

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA PRAHA**

**FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

**TRENDY V DESIGNU A TVORBĚ NOVÝCH MATERIÁLŮ –  
INTERAKCE NEDŘEVNÍHO MATERIÁLU VE  
VRSTVOVITÉ SKLADBĚ ZHUŠTĚNÉHO BUKOVÉHO  
DŘEVA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Autor: Ondřej Slavík

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

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Slavík

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

**Trendy v designu a tvorbě nových materiálů – interakce nedřevního materiálu ve vrstvitě skladbě zhuštěného bukového dřeva**

Název anglicky

**Trends in design and creation of new materials – interaction of non-wood material in layered composition based on beech wood**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení vlivu vybraných faktorů, jako druh dřeviny (Buk), tloušťka materiálu (5 a 10 mm), použitý nedřevní komponent (Laminát), stupeň zhuštění dřeva (10, 20%) a jejich slepení na základní mechanické charakteristiky zjišťované tří-bodovým ohybem (modul plasticity, koeficient ohybatelnosti) 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**

40 stran

**Klíčová slova**

Buk, vrstvený materiál, zhuštěné dřevo, stupeň zhuštění, nedřevní komponent, laminát, ohybové charakteristiky, modul plasticity, koeficient ohybatelnosti

---

**Doporučené zdroje informací**

- Cruz, N., Bustos, C., Aguayo, M. G., Cloutier, A., and Castillo, R. (2018). "Impact of the chemical composition of Pinus radiata wood on its physical and mechanical properties following thermo-hygromechanical densification," *BioRes.* 13(2), 2268-2282.
- Gaff, M., Babiak, M., Vokatý, V., Ruman, D. (2017). "Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region", *Composites Part B Engineering* 116(1), 61-75, DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.058
- Gaff, M., Babiak, M. (2018). "Tangent modulus as a function of selected factors," *Composite Structures.* DOI 10.1016/j.compstruct.2018.02.052
- Wise, L. E., Murphy, M., D'Addieco, A. A. (1946). Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal*, 122(3), 35-43.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 ZS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2019

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Trendy v designu a tvorbě nových materiálů vypracoval samostatně pod vedením Ing. et Ing. Štěpána Hýska, Ph.D. a použil jsem prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské 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 18. dubna 2019

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Milanovi Gaffovi, PhD. a Ing. et Ing. Štěpánovi Hýskovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za čas, který mi věnovali a za jejich cenné rady, které mi velmi pomohly vytvořit konečnou podobu této bakalářské práce. Mé poděkování patří také všem lidem, kteří mi pomohli s výrobou zkušebních těles, nebo mi asistovali v průběhu experimentu. A v neposlední řadě také velmi děkuji své rodině za to, že mi umožnila studovat tuto universitu a za podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na nově vytvářené a současně nejvíce používané materiály ze dřeva a typy kompozitních materiálů. Teoretická část se zaměřuje na stručný historický vývoj a na rozdělení nejběžnějších lepidel pro kompozitní materiály. Dále se věnuje aktuálně nepoužívanějším typům kompozitních materiálů, jejich charakteristiku, složení, způsobům výroby, vlastnostem a využití. Uvedeny jsou zde i nové trendy v designu a nově vzniklé materiály na bázi dřeva, současně jsou zde představeny vybrané zajímavé materiály na bázi dřeva a jiných kompozit, materiály ekologické a materiály vyrobené z přírodních složek. Praktická část bakalářské práce se dotýká výzkumu a vývoje kompozitních materiálů na bázi dřeva. Byl hodnocen koeficient ohybatelnosti a modul plasticity. Ukázalo se, že na koeficient ohybatelnosti mělo velký vliv podlepení skelnou tkaninou. Vliv tloušťky lamel byl také vyzorován. Rovněž byl rozhodující vliv zhuštění na koeficient ohýbatelnosti, což plně odpovídalo teoretickým předpokladům. V modulu plasticity vypovídal trend o tom, že vrstvení lamel a podlepení souboru skelnou tkaninou mělo kladný vliv.

## **Klíčová slova**

Buk, vrstvený materiál, zhuštěné dřevo, stupeň zhuštění, nedřevní komponent, laminát, ohybové charakteristiky, modul plasticity, koeficient ohybatelnosti

## **Abstrakt v cizím jazyce**

The bachelor thesis is focused on newly created and most widely used wood materials and types of composite materials. The theoretical part focuses on a brief historical development and on the distribution of the most common adhesives for composite materials. It also deals with the most commonly used types of composite materials, their characteristics, composition, methods of production, properties and utilization. New trends in design and new wood-based materials are also presented, as well as selected interesting materials based on wood and other composites, environmental materials and materials made from natural ingredients. The practical part of the thesis deals with research and development of wood-based composite materials. The bendability coefficient and the plasticity modulus were evaluated. It was shown that the glass coefficient of bonding had a large influence on the bendability coefficient. The effect of slat thickness was also observed. The influence of densification on the bendability coefficient was also decisive, which fully corresponded to theoretical assumptions. In the plasticity module, there was a trend that the lamination of the slats and the bonding of the glass fabric had a positive effect.

## **Keywords**

Beech, laminate, densified wood, degree of densification, non-wood component, laminate, bending characteristics, plasticity modulus, bendability coefficient

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam zkratk a značek .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Teoretická východiska .....</b>	<b>14</b>
2.1 Historie a vývoj kompozitních materiálů .....	14
2.2 Lepidla pro kompozitní materiály .....	15
2.3 Kompozitní materiály .....	17
2.3.1 Kompozitní materiály na bázi dřeva .....	17
2.3.2 Kompozitní materiály na bázi bukového dřeva .....	19
2.3.3 Kompozitní materiály na bázi dých, třísek a částic .....	22
2.3.4 Kompozity lepené anorganickými pojivy .....	24
2.4 Trendy v designu kompozitních materiálů .....	29
2.5 Modifikace dřeva.....	35
2.5.1 Modifikace lisováním .....	36
2.5.2 Tepelná modifikace dřeva.....	37
<b>3 Experimentální část .....</b>	<b>39</b>
3.1 Metodika experimentu.....	39
3.1.1 Příprava zkušebních těles.....	39
3.1.2 Mechanické namáhání tříbodovým ohybem .....	42
3.2 Výsledky a diskuse .....	46
<b>4 Závěr.....</b>	<b>51</b>
<b>5 Seznam použité literatury.....</b>	<b>52</b>
<b>6 Seznam internetových odkazů .....</b>	<b>54</b>
<b>7 Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky.....</b>	<b>56</b>
<b>8 Seznam příloh .....</b>	<b>57</b>
<b>9 Přílohy .....</b>	<b>58</b>



---

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Mikroskopická stavba buku – Příčný řez (Vavrčík, 2002).....	20
Obrázek 2 Mikroskopická stavba buku – Tangenciální řez (Vavrčík, 2002). ....	20
Obrázek 3 Mikroskopická stavba buku – Radiální řez (Vavrčík, 2002). ....	20
Obrázek 4 BauBuche (www.pollmeier.com, 2019).....	21
Obrázek 5 Uspořádání vláken: a) Průběžné jednosměrně orientované, b) Nahodile orientovaná krátká vlákna, c) Vůči sobě kolmá vlákna, d) Nahodile orientovaná dlouhá vlákna (Janovec, 2008).....	25
Obrázek 6 WPC – tři barevné varianty, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty. ....	28
Obrázek 7 Complig (www.zcech.cz, 2018).....	30
Obrázek 8 Complig, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.....	30
Obrázek 9 NewspaperWood – Struktura, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty. .	31
Obrázek 10 NewspaperWood – Výrobky (Solanki, 2018).....	31
Obrázek 11 Wood Foam – Struktura, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty. ....	32
Obrázek 12 Holz in form – Struktura povrchu - Diamant (www.vd-holzinform.de, 2018).....	33
Obrázek 13 Materiál CORFLEX a fixační prvek, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty. ....	34
Obrázek 14 Značení vzorků a jejich kódování .....	39
Obrázek 15 Hydraulický Lis.....	40
Obrázek 16 Slepování vzorků.....	41
Obrázek 17 Připravené vzorky na pokus .....	41

---

Obrázek 18 a) Schéma třibodového ohybu b) Průběh zkoušky na TIRA test 2850S.....	42
Obrázek 19 a) Napětový deformační diagram; b) Plastická oblast.....	44
Obrázek 20 Vliv jednotlivých variant zkušebních souborů na koeficient ohybatelnosti B.....	46
Obrázek 21 Vliv jednotlivých variant zkušebních souborů na koeficient ohybatelnosti C.....	47
Obrázek 22 Vliv variant na poloměr ohybu B.....	48
Obrázek 23 Vliv variant na poloměr ohybu C.....	49
Obrázek 24 Vliv jednotlivých variant na Chord modul.....	50

---

## Seznam zkratk a značek

mm	milimetr
kg/m <sup>3</sup>	kilogram na metr krychlový
BK	buk lesní
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
°C	stupeň celsia
MPa	megapascal
m <sup>2</sup>	metr čtverečný
PV/PVAC	polyvinylacetátové

---

# 1 Úvod

Dřevo je výjimečný materiál se zajímavou strukturou. Dřevo stromu od rašícího semínka po skácení a pořezání na pile neustále mění své vlastnosti, ale nikdy nemění svoji stavbu, proto může dřevo v budovách plnit obrovskou škálu funkcí. Dřevo je materiál, který vykazuje v různých směrech k vláknům výrazně rozdílné vlastnosti. Během života stromu ve dřevě vznikají také suky, smolníky a jiné růstem podmíněné prvky, které narušují homogenitu a ovlivňující vlastnosti dřeva (Sandberg *et al.*, 2018).

Odedávna se používá ve své přírodní formě kvůli svým jedinečným přednostem, mezi něž patří téměř neomezená dostupnost, příznivé ekologické hodnocení, všestranná uplatnitelnost a schopnost přirozené obnovy. Dřevo se v rozdílných podmínkách chová různě, proto je velmi důležité vybrat správný druh dřeviny nebo vrstvený materiál a spojovací prostředek. Materiály na bázi dřeva mají v současnosti příležitost, aby se staly významnými stavebními materiály vzhledem k celé řadě objektivních důvodů, mezi něž patří technické a prostorové inovace a vytváření nových konstrukčních standardů pro budoucnost. Přestože jsme ve stavebních aplikacích stále více závislí na oceli a betonu, zůstává dřevo posledních 150 let významnou součástí naší infrastruktury jako jeden z mála obnovitelných zdrojů. S rozvojem techniky se využívání dřeva výrazně zlepšuje, ale až v poslední době se ze dřeva stal materiál pro rozsáhlou škálu výrobků plnících jak požadovanou funkci, tak i dlouhodobou trvanlivost. Dřevařský průmysl způsobuje relativně malé znečištění životního prostředí, které dále redukuje modernizace výrobních procesů. Pro výrobu materiálů na bázi dřeva je všeobecně zapotřebí málo energie (Solanki, 2018).

Vyřízneme-li z prken např. suky a prkna slepíme, nebo rozdělíme-li dřevo na menší částice a ty rovněž slepíme, vzniká materiál na bázi dřeva, u kterého vliv růstových charakteristik dřeva potlačíme. Kompozitní materiály na bázi dřeva nabízejí větší svobodu při navrhování a nové konstrukční možnosti ve stavebnictví. V současné době existuje několik těchto druhů kompozitních materiálů (Matovič, 1993).

Tato práce se zaměřuje především na nově zkoumané a aktuálně nejpoužívanější materiály na bázi dřeva a seznámení se s několika zástupci materiálů, které patří moderní. Tyto materiály představují určitý souhrn trendů a novinek, zaměřených hlavně na svou ekologii a šetrnost k životnímu prostředí. Jsou mezi nimi materiály recyklovatelné, které ztvárňují myšlenku využití a zužitkování odpadu a které jsou také dokladem obrovského potenciálu dřeva jako stavebního materiálu budoucnosti.

---

Dále materiály, které se při své výrobě vyhnuly použití syntetických látek a materiály, které neobsahují žádné dřevo, jen další přírodní a obnovitelné suroviny. A v neposlední řadě uvádím i materiály kombinované s nedřevěnými látkami, jedinečnými pro své vlastnosti a zajímavý design.

---

## 2 Teoretická východiska

### 2.1 Historie a vývoj kompozitních materiálů

K prvnímu použití vrstveného dřeva jako nosného stavebního materiálu došlo už koncem 60. let 20. století v USA, kdy byl vyvinut výrobek s názvem Press-Lam a v roce 1972 zavedla americká firma Truss Joist Co. jako první na světě průmyslovou výrobu vrstveného dřeva. V Evropě byla výroba vrstveného dřeva zahájena v roce 1978 ve Finsku (Janovec *et al.*, 2008). Nové materiály se neustále vymýšlejí, propracovávají a zdokonalují. Vedou k tomu nejrůznější důvody. Tím hlavním důvodem je získat určité vylepšené vlastnosti jako například větší pevnost, ohebnost, odolnost, pružnost nebo zajímavější vzhled. Vývoj těchto nových způsobů zpracování technologií vedl nejen k potlačení negativního vlivu anizotropie a nehomogenity vad snižujících pevnost dřeva, zároveň k nahrazení klasických stavebních materiálů jako jsou beton, kovy a cihly. Globální zájem o životní prostředí vedl k vývoji nových inovativních kompozitních materiálů, jejich zásadní výhody jsou:

1. Umožňují vysoký podíl využití dřevní hmoty do konečných materiálů a vedlejších výrobků z odpadů, které vznikají v průběhu výrobního zpracování.
2. Vykazují mechanické vlastnosti, příznivé dopady na životní prostředí, snadnou zpracovatelnost.
3. Představují široké využití díky překonání rozměrů kmene a vznikají materiály s definovanými rozměry a přizpůsobivými vlastnostmi se širokým využitím mezi dřevařstvím, stavebnictvím a architekturou.
4. Jsou konstrukčními materiály pro průmyslové použití při výrobě interiérových a exteriérových prvků, v konstrukcích budov, zároveň i pro konstrukci mostů, věží a cest.
5. Funkčnost kompozitních materiálů je dalším sledovaným a velmi důležitým aspektem, jelikož tyto materiály vznikají za účelem zvětšení odolnosti při zatížení, tahu a smyku (Sandberg *et al.*, 2018).

---

Při vzniku těchto materiálů je i důležité zvolit si správný druh lepidla, nastínění některých používaných lepidel je popsáno v následující podkapitole 2.2.

## 2.2 Lepidla pro kompozitní materiály

V minulosti se pro lepení dřeva používala převážně lepidla na biologické bázi (glutinová, albuminiová a kaseinová). Získávala se z kostí, rybích kůží, mléka, sóji a jatečných zvířat. V průmyslové výrobě byla tato lepidla ovšem postupem času nahrazena syntetickými lepidly. V druhé polovině 20. století se začaly používat syntetická termoreaktivní lepidla (fenolformaldehydová – PF a močovinoformaldehydová – UF), která mají výrazně vyšší odolnost proti působení vlhkosti. Tato lepidla umožnila díky termoreaktivitě zkrácení lisovacího cyklu. Lepidla používaná v dnešní době se vyrábějí nejčastěji polymerací a polykondenzací. V současnosti existuje řada lepidel, které jsou pevnější než samotné dřevo (Böhm, 2012; Král, 2011).

**Močovinoformaldehydová lepidla (UF)** jsou v současnosti nejrozšířenější a nejvíce využívaná lepidla na dřevo. Jejich výhodou je vytvrzení v širokém rozmezí teplot (10-150 °C) a relativně krátká vytvrzovací doba, transparentní lepená spára a nízká cena. Vznikají kondenzací močoviny a formaldehydu, přičemž molový poměr při výrobě musí být 1:1,18–1:1,19. Mezi hlavní nevýhody patří zejména uvolňování formaldehydu a malá odolnost vůči studené vodě. Používají se nejčastěji na výrobky sloužící v interiérech (DTD, MDF a překližky) (Sandberg *et al.*, 2018).

**Melaminformaldehydová lepidla (MEF)** jsou lepidla s podobnou strukturou močovinoformaldehydovým lepidlům. Ve všech směrech převyšují lepidla fenolová i močovinová. Výhodou těchto lepidel je vysoká pevnost, zdravotní nezávadnost a odolnost proti studené a horké vodě. K nevýhodám lze zařadit malou stabilitu roztoků při skladování a používání, vysoká cena (jsou přibližně třikrát dražší než UF lepidla), z tohoto důvodu se často používají ve směsi s UF lepidly (močovino-melaminformaldehydové lepidlo). Vytvrzování MEF pryskyřic probíhá v neutrálním či kyselém prostředí při teplotách 130–140°C bez tvrdidel. Lze je používat na výrobu zahradního nábytku, pro bednicí desky, výrobu dveří nebo pro dýhování žáruvzdorných desek (Böhm, 2012; Tesařová, 2014).

---

**Fenolformaldehydová lepidla (PF)** jsou jedny z nejstarších syntetických lepidel, používají se od roku 1935 na lepení především překližek. Vytvrzují za tepla nebo za studena působením kyselých tvrdidel. Čistý fenol je bílá krystalická látka, málo rozpustná ve vodě, na vzduchu se zabarvuje do červenofialova. Výhodou těchto lepidel je jejich pevnost, pružnost, odolnost proti vlhkosti, vroucí vodě, většinou rozpouštědel a povětrnostním podmínkám. K nedostatkům patří jejich zdravotní závadnost. Používají se v širokém měřítku pro kompozity a lamináty. Nejčastěji můžeme vidět na konstrukční překližce a na deskách z orientovaných třísek (Sandberg *et al.*, 2018).

**Polyuretanová lepidla (PU)** je jednosložkové lepidlo na bázi polyuretanu, vytvrzující absorpcí vzdušné vlhkosti, vytvářející pevný a vodovzdorný spoj. Lepidlo je vhodné pro lepení plošných spojů s požadavkem odolnosti proti povětrnostním vlivům a teplotním výkyvům. Nevýhodou je potřeba vysokého tlaku na lepený spoj a uvolňování izokyanátu. Používá se k lepení dřevěných kazet do venkovních vchodových dveří, rámu oken, veškerých dřevěných konstrukcí, sendvičových hranolů a trámů (Mikulka, 2010).

**Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)** jsou jednoduchá lepidla zpracovávaná polymerizací za přítomnosti vody a stabilizačních činidel. Předností lepidla je nízká cena, jednoduchost aplikování. Nevýhodou je nízká odolnost vůči vlhkosti, lze ji potlačit smícháním lepidla s močovinoformaldehydovými pryskyřicemi. Lepí tvrdé i měkké dřevo, používá se pro výrobu oken, dveří, venkovního nábytku a interiérových doplňků do koupelen a všude tam, kde je vyžadována velká odolnost proti vlhkosti (Tesařová, 2014).

Mezi výhody PVAc lepidel patří nízká cena, poměrně malá viskozita i při obsahu sušiny 50-60 %. Jsou ředitelná vodou, nezbarvují dřevo, odolávají mikroorganismům, tvoří pružné spoje vysoké pevnosti, snadno se s lepidly manipuluje, nanáší se za běžných teplot. Naopak jako nevýhodu lze vnímat menší odolnost proti vodě, nízkou odolnost proti vyšším teplotám, citlivost na nízké teploty a nevhodnost použití na trvale zatížené spoje (Sandberg *et al.*, 2018).

**Epoxidová lepidla** jsou dvousložková teplem vytvrzovaná lepidla. Předností je jejich chemická a tepelná odolnost, nenáročnost při lepení. Používají se na lepení vrstveného dřeva, na výrobu dřevěných lodí a pro materiály s vyztužovací vrstvou skleněných vláken (Mikulka, 2010).



---

**Resorcinolová lepidla** jsou lepidla s dobrou odolností vůči vodě, vytvrzují se za studena a vytvářejí pevný spoj při běžných teplotách prostředí. Nevýhodou je malá dostupnost a vysoká cena. Používají se na venkovní konstrukční spoje (Sandberg *et al.*, 2018).

**Polyesterová lepidla** jsou lepidla s velkým výběrem typů, předností je nízká cena a vytvrzování při pokojových teplotách. Používají se na lepení vrstveného dřeva s vyztužovací vrstvou skleněných vláken (Mikulka, 2010).

## 2.3 Kompozitní materiály

Jednou z klíčových vlastností zpracování dřeva je, že technickými prostředky lze překonat omezení danými rozměry kmene a vyrábět kompozitní materiály s definovanými vlastnostmi a rozměry, které jsou přizpůsobeny účelu použití. Vrstvené masivní dřevo se na našem trhu sice již několik let používá, bez váhání jej však můžeme označit za novinku (Sandberg *et al.*, 2018).

Základ těchto kompozitních materiálů na bázi dřeva tvoří zpravidla řezivo, třísky, dýhy, štěpky a vlákna, které se za pomoci lepidel spojují do potřebných skladeb a tvarových dílců (Požgaj *et al.*, 1997).

Předností je vysoká nosnost ve vztahu k hmotnosti, tvarová a rozměrová stabilita a přizpůsobivost potřebám stavebních prvků. Tyto materiály mají obecně stejnorodější vlastnosti jak v podélném, tak příčném směru. Výsledky jsou viditelné na obrázku 1., kde jsou zaznamenány některé druhy kompozitů ve srovnání s tříděným řezivem (Sandberg *et al.*, 2018).

### 2.3.1 Kompozitní materiály na bázi dřeva

Jedná se o materiály potřebných vlastností vyráběné pořezem vhodným sortimentů dříví. Jejich rozměry lze zvětšovat podélným spojováním a lepením v příčném směru (Sandberg *et al.*, 2018).

Sušením při vysokých teplotách jsou eliminovány možné zárodky škůdců nebo dřevokazných hub. Ohoblováním všech ploch jsou také odstraněny pozůstatky kůry

---

a vrstvy dřeva těsně při povrchu, kde je nejméně husté a nejvíce napadnutelné (www.woodcote.cz, 2018).

Výběr lepidla závisí na účelu konečného užití výrobku. Pro nosné prvky jsou nejčastěji používána lepidla typu fenol – resorcinol – formaldehydové (PRF) a melamin – urea – formaldehydové (MUF) na bázi polyvinylacetátu (PVAc) (Sandberg *et al.*, 2018).

### **Druhy kompozitních materiálů na bázi dřeva**

**KVH hranoly**, které jsou konstrukční sušené masivní dřevěné hranoly spojované na klínové zuby. Hustota těchto hranolů se pohybuje okolo 350 kg/m<sup>3</sup>, ohybová pevnost je 24 MPa a modul pružnosti 11000 MPa. Používané pro trvalé konstrukce dřevostaveb, střech, pergol, altánů, podhledů, stěn a pro výrobu příhradových vazníků (www.woodcote.cz, 2018).

**BSH hranoly**, vznikají lepením lamelového dřeva vyrobeného na automatických linkách, s maximálním rozměrem prvku 0,24 x 2 x 35 m, nastavení délky lamel zubovitým stykem. Hustota těchto hranolů se pohybuje okolo 380 kg/m<sup>3</sup>, ohybová pevnost je 24 MPa a modul pružnosti 11600 MPa (Gregorová, 2013).

**CLT panely** jsou křížem lepené dřevo. Při navrhování konstrukcí musí být splněny všechny požadavky jak na konstrukce jako celek, tak na jednotlivé části konstrukcí. Únosnost a použitelnost prvků je potom ovlivněna jak jejich velikostí, tak otvory v prvcích (dveře, okna, komíny, schodiště, světlíky), skladbou příčného řezu (počet a tloušťka vrstev, pevnostní třída vrstev, druh dřeviny, uspořádání vrstev). Použití je vhodné nejen na velké vnější a vnitřní stěny, stropy a střechy, ale jsou možné i kombinace s prutovými prvky (www.woodcote.cz, 2018).

---

### 2.3.2 Kompozitní materiály na bázi bukového dřeva

Bukové dřevo patří z dřev listnatých stromů k nejpoužívanějším a nejznámějším. Je tvrdé, málo pružné a velmi pevné (www.botanika.wendys.cz, 2015). Nevyniká přílišnou trvanlivostí, ale výborně se obrábí, moří a lepí. Používá se v nábytkářství, truhlářství, na výrobu ohýbaného nábytku, výrobu parket, železničních pražců či kuchyňského náradí, vhodné na topení, protože má vysokou výhřevnost. Má však i svoje nedostatky, špatně odolává biologickým škůdcům, zvláště houbám, a také hodně pracuje (www.drevo.celyden.cz, 2014).

#### **Bukové dřevo**

Buk - *Fagus* – rod rostlin z čeledi bukovitých, patří mezi statné opadavé listnaté stromy s výraznou světlešedou až stříbřitě šedou hladkou borkou. Dorůstá až do 40 metrů. Kmen může dosahovat šíře i více než 1 metr. Listy střídavé, dvouřadé, krátce řapíkaté, celistvé, vejčité až eliptické, na okraji často zvlněné, v mládí pýřité. Často se ve dřevě objevují tmavé fleky, které mají odlišnou tvrdost. Jedná se o takzvané nepravé jádro. Ta vznikají působením silných mrazů, nebo vniknutím vzduchu do kmene, například otvorem ulomené větve (Mikulka, 2013).

#### **Druhy buků**

Bukové stromy jsou celosvětově rozšířené a má velké množství kultivarů, například *Fagus sylvatica* Pendula, Purpurea, Dawyck Gold, Atropunicea, Asplenifolia. Laciniata a mnoho dalších. Některé z těchto poddruhů jsou jen keřovité rostliny jako například *Fagus sylvatica* Mercedes. V České Republice je nejznámější buk lesní (www.botanika.wendys.cz, 2015).

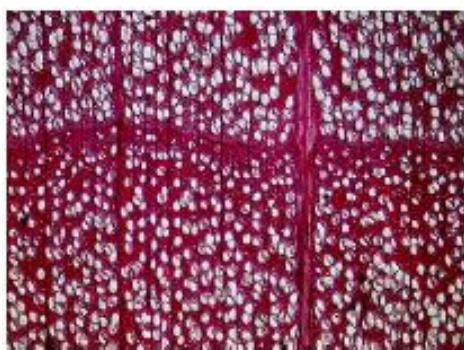
#### **Vlastnosti bukového dřeva**

Při 12 % vlhkosti se udává tahová pevnost 990 kg/cm<sup>2</sup>, tlaková pevnost 400–800 kg/cm<sup>2</sup>, ohybová pevnost 1250 kg/cm<sup>2</sup>. Váhou patří buk mezi těžké dřeviny, čerstvé váží 950 až 1000 kg/cm<sup>2</sup>, na vzduchu suché 730 kg/cm<sup>2</sup>, uměle sušené 660 kg/cm<sup>2</sup> (Mikulka, 2013).

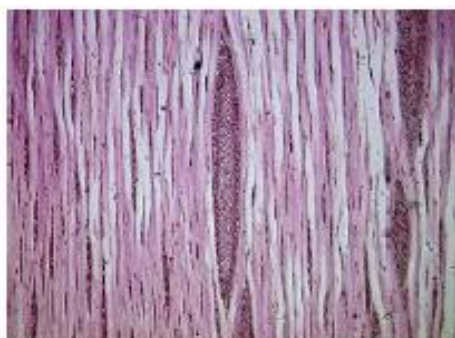
---

## Mikroskopická a makroskopická stavba buku

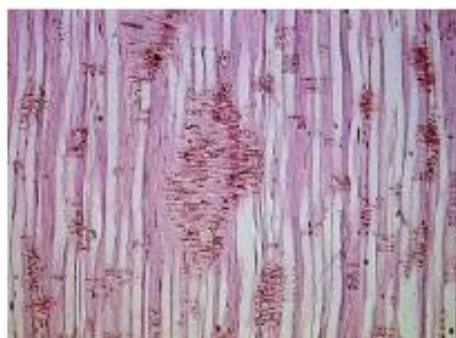
Buk patří do skupiny dřev bělových, u starých stromů se často vyskytuje nepravé jádro. Dřeňové paprsky (1-5 mm) jsou viditelné na všech třech základních řezech. Barva bukového dřeva je narůžovělá, nahnědlá až červenohnědá (pařené dřevo červeně zbarvené). Letokruhy jsou poměrně zřetelné. Dřeňové paprsky jsou homogenní a na hranici letokruhu jsou rozšířeny. Cévy jsou uspořádány jednotlivě v radiálních skupinách po 4, perforace cév je jednoduchá a žebříčkovitá. V cévách nepravého jádra se vyskytují thyly i jádrové látky. V dřevě buku se vyskytují tracheidy vláknité, cévovité a vazicentrické (Vavrčík, 2002; Zeidler, 2016).



**Obrázek 1** Mikroskopická stavba buku – Příčný řez (Vavrčík, 2002).



**Obrázek 2** Mikroskopická stavba buku – Tangenciální řez (Vavrčík, 2002).



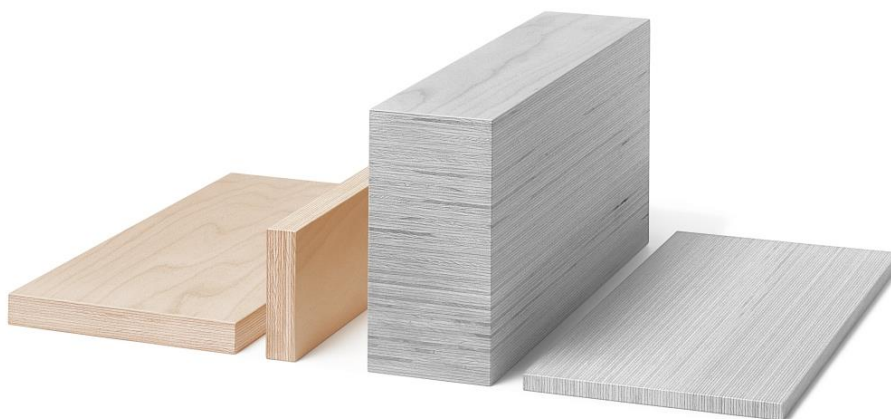
**Obrázek 3** Mikroskopická stavba buku – Radiální řez (Vavrčík, 2002).

---

## Druhy kompozitních materiálů na bázi bukového dřeva

**Překližované desky MULTIPLEX** jsou celobukové překližky složené z mnoha vrstev dýh, které jsou spojeny lepidlem. Pro své vynikající pevnostní vlastnosti jsou používány především na slévárenské modely, pracovní desky stolů, schodiště a pevnostně namáhané díly v nábytkářském průmyslu. Vyrábí se v největších rozměrech 250 x 150 cm a tloušťce 15–50 mm. Desky jsou určeny pro použití ve vlhkém a venkovním prostředí. Používají jako náhrada bukového masivu na namáhané části nábytku, pro výrobu slévárenských modelů, desek pracovních stolů, stolařskou výrobu, zařizování interiérů apod (www.n-i-s.cz, 2013).

**BauBuche** je laminované dýhované řezivo vyrobené z bukového dřeva vyráběného výhradně Pollmeierem. BauBuche se vyrábí zcela novým, ale vysoce ekonomickým procesem. Vrstvy oloupané dýhy o tloušťce 3 mm jsou paralelně nebo křížově laminované a převedeny na nosníky, desky, panely a podlahové prvky. Díky mimořádně vysoké pevnosti BauBuche umožňuje konstrukci s výrazně štíhlejšími rozměry ve srovnání s materiály z měkkého dřeva. Díky vysoké kvalitě povrchu je ideální pro viditelné stavební prvky. A nákladově efektivní výrobní technologie umísťují struktury využívající BauBuche na stejnou cenovou úroveň jako konvenční struktury z měkkého dřeva (www.pollmeier.com, 2019).



Obrázek 4 BauBuche (www.pollmeier.com, 2019)

---

### 2.3.3 Kompozitní materiály na bázi dýh, třísek a částic

Výroba dýh představuje nejehospodárnější způsob výroby kvalitních materiálů s originálním vzhledem dřeva. Řadí se mezi zpracování dřeva s vysokou výtěžností. Z jednoho metru dřeva lze získat 800 až 1000m<sup>2</sup> dýhy. Dýhy vznikají loupáním, krájením a řezáním z výřezu. Z celkové produkce dýh se přibližně 95 % získává loupáním, 3–4 % krájením a 1 % řezáním (Píšová, 2018).

Částicové kompozitní materiály se vyrábějí z různých druhů dřevních částic (hobliny, třísky, ploché třísky, štěpka a piliny). Částice jsou slepovány pomocí polymerů nebo pryskyřic a ty jsou více či méně homogenní s rovnoměrnými vlastnostmi a stále větší mírou se využívají pro nejrůznější účely (Sandberg *et al.*, 2018).

#### **Druhy kompozitních materiálů na bázi dýh**

##### **MPP – Panely vyrobené z dýh**

Panely z masivní překližky jsou přímým konkurentem s křížem lepeným dřevem (CLT), které je vyrobeno z rozřezaných desek, uložených ve vrstvách ve vzájemných 90°, zatímco MPP je překližka z tenkých dýh uložené střídavě s pryskyřicí aplikovanou mezi každou vrstvou za účelem zvýšení pevnosti dřeva. Inovace a konkurence poskytují architektům a inženýrům další možnosti pro výstavbu z masivních materiálů. Lze vyhotovit o maximálních rozměrech 3,6 x 15 m při tloušťce 600 mm. Konkurenční výhodu získává z důvodu snížení spotřeby dřeva o 15-20 % a to z důvodu, že jej odlupuje oproti řezanému CLT (Píšová, 2018; Atkins, 2018).

##### **LVL – Vrstvené dýhové dřevo**

Je to moderní a kvalitní materiál s velkou budoucností pro použití v dřevostavbách. Vyrábí se vzájemným slepením 3,2 mm tlustých dřevěných dýh smrkových nebo borových s vlákny dřeva orientovanými v zásadě v jednom směru. Hustota těchto hranolů se pohybuje okolo 480 kg/m<sup>3</sup>, ohybová pevnost je 48 MPa a modul pružnosti 14000 MPa. Vzhledem ke skladbě z tenkých dýh a vlivu lamelování vrstvené dřevo vykazuje mimořádně vysoké a rovnoměrné hodnoty mechanických vlastností, protože přirozené vady dýh jsou rozděleny do různých míst a jejich vliv je omezen

---

na minimum. Kromě toho vykazuje vysokou stabilitu tvaru, protože při změnách vlhkosti nedochází k vnitřním napětím. Vzhledem i způsobem výroby je vrstvené dřevo z dýh podobné překližovaným deskám, neobsahuje však zpravidla příčně orientované vrstvy (Ultralam R), i když některé typy vrstveného dřeva určitý podíl příčných vrstev používají (Ultralam X) (Gaff *et al.*, 2016; Ansell, 2015).

### **Výhody:**

1. velmi vysoká pevnost oproti lepenému i rostlému dřevu
2. výborná rozměrová stabilita bez trhlin, zakřivení a zkroucení
3. vyšší pevnost pro spojovací prostředky
4. odstraňují se přirozené vady rostlého dřeva a vzniká průřez s přibližně homogenními vlastnostmi
5. nízká váha ve srovnání s betonem a ocelí
6. lze tesařsky obrábět a zpracovávat
7. minimální vlhkost (po výrobě 8-12%)
8. lze použít v úzkých vysokých průřezech
9. snižuje riziko vzniku tepelných mostů na rozdíl od použití ocelových nosníků

### **Druhy kompozitních materiálů na bázi třísek a částic**

#### **PSL – Vrstvené dřevo s paralelních třísek (parallam)**

Vyrábí se z dýh, které se nařezou na pásy široké 20 až 30 mm a dlouhé až 2400 mm. Pásy se po nanesení lepidla souběžně zalisují v kontinuálním lisu a vytvrdí pomocí mikrovlnného ohřevu. Tak lze vyrábět prvky téměř rovnocenné prvkům ze železobetonu. Konstrukční prvky dosahují rozměrů: výška 500 mm, šířka 300 mm a délka 20 m. Pevnost v ohybu je přibližně stejná jako u vrstveného dřeva, v tlaku a ve smyku je jeho pevnost vyšší. Z PSL je možné vyrobit trámy, vaznice, sloupy, nosníky a překlady. Snese vysoká zatížení i na dlouhá rozpětí (Podruh, 2008).

---

## **LSL – Vrstvené dřevo z plochých třísek (Intrallam)**

Vyrábí se z velkých třísek dlouhých až 300 mm, široké 25-40 mm, 0,9 mm tlusté. Ty se následně vysušují a nanáší se na ně vodovzdorné (polyuretanové) lepidlo. Částice jsou orientovány do navzájem paralelního směru, aby se do finálního výrobku přeneslo maximum pevnostních vlastností dřevěných částic. Nakonec se třísky slisují do velkoplošných dílců, jež se dále brousí a poté řezou na jednotlivé elementy. Má deskový charakter (2,44 x 10,6 m při tloušťce až 140 mm). Pevnost v ohybu je porovnatelná s lepeným lamelovým dřevem. Jednotlivé dílce se dají spojovat tradičními způsoby. Dají se řezat na prvky menších rozměrů. Výhodou prvků, které vznikají vrstvením dřeva je vysoká únosnost a požární odolnost. Jsou tak použitelné pro všechny druhy a typy stavebních konstrukcí (Kuklík a Kuklíková, 2002).

### **2.3.4 Kompozity lepené anorganickými pojivy**

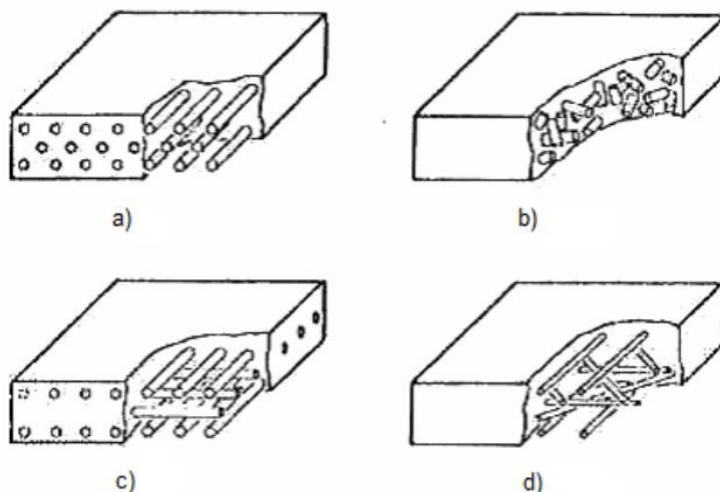
Anorganická pojiva se přidávají z důvodu vyztužení nosného dřevěného konstrukčního prvku. Dřevo se jako materiál dá zkombinovat s různými nedřevěnými materiály, například s plastem, pryskyřicemi, cementem a kovem, protože je možností kombinací velmi mnoho, vybraným zástupcem bude metoda vyztužování s příkladem vzniklých materiálů. Existuje celá řada postupů pro vyztužení dřevěných dílců pomocí polymerních kompozitů vyztužených vlákny. Jsou využitelné pro zpevnění překližek, lepeného lamelového dřeva a mnoha dalších konstrukčních prvků vložením vláken nebo textilií mezi vrstvy dřeva nebo nalepením na povrch prvku. Nejčastěji se používají skelné vlákna. Pro speciální účely se používají také uhlíková nebo aramidová vlákna (Meisterová, 1977).

### **Druhy nedřevních komponentů**

#### **Vyztužující vlákna**

Jako konstrukční materiály se používají zřídka, zajímavými se stávají v kompaktní formě jako kompozitní materiál. Podíl vláken v kompozitu může v některých případech dosáhnout až 80%. Důležitý faktor, který má vliv na vlastnosti, je směr a velikost vyztužujících vláken viz obrázek č. 5 (Janovec, 2008).





**Obrázek 5** Uspořádání vláken: a) Průběžné jednosměrně orientované, b) Nahodile orientovaná krátká vlákna, c) Vůči sobě kolmá vlákna, d) Nahodile orientovaná dlouhá vlákna (Janovec, 2008).

### Druhy vláken:

1. přírodní (bavlna, sisal, juta, celulóza),
2. anorganická (skelná, uhlíková, kovová, bórová, SiC),
3. organická (aramidy – kevlar, polyamidy, UHMWPE – polyetylén s ultra vysokou molekulovou hmotností) (Šušlík, 2018)

### Laminát

Je to druh kompozitního materiálu, který tvoří několik vrstev ze stejného nebo různého materiálu, impregnovaných a slepených vhodnou pryskyřicí nebo jiným pojivem. Vyrábí se často lisováním za vyšších teplot, tento proces se nazývá laminování (Meisterová, 1977).

### Použití laminátů

Lamináty jsou pevné, odolné a dobře se tvarují, takže mají velmi široké použití, například jako podlahový a dekorační materiál, ve výrobě letadel a vozidel, nábytku, sportovního náčiní (lodi, lyže, tyče, luky atd.), ve výrobě plošných spojů atd (Šušlík, 2018).

---

## **Spojování laminátů**

Nejběžnějším způsobem je polyesterová pryskyřice. Jsou poměrně levné a rychle tvrdnou, mají po vytvrzení velmi dobré mechanické vlastnosti, bývají však také křehké. Vinyl esterové pryskyřice jsou dražší, mají rovněž dobré vlastnosti a jsou méně křehké. Epoxidové pryskyřice jsou drahé a pomalu tvrdnou, hodí se však pro ruční laminování do formy. Fenolové pryskyřice odolávají vysokým teplotám (Meisterová, 1977).

## **Druhy laminátových kompozitů**

### **CPL – Kontinuálně lisovaný laminát**

Jsou desky o tloušťce 0,2-0,6 mm, vyráběné kontinuálním válcováním při zvýšené teplotě, což urychluje tvrzení pryskyřice. Skládají se z papírového podkladu, dekorativní vrstvy a povrchové fólie. CPL (jako celek) není popsateľné normami. (Norma: EN 438 popisuje pouze kvalitu, vlastnosti, výrobu materiálu HPL - vysokotlaký laminát, lepený ve stacionárním lise). Používá se na vertikální a vodorovné plochy s nízkou zátěží např. korpusy nábytků, interiérové dveře (Šušlík, 2018).

### **HPL – Vysokotlaký dekorativní laminát**

Desky na bázi reaktoplastů. Vyrábějí se ve stacionárních lisech při vysokém tlaku a teplotě a jsou několikrát odolnější než CPL. Na vrstvy podkladového kraftového papíru je umístěn dekorační papír a následně krycí povrchová vrstva (*overlay*), která zajišťuje odolnost povrchu. Nabízí kvalitní, odolný povrch na mnoho let. Nepřeberné množství variant barev, struktur, povrchů i individuální řešení a to digitální tisk. Povrch z vysokotlakého laminátu je prokazatelně více jak 15x odolnější než povrch "lamino" desky (LTD, DTDL). Dlouhodobá životnost HPL laminátů, množství barev, struktur předurčuje tyto materiály pro hodnotný design interiérů. Vyrábějí se ve tloušťkách od 0,6-1,8 mm, lisovací cyklus trvá přibližně 80 minut. Výrobky typu HPL se vyrábějí dle normy: "ČSN EN 438 (Sandberg *et al.*, 2018).

---

## **Lamino desky DTDL, LTD**

Dřevotřískové desky s nalisovaným papírem, impregnovaným melaminovou pryskyřicí. Povrch těchto desek vykazuje velmi nízkou odolnost proti jakémukoli poškození tepelnému, mechanickému popřípadě proti chemikáliím. Vyrábějí se v tloušťkách např. 10, 18, 25,...mm a používají jako nejlevnější materiál na výrobu nábytku a interiérů. Tento materiál je vhodné používat výhradně na nábytek v interiéru k výrobě korpusů skříňového nábytku, dočasného nábytku s krátkou životností s minimální zátěží (Meisterová, 1977).

## **Laminát s vláknitou výztuží**

Je materiál z nejméně dvou vrstev vláknových kompozitů slepených pryskyřicí a slisovaných do jednoho plošného útvaru. Na výztuž se nejčastěji používají skleněné, uhlíkové a aramidové vlákna, kterými jsou vytvářeny předimpregnované tkaniny, rohože nebo rouna. U laminátů s požadovanou jednostrannou tažnou pevností se kladou jednotlivé vrstvy nad sebou tak, aby vyztužovací vlákna probíhala v jednom směru. U *multidirekcionálních* (quasi-izotropních) laminátů probíhají vlákna v jednotlivých plátech různým směrem a tím je umožněno mnohostranné zatížení výrobku. Jako pojivo se používají stejné pryskyřice jako při výrobě jednovrstvých kompozitů, nejčastěji z polyesteru, vinylesteru, epoxidu a fenolu. Hlavními aplikacemi laminátů jsou střešní krytiny, různé dělicí příčky a kapotáže klimatizace (Šušlík, 2018).

## **Celolaminát**

Je tkanina ze skleněných, kevlarových nebo uhlíkových vláken, napuštěná pryskyřicí a vytvrzená. Může se vyrábět lisováním v deskách nebo "mokrým" laminováním na formu libovolného tvaru (sportovní lodi, části vozidel a letadel, nádoby, židle atd.) (Meisterová, 1977).

---

## Druhy anorganických kompozitních materiálů

**WPC – Dřevoplastové kompozity** zaujímají na trhu místo stavebního materiálu nenáročného na údržbu a odolného vůči hnilobě. V dřevoplastových kompozitech tvoří podíl suché dřevní hmoty obvykle 50–60%. Nové technologie v úpravě směsí využívají reakční činidla umožňující dispergaci velkoobjemových frakcí hydrofilního dřeva v různých plastech. Tato činidla umožňují kontinuální vytlačování, lisování, tepelné tvarování a vstřikování do tvarových forem (Sandberg *et al.*, 2018).



**Obrázek 6** WPC – tři barevné varianty, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.

---

## 2.4 Trendy v designu kompozitních materiálů

V současnosti je výzkum zaměřen zejména na estetické účinky kompozitních materiálů během celé doby jeho životnosti se specifickými nároky a potřebami spotřebitelů. Soudobý design architektury často pracuje s viditelnými konstrukčními prvky staveb bez sádkartonového a jiného způsobu překrytí. Výsledkem je industriální charakter prostupující stavbou a v detailech přirozeně zpracovaného dřeva s jednoduchou elegancí a optimálním využitím materiálů (www.mezistromy.cz, 2018). Estetika je aspektem designu a techniky, který je v nejtěsnějším vztahu k umění, barvám, tvarům, texturám, kontrastům, formám a emočním reakcích, které jsou v daných sférách obvyklé (www.bydlo.cz, 2018).

Tato první kapitola se bude zabývat hlavně vybranými materiály, které jsou módní, trendové a novinkou ve výrobě dřevozpracujícího a nábytkářského průmyslu, inovačními materiály ze dřeva, z kombinací dřeva a jiných materiálů a následně materiálů recyklovaných a přírodních. Svým jedinečným vzhledem, konstrukcí nebo použitými materiály se mohou označovat za „trendy“. Jako trend v materiálech můžeme vnímat i snahu o ekologický životní styl, snahu o vytvoření materiálů z levných surovin a technologie nenáročné na výrobu. Hlavní snahou při vytváření je najít materiály, jejichž vlastnosti by se vyrovnaly materiálům současným, které by je mohly nahradit a být šetrné, či naprosto nezávadné životnímu prostředí. Dnes vzniká spousta materiálů recyklovatelných nebo modifikovaných bez použití chemikálií a toxických látek, nebo materiály tvořené obnovitelnými přírodními surovinami mimo dřeva (Brownell *et al.*, 2017).

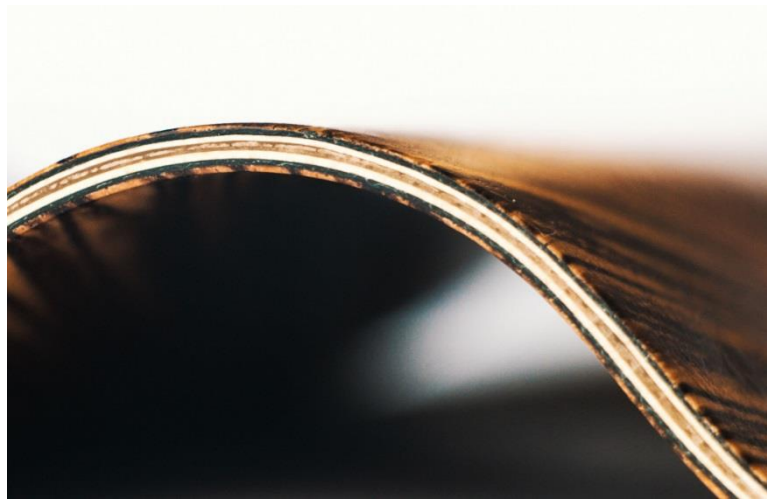
Většina výrobků, které jsou v této práci uvedeny, byla vybrána s pomocí pracovníků knihovny materiálů materiÓ Prague. Jsou tu zástupci materiálů, kde nebyla použita žádná syntetická látka a materiály vytvořené z recyklovaných látek. Výrobky v kombinaci dřeva a nedřevěného materiálu, materiály, které vyniknou v interiéru jako designový prvek. Zahrnují jak zástupce použitelné ve stavebnictví, tak zástupce používané v nábytkářství.

Mezi novodobé materiály na bázi dřeva lze zařadit např. COMPLING, NewspaperWood, WOOD FOAM, Holzinform, CorFlex.

---

## COMPLIG - kompozit na bázi dřeva

Produkt firmy Traditonal Style s.r.o. v České Republice, jedná se o tři až sedmi vrstvý materiál. Vývoj vyústil v patentování materiálu Composite lignum neboli vrstvené dřevo. Technologie výroby tohoto materiálu je podobná výrobě sportovních potřeb, jako například lyží, snowboardů a skateboardů. Complig byl vyvinutý pro výrobu lžic na boty, ale jeho možnosti použití jak v interiéru, tak v exteriéru, původní záměr dalece přesahují (www.zcech.cz, 2018).



**Obrázek 7** Complig (www.zcech.cz, 2018).



**Obrázek 8** Complig, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.

---

## NewspaperWood

Obrací výrobní proces výroby papíru tím, že z deníku vyrobí materiál podobný dřevu. Doplňkové suroviny zahrnují jak recyklovaný papír před tiskem, tak po něm z recyklačních strojů v Eindhovenu, kde se materiál vyrábí. Použitím lepidla bez obsahu změkčovadel a rozpouštědel zajišťuje výrobce na konci funkční životnosti výrobku bezproblémový proces recyklace. Používá se bezrozpouštědlové a netoxické lepidlo. Pozoruhodná vizuální kvalita NewspaperWood je výsledkem jeho náklonu k dřevu. Výrobce záměrně řezá mnoho vrstev lepených novin, které tvoří surovinu, aby odhalily dramatické křivočaré tvary připomínající dřevařské výrobky. Navzdory této blízké podobnosti je zřejmé, že NewspaperWood není dřevem. Lze ho však zpracovat stejně jako dřevo včetně frézování, řezání a broušení. Inovační potenciál pro vytváření žádoucích produktů z odpadu (Solanki, 2018).



**Obrázek 9** NewspaperWood – Struktura, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.



**Obrázek 10** NewspaperWood – Výrobky (Solanki, 2018)

---

## WOOD FOAM

Výzkumníci v Brunswicku, německý institut Fraunhofer Institute for Wood Research, vyvinuli nový izolační materiál na bázi dřeva, který se skládá z pěnových dřevěných částic. S cílem vytvořit ekologičtější substrát pro konvenční izolační výrobky odvozené z ropy, vědci zavedli proces přeměny dřeva na provzdušněné panely. Rozmělňují dřevo na jemnou dužinu a přidávají plyn, aby expandovali částicovou směsí na bublinkovou pěnu. Po ztvrdnutí pěny vzniká lehký základní materiál, který mohou dále zpracovávat na tuhé panely nebo pružné rohože. Podle týmu vědců vykazuje dřevěná pěna výkon a životnost srovnatelnou s tradičními izolačními materiály. Pěny z různých druhů dřevin jsou šetrné k životnímu prostředí a jsou obnovitelnou náhradou za běžné izolační materiály na bázi ropy (Brownell *et al.*, 2017).



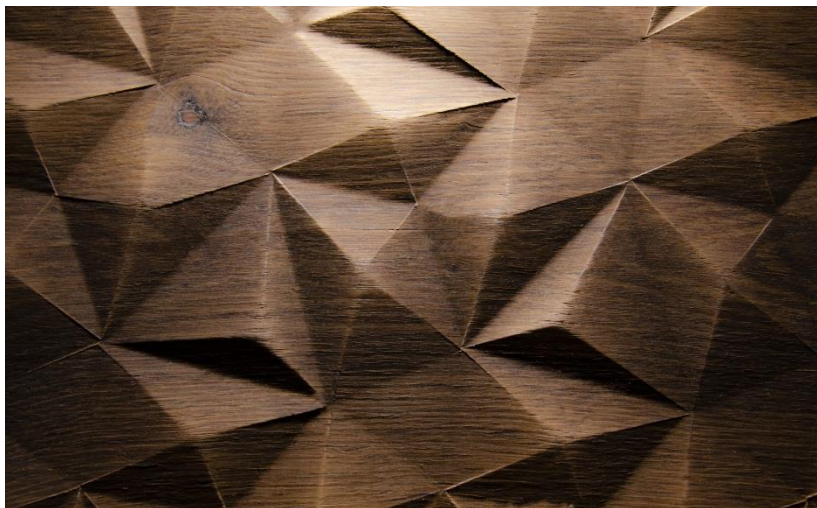
**Obrázek 11** Wood Foam – Struktura, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.



---

## Holz in form - strukturované stěnové panely

Řada panelů vyráběných německou firmou VD Werkstätten GmbH & Co. KG se skládají z MDF nosníků a HDF, oboustranně potažených vrstvami přírodní dýhy (eben, ořech, teak, buk, dub). V závislosti na hloubce se na každé straně používá několik vrstev dýhy pro tisk reliéfů. Tyto vrstvy dýh jsou na obou stranách panelu a ve stejném dřevě identické, což umožňuje dokonalou rovnováhu a rovinnost. Diamant je reliéfní panel se speciálně vyvinutými dýhami spojovanými melaminovými pryskyřicemi s dřevotřískovým jádrem. Hustota těchto panelů je okolo 800 kg/m<sup>3</sup>. Rozměry jsou 2450 x 1050 a 3135 x 1270 mm. Tloušťka je od 4 mm až 21 mm v závislosti na modelu ([www.vd-holzinform.de](http://www.vd-holzinform.de), 2018).



Obrázek 12 Holz in form – Struktura povrchu - Diamant ([www.vd-holzinform.de](http://www.vd-holzinform.de), 2018)

## CorFlex - tvarovatelný panel z prořezávané bukové překližky

CorFlex byl vyvinut ve spolupráci se společností Dyas.EU, která je největším výrobcem bukové překližky ve střední Evropě. Jeho prořezávání umožňuje extrémní možnosti tvarování. Jeho použitelnost je vhodná zejména pro pohledovou aplikaci, zajímavá struktura s přírodním dekorem dřeva. CorFlex má díky svěží 3D strukturu akustických vlastností, které lze uplatnit v koncertních halách jako obložení stěn, či zbudování akustických podhledů. Dalším možným uplatněním mohou být stínidla, lampy a obdobné aplikace s netradičním průchodem světla a vrhání stínů. CorFlex je v základní variantě bez povrchových úprav, tvořen pouze dřevem a lepidlem. Lze jej tedy označit jako ekologicky šetrný materiál, který jde recyklovat při výrobě třískových

---

desek, či zlikvidovat spálením pro získání tepelné energie. Klín po vložení do zářezu zvyšuje pevnost panelu a fixuje jej do požadované polohy. Vložení klíčového prvku na bázi dřeva je reverzibilní, tvar lze tedy opakovaně měnit, či upravovat (Böhm, Procházka, 2016).

Materiál CORFLEX byl vytvořen v rámci projektu TAČR Gama TG03010020 a jeho řešení podprojektu 2016\_11\_11 „Izolační nosný a stavební systém z vlnitých materiálů na bázi dřeva CORPRO a jeho prvky“.

Způsob fixace pomocí vloženého klínu byl vyvinut při projektu OP PPR CZ.07.1.02 / 0.0 / 0.0 / 16\_023/0000111. KZ 05 „Vývoj kompozitního materiálu na bázi dřeva s transparentní vrstvou, optickým vláknem a iluminací pro výrobu nábytku a stavebně-truhlářských výrobků“.



**Obrázek 13** Materiál CORFLEX a fixační prvek, Zdroj: Archiv MateriÓ - materiálové karty.

---

## 2.5 Modifikace dřeva

Modifikaci vlastností dřeva považujeme jako řízenou změnu jeho přirozených vlastností. Cílem této změny je úmyslné zlepšení vlastností přírodního dřeva a snaha o eliminaci některých nedostatků. Modifikace dřeva zvyšuje užitnou hodnotu dřevěných výrobků a umožňuje využití dřeva i tam, kde by to jinak nebylo možné jej použít. V poslední době je oblast modifikace dřeva zaměřena na vývoj nových materiálů na bázi dřeva, snahou je nahradit dřevo dovážené z torpických oblastí. Dřevo s vhodně upravenými vlastnostmi by mohlo v některých případech nahradit i kovy (Matovič, 1993).

Jednou z nevýhod modifikace dřeva jsou komplikace spojené s náročnými technologickými procesy, související množství spotřebované energie a náklady na recyklaci či likvidaci modifikovaného dřeva. Další nevýhodou modifikovaného dřeva je jeho vyšší cena (Hill, 2006).

### **Modifikace dřeva může být:**

1. Přechodná
2. Trvalá

### **Modifikaci můžeme provádět různými způsoby:**

1. Tlakem
2. Působením teplot
3. Impregací
4. Chemicky
5. Mikrovlnným zářením
6. Vrstvením
7. Lamelováním
8. Kombinací materiálů a jiné modifikace

---

### 2.5.1 Modifikace lisováním

Lisování je proces, ve kterém za pomoci působení mechanických sil dochází ke změnám. Mechanické vlastnosti zhutněného dřeva jsou pozoruhodně lepší než vlastnosti přírodního dřeva. Vznikají deformace, které mohou mít trvalý nebo dočasný ráz. Deformace jsou tvarové změny, způsobené působící silou na těleso. Při lisování dochází ke zhutňování struktury dřeva. Zásadní vliv na mechanické vlastnosti má kvalita původního dřeva (Požgaj *et al.*, 1997).

Stupeň zhuštění je důležitý faktor sledující se u procesu zhuštění dřeva. Existují různé metody lisování dřeva. Před lisováním dřevo může být plastifikováno, ale také nemusí, to závisí hlavně na míře lisování a požadovaných vlastnostech upraveného materiálu. Při lisování o více než 50 % je třeba dřevo plastifikovat, je díky tomu tvárnější. Dřevo s vyšší počáteční hustotou při stejném slisování vykazuje větší zlepšení mechanických vlastností a větší změnu objemové hmotnosti než dřevo s původní nižší hustotou. Podstatou celého procesu je odstranění části hemicelulózy a ligninu ze dřeva. Při hledání optimálního poměru základních stavebních složek dřeva k dosažení nejlepších výsledků (Kuklík a Kuklíková, 2002; Cruz *et al.*, 2018).

#### Lisovat můžeme:

1. Napříč vláken (tlak působí kolmo na dřevní vlákna)
2. Podél vláken (tlak působí ve směru vláken)
3. V tangenciálním směru (síly působí ve směru letokruhů)
4. V radiálním směru (síly působí podél dřeňových paprsků)

#### Druhy lisování:

1. Lisování s předběžným ohřevem
2. Lisování s předběžným pařením
3. Lisování kombinující předběžný ohřev a paření
4. Hydraulické lisování v autoklávu

---

**Podle použitých sil rozeznáváme:**

1. Lisování jednostranné (kde síly působí v jedné rovině)
2. Lisování všestranné neboli hydraulické

**Dále rozeznáváme lisování:**

1. Rovnoměrné (zhuštění je ve všech průřezích stejné)
2. Nerovnoměrné (zhuštění je v rámci jednoho kusu proměnlivou veličinou)  
(Gaff *et al.*, 2016)

**Druhy kompozitních materiálů ze zhuštěného dřeva:**

**Desky ze zhuštěných vrstvených dýh (HPLV)** je materiál, který byl slisován v příčném směru, aby se zvýšila jeho hustota. Při tomto procesu zhušťování závisí na použité teplotě, tlaku a čase lisování. Z tohoto procesu se mění fyzikální a mechanické vlastnosti, lisují se za tepla na hustotu 1300 kg/m<sup>3</sup>. Za určitých podmínek lze dosáhnout spojení mezi vrstvami bez použití lepidel. Pro zvýšení rozměrové stability jsou dýhy obvykle impregnovány pryskyřicí (fenol-formaldehydová), díky tomu zvyšuje své ekologické charakteristiky (Sandberg *et al.*, 2018).

**2.5.2 Tepelná modifikace dřeva**

Tento způsob úpravy vlastností dřeva probíhá působením vysokých teplot. Při tepelné modifikaci se mění fyzikální vlastnosti dřeva a mechanické vlastnosti dřeva. Dochází k výraznému snížení koeficientu bobtnání a sesychání a mění se i rovnovážná vlhkost dřeva. Tato technologie se nejvíce rozšířila koncem minulého století ve Finsku, kde se začala provádět průmyslově pod známou značkou ThermoWood ([www.drevostavitel.cz](http://www.drevostavitel.cz), 2011).

Účelem tepelné úpravy dřeva je dosažení změn chemických složek ve dřevě (lignin, celulóza, hemicelulózy a doprovodné složky). Ty vedou ke zvýšení rozměrové stability, při které se zároveň snižuje navlhavost dřeva, a zlepšení odolnosti vůči biotickým škůdcům. Tepelná úprava se uskutečňuje v teplotním rozsahu 180–260°C. Při teplotách

---

nižších než 140°C dochází jen k nepatrným změnám v materiálových vlastnostech, naopak při překročení hranice 300°C dochází k dramatickému snížení pevnosti a nastává tzv. teplotní degradace. Proto jsou moderní procesy tepelné modifikace dřeva omezeny teplotou 260°C. Typickým znakem tepelně modifikovaného dřeva je jeho tmavší barva a změna přirozené vůně (Horáček, 2001).

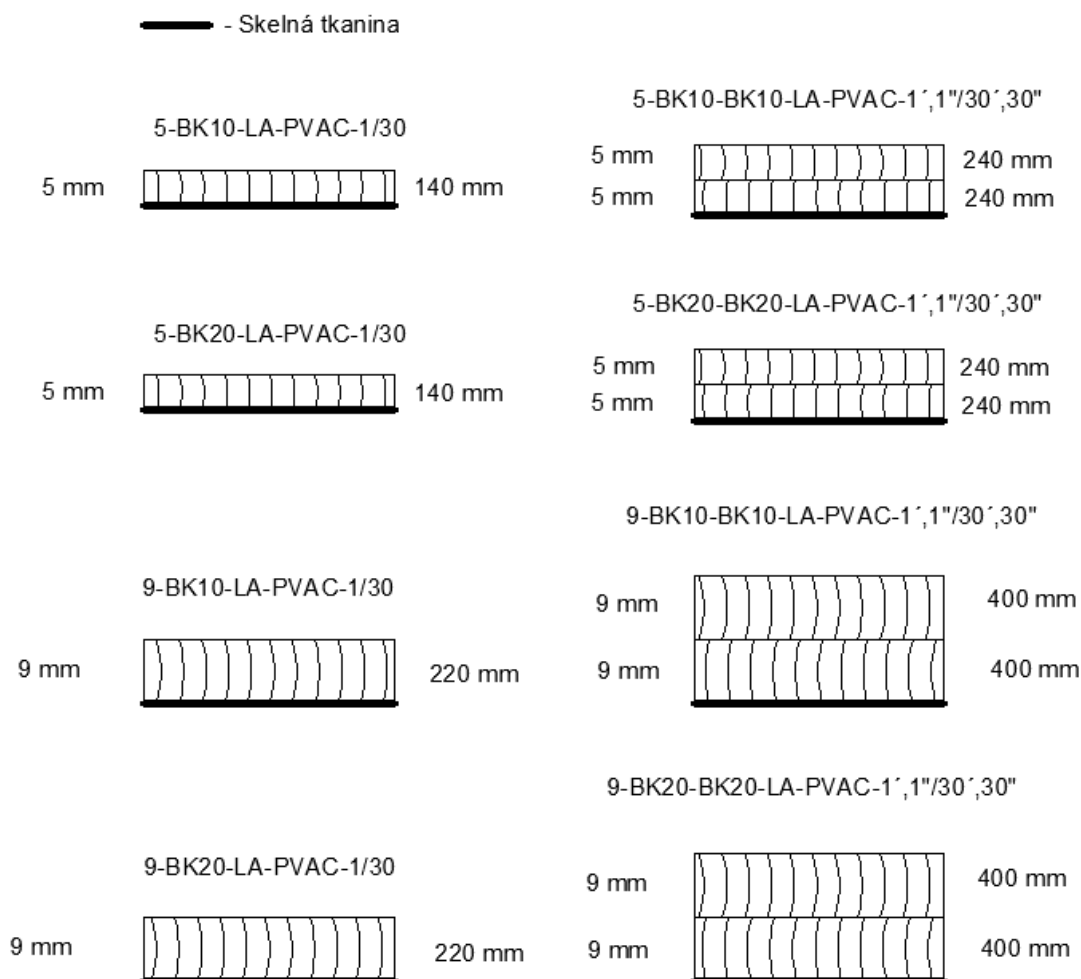
---

## 3 Experimentální část

### 3.1 Metodika experimentu

#### 3.1.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa byly vyrobeny z buku lesního (*Fagus sylvatica L.*). Z bukového řeziva byly vymanipulovány lamely větší tloušťky, tyto nadměry byly zvoleny tak, aby bylo možné další opracování na požadovanou tloušťku. Lamely byly vyrobeny přibližně ve dvou metrových rozměrech. Další fází bylo ohoblování na požadovanou tloušťku. Z těchto připravených lamel byla vymanipulována zkušební tělesa. Délka jednotlivých zkušebních těles se rovnala  $20 \times \text{tloušťka} + 40 \text{ mm}$ . Schématický znázornění zkušebních těles je možné vidět na obrázek 15. Každá trojice zkušebních těles byla z jedné lamely, aby byla malá variabilita hustoty pro přesnější výsledky.



Obrázek 14 Značení vzorků a jejich kódování

---

Po označení, změření a zvážení zkušebních těles následovalo jejich lisování, které bylo provedeno na hydraulickém lisu od výrobce STROZATECH s.r.o. Základní konstrukci tvoří dva podpěrné sloupy a dvě vyhřívané lisovací plotny. Horní tlačná plocha je pohyblivá a je ovládána středovým pístem a řídíme ho ovládací jednotkou.



**Obrázek 15** Hydraulický Lis

Při lisování byly obě plotny vyhřívány na teplotu 120°C. Během lisování se postupně zvyšovala působící síla na plochu (tlak) a lisovalo se na požadovanou tloušťku z původní tloušťky. Míra lisování se nastavila pomocí kovových zarážek. Důležité sledované faktory byly teplota lisovacích ploch, tlak a doba lisování.

Po stlačení na potřebnou výšku byla zkušební tělesa ponechána v lisu a vystavena působení tlaku po dobu 3-5 minut dle tloušťky a stupně zhuštění.

Po lisování se zkušební tělesa měřila a vážila.

Zkušební tělesa se nechala stabilizovat 4 dny v laboratorních podmínkách, aby se projevila deformace pružná v čase. Nové ustálené rozměry zkušebních těles byly změřeny a zaznamenány. Zjistilo se tak, jak se změnily rozměry vzorků před a po stabilizaci.

Další operací bylo lepení vybraných těles k sobě (viz obrázek 15) za použití PVAC – Ag-Coll 8731/L D3 lepidla. Během lepení jsme dodrželi pokyny a doporučení uvedená



---

v technických listech. Jedná se o jednosložkové disperzní polyvinylacetátové lepidlo s výbornou odolností vůči vodě. Splňuje požadavky normy DIN EN 204 pro lepidla kategorie D3. Toto lepidlo je speciálně určené pro plošné lepení, je vhodné pro lepení tvrdého i měkkého dřeva a má mléčně bílou barvu.



**Obrázek 16** Slepování vzorků

Poslední část přípravy spočívala v nalepení skelné tkaniny na spodní část zkušebních těles za použití PVAc – Ag-Coll 8731/L D3 lepidla. Během lepení jsme dodrželi pokyny a doporučení uvedená v technických listech. Zkušební tělesa se zatížila, aby došlo k pevnému přilnutí k povrchu. Vzniklé soubory lze vidět na obrázku 18.



**Obrázek 17** Připravené vzorky na pokus

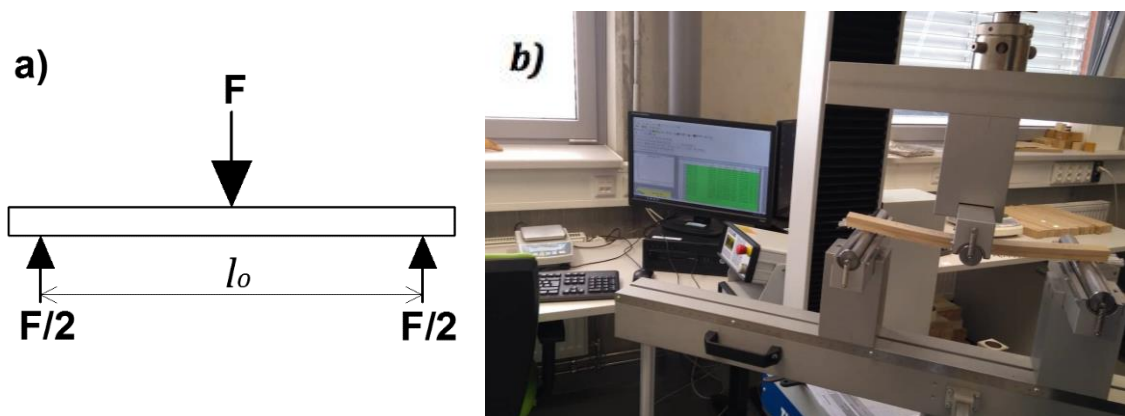
Před testováním byla zkušební tělesa naposledy měřena a vážena.

### 3.1.2 Mechanické namáhání tříbodovým ohybem

Zkušební tělesa byla namáhána v ohybu pomocí zařízení TIRA test 2850S. Ohybová zkouška probíhala pomocí tříbodového ohybu Stanovení modulu plasticity (Chord modulu) a koeficientu ohybatelnosti při statickém ohybu se řídí normou ČSN EN 310. Ve středu délky zkušebního tělesa se změřila jeho tloušťka  $h$ . Vzdálenost podpěr se určila dle vzorce (Gaff *et al.*, 2017):

$$l_0 = 20 \cdot h \quad (1)$$

Zkušební tělesa se umístila na dvě podpěry a uprostřed se zatížila osamělým břemenem viz obrázek 19a. Během zkoušky se měřil koeficient ohybatelnosti a modul plasticity.



Obrázek 18 a) Schéma tříbodového ohybu b) Průběh zkoušky na TIRA test 2850S

Po nastavení vzdálenosti podpěr bylo umístěno zkušební těleso, tak aby byly přesahy rovnoměrně na obou stranách v přístroji, a nechá se působit zatěžovací hlava. Zkušební rychlosti byly nastaveny tak, abychom nepřekročili dobu trvání testu 2 minuty. Výstupem testování je silově průhybový diagram, ze kterého se následně vypočítají sledované charakteristiky.

---

Z mechanických vlastností jsou zkoumány ohybové charakteristiky, koeficient ohybatelnosti a modul plasticity vyjádřený pomocí chord modulu. Sledované charakteristiky jsou podrobně popsány v této části bakalářské práce.

### **Koeficient ohybatelnosti**

Je bezrozměrná veličina daná poměrem výšky  $h$  ohýbaného materiálu a minimálního poloměru ohybu  $R_{min}$ . Pro výpočet rovnice byl použit vzorec (2), který byl převzat z práce (Požgaj *et al.*, 1997):

$$k_{oh} = \frac{h}{R_{min}} \quad (2)$$

kde:

$k_{oh}$  ... koeficient ohýbatelnosti

$h$  ... výška tělesa (mm)

$R_{min}$  ... minimální poloměr ohybu (mm)

### **Minimální poloměr ohybu**

Pro výpočet koeficientu ohýbatelnosti je třeba znát minimální poloměr ohybu  $R_{min}$ , který lze vypočítat dvěma způsoby:

1. Pro výpočet koeficientu ohybatelnosti, založeného na odvození ze základní rovnice ohybu byl použit vzorec (3), který byl převzat z práce (Gaff *et al.*, 2017):

$$R_{min B} = \frac{l_o^2}{8*y_{max}} + \frac{y_{max}}{2} - \frac{h}{2} \quad (3)$$

kde:

$l_o$  ... vzdálenost spodních podpěr (mm)

$y_{max}$  ... maximální průhyb (mm)

$h$  ... tloušťka testovaného tělesa (mm)

$R_{min B}$  ... minimální poloměr ohybu (mm)

2. Druhou možností pro výpočet koeficientu ohybatelnosti, založeného na odvození na základě geometrie ohybu pomocí vzorce (4), který byl převzat z práce (Gaff *et al.*, 2017):

$$R_{\min C} = \frac{l_o^2}{12 \cdot y_{\max}} \quad (4)$$

kde:

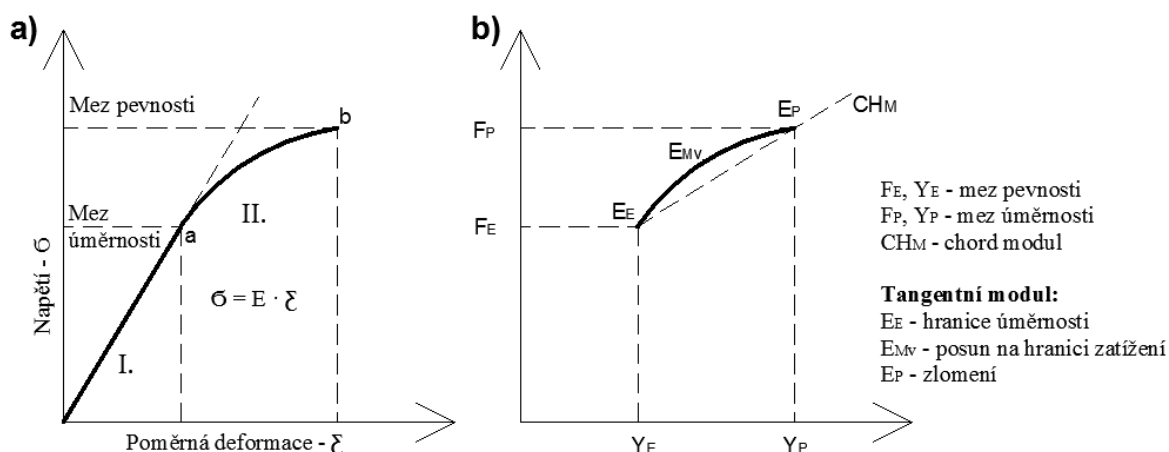
$l_o$  ... vzdálenost spodních podpěr (mm)

$y_{\max}$  ... maximální průhyb (mm)

$R_{\min C}$  ... minimální poloměr ohybu (mm)

### Modul plasticity a diagram napětí

Diagram se skládá ze dvou částí viz obrázek 19a. V prvním případě platí Hookeův zákon, to znamená vztah napětí. Napětí je lineární. Poslední bod této části se nazývá mez úměrnosti. Je-li namáhání vyšší než u limitu proporcionality, dochází ke vzniku viskoelastických a plastických deformací (Gaff *et al.*, 2017a). Pro zjednodušení použijeme termín „Plastická oblast“, znázorněno na obrázku 19b. Pokud napětí roste nad mez úměrnosti, přestává být rozloženo v tělese rovnoměrně a deformační úsečka nabývá charakteru křivky. Vzniklé plastické deformace přestávají být přímo úměrné napětí a po ukončení působení vnější síly nezaniknou (Požgaj *et al.*, 1997).



Obrázek 19 a) Napětí-ový deformační diagram; b) Plastická oblast

---

Výpočet Chord modulu lze vypočítat pomocí vzorce (5), který byl převzat z práce (Gaff *et al.*, 2017a):

$$CH_M = \frac{F_P - F_E}{Y_P - Y_E} \cdot \frac{l_o^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \quad (5)$$

kde:

$F_P$  ... síla na mezi pevnosti (N)

$F_E$  ... síla na mezi úměrnosti (N)

$Y_P$  ... průhyb na mezi pevnosti (mm)

$Y_E$  ... průhyb na mezi úměrnosti (mm)

$l_o$  ... délka podpěr (mm)

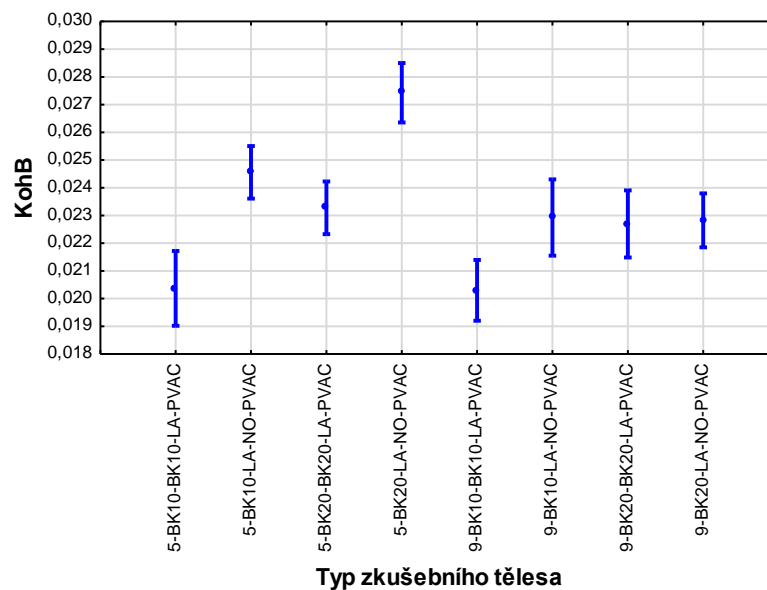
$b$  ... šířka materiálu (mm)

$h$  ... tloušťka materiálu (mm)

## 3.2 Výsledky a diskuse

### Koeficient ohýbatelnosti (KohB)

Výsledky týkající se koeficientu ohýbatelnosti typu B jsou uvedené v grafu na obrázku 20. Na tomto obrázku jsou zaznamenána data pro všechny testované soubory. Z těchto dat lze vyčíst trend, že v případě vrstvení lamel koeficient ohýbatelnosti výrazně klesá, pouze u kombinace lamel 9 mm, zhuštěných o 20% nedošlo vlivem vrstvení lamel do jednoho celku k poklesu KohB. Materiál ohýbatelný do nižšího poloměru ohybu je charakterizován vyšším KohB. KohB u variant 5 mm lamel zhuštěných o 10% i 20% a 9 mm lamel zhuštěných o 10% poklesl pravděpodobně z důvodu porušení lepeného spoje, který byl při ohýbání nejslabším článkem. Vliv tloušťky lamely na KohB byl vyzorován. Rovněž je rozhodující i vliv zhuštění na koeficient ohýbatelnosti, což plně odpovídá teoretickým předpokladům.

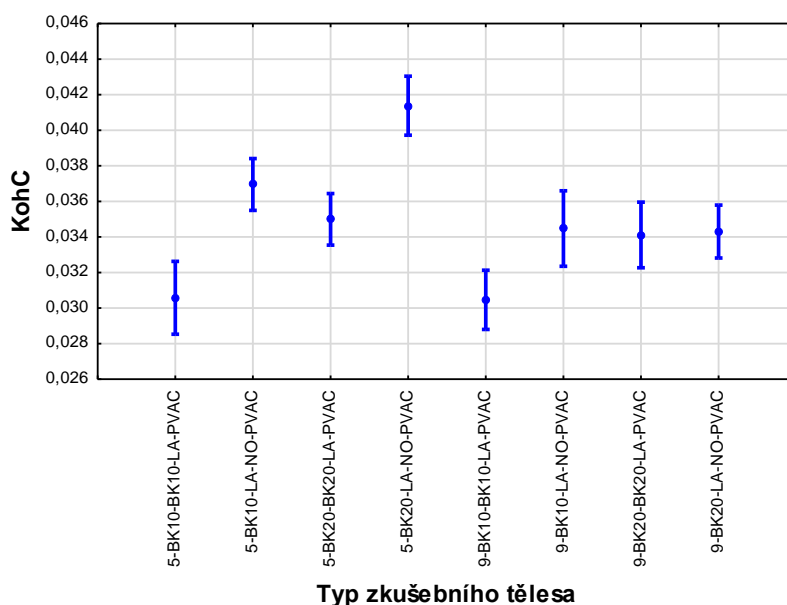


**Obrázek 20** Vliv jednotlivých variant zkušebních souborů na koeficient ohýbatelnosti B

Pro hlubší analýzu byl vytvořen Duncanův test (tabulka 1), kterou je možné najít v příloze, kde byla hladina významnosti stanovena na 5%. Díky tomuto testu lze porovnávat soubory mezi sebou na statistické úrovni.

## Koeficient ohýbatelnosti (KohC)

Výsledky týkající se koeficientu ohýbatelnosti typu C jsou uvedené v grafu na obrázku 21. Trend je stejný jako u koeficientu B viz výše. Poměry mezi variantami jsou stejné, pouze se změnila absolutní hodnota z důvodu výpočtu. V průměru vzrostla absolutní hodnota oproti KohB. Nejlepšího výsledku KohC (0,041) dosáhl soubor nevrstvených 5 mm lamel zhuštěných o 20%. Tyto výsledky byly porovnány s článkem (Gaff *et al.*, 2016), kde byly použity soubory nevrstvených 4 mm lamel zhuštěných o 20% u nichž byl KohC 0,022. Vlivem podlepení skelnou tkaninou došlo tedy k výraznému zvýšení koeficientu ohybatelnosti a to tak, že s porovnáním souborů zhuštěných o 20% došlo ke zvýšení 86,4%. Druhým významným výsledkem byly soubory nevrstvených 5 mm lamel zhuštěných o 10%. Tyto výsledky byly opět porovnány s článkem (Gaff *et al.*, 2016), kde byly použity soubory 4 mm lamel zhuštěných o 10 % u nichž byl KohC 0,030. Zde došlo k zvýšení pouze o 23,3%. Došlo tedy k opačnému trendu oproti článku. Nejhoršího výsledku dosáhl soubor vrstvených 9mm lamel zhuštěných o 10%. Obdobného výsledku dosáhl i soubor vrstvených 5 mm lamel zhuštěných o 10%. Rozdíl těchto dvou souborů (1 a 5) se jeví jako statisticky nevýznamný (tabulka 2), který je možné najít v příloze.



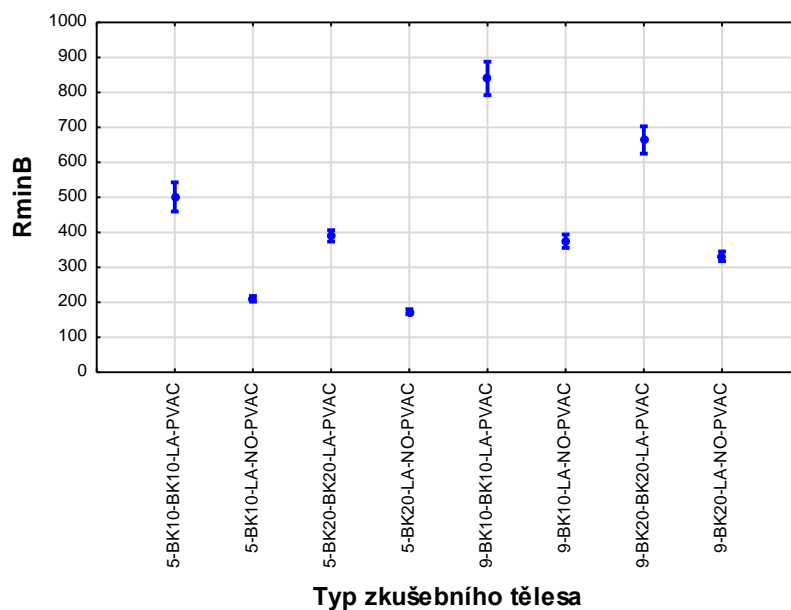
**Obrázek 21** Vliv jednotlivých variant zkušebních souborů na koeficient ohybatelnosti C

---

## Minimální poloměr ohybu ( $R_{minB}$ )

Je to minimální poloměr ohybu vztažený k výpočtu  $KohB$  viz vzorce (2,3). Jeho výsledky lze vidět v grafu na obrázku 22. Z grafu je patrné, že po zhušťování docházelo ke snížení minimálního poloměru ohybu u všech typů zkušebních těles, tento trend je podpořený statistikou (tabulka 3), kterou je možné najít v příloze. V porovnání 5 mm souborů (1 a 3) je statisticky významný rozdíl. Došlo k poklesu minimálního poloměru ohybu přibližně o 22,25% u souboru vrstvených 5 mm lamel zhuštěných o 20%. U nevrstveného 5 mm souboru (2 a 4) nedošlo ke statisticky významnému rozdílu.

V porovnání 9 mm vrstvených souborů (5 a 7) je statisticky významný rozdíl. Došlo k poklesu minimálního poloměru ohybu přibližně o 20,94% u souboru vrstvených 9 mm souborů zhuštěných o 20%. U nevrstvených 9 mm souborů (6 a 8) došlo také ke statisticky významnému rozdílu. Tímto se potvrdila teorie, že tloušťka těles má vliv na minimální poloměr ohybu.



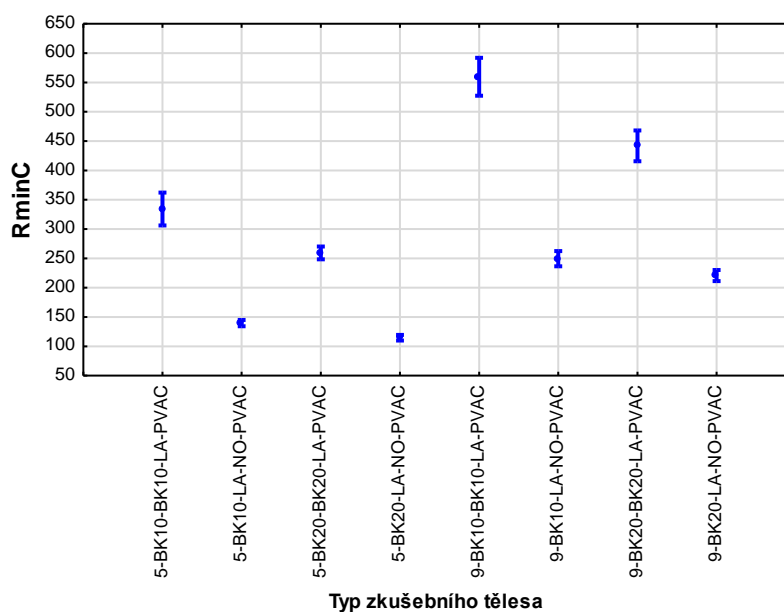
Obrázek 22 Vliv variant na poloměr ohybu B



---

## Minimální poloměr ohybu $R_{minC}$

Jedná se o druhou variantu výpočtu minimálního poloměru ohybu vztaženého k výpočtu  $KohC$  viz vzorce (2,4). Jeho výsledky lze vidět v grafu na obrázku 23. Z grafu je patrné, že trend je stejný jako u  $R_{minB}$  viz výše. Poměry mezi variantami jsou stejné, pouze se změnila absolutní hodnota z důvodu výpočtu (vzorec 4). V případě porovnání nevrstvených 5 mm souborů zhuštěných o 10% a vrstvených 9 mm souborů zhuštěných o 10% došlo ke statisticky významnému rozdílu (tabulka 4), který je možné najít v příloze. U souborů 5 mm bylo dosaženo vyšších hodnot tudíž se potvrdila teorie, že tloušťka má vliv na minimální poloměr ohybu. Čím nižší tloušťka, tím lepší minimální poloměr ohybu. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u vrstveného 9 mm souboru zhuštěného o 10%. Nejmenšího výsledku dosáhl nevrstvený 5 mm soubor zhuštěný o 20%. Dalo by se konstatovat, že míra zhuštění v tomto případě má vliv na minimální poloměr ohybu.

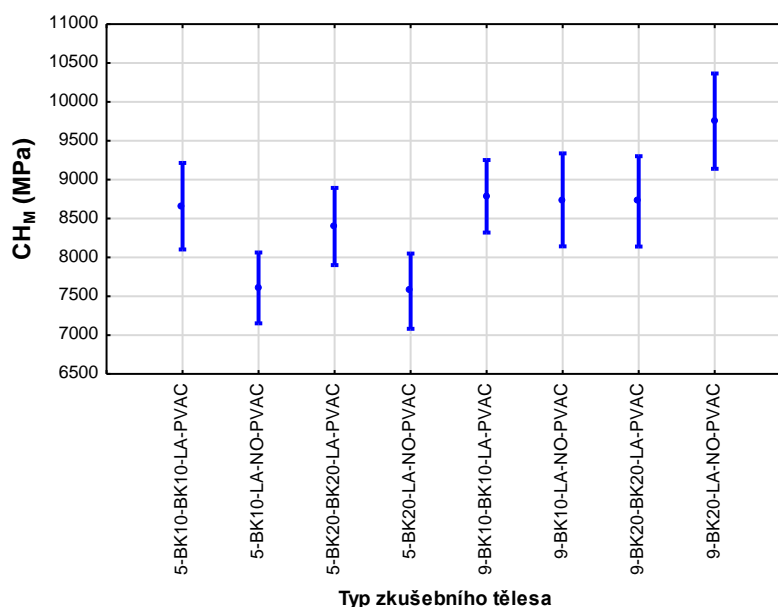


**Obrázek 23** Vliv variant na poloměr ohybu C

## Modul plasticity

Modul plasticity lze vyjádřit pomocí Chord modulu. Vypovídá o tom, jak je materiál pružný a tuhý při plastickém namáhání. U vyhodnocení 5 mm souborů je vyzorovatelný trend viz graf na obrázku 24, který vypovídá o tom, že v případě vrstvených souborů (1 a 3) byly dosaženy lepší výsledky než v případě nevrstvených souborů (2 a 4). Tyto výsledky byly porovnány s článkem (Gaff *et al.*, 2017), kde byly použity soubory 4 mm lamel zhuštěných o 10 % u nichž byl  $Ch_M$  6630 MPa a soubory 4 mm lamel zhuštěných o 20% u nichž byl  $Ch_M$  6863 MPa. Vlivem vrstvení lamel a následného podlepení skelnou tkaninou došlo k výraznému zvýšení modulu plasticity a to tak, že s porovnáním souborů zhuštěných o 10% došlo ke zvýšení Chord modulu o 30,6% a s porovnáním souborů zhuštěných o 20% došlo ke zvýšení Chord modulu o 22,38%. Tento trend vypovídá o tom, že vrstvení lamel a podlepení souboru skelnou tkaninou mělo kladný vliv na modul plasticity.

Tento trend neplatí u 9 mm souborů (6 a 8). Výjimkou je nevrstvený 9 mm soubor zhuštěný o 20%, kde byly výsledky při srovnání nevrstvených 9 mm souborů s rozdílem naměřených hodnot vyšší o 6,57%, oproti 9 mm nelepených souborů 9 mm zhuštěných o 10%. Výsledek je statisticky významný a je možné ho najít v příloze (tabulka 5). Tento soubor se vymkl trendu, mohlo dojít ke smyku lepeného spoje u lepených 9 mm souborů. Pro bližší porozumění by musely být provedeny další pokusy např. čtyřbodový ohyb.



Obrázek 24 Vliv jednotlivých variant na Chord modul

---

## 4 Závěr

Výsledky práce ukázaly, že vyvinutý vrstvený kompozitní materiál ve složení nevrstvená buková lamela o tloušťce 5 mm, zhuštěná o 20% a podlepená skelnou tkaninou vykazovala největší ohýbatelnost. KohB tohoto souboru (4) dosáhl hodnoty 0,0274 a KohC 0,041. Tyto výsledky byly porovnány s článkem (Gaff *et al.*, 2016), kde byly použity soubory nevrstvených 4 mm lamel zhuštěných o 20% u nichž byl KohC 0,022. Vlivem podlepení skelnou tkaninou došlo tedy k výraznému zvýšení koeficientu ohybatelnosti a to tak, že s porovnáním souborů zhuštěných o 20% došlo ke zvýšení o 86,4%. Tento materiál je díky svým vlastnostem vhodný pro využití například pro výrobu ohýbaného nábytku a je srovnatelný s vlnitou překližkou. Naopak nejhorších ohýbatelnostních charakteristik bylo dosaženo kombinací vrstvených 9 mm souborů zhuštěných o 10% a podlepených skelnou tkaninou, kde KohB dosáhl hodnot pouze 0,0203 a KohC dosáhl hodnot 0,0305. Tyto hodnoty vypovídají o tom, že vliv vrstvení lamel má spíše negativní charakter na koeficient ohybatelnosti. Lepený spoj se jeví jako nejslabší článek. Obdobných výsledků dosáhl i vrstvený 5 mm soubor zhuštěný o 10%, kde KohB dosáhl hodnot pouze 0,0204 a KohC dosáhl hodnot 0,0306. Rozdíl těchto dvou souborů se jeví dle Duncanova testu jako statisticky nevýznamný (tabulka 1 a 2), který je možné najít v příloze. V případě aplikování je tedy výhodnější varianta kombinace nevrstvených souborů.

Modul plasticity byl vyjádřen pomocí Chord modulu. Vlivem vrstvení lamel a následného podlepení skelnou tkaninou došlo k výraznému zvýšení modulu plasticity. U 5 mm souborů je vyzorovatelný trend, který vypovídá o tom, že v případě vrstvených souborů (1 a 3) byly dosaženy lepší výsledky než v případě nevrstvených souborů (2 a 4).

Tyto výsledky byly porovnány s článkem (Gaff *et al.*, 2017), kde byly použity soubory 4 mm lamel zhuštěných o 10 % u nichž byl  $Ch_M$  6630 MPa. Došlo ke zvýšení Chord modulu o 30,6%. Dále se soubory 4 mm lamel zhuštěných o 20% u nichž byl  $Ch_M$  6863 MPa. V tomto případě došlo ke zvýšení Chord modulu o 22,38%.

Výjimkou tohoto trendu jsou 9 mm soubory u nichž mohlo dojít ke smyku lepeného spoje u vrstvených 9 mm souborů. Pro bližší porozumění by musely být provedeny další pokusy např. čtyřbodový ohyb.

Celkově tato bakalářská práce slouží jako podklad pro další zkoumání modifikovaných materiálů na bázi dřeva.

---

## 5 Seznam použité literatury

SANDBERG, Dick, Manja KITEK KUZMAN a Milan GAFF. *Engineered wood products: wood as an engineering and architectural = Kompozitní materiály na bázi dřeva: dřevo jako kompozitní a konstrukční materiál*. České vydání. Prague: Czech University of Life Sciences, Faculty of Forestry and Wood Sciences, 2018. ISBN 978-80-213-2869-3.

MATOVIČ, Anton. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: Určeno pro posl. les. fak. obor dřevař a les. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. ISBN 80-7157-086-9.

SOLANKI, Seetal. *Why materials matter: responsible design for a better world*. New York: Prestel Verlag, [2018]. ISBN 3791384716.

BROWNELL, Blaine Erickson. *Transmaterial next: a catalog of materials that redefine our future*. New York: Princeton Architectural Press, 2017. ISBN 9781616895600.

DUBOVSKÝ, Ján. *Ohybové charakteristiky a kvalita dreva*. Zvolen: VŠLD, 1993. ISBN 80-228-0273-5.

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

KOČIOVÁ, Milina. *Výskum stavby a vlastnosti dreva a drevných materiálův: výberový zoznam odporúčanej literatúry*. Zvolen: Štátna vedecká knižnica, 1964.

REINPRECHT, Ladislav a Miloš PÁNEK. *Trvanlivost a ochrana dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2660-6.

Dřevo od A do Z. 5. vyd. Přeložil Lumír MIKULKA. Čestlice: Rebo pro Klub čtenářů, 2013. ISBN 978-80-255-0717-9.

POŽGAJ, Alexander; CHOVANEC, Dušan; KURJATKO, Stanislav; BABIAK, Marián. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava : Príroda, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.

Horáček P., Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I, MZLU v Brně, 2001. ISBN 80-7157-347-7

---

MEISTEROVÁ, Jitka. *Lamináty ve strojírenství a příbuzných oborech: výběrová bibliogr.* Praha: Státní technická knihovna, 1977. Bibliografie (Státní technická knihovna).

Böhm M., Reisner J., Bomba J. (2012): *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 183 s. ISBN 978-80-213)2251-6

Král P. (2011): *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Vyd. 1. Brno. Mendelova univerzita v Brně, 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2

Tesařová D., Hlavatý J., Čech P. (2014): *Povrchové úpravy dřeva – lakování, moření, lazurování a lepení*. Vyd. 1. Praha, 136 s. ISBN 978-80-247-4715-6.

HILL, Callum. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. England: Willey Publ., 2006. ISBN 978-0-470-02172-9.

JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP a Josef STEIDL. *Perspektivní materiály*. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN isbn978-80-01-04167-3.

ČSN EN 310 *Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu*. Praha : Český normalizační institut, 1995. 8 s.

---

## 6 Seznam internetových odkazů

Bydlo. cz [online]. © 2018. [cit.2018-24-12]. Dostupné z: <https://www.bydlo.cz/log/novy-trend-v-designu-interieru-eklekticky-styl>

Dřevo centrum [online]. © 2014. [cit.2018-25-12]. Dostupné z: <http://drevo.celyden.cz/charakteristiky-drevin/buk-lesni/index.html>

Mezi stromy [online]. © 2018. [cit.2018-25-12]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/vyuziti-dreva-ve-stavebnictvi/drevo-v-interieru/odborny>

Holz in form. de [online]. © 2018. [cit.2018-25-12]. Dostupné z: <https://www.vd-holzinform.de/en/products/>

Leporelo. Info [online]. © 2007. [cit. 2018-25-12]. Dostupné z: <https://leporelo.info/buk>

Herbář Wendys [online]. © 2015. [cit. 2018-25-12]. Dostupné z: <http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/693-fagus-sylvatica>

Stoláři – Thuhláři [online]. © 2015. [cit. 2018-25-12]. Dostupné z: <https://www.stolari-truhlari.cz/clanek/Zpracovani-a-vlastnosti-jednotlivych-druhu-drev-1.-dil-248?idk=55>

Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG. [online]. © 2019. [cit.2019-10-1]. Dostupné z: <https://www.pollmeier.com/en/products/baubuche/BauBuche-Board.html>

Laminat4U. s.r.o. [online]. © 2019. [cit.2019-15-1]. Dostupné z: <http://www.laminat4u.cz/kontakty/rady-a-napady-pro-vas-nabytek/zakladni-vyjasneni-casti-pojmu-a-nazvu-materialu-pouzivanych-v-modernim-zpracovatelskem-drevoprumyslu-dtdl-ltd-cpl-hpl>

VAVRČÍK, H. -- ŠLEZINGEROVÁ, J. -- GANDELOVÁ, L. Anatomická stavba dřeva - výukové texty. [online]. © 2002. [cit.2019-24-1]. Dostupné z: [http://wood.mendelu.cz/nod/e107\\_cz/nod\\_plugins/projects/stavba\\_dreva/index.htm](http://wood.mendelu.cz/nod/e107_cz/nod_plugins/projects/stavba_dreva/index.htm).

Havel – composites s. r. o. [online]. © 2018. [cit.2019-8-2]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/0-home/76-Tecnologia-su-descripcion-y-esquemas.html>

Woodcote stavebniny [online]. © 2018. [cit.2019-14-2]. Dostupné z: <https://www.woodcote.cz/stavebniny/materialy-ze-dreva/hranoly-kvh-bsh>

Stavba. TZB - info [online]. © 2013. [cit.2019-15-2]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10314-pokrocile-metody-pro-navrhovani-konstrukci-z-clt>

---

Střechy 92 s. r. o. [online]. © 2013. [cit.2019-15-2]. Dostupné z: <https://www.ultralam-lvl.cz/>

Dům a byt [online]. © 2008. [cit.2019-20-2]. Dostupné z: [https://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/variace-na-tema-drevo-a-kompozity\\_19489.html](https://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/variace-na-tema-drevo-a-kompozity_19489.html)

Oberflex®m-cove group, a.s. [online]. © 2018. [cit.2019-20-2]. Dostupné z: <http://www.oberflex.cz/obersound>

Nábytkářský informační systém [online]. © 2013. [cit.2019-20-2]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/preklizovane-materialy/page/215/>

Treesource [online]. © 2018. [cit.2019-26-2]. Dostupné z: <https://treesource.org/news/goods-and-services/clt-or-mpp-freres-family-enters-market-with-mass-plywood-panels/>

Dřevostavitel [online]. © 2011. [cit.2019-12-3]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/tepelna-modifikace-dreva-1-dil>

Kuklík P., Kuklíková A., Lesnická práce [online]. © 2002. [cit.2019-14-2]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-81-2002/lesnicka-prace-c-6-02/materialy-na-bazi-dreva>

---

## 7 Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky

Gaff, M.; Ruman, D.; Gašparík, M.; Štícha, V.; Boška, P. (2016). "Tensile-Shear Strength of Glued Line of Laminated Veneer Lumber, " *BioRes.* 2016 vol. 11, no. 1 [online]. 2016 [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z WWW: [http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_11\\_1\\_1382\\_Gaff\\_Tensile\\_Shear\\_Strength\\_Glued\\_Line\\_Laminated\\_Veneer/4108](http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_1_1382_Gaff_Tensile_Shear_Strength_Glued_Line_Laminated_Veneer/4108)

Cruz, N.; Bustos, C.; Aguayo, M. G.; Cloutier, A.; Castillo, R. (2018). "Impact of the chemical composition of *Pinus radiata* wood on its physical and mechanical properties following thermo-hygro-mechanical densification," *BioRes.* 13(2), 2268-2282 [online]. 2018 [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/322900937\\_Impact\\_of\\_the\\_Chemical\\_Composition\\_of\\_Pinus\\_radiata\\_Wood\\_on\\_its\\_Physical\\_and\\_Mechanical\\_Properties\\_Following\\_Thermo-Hygro-mechanical\\_Densification](https://www.researchgate.net/publication/322900937_Impact_of_the_Chemical_Composition_of_Pinus_radiata_Wood_on_its_Physical_and_Mechanical_Properties_Following_Thermo-Hygro-mechanical_Densification)

Gaff, M.; Babiak, M.; Vokatý, V.; Gašparík, M.; Ruman, D. (2017a). "Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region", *Composites Part B Engineering* 116, 61-75 [online]. 2017 [cit. 14. 3. 2019]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/313862850\\_Bending\\_characteristics\\_of\\_hardwood\\_lamellae\\_in\\_the\\_elastic\\_region](https://www.researchgate.net/publication/313862850_Bending_characteristics_of_hardwood_lamellae_in_the_elastic_region)

Gaff, M.; Babiak, M.; Kačík, F.; Klaus, R.; Gryc, V.; Németh, R.; Todaro, L. (2017). "Tangent Modulus as a Function of Selected Factors", [online]. 2017 [cit. 17. 3. 2019]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/323311896\\_Tangent\\_Modulus\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Selected\\_Factors](https://www.researchgate.net/publication/323311896_Tangent_Modulus_as_a_Function_of_Selected_Factors)

Gaff, M.; Babiak, M.; Cihad, B.B.; Vokatý, V. (2016). "Coefficient of wood bendability as a function of selected factors", [online]. 2016 [cit. 28. 3. 2019]. Dostupné z WWW: [https://www.researchgate.net/publication/309132814\\_Coefficient\\_of\\_wood\\_bendability\\_as\\_a\\_function\\_of\\_selected\\_factors](https://www.researchgate.net/publication/309132814_Coefficient_of_wood_bendability_as_a_function_of_selected_factors)



---

## 8 Seznam příloh

Příloha 1 Duncanův test - koeficient ohybatelnosti B .....	58
Příloha 2 Duncanův test - koeficient ohybatelnosti C .....	58
Příloha 3 Duncanův test - minimální poloměr ohybu ( $R_{minB}$ ).....	59
Příloha 4 Duncanův test - minimální poloměr ohybu ( $R_{minC}$ ).....	59
Příloha 5 Duncanův test - Chord modul .....	60

## 9 Přílohy

**Příloha 1** Duncanův test - koeficient ohybatelnosti B

	Typ zkušebního tělesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
		0,0204	0,0246	0,0233	0,0274	0,0203	0,0229	0,0227	0,0228
1.	5-BK10-BK10-LA-PVAC		0,0000	0,0005	0,0000	0,9282	0,0021	0,0030	0,0025
2.	5-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000		0,1016	0,0003	0,0000	0,0479	0,0320	0,0417
3.	5-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0005	0,1016		0,0000	0,0004	0,6562	0,5086	0,5921
4.	5-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0003	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5.	9-BK10-BK10-LA-PVAC	0,9282	0,0000	0,0004	0,0000		0,0018	0,0032	0,0023
6.	9-BK10-LA-NO-PVAC	0,0021	0,0479	0,6562	0,0000	0,0018		0,7845	0,8970
7.	9-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0030	0,0320	0,5086	0,0000	0,0032	0,7845		0,8696
8.	9-BK20-LA-NO-PVAC	0,0025	0,0417	0,5921	0,0000	0,0023	0,8970	0,8696	

**Příloha 2** Duncanův test - koeficient ohybatelnosti C

	Typ zkušebního tělesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
		0,0306	0,0370	0,0350	0,0410	0,0305	0,0345	0,0341	0,0343
1.	5-BK10-BK10-LA-PVAC		0,0000	0,0005	0,0000	0,9241	0,0021	0,0032	0,0027
2.	5-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000		0,1016	0,0002	0,0000	0,0492	0,0324	0,0417
3.	5-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0005	0,1016		0,0000	0,0004	0,6645	0,5122	0,5922
4.	5-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0002	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5.	9-BK10-BK10-LA-PVAC	0,9241	0,0000	0,0004	0,0000		0,0019	0,0033	0,0025
6.	9-BK10-LA-NO-PVAC	0,0021	0,0492	0,6645	0,0000	0,0019		0,7806	0,8881
7.	9-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0032	0,0324	0,5122	0,0000	0,0033	0,7806		0,8742
8.	9-BK20-LA-NO-PVAC	0,0027	0,0417	0,5922	0,0000	0,0025	0,8881	0,8742	

**Příloha 3** Duncanův test - minimální poloměr ohybu (RminB)

	Typ zkušebního tělesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
		501,36	210,02	389,79	173,11	839,73	374,82	663,92	331,55
1.	5-BK10-BK10-LA-PVAC		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.	5-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000		0,0000	0,0611	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3.	5-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,4473	0,0000	0,0044
4.	5-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0611	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5.	9-BK10-BK10-LA-PVAC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
6.	9-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0000	0,4473	0,0000	0,0000		0,0000	0,0281
7.	9-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000
8.	9-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0000	0,0044	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	

**Příloha 4** Duncanův test - minimální poloměr ohybu (RminC)

	Typ zkušebního tělesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
		334,16	139,62	259,36	114,81	559,73	249,47	441,94	220,67
1.	5-BK10-BK10-LA-PVAC		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.	5-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000		0,0000	0,0615	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3.	5-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,4563	0,0000	0,0050
4.	5-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0615	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5.	9-BK10-BK10-LA-PVAC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
6.	9-BK10-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0000	0,4563	0,0000	0,0000		0,0000	0,0300
7.	9-BK20-BK20-LA-PVAC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000
8.	9-BK20-LA-NO-PVAC	0,0000	0,0000	0,0050	0,0000	0,0000	0,0300	0,0000	

**Příloha 5** Duncanův test - Chord modul

	Typ zkušebního tělesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
		8658,7	7607,3	8398,2	7564,9	8785,8	8739,6	8720,8	9753,5
1.	5-BK10-BK10-LA-PVAC		0,0062	0,4812	0,0055	0,7593	0,8387	0,8667	0,0065
2.	5-BK10-LA-NO-PVAC	0,0062		0,0325	0,9089	0,0036	0,0047	0,0047	0,0000
3.	5-BK20-BK20-LA-PVAC	0,4812	0,0325		0,0318	0,3606	0,4079	0,4150	0,0007
4.	5-BK20-LA-NO-PVAC	0,0055	0,9089	0,0318		0,0028	0,0038	0,0038	0,0000
5.	9-BK10-BK10-LA-PVAC	0,7593	0,0036	0,3606	0,0028		0,9006	0,8701	0,0089
6.	9-BK10-LA-NO-PVAC	0,8387	0,0047	0,4079	0,0038	0,9006		0,9595	0,0085
7.	9-BK20-BK20-LA-PVAC	0,8667	0,0047	0,4150	0,0038	0,8701	0,9595		0,0091
8.	9-BK20-LA-NO-PVAC	0,0065	0,0000	0,0007	0,0000	0,0089	0,0085	0,0091	