zpracování kompozitů [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: [http://iplastics.ld02.com/2018\\_TCPV\\_Stozky\\_-\\_soubory/ES/6-Technologie\\_zpracovani\\_kompozitu.pdf](http://iplastics.ld02.com/2018_TCPV_Stozky_-_soubory/ES/6-Technologie_zpracovani_kompozitu.pdf)

THOMPSON, Allisa E. Composite Materials and their Applications in Ground Transportation [online]. The University of Akron, 2015 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.iamure.com/papers/upce/51/CRMD51.pdf>

## 7. Seznam obrázků

Obrázek 1 Kompozitní luk mongolů .....	3
Obrázek 2 Rozdělení kompozitních materiálů.....	4
Obrázek 3 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže .....	6
Obrázek 4 Výrobní proces tažením .....	8
Obrázek 5 Výrobní proces odvíjení .....	9
Obrázek 6 Výrobní proces lisování .....	9
Obrázek 7 Výrobní proces ruční laminování .....	10
Obrázek 8 Kalorimetr .....	12
Obrázek 9 Působení sil při různých namáháních .....	17
Obrázek 10 Charpyho kladivo .....	17
Obrázek 11 Makroskopická stavba dřeva .....	20
Obrázek 12 Chemické složení dřeva .....	21
Obrázek 13 Využití lepidlo Kestopur 1010 .....	25
Obrázek 14 Vzorek bez výztuže .....	26
Obrázek 15 Vzorek vyztužený uprostřed.....	27
Obrázek 16 Vzorek vyztužený na horní a spodní straně .....	27
Obrázek 17 Lisování vzorků mechanickými svorkami .....	28
Obrázek 18 TIRAtest 2850 S.....	29
Obrázek 19 Průběh ohybové zkoušky .....	30
Obrázek 20 Vzájemné porovnání modulu pružnosti zkoušených vzorků .....	32
Obrázek 21 Vzájemné porovnání meze pevnosti zkoušených vzorků .....	34
Obrázek 22 Vzájemné porovnání meze kluzu zkoušených vzorků .....	36
Obrázek 23 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 41 .....	37
Obrázek 24 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 13.....	38
Obrázek 25 Průběh zkoušky ohybem na vzorku č. 55.....	39

## 8. Seznam tabulek

Tabulka 1 Statistický přehled modulu pružnosti vzorku bez výztuže .....	31
Tabulka 2 Statistický přehled modulu pružnosti vzorku s výztuží uprostřed .....	31
Tabulka 3 Statistický přehled modulu pružnosti vzorků s výztuží na horní straně .....	32
Tabulka 4 Statistický přehled modulu pružnosti vzorků s výztuží na spodní straně .....	32
Tabulka 5 Statistický přehled meze pevnosti vzorků bez výztuže .....	33
Tabulka 6 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží uprostřed .....	33
Tabulka 7 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží na horní straně .....	33
Tabulka 8 Statistický přehled meze pevnosti vzorků s výztuží na spodní straně .....	34
Tabulka 9 Statistický přehled meze kluzu vzorků bez výztuže .....	35
Tabulka 10 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží uprostřed .....	35
Tabulka 11 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží na horní straně .....	35
Tabulka 12 Statistický přehled meze kluzu vzorků s výztuží na spodní straně .....	36