

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

**HODNOCENÍ PEVNOSTI V OHYBU SENDVIČOVÉHO  
MATERIÁLU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:	Dřevařské inženýrství
Pracoviště:	Katedra zpracování dřeva a biomateriálů
Vedoucí diplomové práce:	doc. Ing. Milan Gaff, PhD.
Konzultant diplomové práce:	Ing. Adam Sikora

Praha 2019

**Bc. Petr Paul**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Paul

Dřevařské inženýrství

Název práce

Hodnocení pevnosti v ohybu sendvičového materiálu

Název anglicky

Bending strength of corrugated plywood sandwich material

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení vlivu vybraných faktorů (tloušťka materiálu, kombinace rostlého a zhuštěného dřeva, nedřevní komponent a adhezivního prostředku) na základní mechanické charakteristiky zjišťované tří-bodovým ohybem (modul pružnosti, pevnost v ohybu a koeficient ohybatelnosti) vrstveného materiálu na bázi kombinace bukového rostlého a zhuštěného dřeva s vyztužujícím prvkem (skelným vláknem).

### Metodika

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

Doporučený rozsah práce

70-80 stran textu, 10-20 stran příloh

Klíčová slova

Vrstvené dřevo, buk, Zhuštěné dřevo, skelné vlákno, modul pružnosti, pevnost v ohybu, koeficient ohybatelnosti, tříbodový ohyb

---

Doporučené zdroje informací

GAFF, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA, – GAŠPARÍK, M. *Manipulační a dopravní technika I.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2619-4.

GAFF, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA, – GAŠPARÍK, M. *Základy projektování výroby nábytku.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2015. ISBN 978-80-213-2577-7.

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

GAFF, M. – SEDLECKÝ, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA. *Vliv druhu materiálu nástroje na kvalitu opracovaného povrchu při podélném frézování dřeva a materiálu na bázi dřeva : disertační práce.* Disertační práce. Praha: 2017.

GAFFREY, G. *Merkmale der Wildlebenden Säugetiere Mitteleuropas.* LEIPZIG: AKADEMIS. VERLAGSGESELLSCHAFT, 1961.

GAŠPARÍK, M. – TRIBULOVÁ, T. – HÁJEK, M. – GEJDOŠ, M. – GAFF, M. – JANKOVSKÝ, M. – KUBOVÁ, P. – KAČÍK, F. – SVOBODA, T. – LIESKOVSKÝ, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA, – SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M. *Lesnická bioekonomika.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2018. ISBN 978-80-213-2838-9.

HAJABAČ, J. – GAFF, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA. *Základy projektování výroby nábytku : návody na cvičení.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2015. ISBN 978-80-213-2578-4.

SKOUPÝ, A. – GAFF, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA, – GAŠPARÍK, M. *Technické zobrazování.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2015. ISBN 978-80-213-2562-3.

SMITH, G.J.M., HASLAM, P.R., *Small arms and cannons,* Brassey's publisher Ltd., 1982, s 202.

SVOBODA, T. – TRGALA, K. – ADAMOVÁ, T. – GAFF, M. *Environmentální přínos využívání recyklovaného dřeva při výrobě aglomerovaných materiálů = Environmental benefits of using recycled wood in the production of wood-based panels.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, 2018. ISBN 978-80-213-2852-5.

---

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Adam Síkora

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Hodnocení pevnosti v ohybu sendvičového materiálu vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milanu Gaffovi PhD. nejen za ochotu a pomoc při zpracování této práce, ale i za poskytnutí cenných znalostí a zkušeností. Dále bych chtěl poděkovat svému konzultantovi Ing. Adamu Sikorovi, za pomoc při výrobě a měření zkušebních vzorků. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost při studiu a vypracování této práce.

## **Abstrakt**

Cílem práce bylo zjištění vlivu vybraných faktorů (tloušťka materiálu, kombinace rostlého nezhuštěného a rostlého zhuštěného dřeva, nedřevní komponent a adhezivní prostředek) na základní mechanické vlastnosti, které se zjišťovaly na základě zkoušky tříbodovým ohybem. Zjišťované mechanické vlastnosti byly modul pružnosti, pevnost v ohybu a koeficient ohýbatelnosti. Zkouška probíhala podle normy ČSN EN 310. Zkušební tělesa byla zhotovena z masivního bukového dřeva, zhuštěného bukového dřeva a skelné tkaniny, spojena za pomoci PVAC lepidla. Zkoušeny byly dvě tloušťky vzorků, každé po čtyřech možnostech zhuštění. Naměřené hodnoty byly pro přehlednost vyhodnoceny pomocí grafů a tabulek. Z výsledků měření vyplynulo, že zhuštění dřeviny má vliv na modul pružnosti, záleží ovšem, jaký je poměr zhuštění a na jaké tloušťce materiálu se zkoumá, neboť trend je spíše klesající se skokovým nárůstem. Na pevnost v ohybu má zhuštění dřeviny kladný vliv při obou zkoušených tloušťkách. Na koeficient ohýbatelnosti B a C má zhuštění dřeviny kladný vliv, neboť ve všech případech lineárně roste, pro tloušťky 5 mm mírněji, pro tloušťky 9 mm strměji.

**Klíčová slova:** pevnost v hybu, modul pružnosti, tříbodový ohyb, buk, zhuštěné dřevo.



## **Abstract**

The purpose of this thesis was to determine the influence of chosen factors (thickness of material, combination of grown compressed wood and grown uncompressed wood, non-woody component and adhesive medium) on basic mechanical behaviour of wood which were determined in the three-point bend test. Detected mechanical behaviour were modulus of elasticity, flexural strength and bending coefficient. The test was realized according to the norm ČSN EN 310. Tested specimens were made from massive beech wood, compressed beech wood and glass fabric joined with PVAC glue. Two thicknesses of specimen were tested, each for four possibilities of thickening. Measured values were evaluated in graphs and tables. From the results of the measurements it was determined that thickening of the wood influences the modulus of elasticity. It depends on what is the ratio of the thickening and what thickness of material is it examined on, because the trend is rather declining with jump increase. The thickening of wood influences flexural strength positively in both tested thicknesses. The bending coefficient B and C is also positively influenced by the thickening of the wood because in every case it grows linearly, for thicknesses of 5 mm more moderately, for thicknesses of 9 mm more steeply.

**Key words:** flexural strength, modulus of elasticity, three-point bend, beech, compressed wood.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam ilustrací .....</b>	<b>12</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>14</b>
<b>Seznam zkratk a značek .....</b>	<b>15</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>16</b>
<b>1 Analýza literárních zdrojů .....</b>	<b>17</b>
1.1 Sendvičový materiál .....	17
1.1.1 Výroba kompozitních materiálů na bázi dřeva .....	18
1.2 Dřevo .....	21
1.2.1 Makroskopická struktura dřeva.....	21
1.2.2 Letokruhy .....	24
1.2.3 Jádru a běl .....	25
1.3 Buk lesní.....	26
1.4 Vybrané fyzikální vlastnosti dřeva .....	27
1.4.1 Vlhkost dřeva .....	27
1.4.2 Hustota dřeva .....	29
1.5 Vybrané mechanické vlastnosti dřeva .....	30
1.5.1 Vztah napětí a deformace.....	31
1.5.2 Modul pružnosti ve statickém ohybu.....	32
1.6 Lepení.....	33
1.6.1 Adheze .....	33
1.6.2 Koheze .....	34
1.6.3 Smáčivost.....	35
1.6.4 Pevnost.....	35
1.7 Lepidla používaná pro sendvičové materiály .....	35
1.7.1 Močovinoformaldehydová lepidla .....	36
1.7.2 Fenolformaldehydová lepidla .....	36
1.7.3 Melaminformaldehydová lepidla .....	37
1.7.4 Metylendiifenyldiizokyanátová lepidla.....	37
1.7.5 Polyuretanová lepidla.....	37
1.7.6 Epoxidová lepidla .....	37
1.7.7 Polyvinylacetátová lepidla .....	38

1.7.8	Resorcinolová lepidla.....	38
1.7.9	Polyesterová lepidla .....	38
1.7.10	Lepidla na biologické bázi .....	38
1.8	PVAC lepidlo .....	38
1.8.1	Vytvrzování PVAC lepidla .....	40
1.8.2	Vlastnosti, použití PVAC lepidla.....	41
<b>2</b>	<b>Modifikace dřeva.....</b>	<b>43</b>
2.1.1	Lisování.....	44
2.1.2	Válcování .....	47
2.1.3	Ohýbání.....	47
<b>3</b>	<b>Cíl práce .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>50</b>
4.1	Zkušební vzorky .....	50
4.1.1	Zpracování řeziva.....	50
4.1.2	Značení a kontrola kvality .....	51
4.2	Zhuštění zkušebních vzorků .....	52
4.3	Relaxace a měření vzorků .....	54
4.4	Lepení vzorků.....	54
4.5	Měření zkušebních vzorků .....	55
4.6	Vlastní zkouška .....	55
4.6.1	Zkušební zařízení .....	56
4.6.2	Postup zkoušky .....	56
4.6.3	Průběh zkoušky.....	57
4.6.4	Výsledky zkoušky.....	58
4.7	Výpočet sledovaných charakteristik.....	58
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuze .....</b>	<b>60</b>
5.1	Modul pružnosti.....	60
5.2	Pevnost v ohybu .....	62
5.3	Koeficient ohýbatelnosti.....	65
	<b>Závěr .....</b>	<b>68</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>69</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>73</b>

---

## Seznam ilustrací

Obr. 1 Vymanipulování vad a lepení ozubovým spojem (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).	19
Obr. 2 Výroba vrstveného lepeného dřeva a křížem lepeného dřeva (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).	19
Obr. 3 Vliv způsobu krájení na textury dých (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).	20
Obr. 4 Řezy kmene (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).	23
Obr. 5 Jádru a běl u dřevin (Požgaj et al, 1997)	25
Obr. 6 Způsoby mechanického namáhání (Hájek et al, 2018).	30
Obr. 7 Ohyb dřeva (Požgaj et al, 1997)	32
Obr. 8 Klasifikace termoplastických lepidel podle ČSN EN 204 (ČSN EN 204).	39
Obr. 9 Vznik vinylacetátu a polyvinylacetátu (Sedliačik, 2005).	40
Obr. 10 Vliv teploty na pevnost lepeného spoje dřeva a PVAC lepidla (Osten, 1996).	41
Obr. 11 Modifikace dřeva (Sergovskij, 1977; Stojčev et al, 1979; Zemiar, 1997).	43
Obr. 12 Jednoosé lisování rovnoměrné (Kafka et al, 1989)	45
Obr. 13 Jednoosé lisování nerovnoměrné (Kafka et al, 1989).	45
Obr. 14 Plošné lisování a lokální reliéfování (Kafka et al, 1989)	45
Obr. 15 Dvouosé lisování (Kafka et al, 1989)	46
Obr. 16 Obvodové lisování (Kafka et al, 1989).	46
Obr. 17 Prostorové lisování (Kafka et al, 1989)	47
Obr. 18 Válcování (Kafka et al, 1989).	47
Obr. 19 Ohyb s ocelovou pásnicí a bez pásnice (Vaněk, 1952)	48
Obr. 20 Napětí a deformace při ohybu (Dejmal, 1995)	48
Obr. 21 kódování vzorků tl. 5 mm	51
Obr. 22 kódování vzorků tl. 9 mm	52
Obr. 23 Lis TOS Rakovník	52
Obr. 24 Umístění zarážek v lisu	53
Obr. 25 Spleené vzorky	55
Obr. 26 Nalepená skelná tkanina	55
Obr. 27 Schéma zkušebního zařízení (ČSN EN 310)	56
Obr. 28 Průběh zkoušky	57
Obr. 29 Sušení vzorků	59
Obr. 30 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na modul pružnosti	62
Obr. 31 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na pevnost v ohybu	64

---

Obr. 32 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na koeficient ohýbatelnosti B.....	66
Obr. 33 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na koeficient ohýbatelnosti C.....	67

---

## Seznam tabulek

Tab. 1 Zastoupení částí stromu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).....	22
Tab. 2 Mechanické a fyzikální vlastnosti buku (Sarvaš et al, 2010; Wagenführ, 1974)	26
Tab. 3 Čas lisování a počet kusů.....	53
Tab. 4 Zvětšení vzorků po relaxaci.....	54
Tab. 5 Vzdálenost podpěr .....	57
Tab. 6 Vlhkost vzorků a hustota při zkoušce.....	59
Tab. 7 Modul pružnosti.....	61
Tab. 8 Pevnost v ohybu.....	63
Tab. 9 Pevnost v ohybu pro buk (Gaff et al, 2015) .....	65
Tab. 10 Průměrné hodnoty KohB a KohC a variační koeficient .....	65

---

## Seznam zkratk a značek

m	<b>metr</b> , základní jednotka délky v soustavě SI
mm	<b>milimetr</b> , odvozená jednotka délky v soustavě SI
°C	<b>stupeň celsia</b> , odvozená jednotka teploty v soustavě SI
s	<b>sekunda</b> , základní jednotka času v soustavě SI
tl.	tloušťka
%	procenta
BK	buk lesní
LA	skelná tkanina
PVAC	lepidlo
MNBS	mez nasycení buněčných stěn
LCA	posuzování životního cyklu
UF	močovinoformaldehydové lepidlo
PF	fenolformaldehydové lepidlo
MF	melaminformaldehydové lepidlo
MDI	metylendifenyldiizokyanátové lepidlo
pMDI	polymerní difenylmetandiizokyanáty
PU	polyuretanová lepidla
OSB	deska z orientovaných plochých třísek
GLT	lepené vrstvené dřevo
CLT	křížem lepené dřevo
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma

---

## Úvod

Vývoj nových sendvičových materiálů je v dnešní době velmi aktuální. Tyto materiály mají široké spektrum uplatnění jak v nábytkářství, tak ve stavebnictví a architektuře. Jejich vlastnosti se dají přizpůsobit pro konkrétní prvek použití.

Základním prvkem pro sendvičové materiály je dřevo. Dřevo disponuje obrovskou výhodou jako přírodní, obnovitelný a ekologický materiál. Má ale i své nevýhody, je nehomogenní a anizotropní. Dřevo se dá modifikovat mnoha způsoby, přičemž daný způsob volíme dle jeho konečného využití. Do skladeb sendvičových materiálů používáme dřevo přírodní i modifikované. Využívá se kladných vlastností dřeva, eliminují se záporné a přidávají se další materiály, pro ještě lepší vlastnosti.

Dřevo je také hojně používané díky jeho snadné dostupnosti, při správném hospodaření jsou jeho zásoby nevyčerpatelné. Velmi dobře se obrábí a díky dnešním trendům návratu k ekologii a přírodě jeho použití stále stoupá. Se stoupající poptávkou po dřevě stoupají i nároky na výsledný produkt, kdy samotné dřevo svými vlastnostmi nestačí, a je třeba jej dále upravovat.

Sendvičové materiály se nemusejí sestávat jen z přírodních materiálů. Při skladbě různých materiálů je ale třeba vyřešit jejich pevné spojení.

Tato práce se zabývá sendvičovým materiálem z rostlého bukové dřeva a zhuštěného bukového dřeva, který je vyztužen skelnou tkaninou. Pokusy budu probíhat na dvou tloušťkách vzorků, přičemž každá z nich bude zhuštěna o 10, 20, 30 a 40 %. Následně se budou porovnávat naměřené hodnoty mezi oběma tloušťkami a bude se zkoumat, jaký vliv při kolikaprocentním zhuštění má zhuštěné dřevo na pevnost v ohybu sendvičového materiálu.



---

# 1 Analýza literárních zdrojů

## 1.1 Sendvičový materiál

Sendvičový materiál zařazujeme do skupiny kompozitních materiálů na bázi dřeva, kterým se budeme věnovat v této kapitole.

Mezi velmi významné inovace ve zpracování dřeva patří především kompozitní materiály. Tyto inovace se prolínají ve zpracování dřeva v celosvětovém měřítku. Kompozitní materiály na bázi dřeva dále nazýváme jako rekonstituované dřevo, umělé dřevo, kompozity na bázi dřeva nebo materiály na bázi dřeva. Jsou to konstrukční materiály, jejich využití najdeme především ve výrobě nábytku, v interiérech i exteriérech, dále se používají pro konstrukci budov, vhodné jsou i pro infrastrukturní dřevěné konstrukce, mezi které patří např. mosty, cesty a věže (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Základ těchto kompozitních materiálů většinou sestává z řeziva, dýh, štěpek, třísek nebo vláken. Tyto částice se spojují lepením a dodává se jim potřebný tvar a skladba. Stále častěji nalezneme kompozitní materiály na bázi dřeva místo klasických stavebních materiálů, mezi které patří např. cihly, beton nebo kov. Mezi hlavní přednosti kompozitů na bázi dřeva patří vysoká nosnost ku hmotnosti a rozměrová stabilita oproti masivnímu dřevu. Jejich nespornou výhodou je rozměrové přizpůsobení, které požadují stavební prvky. Kompozity ze dřeva mají mnohem menší rozptyl vlastností v podélném a příčném směru, než jak je tomu u masivního dřeva (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Nové technologie při výrobě kompozitních materiálů umožnili zvětšit rozměry a neustále zlepšovat mechanické vlastnosti těchto materiálů. Tyto možnosti umožnili vzniku mnoho nových aplikací. Příkladem mohou být dřevěné vícepatrové budovy, které se poslední dobou objevují v Evropě. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva se dají upravovat chemickou, termo-hydro-mechanickou i jinou úpravou. Toto odvětví úpravy neboli modifikace dřeva prochází v dnešní době silným vývojem. Prosazují se technologie úpravy dřeva jako např. úpravy teplem, acetylací, furfurylací, impregnací a jiné (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Kompozitní materiály na bázi dřeva mají velmi dobré mechanické vlastnosti, nehrozí u nich nepříznivé dopady na životní prostředí, snadno se zpracovávají a jsou vhodné pro průmyslové použití. Při výrobě se zužitkuje velká část dřeva do hlavních

---

výrobních odpadů, které vznikají při výrobě se zužitkují při vedlejší výrobě. Odpad je tedy minimální až žádný (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.1.1 Výroba kompozitních materiálů na bázi dřeva**

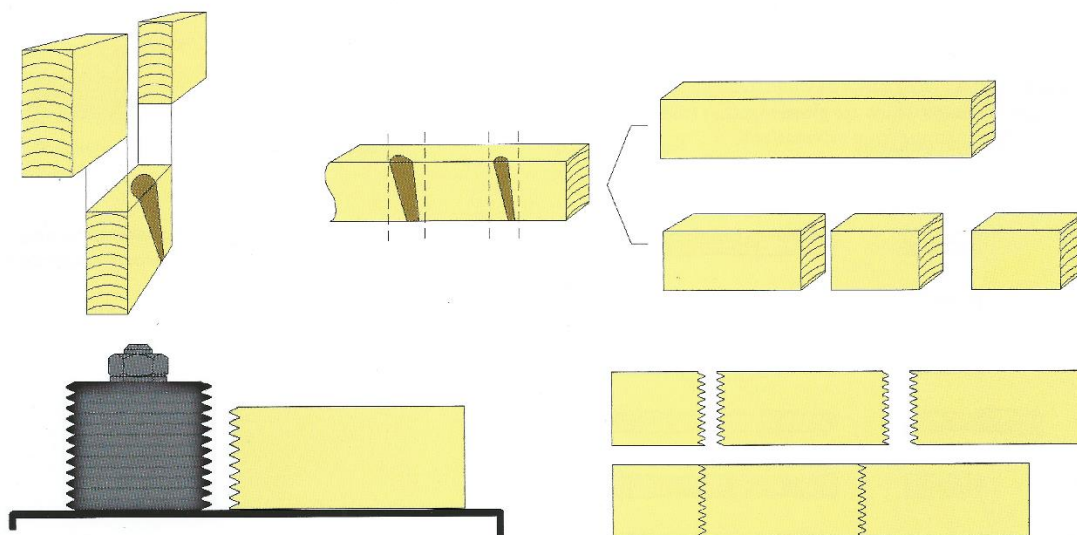
Kompozitní materiály na bázi dřeva se dají velmi dobře uplatnit ve stavebnictví. S jejich pomocí se dají vytvořit velmi zajímavé architektonické stavby. Tímto prosazují dřevěné konstrukce v nových dimenzích designu. Kompozitní desky mají dnes velmi širokou nabídku. Postupně se dostávají do popředí nosníky nebo obkladové prvky. V souvislosti s technickým rozvojem se jejich nabídka neustále rozšiřuje. Velikost dřevěných segmentů, které se používají při výrobě rozdělují tyto materiály do několika skupin. Z hlediska výroby je charakterizujeme do tří skupin:

- kompozity z řeziva,
- kompozity z dýh,
- kompozity z třísek, plochých třísek, vláken, částic nebo proužků (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Kompozitním materiálům z třísek, vláken, částic a proužků se již dále věnovat nebudeme. Budeme se věnovat kompozitům z řeziva a dýh, kde uvidíme různé vrstvení sendvičového materiálu.

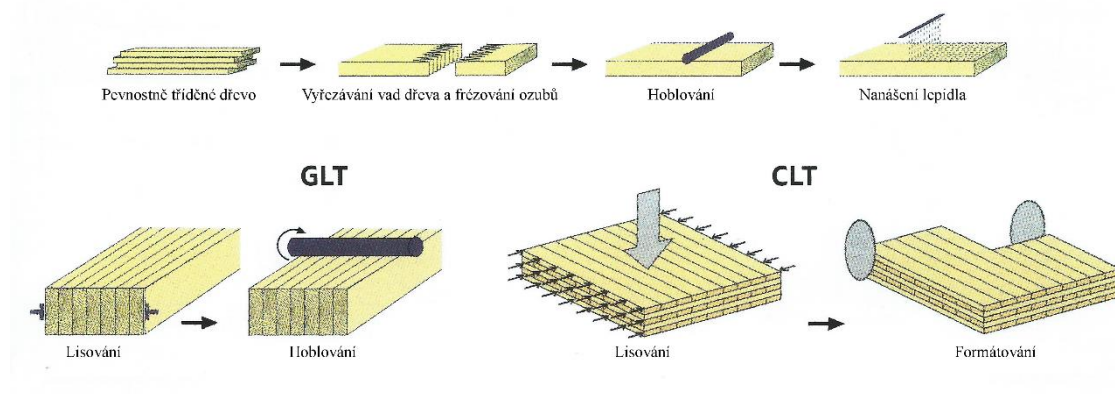
#### **1.1.1.1 Výroba kompozitních materiálů ze dřeva**

Rozměry řeziva jsou dané velikostí kmene dané dřeviny. Pro potřeby různých konstrukcí je musíme dále zpracovat. Vady dřeva, mezi které patří sukovitost, odklon vláken, trhliny nebo vady růstu se podílejí na snížení pevnosti a nejsou pěkné na pohled. Odstranění těchto vad lze dosáhnout dalším zpracováním. Tyto nežádoucí vady se z dřeva vymanipulují a vzniklé přířezy se napojí ozubovými spoji, jak zobrazuje obr. 1, nebo se slepí spárovky, popřípadě se může vyrobit lepené vrstvené dřevo nebo křížem lepené dřevo. Těmito způsoby se vyrábějí materiály v potřebné délce, šířce a tloušťce (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).



**Obr. 1** Vymanipulování vad a lepení ozubovým spojem (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Spárovka je deska slepená z lamel, lamely jsou v tomto případě pravoúhlé přířezy dřeva. Jednotlivé lamely jsou z řeziva vymanipulovány tak, aby se co nejvíce eliminovaly vady, které jsou při dané výrobě nežádoucí. U těchto desek nelze nikdy vyloučit rozměrové změny vlivem vlhkosti. Ani u lepeného vrstveného dřeva nebo křížem lepeného dřeva nelze zabránit výrazným rozměrovým změnám. U těchto desek ale není důležitá estetika na pohled, ale jejich pevnost. Na obr. 2 je vidět, že důležitý parametr hraje tloušťka panelu (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).



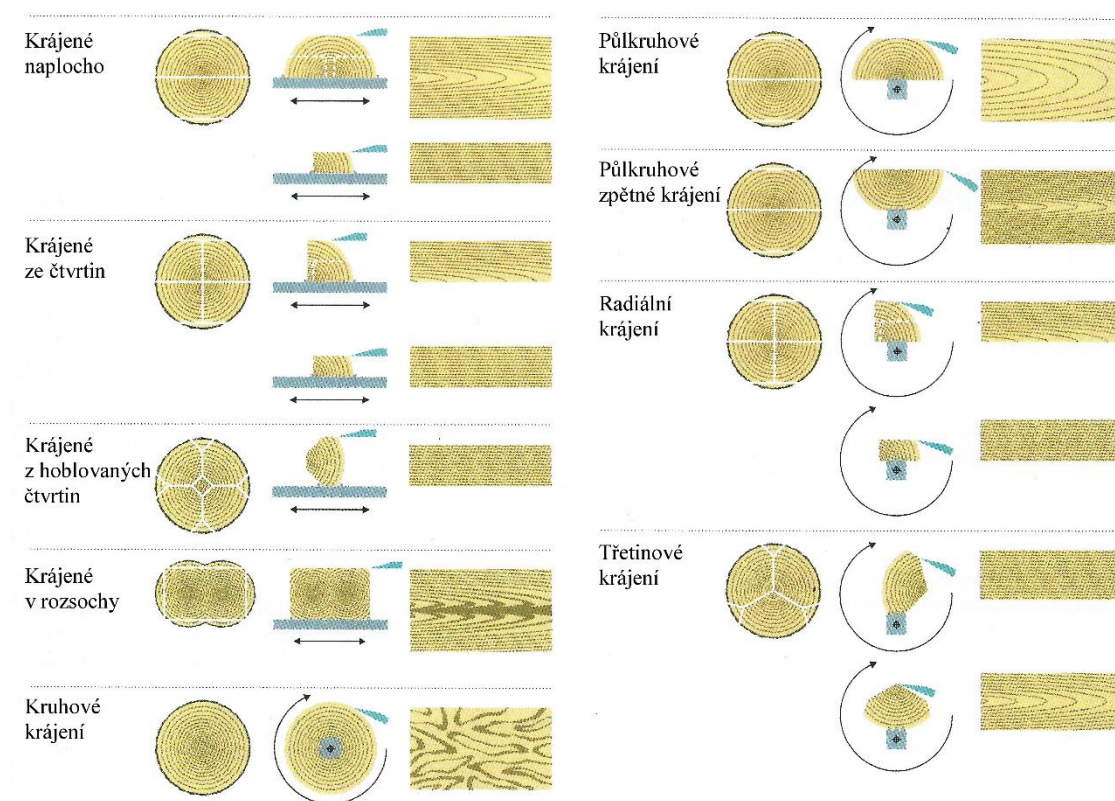
**Obr. 2** Výroba vrstveného lepeného dřeva a křížem lepeného dřeva (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

#### 1.1.1.2 Výroba kompozitních materiálů z dých

Dýhou nazýváme tenký list dřeva. Vyrábí se loupáním, které může být excentrické nebo centrické, dále krájením a řezáním. Řezání se dnes používá minimálně, z důvodu nízké výtěžnosti. Loupaná dýha má tloušťku 1–3 mm, tloušťka krájených dých

se pohybuje okolo 1 mm. Krájením se získává kvalitní dýha, používaná na vrchní vrstvu, díky velké rozmanitosti kresby a textury dřeva. Loupaním se vyrábí dýha pro konstrukční účely, např. výrobu překližky nebo laťovky (Böhm, Bomba, Raisner, 2012).

Výroba dýh (krájením a loupáním) má nejvyšší výtěžnost ze všech známých technologií zpracování dřeva. Požadovanou kresbu a texturu dřeva docílíme vhodně zvoleným způsobem výroby, viz obr. 3. Nejvyšší zastoupení ve výrobě dýh má loupání (95 %), následuje krájení (3–4 %) a minimum řezáním (1 %) (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).



**Obr. 3** Vliv způsobu krájení na textury dýh (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018)

#### 1.1.1.3 Aspekty kompozitů k životnímu prostředí

V dnešní době rostou obavy o udržitelný rozvoj. Stavební a interiérové materiály, jejich vliv musí být zahrnut do hodnocení životního cyklu a energetická bilance použitých materiálů. Odhalování vlivů na životní prostředí a energetickou působnost všech materiálů v průběhu jejich celého životního cyklu, nazýváme posuzování životního cyklu (LCA). Těžení suroviny je začátek životního cyklu, pokračuje přes primární a sekundární zpracování, dále manipulace, balení, expedice, až po instalaci, spotřeby energie při provozu, údržby a likvidace (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

---

## 1.2 Dřevo

Mezi nejstarší a nejoblíbenější materiály patří dřevo. Jeho využití je velmi všestranné. Postupem času došlo k prohloubení poznatků ve struktuře dřeva, chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti. To způsobilo velmi intenzivní vývoj technologie zpracování dřeva a možnosti jeho dalšího využití. Přírozená kresba dřeva, jeho přírodní charakter a velmi dobré fyzikální a mechanické vlastnosti jsou důvody, proč je pro člověka žádaným prvkem. Dřevo je přírodní, obnovitelný materiál rostlinného původu, který lze v hospodářských lesích neustále obnovovat. Podmínkami pěstování lze předpokládat množství a přibližnou kvalitu. Průmysl nejvíce využívá ze stromu dřevo z kmene, méně často z větví (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Dřevo je přírodní materiál a mezi jeho přednosti patří pevnost, pružnost, je to lehký materiál v porovnání s kovem, má dobré tepelně izolační vlastnosti a dokáže snášet velká zatížení. Má i své negativní vlastnosti jako nestejnorodou strukturu, jednotlivé vady dřeva, reaguje s okolní vlhkostí, což nazýváme sesychání a bobtnání a v neposlední řadě anizotropie. Tyto nedostatky, které dřevo má je možno částečně odstranit modifikacemi dřeva (Požgaj et al, 1997; Desh, Dinwoodie, 1996).

### 1.2.1 Makroskopická struktura dřeva

Dřevo je původem organická hmota, vytvořena přírodními procesy, kdy spolu působí půda a ovzduší v kmenech, větvích a kořenech dřevin. Dřevo vzniká z rostlinného pletiva. Buněčné stěny tohoto pletiva jsou lignifikované neboli zdřevnatělé. Dřevo tedy najdeme od kořenů přes kmen až do větví mezi dřevní a kambiem (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Mezi dřeviny řadíme víceleté semenné rostliny, které rostou ve třech formách a to stromy, keře a polokeře. Tyto dřeviny se dále rozdělují na nahosemenné – jehličnany, krytosemenné dvouděložné – listnáče a několik jednoděložných – palmy a bambus. Většina stromů je charakteristická tloušťkou kmenem, kde přírůstky jsou nové vrstvy dřeva, které nazýváme letokruhy. Toto tvrzení neplatí o jednoděložných rostlinách (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

#### 1.2.1.1 Části stromu

Každý strom se skládá ze tří hlavních částí. Na pohled nejobtímější část je koruna stromu, koruna je soubor větví s listy nebo jehlicemi. Nejdůležitější částí je kmen, a část,

---

kteřá je pod zemí je kořenová soustava. Zastoupení těchto částí je pro vybrané dřeviny uvedeno v tab. 1 (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

**Tab. 1 Zastoupení částí stromu** (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998)

Dřevina	Kmen	Kořeny	Větve
	%		
Smrk, Jedle	80 - 90	5 - 15	5 - 10
Modřín	77 - 82	12 - 15	6 - 8
Borovice	65 - 77	15 - 25	10 - 20
Dub	65 - 75	15 - 20	10 - 20
Jasan	55 - 70	15 - 25	15 - 20
Javor	65 - 75	15 - 20	10 - 15
Buk	55 - 75	20 - 25	10 - 20
Bříza	78 - 90	5 - 12	5 - 10

Nejžádanější částí stromu je kmen, který se hojně průmyslově zpracovává. Velikost kmene, tedy délka a průměr, je závislá na dřevině, věku, dále tyto parametry ovlivňují stanovištní podmínky, kvalita půdy a pěstební opatření. U kmene rozeznáváme jeho tvary, mluvíme o válcovitém kmeni, sbíhavosti, či kuželovitosti (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

#### 1.2.1.2 Části kmene a jeho řezy

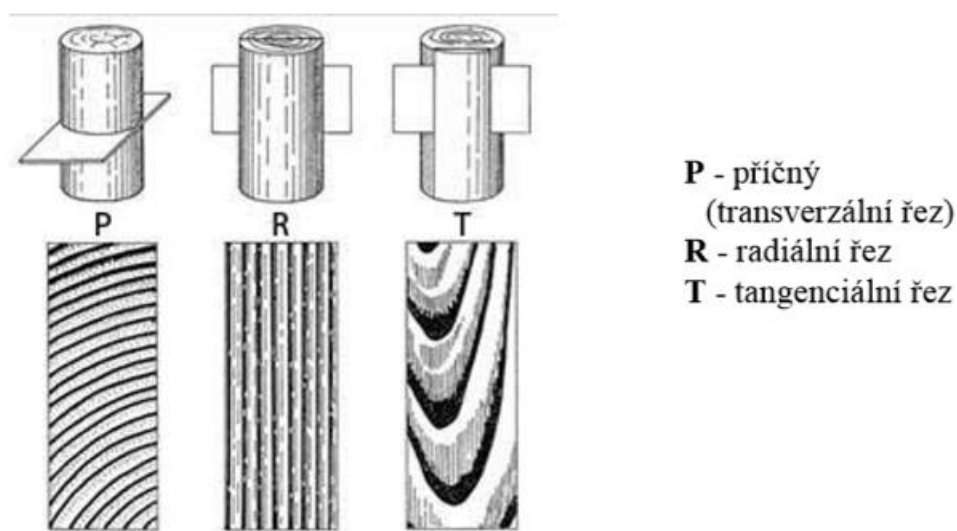
Ve středu kmene se nachází dřev, směrem od středu se za dřev nachází dřev, poté kambium a vše je chráněno vnější vrstvou kůry včetně lýka. Struktura a zastoupení těchto vrstev se dá nejlépe sledovat na základních řezech kmenem (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Transverzální řez neboli příčný řez. Je kolmý na osu kmene, a jde tedy napříč podélně orientovaných vláken. Zde se můžeme setkat i s názvem čelní řez, protože vytváří čelo na kulatině. Na tomto řezu můžeme vidět letokruhy vyobrazené jako kruhy a můžeme spočítat věk stromu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Radiální řez, také středový nebo poloměrový, je podélně vedený řez rovnoběžně s osou kmene. Tento řez prochází dřev, tedy středem kmene. Letokruhy se zde nacházejí jako rovnoběžné pásy. Dřeňové paprsky jsou viditelné jako různě tvarované plochy, nejčastěji lesklé, proto je nazýváme zrcadla, která jsou nejzřetelnější u dubu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

---

Tangenciální řez, dále nazývaný jako tečnový či fládrový, je též řez orientovaný podélně a je rovnoběžný s osou kmene, s tím rozdílem od radiálního řezu, že je v určité vzdálenosti od středu kmene. Při pohledu z transverzálního řezu je tečný k některému letokruhu. V tomto řezu vytvářejí letokruhy paraboly neboli takzvaný fládr. U Buku jsou např viditelné dřevné paprsky jako jemné čárky, orientované rovnoběžně s osou kmene (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).



**Obr. 4 Řezy kmene** (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Běžně používané řezy jsou šikmé, nebo i jiné. Nazývají se poloradiální či polotangenciální. Jsou to řezy na přechodu základních řezů. Při některé speciální výrobě mohou být vyhledávané pro svou vzniklou texturu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

#### 1.2.1.3 Kůra

Kůra je povrchová vrstva celého stromu a přím obklopuje kambium. Stavba kůry je složitější než stavba dřeva samotného, funkce kůry je nejen mechanická a izolační, ale také vodivá vrstva stromu. Každá dřevina má svůj specifický vzhled a tvar kůry. Samotnou kůru tvoří dvě vrstvy, vnější vrstvu nazýváme vlastní kůrou, vnitřní vrstvu nazýváme lýkem (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

#### 1.2.1.4 Kambium

Kambium se nachází mezi lýkem a dřevem, je to dělivé pletivo, které vytváří velmi tenkou vrstvu živých buněk. Tyto buňky se dělí po celý život stromu. Kambium je vrstva,

---

kteřá odděluje sekundární vodivá pletiva. Ve směru ke středu kmene je to sekundární dřevo, ve směru k vnějšku kmene je to sekundární lýko. Kambium je zodpovědné za každoroční přírůstek dřeva a lýka v radiálním směru (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

#### 1.2.1.5 Dřeň

Dřeň se nachází ve středu kmene stromu. V prvních letech života stromu obsahuje živé parenchymatické buňky, které následně odumírají. V prvním roce vede vodu, která je později vedena v nových letokruzích (Šlezingerová, Gandelová, 2005).

Dřeň nepatří mezi ty části dřeva, které bychom v něm rádi viděli. Zejména při vysychání, kdy vznikají dřeňové trhliny směrem od dřeně k obvodu kmene. Těmito trhlinami je narušena celistvost dřeva, čímž jsou dále ovlivněny vlastnosti dřeva (Šlezingerová, Gandelová, 2005).

#### 1.2.1.6 Dřevo

Dřevem nazýváme většinou část kmene, které je v kmeni mezi dření a kambiem. Vzniká dělením kambia. Dřevo se skládá z převážně zdřevnatělých, buněčných stěn (Šlezingerová, Gandelová, 2005).

### 1.2.2 Letokruhy

Každý letokruh je roční přírůstek dřeva, odpovídající přírůstku během jednoho vegetačního období. Toto platí pro mírné vegetační pásmo. V době vegetačního období dřevo v kmeni přirůstá, naopak v době vegetačního klidu je kambium ve stavu latentním, tzn. nevytváří nové buňky (Zeidler, 2012).

V tropickém a subtropickém pásmu, kde jsou dřeviny stále zelené a jejich doba růstu není přerušena vegetačním klidem, nejsou patrné letokruhy, neboť dřev přirůstá kontinuálně.

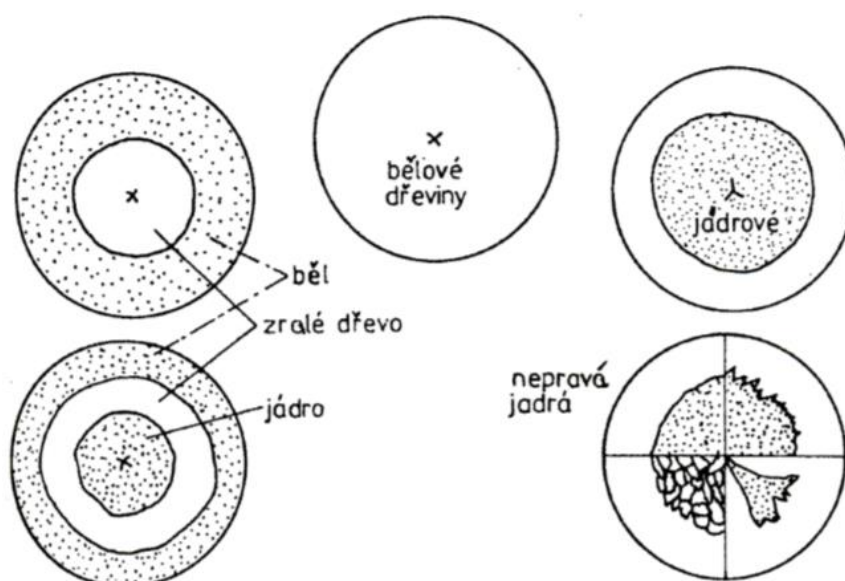
Na čelním konci kmene vytvářejí letokruhy vrstvy, roční přírůsty dřeva, ty a sebe navazují a obklopují dřeň. Letokruhy se skládají z vrstvy jarního a vrstvy letního dřeva. Tyto vrstvy jsou barevně odlišné, mohou být i strukturálně odlišné. Na transverzálním řezu kmene udává počet letokruhů věk stromu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).



### 1.2.3 Jádru a běl

Jádru a běl se vytváří v rostoucím kmene. Nové dřevo, přesto že musí splňovat funkci mechanickou, musí plnit i funkci vodivou. Pro tuto funkci jsou ve dřevě cévy, cévice a parenchymatické buňky. Tato část v kmene se nazývá běl. V běli je vyšší vlhkost než v jádru kmene. V jádrové části kmene se vytvářejí organické látky, nazýváme je látky jádrové. Dřeviny rozdělujeme do tří skupin, a to podle fyziologických procesů v jádru:

1. Dřeviny bělové. Jsou to dřeviny, u kterých se nevyskytuje barevně odlišené jádru, barva v celém průřezu kmene je tedy stejná. V tomto dřevě jsou parenchymatické buňky v celém kmene živé. Činnost těchto buněk je ve středu kmene nižší než při obvodu kmene.
2. Dřeviny s bělí a vyvrálým dřevem. V jádru jsou buňky většinou odumřelé, nebo s nižší vitalitou. Buňky v běli jsou aktivní. I když jsou ve vyvrálem dřevě odumřelé buňky, mají stále dobrou propustnost. Mezi vlhkostí běle a vlhkostí vyvrálem dřeva je značný rozdíl. Způsobuje to rychlejší tmavnutí běli než vyvrálem dřeva při kácení stromů. Toto se odstraňuje při sušení, kdy se barva vyrovnává.
3. Dřeviny jádrové. Aktivní je pouze běl. V jádrovém dřevě jsou ukládány v dřevních pletivech, lumenech cévních buněk nebo v odumřelém parenchymu jádrové látky. Tyto látky jsou odpovědné za zbarvení jádra a z hlediska vlastností dřeva zvyšují odolnost vůči biotickým činitelům (Čunderlík, 2009).



Obr. 5 Jádru a běl u dřevin (Požgaj et al, 1997)

### 1.3 Buk lesní

Buk lesní, latinsky *Fagus sylvatica* L., běžně rostoucí v nadmořských výškách 300–1000 m nad mořem. V našich podnebných podmínkách se mu daří nejlépe v nadmořských výškách 500–800 m nad mořem (Hejný, Slavík, 2003).

Tato dřevina se dožívá až okolo 400 let. Pokud chceme dosáhnout nejlepšího využití je to okolo 100–140 let. Průměr kmene bývá do 1,5 m, při obvyklé výšce 35–40 m. V lesnatých porostech dorůstá do štíhlých, dlouhých kmenů, jako osamocený strom se vyznačuje nižším vzrůstem, kratším kmenem, který je v korunové části velmi rozvětvený. Buk je bezjádrový, u starších strom se může vyskytovat nepravé jádro. Zařadili bychom jej do skupiny dřevin středně těžkých a tvrdých. Barva dřeva je bílá až lehce narůžovělá, patrný je barevný rozdíl dřeva a běli, která má vyšší vlhkost. Vysušením se tyto barevné odlišnosti sjednotí na světle hnědou až narůžovělou barvu. Kůra je na povrchu hladká, barva je šedá až bělošedá (Hejný, Slavík, 2003; Fellner et al, 2007).

Buk je nejvíce využíván na výrobu ohýbaného nábytku, hojně se z něj vyrábí lamely. Pro jeho přednosti se často používá pro výrobu dýl, ať už kvalitnějších krájených, nebo loupáných pro výrobu překližovaných desek (Böhm, Bomba, Raisner, 2012).

Mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva buku jsou uvedeny v tab. 2. Hodnoty v tabulce jsou uvedeny při vlhkosti dřeva 12 %.

**Tab. 2 Mechanické a fyzikální vlastnosti buku** (Sarvaš et al, 2010; Wagenführ, 1974)

Vlastnost	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna
Hustota [Kg/m <sup>3</sup> ]	720	720
Pevnost v tlaku [Mpa]	62	
Pevnost v tahu [Mpa]	135	10,7
Pevnost v ohybu [Mpa]	123	
Pevnost ve smyku [Mpa]	8	
Modul pružnosti v ohybu [Mpa]	16 000	
Houževnatost [J/cm <sup>2</sup> ]		8,04
Tvrdość podle Brinella [Mpa]	72	34
Sesychání [%]	0,3	5,8

---

## 1.4 Vybrané fyzikální vlastnosti dřeva

Hustota, vlhkost, vzhledové a povrchové vlastnosti, tepelné, elektrické a akustické vlastnosti šíření záření apod. jsou všechno vlastnosti, které patří mezi fyzikální vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva (Matovič, 1993).

Dále se budeme věnovat hustotě a vlhkosti dřeva, protože to jsou vlastnosti, které nejvíce ovlivňují vlastnosti sendvičového materiálu.

### 1.4.1 Vlhkost dřeva

Dřevo je hygroskopické, znamená to, že může z okolního prostředí buď přijímat vodu, anebo ji může do okolního prostředí odevzdávat. Tento děj může probíhat v kapalných nebo plynných skupenstvích vody. Stromy potřebují mnoho vody, aby mohli žít. Obsah vody můžeme v kmeni po skácení snižovat, ale i zvyšovat v závislosti na dalším použití. Díky hygroskopicitě bude mít dřevo vždy nějakou vlhkost, tato vlhkost se odvíjí od vlhkosti prostředí, ve kterém se nachází. Obsah vody ve dřevě je pro nás důležitý, protože ovlivňuje vlastnosti dřeva a velmi často tyto vlastnosti zhoršuje. Množství vody ve dřevě obsažené nejvíce ovlivňuje změny rozměrů, dále hustotu dřeva, odolnost proti houbám, plísním, ovlivňuje napadení dřevokazným hmyzem apod. (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Vlhkostí se rozumí objem vody, která se nachází ve dřevě. Rozlišujeme vlhkost absolutní a vlhkost relativní. Nejčastější vyjádření obou vlhkostí je v %.

Výpočet vlhkosti absolutní znázorňuje rovnice (1).

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 = \frac{m_v}{m_0} * 100 [\%] \quad (1)$$

Kde:

$w_{abs}$ - absolutní vlhkost	[%]
$m_w$ - hmotnost vlhkého dřeva	[kg,g]
$m_0$ - hmotnost absolutně suchého dřeva	[kg,g]
$m_v$ - hmotnost vody	[kg,g]

Výpočet vlhkosti relativní znázorňuje rovnice (2).

$$w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} * 100 = \frac{m_v}{m_w} * 100 [\%] \quad (2)$$

---

Kde:

$w_{rel}$ - relativní vlhkost	[%]
$m_w$ - hmotnost vlhkého dřeva	[kg,g]
$m_0$ - hmotnost absolutně suchého dřeva	[kg,g]
$m_v$ - hmotnost vody	[kg,g]

Pro charakterizování fyzikálních a mechanických vlastností používáme absolutní vlhkost dřeva. Pokud potřebujeme znát procentuální podíl vody ku hmotnosti mokrého dřeva, používáme relativní vlhkost. Toho lze využít pro nákup nebo prodej dřeva dle hmotnosti (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Přepočet absolutní a relativní vlhkosti se provádí dle rovnic (3) a (4) (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

$$w_{rel} = \frac{100 \cdot w_{abs}}{100 + w_{abs}} [\%] \quad (3)$$

$$w_{abs} = \frac{100 \cdot w_{rel}}{100 - w_{rel}} [\%] \quad (4)$$

Voda se v dřevě vyskytuje ve třech variantách, a to voda volná, vázaná – hygroscopická a chemicky vázaná.

Voda volná se nachází v mezibuněčných prostorech a v lumenech buněk. Ve dřevě se nachází pouze poté, jsou-li buněčné stěny maximálně vyplněny vodou vázanou (Matovič, 1993).

Voda vázaná neboli hygroscopická, se vyskytuje v buněčných stěnách a vážou ji vodíkové můstky hydroxylových skupin OH amorfních částí celulózy a hemicelulózy. Ve dřevě ji najdeme při vlhkosti 0–30 % (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

Voda chemicky vázaná nezpůsobuje změny ve fyzikálních nebo mechanických vlastnostech dřeva. Je nedílnou součástí dřeva a nedá se z něj odstranit. Pouze chemická analýza dokáže zjistit tuto vodu (Horáček, 1998).

Rozhodnutí, zda jde o vodu volnou nebo o vodu vázanou, určuje mez nasycení buněčných stěn nebo mez hygroscopicity. Mez nasycení buněčných stěn znamená naplnění buněčné stěny vodou, přičemž v lumenu se nevyskytuje žádná voda v kapalném skupenství (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

---

### 1.4.2 Hustota dřeva

Hustota dřeva je podíl hmotnosti dřeva a jeho objemu. Jednotka hustoty je  $\text{kg/m}^3$ . Vlhkost dřeva velmi ovlivňuje hustotu. Hustotu rozdělujeme podle vlhkostních stavů:

- hustota suchého dřeva ( $w = 0 \%$ ),
- hustota vlhkého dřeva ( $w > 0 \%$ ),
- hustota dřeva při vlhkosti 12 % (Hájek et al, 2018).

Vyšší vlhkost dřeva způsobí i vyšší hmotnost dřeva, která se zvyšuje až do nejvyššího možného nasycení. Objem se může zvětšovat pouze do meze hygroskopicity. Z toho vyplývá, že objem a hmotnost dřeva se nezvětšují stejně. Důležitost hustoty je zejména pro výpočty pórovitosti, nasákavosti, a při procesech impregnování dřeva (Hájek et al, 2018).

Rovnice pro výpočet hustoty:

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3] \quad (5)$$

Kde:

m – hmotnost dřeva [kg]

V – objem dřeva [ $\text{m}^3$ ]

Na hustotě nepřímo závisí pórovitost. Rovnice pro výpočet pórovitosti vypadá následovně:

$$p = \frac{V_p}{V_0} [-] \quad (6)$$

Kde:

$V_p$  – objem pórů [ $\text{m}^3$ ]

$V_0$  – objem suchého dřeva [ $\text{m}^3$ ]

Význam pórovitosti je hlavně z hlediska technologie zpracování, a to především u sušení, impregnace dřeva a povrchových úpravách. Její znalosti se využívá u některých způsobů modifikace dřeva (Hájek et al, 2018)

Hmota buněčných stěn bez submikroskopických dutin se nazývá hustota dřevní substance. Tato hustota závisí na chemickém složení dřeviny, tedy obsah celulózy, hemicelulózy, ligninu. Hustota dřevní substance se pohybuje mezi 1460–1570 kg/m<sup>3</sup> (Hájek et al, 2018; Požgaj et al, 1997).

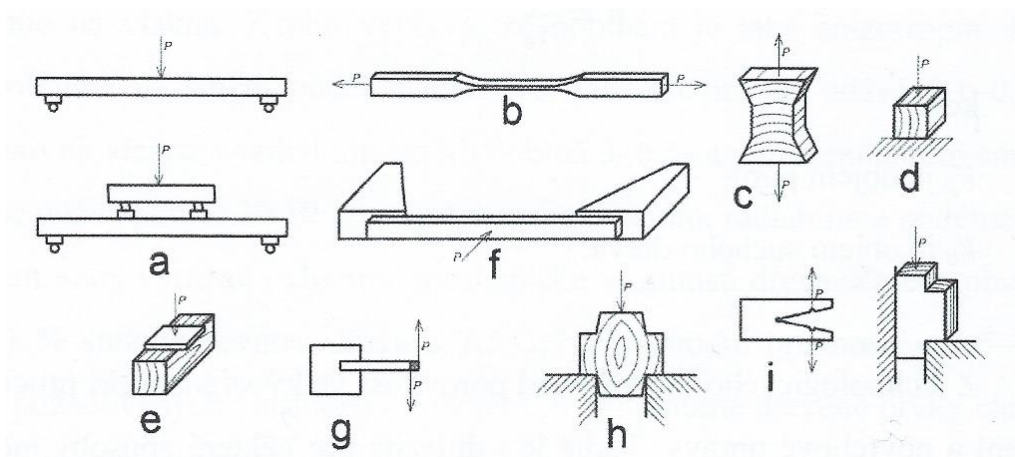
## 1.5 Vybrané mechanické vlastnosti dřeva

Mechanickými vlastnostmi vyjádříme, jak materiál snáší účinky vnějších sil. Jelikož je dřevo anizotropní materiál, jsou tyto vlastnosti velmi odlišné v podélném směru a ve směru kolmém na vlákna. Způsobuje to orientace dřevních buněk a různé vazebné energie chemických složek dřeva (Hájek et al, 2018; Požgaj et al, 1997).

Tyto vlastnosti můžeme rozdělit na 3 skupiny:

- základní – pevnost, pružnost, houževnatost, plasticita,
- odvozené – tvrdost, odolnost vůči tečení, odolnost vůči lomu, odolnost proti stálému zatížení,
- technologické – impregnace, štípatelnost, ohyb (Hájek et al, 2018).

Mechanické namáhání se rozumí působení všech vnějších sil na materiál. Základními druhy mechanického namáhání jsou tah, tlak, ohyb, smyk a krut. Tato namáhání zobrazuje obr. 6., kde ohyb (a), tah ve směru vláken (b), tah kolmo na vlákna (c), tlak (d), tlak kolmo na vlákna (e), zkouška přerážením (f), krut (g), smyk (h, ch), rozštípnutí (i) (Hájek et al, 2018).



Obr. 6 Způsoby mechanického namáhání (Hájek et al, 2018).

---

Mechanické namáhání můžeme rozdělit z hlediska času působení na:

- zatížení statické – zatěžovací rychlost je nižší než rychlost šíření deformací,
- zatížení dynamické – síla je maximální a její působení je v krátkém čase,
- zatížení kmitavé – zatížení je střídavě měněno, dále rozdělujeme na pulzující a střídavé,
- zatížení trvalé – dlouhá doba působení síly, síla působí konstantně nebo kmitavě (Hájek et al, 2018).

Pokud zatížíme materiál dlouhodobě a nedojde přitom k porušení materiálu, mluvíme pak o trvalé pevnosti dřeva. Mezní napětí označujeme jako mez trvalé pevnosti. Průměrná hodnota meze trvalé pevnosti je 60–70 % meze pevnosti, při působení statického krátkodobého zatížení, udává (Matovič, 1993; Hájek et al, 2018).

Je dokázáno, že ve dřevě vzniknou nevratné trvalé deformace, kdy kmitavá zatížení mohou měnit svůj směr a svoji velikost. Velké množství cyklických zatížení při nižší síle, má větší vliv než zatížení statické s nižší silou. Toto je stav, který nazýváme, únava materiálu. Mezní stav této únavy pojmenujeme mez únavy. Je to mez, při které nedojde k porušení materiálu ani při nekonečném počtu cyklů (Hájek et al, 2018).

Při kmitavém namáhání, které je trvalé, klesne mez únavy na 22–38 % meze pevnosti statického ohybu. U dřeva, které je vystavené tlaku, probíhají deformace podle Hookova zákona. Hookův zákon popisuje vztah mezi napětím a deformací (Hájek et al, 2018).

### **1.5.1 Vztah napětí a deformace**

Předpokladem, pro vhodný výběr a použití dřeva či materiálů na bázi dřeva pro konstrukční materiály, je porozumění vztahům mezi napětím a deformacemi. Při lisování překližek, vrstveného dřeva apod. též využíváme těchto znalostí (Požgaj, et al, 1997).

#### **1.5.1.1 Napětí**

Při zatěžování materiálu silou vzniká napětí. Dřevo do značné míry odolává vnějším silám, např. zatížení, namáhání tlakem nebo ohybem, díky svým mechanickým vlastnostem. Napětí jsou síly v molekulách dřeva, které působí proti vnějším silám. Výpočet mechanického napětí viz rovnice (7) (Hájek et al, 2018).

$$\sigma = \frac{F}{S} [\text{MPa}] \quad (7)$$

Kde:

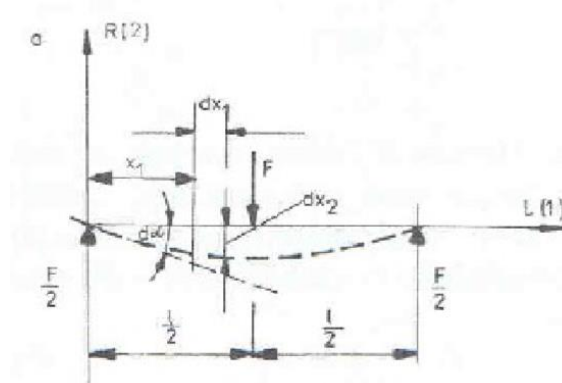
$\sigma$ – napětí	[Mpa]
F – síla	[N]
S – plocha	[mm <sup>2</sup> ]

### 1.5.1.2 Deformace

Deformace jsou změny, které způsobují mechanické síly svým působením na materiál. Může dojít k prodloužení, zkrácení, nebo ke změně tvaru, např. kosodélník. Normálovým napětím vzniká prodloužení nebo zkrácení. Při tangenciálním napětí vzniká zkosení a označujeme jej jako smyková, nebo tangenciální deformace (Hájek et al, 2018).

### 1.5.2 Modul pružnosti ve statickém ohybu

Modul pružnosti pro ohyb je kolmo na vlákna. Zkouší se ro tangenciální směr. Ohybový moment způsobuje normálové napětí, ze kterého e odvozuje modul pružnosti v ohybu. Na obr. 7 je vidět zatížení a průhyb dřevěného tělesa. Při ohybu je namáhána konkávní strana tělesa na tlak a konvexní strana tělesa na tah. Osu středem tělesa nazýváme neutrální osou a ta je nezatížena (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).



**Obr. 7 Ohyb dřeva** (Požgaj et al, 1997)

Deformaci při ohybu definujeme jako poměr průhybu tělesa a poloměru ohybu. Toto napětí definuje rovnice (8):

$$\sigma_L = \frac{E_l * dx_2}{dr} \quad (8)$$



---

Kde:

$\sigma_L$  – napětí

$E_L$  – modul pružnosti

Modul pružnosti vychází z momentu ohybu, odvozený ve tvaru:

$$M_T = \frac{E_L * I_i}{r} \quad (9)$$

Kde:

$M_T$  – ohybový moment

$E_L$  – modul pružnosti

$I_i$  – modul průřezu

$r$  – poloměr ohybu (Šlezingerová, Horáček, Gandelová, 1998).

## 1.6 Lepení

Lepením se označuje spojení dvou ploch, za pomoci lepidla, jehož přilnavost k oběma plochám je dobrá. Při nanášení se používá lepidlo v kapalném stavu. Je to z důvodu zajištění dokonalého přilnutí k povrchům lepených materiálů (LEAR, a. s.).

Lepení dřeva v praxi znamená nanášení lepidla na lepené plochy, kde vyplňuje dutiny buněk (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Závislost pevnosti slepeného spoje:

- adheze – přilnavost lepidla k lepeným povrchům
- koheze – vnitřní pevnost lepidla neboli soudržnost hmoty lepidla
- smáčivost – lepené povrchy kapalným lepidlem,
- pevnost – lepeného materiálu (soudržnost) (LEAR, a. s.).

### 1.6.1 Adheze

Základním předpokladem pro úspěšné lepení je adheze. Pokud lepidlo nepřilne pevně k lepenému materiálu dojde k rozlepení spoje v místě lepidla a lepeného materiálu. Z toho vyplývá, že koheze, což je vnitřní pevnost lepidla a pevnost lepeného materiálu

---

je vyšší než adheze, což je přilnavost materiálu. Proč mezi lepeným materiálem a lepidlem vznikají síly adheze, vysvětlují dva teoretické modely:

- vazba mechanická,
- vazba chemická (specifická) (Reinprecht, 2008; LEAR, a. s.).

U povrchů porézních, nebo jiným způsobem členitých, je uplatněna vazba mechanická. Do těchto pórů, nerovností či prohlubní zateče lepidlo, které je, jak již bylo zmíněno výše, v kapalně formě a tímto způsobem vytvoří po vytvrzení mechanické spojení mezi lepenou plochou a hmotou lepidla. Nejběžnějším využitím této mechanické vazby je při lepení dřevěných, papírových, keramických nebo pěnových plastů. Pro lepení hladkých nebo leštěných povrchů je tato mechanická vazba nepoužitelná (LEAR, a. s.).

Jak již bylo zmíněno, mechanická vazba se dá uplatnit pouze u porézních materiálů. Zatímco chemická neboli specifická vazba se uplatňuje jak u porézních, tak i pro zcela hladké povrchy. Tento model jde uplatnit při působení slabých, van der Waalsových silách, elektricky přitažlivých. Tyto síly vzniknou mezi molekulou lepidla a plochou lepeného materiálu. Nejlepší použití je pro přímé chemické působení daného lepidla s povrchem lepeného materiálu. Tato se nejlépe lepí materiály s reaktivním povrchem, nebo jejich povrch se chemicky upravuje, právě proto, aby zde proběhla chemická reakce. Tato reakce proběhne mezi lepidlem a povrchem lepeného materiálu a vzniká zde kovalentní vazba. Tento způsob lepení se používá pro oxidovaný povrch lepeného materiálu, jako jsou oxidované plasty a kovy, dále přírodní polymery jako celulóza, papír a dřevo. Povrchy těchto materiálů musejí mít volné chemické skupiny oxy-, hydroxy-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino-, nebo jiné. Důležité je správně zvolit lepidlo, které musí tyto volné skupiny obsahovat a musejí být schopné reagovat s povrchy lepených materiálů. U těchto lepidel se vyskytují skupiny, které jsou vysoce reaktivní. Mezi tyto skupiny patří kyseliny: epoxy-, hydroxy-, karboxy-, dále isokyanáto-, a jiné (Osten, 1982; LEAR, a. s.).

### **1.6.2 Koheze**

Koheze je pevnost, která se vyskytuje ve vlastní vrstvě lepidla, mezi lepenými materiály. Pokud se slepený soubor rozlomí ve vrstvě lepidla, pak je koheze lepeného materiálu nižší než adheze a pevnosti lepených materiálů. Pevnost koheze se odvíjí

---

od použitého lepidla. Vysokou kohezí se vyznačují zejména dvousložkové epoxidy. Samolepicí etikety, které jsou trvale lepivé, nazýváme je měkké akryláty a jejich koheze je nízká. Dalším hlediskem je tepelné namáhání slepeného spoje. Jde o to, že některá lepidla měknou se zvyšováním teploty, jsou to jednosložková lepidla – termoplasty (Peschel et al, 2002; LEAR, a.s.).

### **1.6.3 Smáčivost**

Dalším parametrem je smáčivost kapalného lepidla vůči povrchu lepených materiálů. Lepidlo se musí rovnoměrně rozložit po povrchu lepených materiálů. Pokud se nerozprostře rovnoměrně, nevzniká adhezní vazba, a spoj není pevný. Hlediskem smáčivosti je polarita povrchů lepených materiálů a povrchové napětí mezi lepidlem a povrchy lepených materiálů (Keskin et al, 2009; LEAR, a. s.).

Molekuly lepidel jsou polární, neboť se orientují jednostranně elektricky. Důvodem toho je, že lepidla obsahují reakce schopné chemické skupiny. Toto vlastností je dána dobrá smáčivost polárních povrchů. Dalo by se to přirovnat k přitahování severního a jižního pólu mezi dvěma magnety. Například dřevo a papír mají povrchy polární. Dále sem můžou patřit deriváty celulózy, kovy s povrchy mírně oxidovanými, přírodní textilie, sklo apod. Syntetické textilie, většina plastů a vosk mají povrchy nepolární. (Peschel et al, 2002; LEAR, a.s.).

Povrchovou energii, která vznikne polaritou povrchu materiálů, nazýváme povrchovým napětím. Materiál je polárnější, čím má vyšší hodnotu povrchového napětí. Pokud lepidlo v kapalně formě nesmáčí povrchy lepených materiálů, hrozí slabá adheze a tento slepený spoj se bude rozpadat (LEAR, a.s.).

### **1.6.4 Pevnost**

Nejlepší variantou je lepení nesoudržných materiálů, mezi které patří papír, plst', pěnový polyuretan, z důvodu vyšší koheze většiny lepidel než lepených materiálů. Tento spoj se s největší pravděpodobností poruší vedle slepeného spoje (LEAR, a.s.).

## **1.7 Lepidla používaná pro sendvičové materiály**

V dnešní době se na trhu nachází mnoho lepidel. Většina jich jsou schopna vytvořit tak pevný spoj, než je dřevo samotné. Toto ale platí pro kvalitní spoj dřeva se dřevem. Jsou k tomu nutné čisté, hladce opracované plochy a rovnoměrný přítlak po celé ploše. Důležité je rovnoměrné nanesení lepidla, jeho požadované vrstvy, to vše při kontrolované

---

teplotě, přesnému složení a vyzrání lepidla. Kvalitu spoje ovlivňuje lisovací čas, tlak i vlhkost dřeva (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Rozdělení lepidel má několik způsobů. Nejčastěji se rozdělují podle chemické podstaty, nebo vazební vlastnost daného lepidla. Základním rozdělením lepidel je na syntetická a přírodní (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.1 Močovinoformaldehydová lepidla**

Pro tyto lepidla se běžně užívá zkratka UF. Tyto lepidla se vyznačují nízkou cenou, nehořlavostí, rychlým vytvrzováním a je pro ně typická světlá barva. Močovinoformaldehydová lepidla patří do skupiny aminových pryskyřic. Používají se pro výrobky do interiéru, kde zabírají nejvíce místa nad ostatními lepidly. Výše zmíněné výhody ovšem vyvažují jejich nevýhody, tou hlavní je, že nejsou odolná vůči vodě. U tohoto lepidla se často porušují spoje při pokusech na urychlené stárnutí. Tyto polymerní lepidla mají dlouhodobou hydrolytickou nestabilitu. Dalším problémem těchto lepidel je uvolňování formaldehydu do prostředí při depolymeraci (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Použití těchto lepidel je na konstrukční desky do interiéru, mezi které patří překližka, dřevotřísková deska, dřevovláknitá deska střední hustoty. V tomto prostředí se očekává malá pravděpodobnost styku s vlhkostí nebo vodou. Problémem není jenom vlhkost ale i působení vysoké teploty, kdy se tyto vytvrzená lepidla chemicky rozkládají (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.2 Fenolformaldehydová lepidla**

Zkratka těchto lepidel je PF. Tato lepidla byla vyvinuta na začátku dvacátého století, řadí se mezi nejstarší typ syntetických lepidel. Jejich nejširší využití je u laminátů a kompozitů. Jsou velmi dobře odolné, trvanlivé, přilnavé ke dřevu, mají vysokou pevnost polymeru a jsou stálé (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Používají se pro výrobu konstrukčních překližovaných desek a pro desky s orientovanými plochými třískami, které se zkratkou nazývají OSB desky. OSB desky jsou díky tomu odolné vůči klimatickým vlivům. Ve svém provedení jsou odolná vůči teplu. V případě, že není vyžadována odolnost vůči vlhkosti, nahrazují se močovinoformaldehydovými lepidly, která jsou levnější. Mimo pryskyřice obsahují i jiné aplikační složky. Nejčastěji se přidává močovina, ta zlepšuje tokové vlastnosti, pohlcuje volný formaldehyd a je cenově dostupnější (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

---

### 1.7.3 Melaminformaldehydová lepidla

Se označují zkratkou MF. Jsou podobná fenolformaldehydovým, jejich odolnost proti vlhkosti je vysoká, ale jsou světlejší. Použití melaminformaldehydových lepidel je pro je pro výrobu překližovaných a dřevotřískových desek u kterých se nevylučuje použití v exteriéru. Dále se používají při lepení ozubového spoje, dekorativních laminátů, nanášejí se a upravuje se jimi papír. Jejich nejčastější kombinace je s močovinoformaldehydovými lepidly (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Díky tomu, že jejich cena je vysoká, byla vytvořena melaminmočovinoformaldehydová lepidla, u kterých zůstala téměř zachována vyšší odolnost vůči vlhkosti, ale jsou znatelně levnější, a tím i více rozšířená (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### 1.7.4 Metylendifenyldiizokyanátová lepidla

Zkratka toho lepidla je MDI. Použití těchto lepidel je k lepení dřeva, při pokojové teplotě. Toho je docíleno izokyanáty, které reagují s vodíkovými skupinami. Samy polymerují nebo reagují s jinými monomery. Izokyanát se hojně používá k vyrobení polyuretanového lepidla, protože reaguje s kapalným diolefinem (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

Smíšením monomerního difenylmetandiizokyanátu, polyaromatických polyizokyanátů a metylénových můstků dojde k vytvoření polymerních difenylmetandiizokyanátů (pMDI). Vysoká cena lepidla je kompenzována rychlostí reakce, efektivitou při použití a mírou přilnavosti. Ve stavu před vytvrzením jsou tato lepidla zdraví nebezpečná. Po vytvrzení již nejsou nebezpečná (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### 1.7.5 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla (PU) mají hlavní výhodu v reakci izokyanátů a aktivního vodíku na povrchu, pod povrchem, ve vzduchu, která umožňuje lepení materiálů s nestejnou vlhkostí na povrchu. Ke vzniku spoje dostatečně pevného, který je zároveň odolný vůči vodě stačí doba vytvrzování 3–4 hodiny. Vysoký tlak při lepení a emise izokyanátu jsou nevýhody PU lepidla (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### 1.7.6 Epoxidová lepidla

Používají se dvousložková epoxidová lepidla, která se vytvrzují teplem. Jsou to epoxidové nebo etoxylinové pryskyřice, obsahující vytvrzovací složku.

---

Jsou dobře chemicky a tepelně odolné, nevyžadují velký tlak při lepení. Podle teploty a typu vytvrzovací složky se odvíjejí vlastnosti vyzrálého spoje (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.7 Polyvinylacetátová lepidla**

Homopolymery vinylacetátu, jako jednoduché základy lepidel, se zpracovávají polymerizací, přítomna je voda a stabilizační činidla. Zkratka je PVAC. Více o PVAC lepidlech v kapitole 1.9 (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.8 Resorcinolová lepidla**

Resorcinolová lepidla vytvrzují za studena. Odolnost vůči vodě mají velmi dobrou. Pro konstrukční spoje do exteriéru se používají nejčastěji resorcinolformaldehydová (RF) a fenolresorcinolformaldehydová (PFR) lepidla. RF a PFR dokáží vytvořit velmi pevné spoje za běžných teplot v prostředí. Ovšem dostupnost těchto lepidel je špatná, což se projevuje na jejich ceně, která je značně vysoká (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.9 Polyesterová lepidla**

Použití polyesterů je při vyztužování vrstvy skleněných vláken. Polyesterová lepidla mají mnoho typů, jejich cena je přívětivě nízká a jsou schopny vytvrzovat při nízké teplotě. Naopak mezi jejich slabé stránky patří uvolňování styrenu, a ne velká odolnost povrchu vůči nárazu (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

### **1.7.10 Lepidla na biologické bázi**

Patří mezi ně lepidla proteinová, která se dělají ze zvířecích kostí a kůží, z mléka (kaseinu), dále se používala krev, rybí kůže a sója. Tato přírodní lepidla jsou nevhodná do vlhkých prostředí (Gaff, Kuzman, Sandberg, 2018).

## **1.8 PVAC lepidlo**

PVAC lepidlo neboli polyvinylacetátové lepidlo patří do skupiny termoplastických lepidel. Jeho hlavní složkou je tedy termoplast, což je polymer nebo kopolymer, u kterého můžeme opakovaně dosáhnout změknutí při působení tepla, a tuhnutí při ochlazení. Většina termoplastických materiálů je převeditelná na reaktoplast. Docílit toho jde ozářením, nebo při použití chemických síťovacích činidel, která jsou pro to vhodná (ČSN EN 923).

Norma ČSN EN 204 klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace uvádí klasifikaci těchto lepidel dle tříd trvanlivosti. Tyto lepidla musejí být klasifikována podle klimatických podmínek.

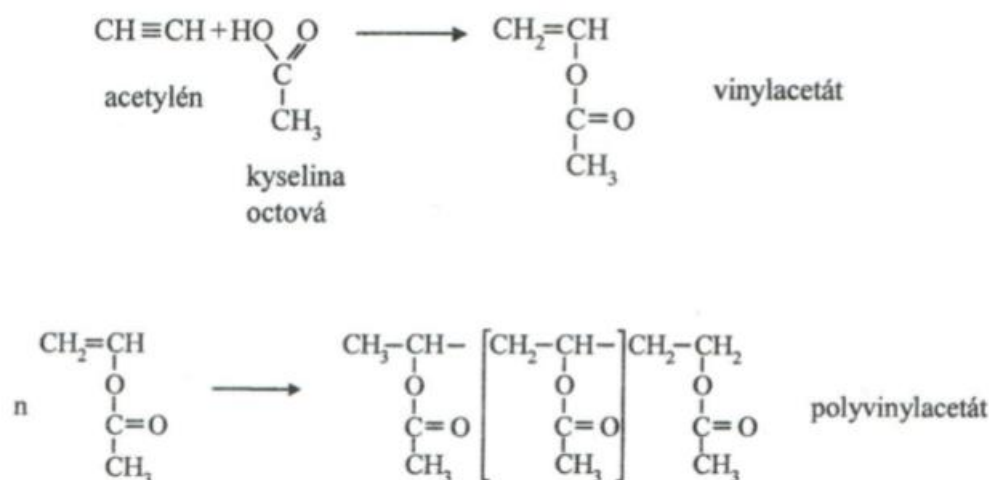
Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek a oblasti použití
D1	Interiér, vlhkost dřeva nepřekročí 15 %.
D2	Interiér s příležitostným, krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo občasnou vysokou vlhkostí vzduchu za předpokladu, že nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %.
D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo působením vysoké vlhkosti vzduchu. Exteriér chráněný před působením povětrnosti.
D4	Interiér s častým dlouhodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody. Exteriér vystavený povětrnosti avšak opatřený přiměřenou povrchovou úpravou.

**Obr. 8 Klasifikace termoplastických lepidel podle ČSN EN 204 (ČSN EN 204)**

Jak už ze zkratky názvu vyplývá, hlavní složkou PVAC lepidel je polyvinylacetát. Polyvinylacetát je ve většině organických rozpouštědel rozpustný, např. etylalkohol, etylacetát, toluen, aceton. Nerozpouští jej vyšší alkoholy, benzín a glycerin. Polyvinylacetát je nejčastěji připravován v podobě lepidel disperzních a roztokových (Komárek, 1987).

PVAC lepidlem se zabývá norma ČSN EN 923: Lepidla – termíny a definice. Definuje jej jako polymer termoplastický, který je nejběžněji ve formě disperzních, pevných látek nebo pryskyřice. Vyráběný pomocí polymerace vinylacetátu, který je jediný, nebo základní polymer. Nejběžnějším použitím tohoto lepidla je na lepení porézních materiálů, konkrétně dřeva nebo papíru (ČSN EN 923).

Při reakci acetylenu s kyselinou octovou vznikne vinylacetát, který je používán jako hlavní složka již zmíněného polyvinylacetátu. Vinylacetát je v kapalném skupenství, má štiplavý zápach a jeho přibližný bod varu je 72 °C. Polyvinylacetát se získává přes disperzi z vodní suspenze, za použití monomeru vinylacetátu (Sedliačik, 2005).



Obr. 9 Vznik vinylacetátu a polyvinylacetátu (Sedliačik, 2005)

Vlastnosti polyvinylacetátu:

- bezbarvá hmota,
- stálý při zvýšených teplotách,
- měknutí v rozmezích  $70 \div 200 \text{ } ^\circ\text{C}$  (střední molekulová hmotnost),
- odolnost proti chemikáliím, např. ethery, oleje a petroleje,
- rozpustný v alkoholu, ketonech, chlorované a aromatické uhlovodíky.

Dalším použitím polyvinylacetátu po výrobě disperzních lepidel je použití pro roztokové nátěrové hmoty a latexy (Ducháček, 2006; Černý, 1982).

### 1.8.1 Vytvrzování PVAC lepidla

Vytvrzování PVAC lepidla je fyzikální proces, nevzniká žádná chemická reakce. Jde o vstřebávání vody z PVAC lepidla do dřeva, vznikne tím souvislý film na povrchu lepeného materiálu, dřeva (Sedliačik, 2005).

Dále při vytvrzování lepidla řešíme otevřenou dobu. Otevřená doba je taková doba, po kterou se dá spojovanými částmi posunout, než dojde k jejich slepení. Nejčastěji mají lepidla otevřenou dobu 4–8 minut. Tento údaj závisí především na složení lepidla. Dalším parametrem, na kterém je závislá otevřená doba je nános lepidla na lepeném materiálu

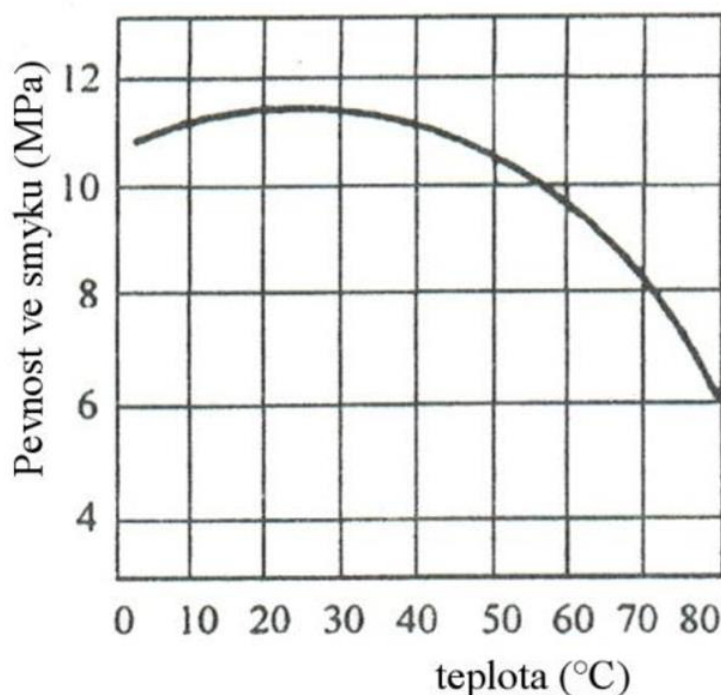


---

a druh lepeného materiálu. Čím větší nános lepidla nebo čím větší vlhkost materiálu, tím se prodlužuje otevřená doba lepidla (Eisner, Berger, 1958).

### 1.8.2 Vlastnosti, použití PVAC lepidla

Tyto lepidla mohou být používána i za nízkých teplot, ovšem při lepení by teplota prostředí neměla být nižší než 10 °C. Teplota okolního prostředí při lepení by měla optimálně dosahovat 18–22 °C. Mezi výhody těchto lepidel patří nehořlavost. Práce s tímto lepidlem je velmi přívětivá, dobře se obrábí a netupí obráběcí nástroje. V praxi se nejčastěji aplikuje oboustranné nanášení při množství lepidla 180–200 g/cm<sup>2</sup>. Nevýhodou těchto lepidel je zhoršení mechanických vlastností při zvýšené teplotě, viz obr. (Keskin et al, 2009; Eisner et al, 1966).



Obr. 10 Vliv teploty na pevnost lepeného spoje dřeva a PVAC lepidla (Osten, 1996)

Nejčastější a nejběžnější použití PVAC lepidel je v interiérech, tedy v suchém prostředí, jsou to třídy trvanlivost D1 a D2. Vyznačují se velmi dobrou odolností proti plísním. V exteriérech se používají lepidla s třídou trvanlivosti D4. Tyto lepidla se dají použít i pro jiné pórovité látky, než je dřevo. Jsou to například korek, papír, lepenka, textilie nebo kůže (Sedliačik, 2005).

---

Pokud budeme spoj PVAC lepidla posuzovat při pevnosti ve smyku, je vysoce kvalitní. Ovšem při teplotách 50–60 °C tato pevnost klesá. Pevnost těchto lepidel končí u teploty 130 °C, kdy se tyto lepidla rozkládají a uvolňuje se kyselina octová (Sedliačik, 2005).

---

## 2 Modifikace dřeva

Modifikací nazýváme proces, během kterého dochází ke změnám vlastností ve dřevě. Na obr. 6. je znázorněno rozdělení modifikací (Kafka et al, 1989; Trebula, Klement, 1997).

Druh modifikace			
Chemické	acetylace esterifikace apod.		
Tepelné	vaření paření  apod.	přímé nepřímé	
Kombinované	hydrotermická a zhuštění acetylace a zhuštění apod.		
Mechanické	zhuštění  apod.	rovnoměrné  nerovnoměrné	kolmo na vlákna rovnoběžně s vlákny objemové kolmo na vlákna
Vrstvení	překližování lamelování kombinace mat. apod.		
Energie	mikrovlnný ohřev vysokofrekvenční ohřev gama záření infráčervené záření apod.		
Ostatní			

Obr. 11 Modifikace dřeva (Sergovskij, 1977; Stojčev et al, 1979; Zemiari, 1997)

Podle trvání rozdělujeme modifikace:

- přechodná,
- trvalá.

---

Též může být:

- aktivní,
- pasivní (Hájek et al, 2018).

### 2.1.1 Lisování

Při lisování hmoty dřeva je dosahováno zhuštění dřeva. Toto zhuštění umožňuje vlastnost, kterou je pórovitost dřeva (Navi, Girardet, 2000; Tabarsa, Chui, 1997).

U takto zhuštěného dřeva dosáhneme vyšší pevnosti, nesmí ale při zhušťování docházet k destrukcím dřevní hmoty (Navi, Heger, 2004).

Lisováním dosahujeme zvětšení podílu hmoty dřeva v objemu, dosahuje se tím vyšší hustota dřeva. Při této technologii je využíván lisovací tlak. Lisování probíhá za studena, při vlhkosti v daném prostředí, tedy bez plastifikace, popřípadě může být lisovaný materiál plastifikován za pomoci jiných činitelů (Chuchrjanskij, 1953).

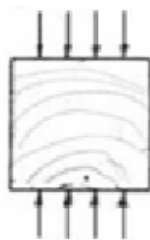
Zhušťovat lze veškeré dřeviny, které se u nás běžně vyskytují, ovšem platí, že jehličnaté dřeviny jsou pro zhušťování méně vhodné. Jehličnaté dřeviny, kde je velký podíl letního a jarního dřeva se doporučuje zhušťovat po předchozí chemické plastifikaci. Naopak listnaté dřeviny jsou pro zhušťování velmi vhodné. Listnaté dřevo se dá velmi dobře zhušťovat i bez předcházející chemické plastifikace. Použitím chemické plastifikace například amoniakem dosáhneme u listnatých dřevin mnohem lepších výsledků. Svým vzhledem po lisování jsou tyto dřeviny porovnatelné s dřevinami exotickými, jako například eben či teak. Chemická plastifikace před zhuštěním dřeva má vliv na lepší tvarovou stabilitu ve vlhku a mokřím prostředí. Dřevo zhuštěné bez předchozí chemické plastifikace takových výsledků nedosahuje (Kafka et al, 1989; Požgaj et al, 1997).

#### 2.1.1.1 Lisování jednoosé

Jednoosé lisování je nejrozšířenější způsob lisování. Pro tento účel se používá vyhřívaný hydraulický lis. Síla lisu je vyvíjena v jednom směru, nejčastěji svisle. Lisování v jedné ose se dá rozdělit na dvě části podle působení lisovacího tlaku viz obr. 6 (Kafka et al, 1989).

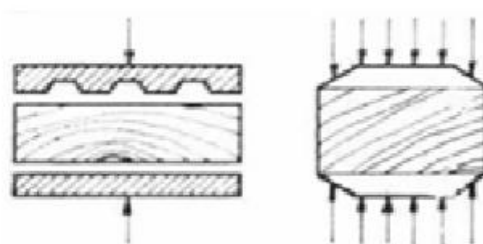
---

Rovnoměrné lisování jednoosé se používá nejčastěji pro zhušťování dřeva. Lisovací síla se vyvíjí na celou plochu lisovaného materiálu, vzniká tím stejná deformace po celé lisované ploše (Kafka et al, 1989).

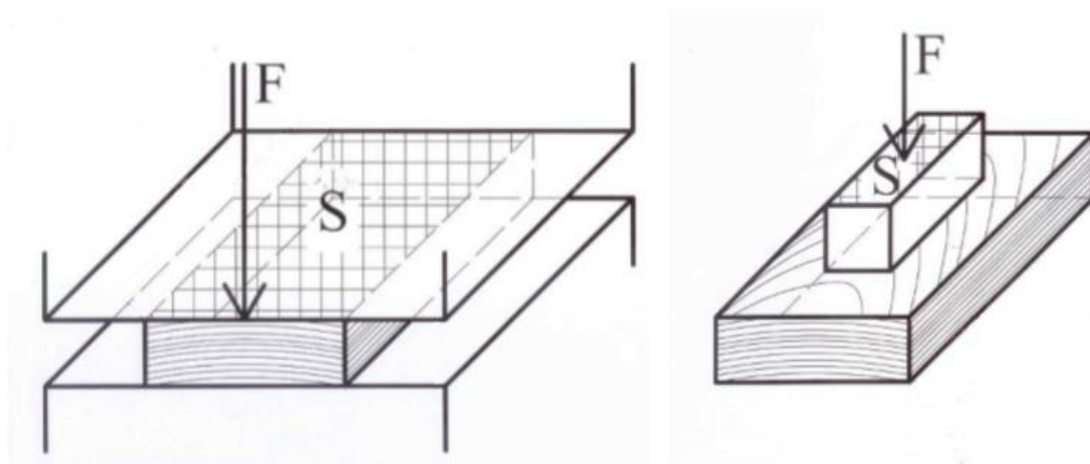


**Obr. 12 Jednoosé lisování rovnoměrné** (Kafka et al, 1989)

Nerovnoměrné lisování jednoosé. Pro toto lisování se používají tvarové lisovací desky. Deformace po ploše lisovaného materiálu jsou různé. Tímto lisováním vznikne reliéf. Lisování může probíhat mezi rovnými deskami, pak je ale vkládán tvarovaný materiál. Pokud je potřeba lisovat jen část plochy materiálu, používá se lokální reliéfování (Kafka et al, 1989).



**Obr. 13 Jednoosé lisování nerovnoměrné** (Kafka et al, 1989)



**Obr. 14 Plošné lisování a lokální reliéfování** (Kafka et al, 1989)

---

Pro jednoosé lisování je třeba vyvinout velký lisovací tlak. Je to dáno lisováním celé plochy najednou. Pro jednoosé lisování udává napětí rovnice (1), která vychází z obr. 4 (Kafka et al, 1989).

$$P = \frac{F}{S} [MPa] \quad (10)$$

Kde:

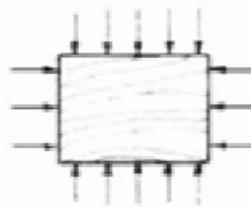
P – lisovací tlak [MPa]

F – síla [N]

S – plocha, na kterou síla působí [mm<sup>2</sup>]

#### 2.1.1.2 Lisování dvouosé

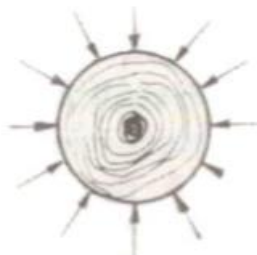
Na lisovaný materiál působí dvě síly. Tyto síly působí jak v radiálním, tak i v tangenciálním směru. Takto zhuštěné dřevo má velmi dobré mechanické vlastnosti (Kafka et al, 1989).



**Obr. 15 Dvouosé lisování** (Kafka et al, 1989)

#### 2.1.1.3 Lisování obvodové

Materiál lisovaný obvodově zatěžuje lisovací síla po celém obvodu, v radiálním směru všude stejnou silou (Kafka et al, 1989).

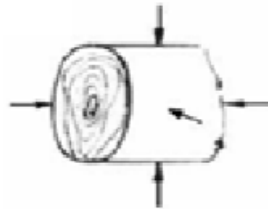


**Obr. 16 Obvodové lisování** (Kafka et al, 1989)

---

#### 2.1.1.4 Lisování prostorové

V tomto případě je materiál nejen lisován, ale současně dochází k jeho impregnaci. Impregnace je prováděna pod vysokým tlakem v kapalině. Maximální zatížení musí být co nejrychlejší, v řádech vteřin (Kafka et al, 1989).

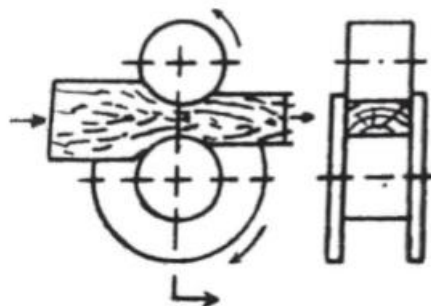


Obr. 17 Prostorové lisování (Kafka et al, 1989)

#### 2.1.2 Válcování

Válcovaný materiál, procházející mezi dvěma válci, zhušťuje síla, kterou vyvíjí přítlak válců (Kafka et al, 1989).

Na rozdíl od lisování nevzniká válcovaný materiál po jednom průchodu mezi válci. Tento proces se musí opakovat. Při jednom průchodu se materiál zhustí o určitou část (Vorreiter, 1949).



Obr. 18 Válcování (Kafka et al, 1989)

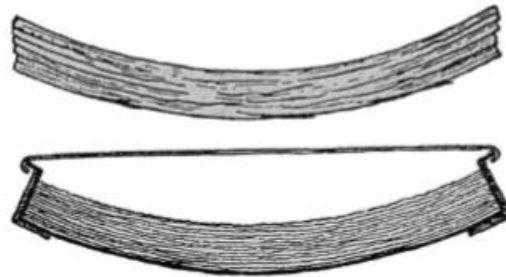
#### 2.1.3 Ohýbání

U ohybu dřeva se snažíme posunout neutrální osu. Neutrální osa vzniká na přechodu mezi tlačnou a taženou vrstvou. Snažíme se toho docílit z důvodu vyšší pevnosti v tahu než v tlaku u dřeva. Při tlaku se dřevo deformuje až o 30 %, při tahu do 2 %. To má za následek praskání dřeva na tahové straně, tedy vnější (Vaněk, 1952).

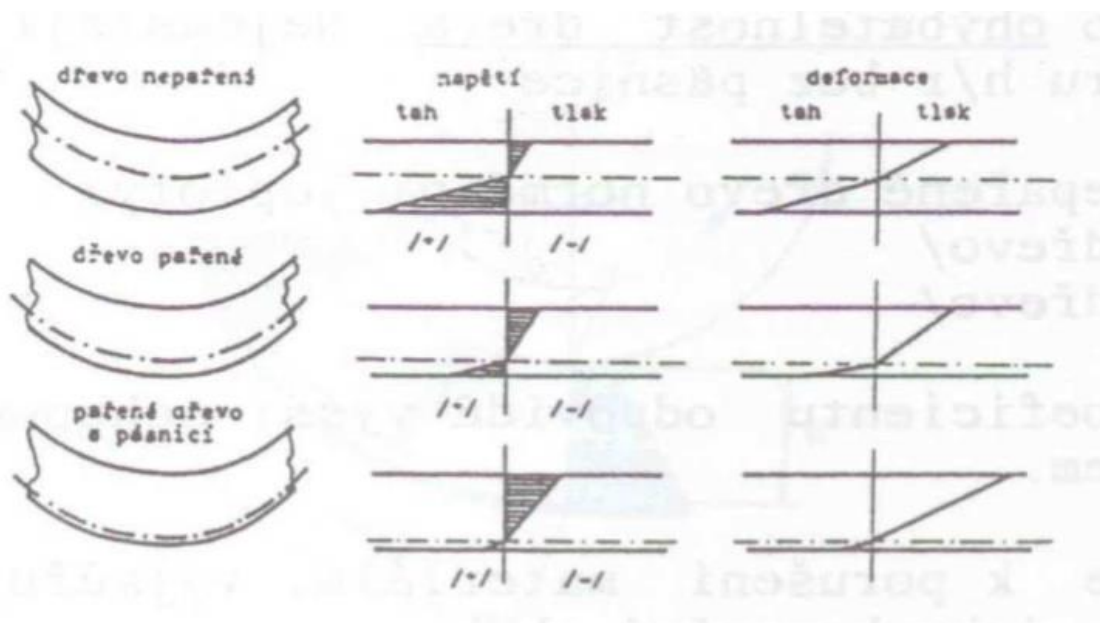
Při ohybu se neutrální osa posouvá k té straně, kde je vyšší tuhost. Abychom docílili posunutí neutrální osy ke straně tažené, a zvětšili jsme tím tlakovou část, opatřuje se těleso ocelovou pásnicí, která musí mít na koncích zarážky. Tímto docílíme přesunutí

části tahového napětí do ocelové pásnice a ve dřevě dochází převážně k tlakovým napětím (Vaněk, 1952).

Ke zvětšení místa, kde působí tlak, se dá docílit i použitím fyzikálních faktorů, nebo kombinací zmíněných metod. Fyzikální faktory znamenají použití vhodné dřeviny, v našich podmínkách jsou to listnaté dřeviny, nejvhodnější je buk (Požgaj et al, 1997; Kafka et al, 1989).



Obr. 19 Ohyb s ocelovou pásnicí a bez pásnice (Vaněk, 1952)



Obr. 20 Napětí a deformace při ohybu (Dejmal, 1995)



---

### 3 Cíl práce

Cílem práce je hodnocení vlivu vybraných faktorů (tloušťka materiálu, kombinace rostlého a zhuštěného dřeva, nedřevní komponent a adhezivního prostředku) na základní mechanické charakteristiky, které budou zjišťované na základě zkoušky třibodovým ohybem.

Zjišťované mechanické charakteristiky:

- modul pružnosti,
- pevnost v ohybu,
- koeficient ohýbatelnosti.

Hodnocený sendvičový materiál se bude skládat z:

- bukového rostlého dřeva,
- bukového zhuštěného dřeva,
- vyztužujícího prvku – skelná tkanina.

Naměřené hodnoty budou vyhodnoceny pomocí softwaru Statistica 12.

---

## 4 Metodika

Cílem této práce bylo hodnotit pevnost v ohybu sendvičového materiálu. Sendvičový materiál se skládá z vrchní vrstvy nezhuštěného dřeva buku, prostřední vrstvy zhuštěného dřeva buku a spodní vrstvy skelné tkaniny.

Metodiku této diplomové práce je možné rozdělit do následujících bodů:

1. Příprava zkušebních vzorků
2. Zhuštění zkušebních vzorků
3. Relaxace zkušebních vzorků a měření
4. Lepení zkušebních vzorků
5. Měření zkušebních vzorků
6. Vlastní zkouška
7. Výpočet sledovaných charakteristik

### 4.1 Zkušební vzorky

#### 4.1.1 Zpracování řeziva

Z radiálního řeziva v délce 2 m a tloušťce 5 cm, byly pomocí stolní kotoučové pily SCM Class si 300, viz příloha F., vymanipulovány lamely o šířce 38 mm a tloušťce 8 a 13 mm. Následně byla provedena tloušťková egalizace na tloušťkovací frézce a kalibrace broušením na širokopásové brusce. Takto vznikly kalibrované lamely v délce 2 m, šířce 35 mm a tloušťce 5 a 9 mm.

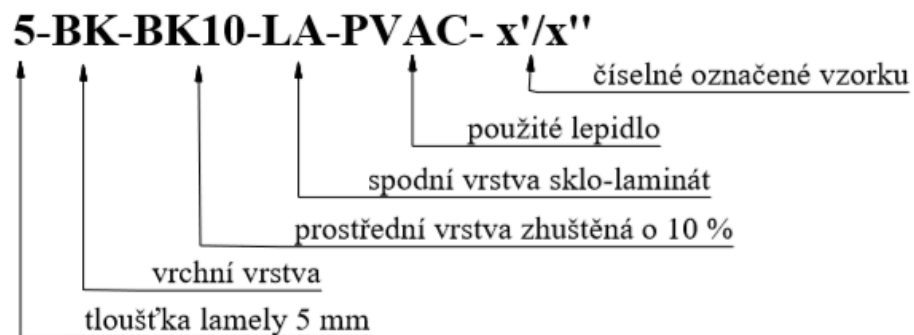
Z takto připravených lamel byly vymanipulovány zkušební vzorky. Z lamel o tloušťce 5 mm byly vymanipulovány vzorky v délce 240 mm, z lamel o tloušťce 9 mm byly vymanipulovány vzorky o délce 400 mm. Při vybírání vzorků bylo dbáno na vymanipulování vad dřeva, jako jsou suky, trhliny apod. Důležitým hlediskem bylo

---

z každé lamely dostat vždy dva nebo čtyři vzorky, čímž jsme při lepení souboru zajistili, že v jednom zkoušeném souboru byly vzorky o stejných vlastnostech.

#### 4.1.2 Značení a kontrola kvality

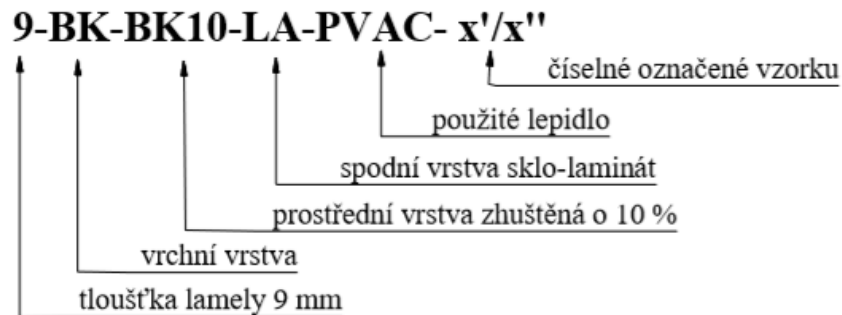
Pro tuto práci bylo potřeba získat 120 slepených souborů pro tloušťku 5 mm a 120 slepených souborů pro tloušťku 9 mm. Každý z těchto souborů byl rozdělen do 4 skupin, podle procentuálního zhuštění střední vrstvy lamely. Z důvodu tolika rozsáhlých skupin vznikla potřeba přehledného kódování vzorků. Kódování vzorků pro tloušťky 5 mm viz obr. 21.



Obr. 21 kódování vzorků tl. 5 mm

Pro zhuštění lamely o 10 % bylo použito označení BK10, pro zhuštění lamely o 20 % bylo použito označení BK20, pro zhuštění lamely o 30 % bylo použito označení BK30, pro zhuštění lamely o 40 % bylo použito označení BK40. Lamela označená x' byla horní nezhuštěná vrstva v číselném rozmezí 1–30. Označení x'' bylo pro střední zhuštěnou vrstvu v číselném rozmezí 1–30.

Kódování pro vzorky o tloušťce lamel 9 mm vypadalo totožně jako pro 5 mm, rozdíl byl v první číslici pro označení tloušťky lamely. Kódování vzorků pro tloušťky 5 mm viz obr. 22.



Obr. 22 kódování vzorků tl. 9 mm

## 4.2 Zhuštění zkušebních vzorků

Na takto připravených zkušebních vzorcích byla posuvným měřítkem změřena tloušťka a šířka. Na laboratorních vahách byla zvážena hmotnost. Provedli jsme zhuštění vzorků s označením  $x''$ . Zhušťování probíhalo na vyhřívaném lisu TOS Rakovník viz obr. 23. Při teplotě lisovacích desek 120 °C.



Obr. 23 Lis TOS Rakovník

---

Zhušťování všech vzorků probíhalo za stejné teploty lisu, měnil se počet vzorků, které se lisovaly najednou a měnil se čas lisování, podle požadovaného procentuálního zhuštění viz tab. 3.

**Tab. 3 Čas lisování a počet kusů**

Tloušťka [mm]	Zhuštění [%]	Čas [min]
5	10	4
5	20	6
5	30	8
5	40	10
9	10	6
9	20	6
9	30	8
9	40	10

Čím více jsme potřebovali vzorky zhušťovat, tím delší dobu museli být v lisu. Důvodem bylo, že po kratší době nebyli slisované na požadovanou tloušťku. Zřejmě z důvodu rozdílných hustot jednotlivých lamel, vykazoval tlak čerpadla rozdílné hodnoty. Abychom při zhušťování dosáhli slisování lamel na požadovanou tloušťku, bylo potřeba si pro každou skupinu vzorků vypočítat průměrnou tloušťku lamel, poté si z ní vypočítat konečnou tloušťku pro požadované zhuštění a na tuto tloušťku si do lisu vyskládat zarážky z plechu viz obr. 24. Každý vzorek byl po vyjmutí z lisu v co nejkratší době změřen a zvážen, naměřené hodnoty byly poznamenány k pozdějším výpočtům.



**Obr. 24 Umístění zarážek v lisu**

### 4.3 Relaxace a měření vzorků

Lamely, které prošly lisováním, byli ponechány 4 dny v klidu, aby zde proběhla relaxace. Při lisování byly vzorky teplotou lisu částečně vysušeny, po vyndání tedy natahovali zpět vlhkost, kterou při lisování ztratili. Současně zde probíhali vratné plastické změny. Relaxace probíhala 4 dny a po uplynutí této doby byly vzorky opět změřeny a zváženy. Z takto získaných hodnot jsme vypočítali, o kolik se vzorky po slisování zvětšili. Tyto hodnoty zobrazuje tab. 4.

Tab. 4 Zvětšení vzorků po relaxaci

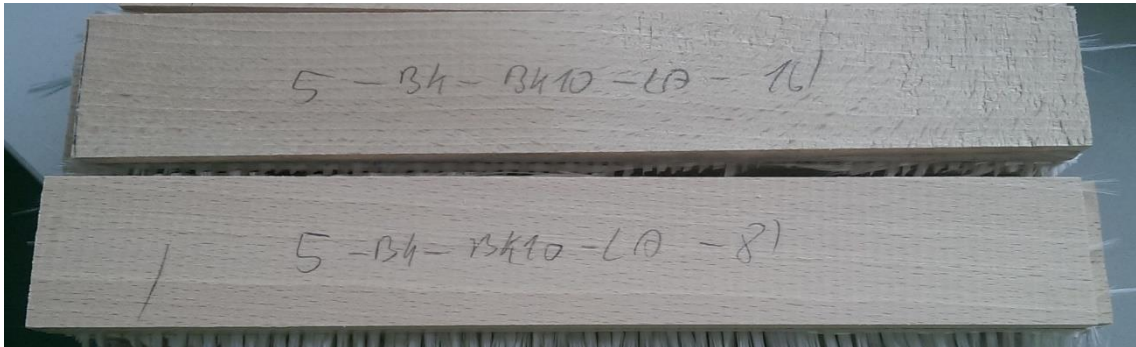
Tloušťka [mm]	Stupeň zhuštění [%]	Průměrná tloušťka před zhuštěním [mm]	Průměrná tloušťka po zhuštění [mm]	Průměrná tloušťka po relaxaci [mm]	Zvětšení po relaxaci [mm]
5	10	5,2159	4,6693	4,7059	0,78
5	20	5,2039	4,2341	4,2727	0,91
5	30	5,1716	3,71	3,7586	1,31
5	40	5,1846	3,3294	3,3858	1,69
9	10	9,1976	8,2343	8,2407	0,08
9	20	9,2060	7,4311	7,463	0,43
9	30	9,1945	6,5184	6,5686	0,77
9	40	9,1903	5,8356	5,8443	0,15

### 4.4 Lepení vzorků

Lamely po relaxaci a měření byly připraveny ke slepení do finálního souboru. Lepení probíhalo dle podmínek lepidla značky Agglu, typ AG-COLL 8761 D3, viz příloha B, technický list. Jak již bylo zmíněno výše, horní vrstva byla nezhuštěná lamela dřeva, prostřední sestávala ze zhuštěné lamely dřeva a spodní vrstva bylo sklolaminátové vlákno. Technický list lepidla udává nános lepidla jedno nebo dvouvrstvý. Pro tyto vzorky byl zvolen nános dvouvrstvý pro spoj dřevo – zhuštěné dřevo, pro spoj dřevo – sklolaminát byl zvolen nános jednovrstvý. Množství použitého lepidla 150–180 g/m<sup>2</sup>. Lisovací tlak 0,2 – 0,8 N/mm<sup>2</sup> byl vyvinut truhlářskou svěrkou

---

s časem lisování 20–30 minut. Po rozebrání slepeného souboru bylo odstraněno přebytečné skelné vlákno a vzorky byly připraveny k měření souboru a vlastní zkoušce.



Obr. 25 Slepéné vzorky



Obr. 26 Nalepená skelná tkanina

#### 4.5 Měření zkušebních vzorků

U každého slepeného souboru, jak bylo popsáno v kapitole 3.4, bylo provedeno měření a vážení. Pro každou skupinu vzorků jsme spočítali průměrnou hodnotu tloušťky slepeného souboru, kterou jsme dále potřebovali k nastavení stroje pro vlastní zkoušku. Takto připravené soubory byly připravené ke zkoušce.

#### 4.6 Vlastní zkouška

Zkouška probíhala podle normy ČSN EN 310 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu.

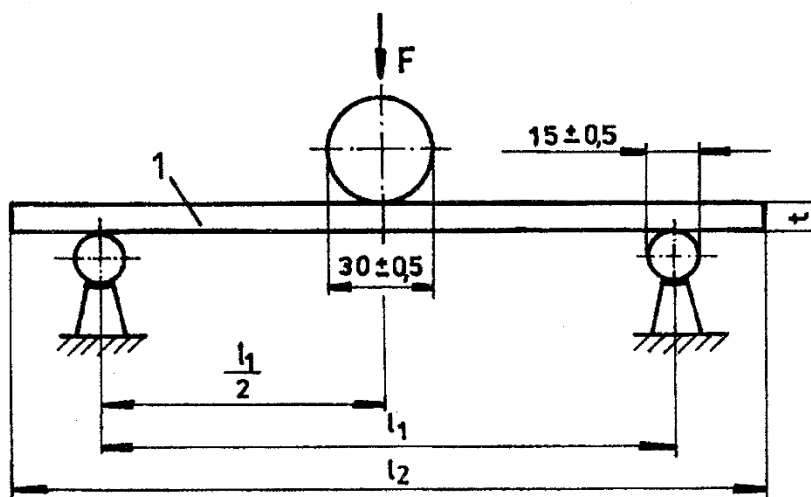
Podstatou zkoušky je zatížení zkušebního tělesa ve středu tělesa, které je uložené na dvou podpěrách. Ze zatížení se stanoví modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu. Zatěžovací křivka má lineární část, ze které se vypočítá modul pružnosti. Jelikož tato metoda zkoušení kromě ohybu zahrnuje také smyk, je vypočítaná hodnota modulu zdánlivá, nikoli skutečná. Výpočet ohybové pevnosti zkušebních těles je poměr momentu

ohybu  $M$ , při maximálním zatížení  $F_{\max}$  k momentu celého průřezu zkoušeného tělesa (ČSN EN 310).

#### 4.6.1 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení (viz obr. 27.) se skládá ze dvou rovnoběžných, válcových podpěr o průměru  $(15 \pm 0,5)$  mm. Tyto podpěry musejí mít možnost otáčet se kolem vlastní osy a jejich šířka musí být větší než šířka zkoušeného tělesa. Vzdálenost těchto podpěr se musí dát nastavit. Zařízení musí obsahovat válcovou zatěžovací hlavu, stejné délky jako podpěry, a průměru  $(30 \pm 0,5)$  mm. Musí být rovnoběžná s podpěrami a podpěry od ní musejí být ve stejné vzdálenosti. Dále musí na zařízení být měřidlo k měření průhybu zkušební tělesa ve středu rozpětí, jeho přesnost musí být 0,1 mm. Systém pro měření zatěžování, který měří zatížení zkušební tělesa, jehož přesnost je na 1 % z naměřené hodnoty (ČSN EN 310).

Rozměry v mm



$l$  = zkušební těleso  
 $F$  = zatížení  
 $t$  = tloušťka zkušební tělesa

$l_1 = 20 t$   
 $l_2 = l_1 \pm 50$

Obr. 27 Schéma zkušebního zařízení (ČSN EN 310)

Zkouška probíhala na zkušebním zařízení TIRA test 2850 S, viz příloha D.

#### 4.6.2 Postup zkoušky

Pro každé těleso se změří tloušťka v průřezu úhlopříček a šířka v polovině délky tělesa. Nastaví se podpěry, jejichž střed od sebe jsou vzdáleny dvacetinásobek tloušťky zkoušeného tělesa. Těleso se umístí na plochu přes podpěry, podélná osa tělesa musí svírat pravý úhel s osou podpěr. Střed tělesa musí být umístěn pod zatěžovací hlavou



viz obr. 27. Rychlost zatěžování při zkoušce je konstantní. Rychlost se upravuje, aby se dosáhlo maximálního zatížení do  $(60 \pm 30)$  s (ČSN EN 310).

Pod zatěžovací hlavou ve středu tělesa se změří průhyb s přesností 0,1 mm. Odečte se maximální zatížení s přesností 1 % z naměřené hodnoty (ČSN EN 310).

#### 4.6.3 Průběh zkoušky

Každá skupina vzorků byla lisováno o jiný podíl tloušťky, z toho důvodu musela být pro každou skupinu vzorků nastavena jiná vzdálenost podpěr. Tuto vzdálenost jsme získali následujícím způsobem. Na každém zkušebním vzorku byla změřena tloušťka dle požadavku normy. V každé skupině vzorků se vypočítala průměrná hodnota tloušťky. Tato průměrná tloušťka po vynásobení dvaceti byla potřebným rozměrem pro nastavení podpěr. Průměrnou hodnotu každé skupiny vzorků a vypočítanou vzdálenost podpěr uvádí tab. 5, hodnoty byly zaokrouhleny, jak udává norma na 0,5 mm. Průběh zkoušky znázorňuje obr. 28.

Tab. 5 Vzdálenost podpěr

Tloušťka [mm]	Stupeň zhuštění [%]	Průměrná tloušťka suboru [mm]	Vzdálenost podpěr [mm]
5	10	10,41000	208
5	20	10,06056	201
5	30	9,47800	189,5
5	40	9,16800	183,5
9	10	18,05056	361
9	20	17,27033	345,5
9	30	16,30022	326
9	40	15,65822	313



Obr. 28 Průběh zkoušky

---

#### 4.6.4 Výsledky zkoušky

Modul pružnosti se vyjadřuje pro každé těleso vzorcem:

$$E_m = \frac{l_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * t^3 * (a_2 - a_1)} [N/mm^2] \quad (11)$$

Kde:

$l_1$  – vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

$b$  – šířka zkušební tělesa [mm]

$t$  – tloušťka zkušební tělesa [mm]

$F_2 - F_1$  – přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky [N]

$a_2 - a_1$  – přírůstek průhybu ve středu délky zkušební tělesa

Modul pružnosti se vyjadřuje pro každé zkušební těleso na tři platné číslice (ČSN EN 310).

Pevnost v ohybu se vyjadřuje pro každé těleso vzorcem:

$$f_m = \frac{3 * F_{max} * l_1}{2 * b * t^2} [N/mm^2] \quad (12)$$

Kde:

$F_{max}$  – maximální zatěžující síla [N]

$l_1$  – vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

$b$  – šířka zkušební tělesa [mm]

$t$  – tloušťka zkušební tělesa [mm]

Pevnost v ohybu se vyjadřuje pro každé zkušební těleso na tři platné číslice (ČSN EN 310).

#### 4.7 Výpočet sledovaných charakteristik

Pro další výpočty bylo nutné stanovit přesnou vlhkost vzorků, při které probíhalo měření. Všechny nalámané vzorky byly vloženy do sušárny, viz obr 29, kde byly vysušeny na nulovou vlhkost. Sušení probíhalo v sušárně Binder SMV09607357, viz příloha E. Vysoušení probíhalo při 103 °C a průběžně byla sledována hmotnost vzorků. V okamžiku, kdy přestala hmotnost vzorků klesat, již neobsahovali volnou vodu, tedy jejich hmotnost už se nemohla dále měnit, byly všechny vzorky zváženy a hmotnost

poznámena. Poté jsme vypočítali průměrnou vlhkost pro každou skupinu vzorků podle vzorce v kap. 1.4.1.



Obr. 29 Sušení vzorků

Vlhkost, při které jsme vzorky měřili ukazuje tab. 6. Očekávaná vlhkost byla 8 %, námi zjištěná vlhkost se pohybuje mezi 7,4 – 8 %. Je to z toho důvodu, že střední vrstva byla lisována při teplotě 120 °C a část vlhkosti se odpařila. I přes to že vzorky 4 dny relaxovali, že zřejmě nenatáhla všechna vlhkost zpět do vzorku.

Tab. 6 Vlhkost vzorků a hustota při zkoušce

Tloušťka [mm]	Stupeň zhuštění [%]	W (%)	$\rho_w$ (Kg*m <sup>-3</sup> )
5	10	7,7	452,0
5	20	7,6	463,0
5	30	7,7	493,9
5	40	8,0	512,5
9	10	7,6	720,9
9	20	7,4	749,7
9	30	7,4	815,5
9	40	7,8	826,6

---

## 5 Výsledky a diskuze

Sledované charakteristiky, které byly zjišťované tříbodovým ohybem, modul pružnosti, pevnost v ohybu a koeficient ohýbatelnosti byly statisticky zpracovány v programu Statistica 12. K tomuto vyhodnocení byla použita faktorová analýza rozptylu. Tato analýza posuzuje účinek vybraného faktoru na sledovanou charakteristiku.

K vyhodnocení byl použit Duncanův test, kde hladina významnosti byla  $\alpha = 0,05$ . Tento F – test stanoví pro hladinu významnosti P, je-li daný sledovaný faktor statisticky významný či nevýznamný a pokud ano ta v jakém účinku. Sledovaný faktor se hodnotí podle hodnoty P dle následujících kritérií:

- $P < 0,05$  – tento vliv faktoru je statisticky významný,
- $P > 0,05$  – tento vliv faktoru není statisticky významný,
- $P = 0,05$  – tento vliv faktoru je na hranici statické významnosti,
- $P = 0$  – vliv faktoru
- $P < 0,001$  – statisticky velmi významný vliv faktoru,
- $0,001 < P < 0,01$  – statisticky středně významný vliv faktoru,
- $0,01 < P < 0,05$  – statisticky málo významný vliv faktoru (Gaff, Gáborík, 2009).

Statisticky vyhodnocené výsledky byly shrnuty do tabulek, ke každé hodnotě vždy náleží příslušný variační koeficient (VC). Pro názorné porovnání hodnot a rozptylu byly dále zpracovány do grafů. Výsledky jsou rozděleny do následujících kapitol.

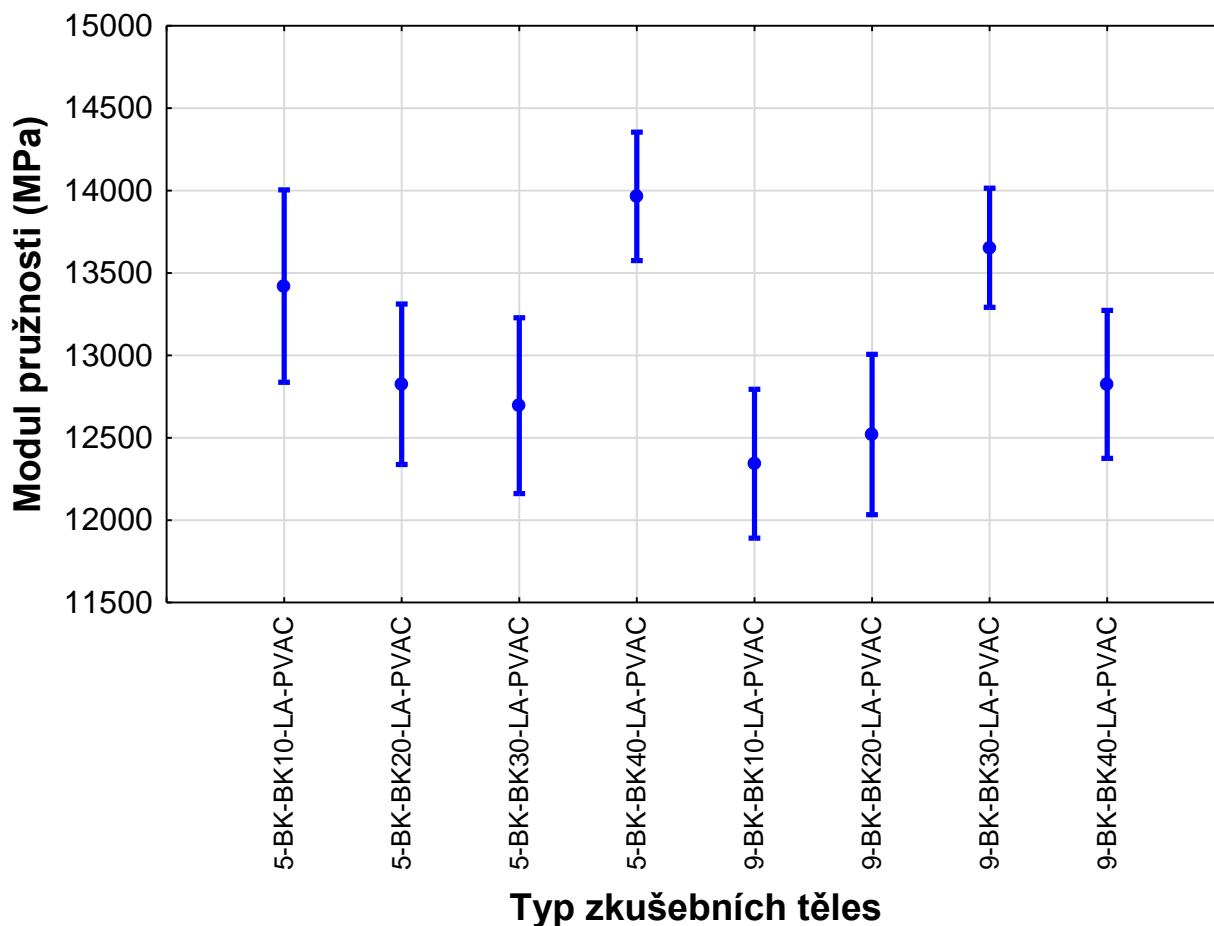
### 5.1 Modul pružnosti

Průměrné hodnoty modulu pružnosti pro jednotlivé skupiny vzorků můžeme vidět v tab. 7. První sloupec označuje původní tloušťky bukových lamel, druhý sloupec stupeň zhuštění střední vrstvy. Následuje vlhkost zkušebních těles, při které pobíhala zkouška, modul pružnosti při této vlhkosti a jeho variační koeficient. Předposlední sloupec označuje modul pružnosti přepočítaný pro vlhkost 12 % a v posledním sloupci je příslušný variační koeficient.

**Tab. 7 Modul pružnosti**

<b>Tloušťka [mm]</b>	<b>Stupeň zhuštění [%]</b>	<b>W (%)</b>	<b>Modul pružnosti (MPa)</b>	<b>VC</b>	<b>Modul pružnosti (MPa) 12 %</b>	<b>VC</b>
5	10	7,7	13 420,4	11,7	12 868,4	11,7
5	20	7,6	12 824,7	10,2	12 281,8	10,2
5	30	7,7	12 694,7	11,2	12 166,2	11,1
5	40	8,0	13 965,0	7,5	13 428,9	7,4
9	10	7,6	12 342,5	9,8	11 823,4	9,7
9	20	7,4	12 520,1	10,4	11 971,1	10,5
9	30	7,4	13 653,1	7,1	13 046,2	7,0
9	40	7,8	12 824,3	9,4	12 310,9	9,2

Pro názornost jsou výsledky z tab. 7 vyobrazeny v grafu na obr. 30. Jelikož horní vrstva a spodní tahová vrstva jsou v každé skupině stejné, ukazuje graf vliv zhuštěného dřeva na modul pružnosti v ohybu. Nejlepší modul pružnosti vyšel u vzorků 5 mm při 40 % zhuštění. Naopak nejnižší modul vyšel u vzorků 9 mm 10 % zhuštění. U vzorků tloušťky 5 mm je vidět trend klesání modulu pružnosti s vyšším zhuštěním, až na nejvýše zhuštěné dřevo, kde modul pružnosti skokově narůstá. U vzorků 9 mm je trend naopak vzrůstající, kdy ale modul pružnosti u dřeva zhuštěného o 30 % narůstá skokově, a u 40 % je naopak nižší.



Obr. 30 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na modul pružnosti

## 5.2 Pevnost v ohybu

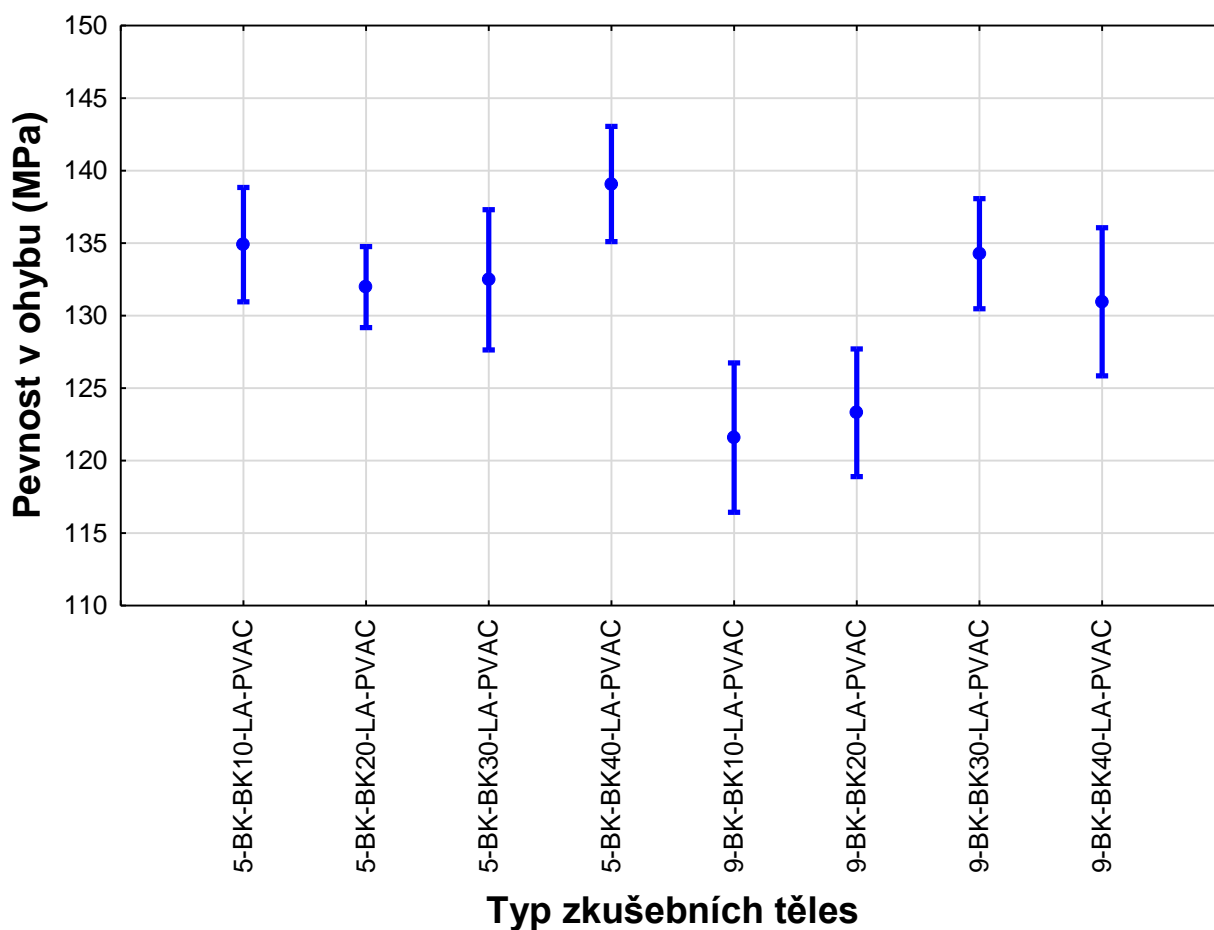
Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu jednotlivých skupin vzorků zobrazuje tab. 8. První sloupec tabulky zobrazuje tloušťku lamely ve vzorku, následující sloupec stupeň zhuštění střední lamely. Pro každou skupinu vzorků byla vypočítána vlhkost vzorků při zkoušení ( $w$ ). Průměrná pevnost v ohybu pro jednotlivé skupiny vzorků při vlhkosti

w a příslušný variační koeficient. V předposledním sloupci byla pevnost v ohybu přepočítána pro vlhkost 12 % a příslušný variační koeficient.

**Tab. 8 Pevnost v ohybu**

<b>Tloušťka [mm]</b>	<b>Stupeň zhuštění [%]</b>	<b>W (%)</b>	<b>Pevnost v ohybu (MPa)</b>	<b>VC</b>	<b>Pevnost v ohybu (MPa) 12 %</b>	<b>VC</b>
5	10	7,7	134,9	7,8	111,7	8,2
5	20	7,6	132,0	5,7	108,6	5,4
5	30	7,7	132,5	9,8	109,4	9,0
5	40	8,0	139,1	7,6	116,9	7,7
9	10	7,6	121,6	11,3	100,2	11,2
9	20	7,4	123,3	9,6	100,6	9,6
9	30	7,4	134,3	7,6	109,3	7,3
9	40	7,8	131,0	10,4	109,1	10,3

Pro názornost jsou výsledky z tab. 8 vyobrazeny v grafu na obr. 31. Jelikož horní vrstva a spodní tahová vrstva jsou v každé skupině stejné, ukazuje graf vliv zhuštěného dřeva na pevnost v ohybu. Pro vzorky tloušťky 5 mm je trend pevnosti v ohybu pro zhuštění o 10 a 20 % mírně klesající, následně ale roste a u 40 % je pevnost v ohybu nejvyšší. Naopak u vzorků tloušťky 9 mm je trend vzrůstající, vyjma poslední skupiny. Pevnost v ohybu u prvních dvou skupin je podstatně nižší než u vzorků 5 mm. Vzorky 9 mm, 30 % se pevnost v ohybu dostává na hodnotu pevnosti jako u skupin 5 mm. Následně ale pro zhuštění 40 % poklesává.



Obr. 31 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na pevnost v ohybu

V článku o kompozitních konstrukcích uvádí Gaff et al. (2017) Pevnost v ohybu pro buk, pro tloušťky vzorků 4, 6, 10 a 18 mm a zhuštění u každé skupiny o 0, 10 a 20 %. Tyto hodnoty jsou zpracovány v tab. 9. Když se podíváme na výsledky pokusu, vidíme pro každou skupinu vzorků vzrůstající trend. U vzorků tloušťky 18 mm je tento trend poněkud mírnější, oproti ostatním. Dále z tab. 9 vychází pevnost v ohybu pro buk okolo 130 MPa. U našeho měření se vzorky tloušťky 5 mm drží převážně nad hranicí 130 MPa. Pro vzorky tloušťky 9 mm jsou rozdíly větší. Při zhuštění o 10 a 20 % mají pevnost mezi 120 – 125 MPa, při zhuštění o 30 % pevnost skokově narostla okolo 135 MPa, přičemž následně zase klesá na 130 MPa.



**Tab. 9 Pevnost v ohybu pro buk (Gaff et al, 2015)**

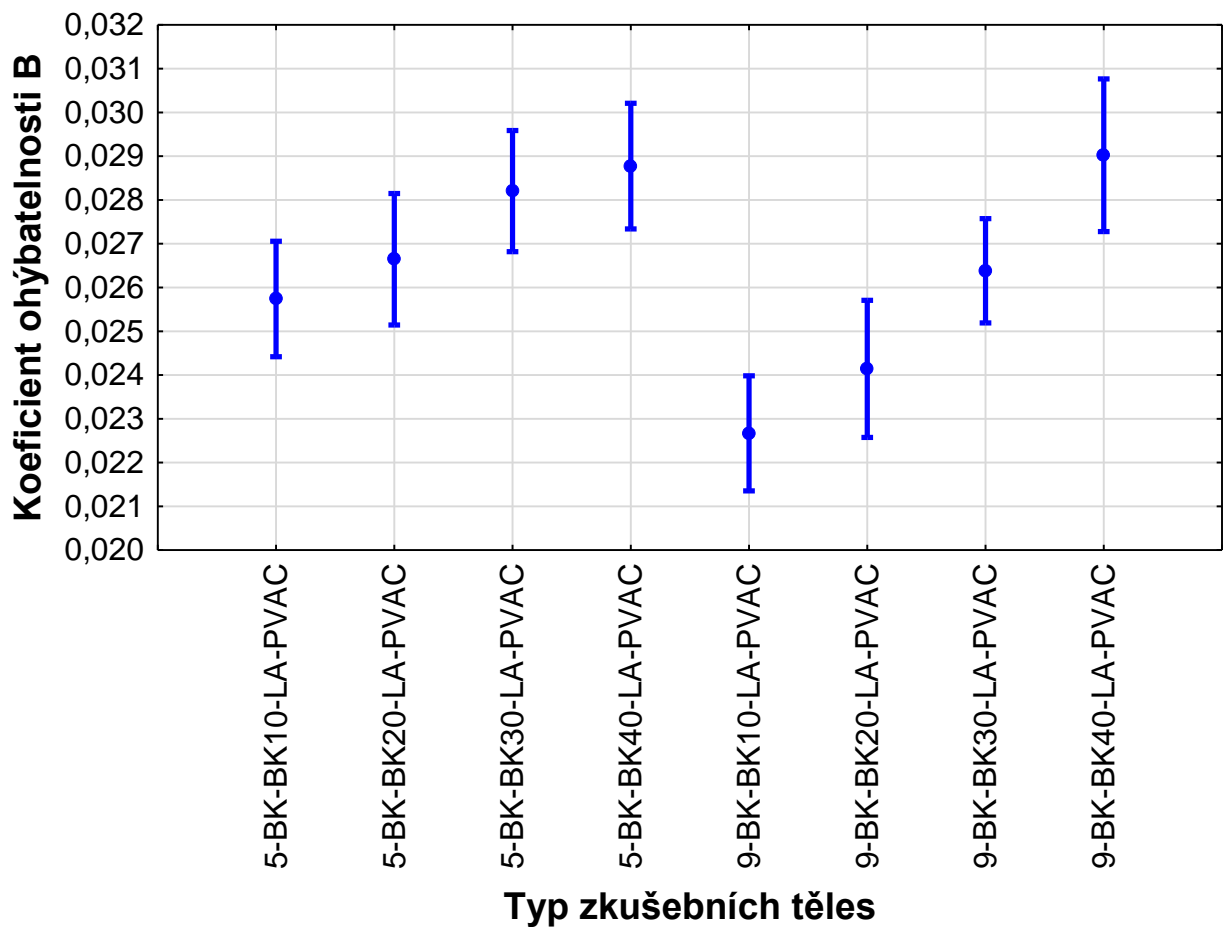
<b>Tloušťka [mm]</b>	<b>Stupeň zhuštění [%]</b>	<b>Pevnost v ohybu (MPa)</b>
4	0	129
4	10	129
4	20	145
6	0	116
6	10	128
6	20	129
10	0	115
10	10	126
10	20	134
18	0	114
18	10	113
18	20	117

### **5.3 Koeficient ohýbatelnosti**

Tabulka 10 ukazuje střední hodnoty hodnocených charakteristik  $K_{ohB}$  a  $K_{ohC}$  a příslušný variační koeficient pro jednotlivé sady vzorků.

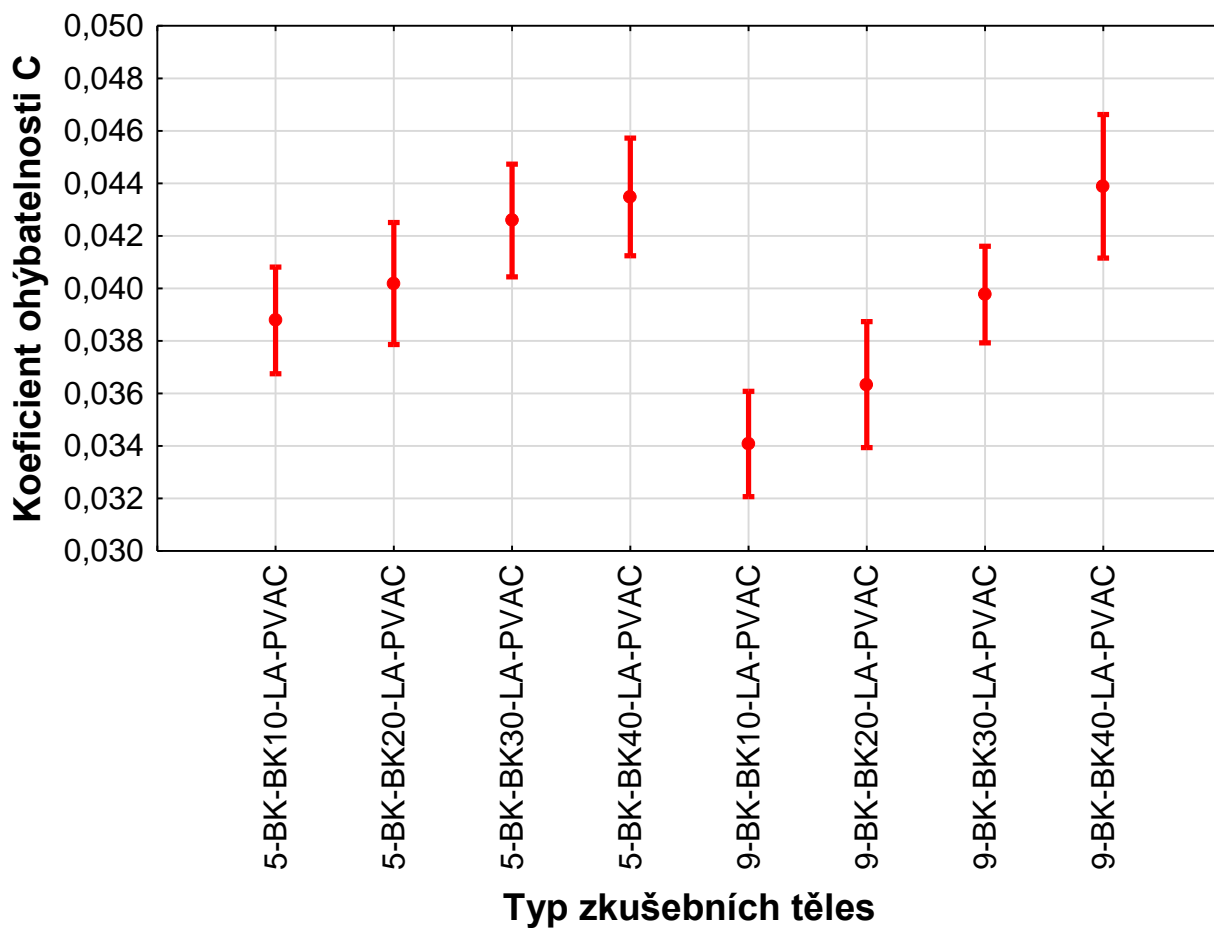
**Tab. 10 Průměrné hodnoty  $K_{ohB}$  a  $K_{ohC}$  a variační koeficient**

<b>Tloušťka [mm]</b>	<b>Stupeň zhuštění [%]</b>	<b><math>K_{ohB}</math></b>	<b>VC [%]</b>	<b><math>K_{ohC}</math></b>	<b>VC [%]</b>
5	10	0,0257	13,7	0,0388	14,0
5	20	0,0266	15,1	0,0402	15,5
5	30	0,0282	13,1	0,0426	13,5
5	40	0,0288	13,4	0,0435	13,8
9	10	0,0227	15,5	0,0341	15,8
9	20	0,0241	17,4	0,0363	17,7
9	30	0,0264	12,1	0,0398	12,4
9	40	0,0290	16,1	0,0439	16,7



Obr. 32 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na koeficient ohýbatelnosti B

Z obr. 32 vyplývá velmi pozitivní vliv zhuštění dřeviny na koeficient ohýbatelnosti B. U vzorků tloušťky 5 mm je trend poněkud mírnější, kdežto vzorky tloušťky 9 mm mají trend strmější.



Obr. 33 Vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na koeficient ohýbatelnosti C

Na obr. 33 je znázorněn vliv tloušťky materiálu a procentuálního zhuštění na koeficient ohýbatelnosti C. Jeho průběh a vývoj je obdobný jako u koeficientu ohýbatelnosti B. Zhuštění má pozitivní vliv na koeficient ohýbatelnosti a trend nárůstu je mírnější u tloušťky 5 mm a strmější u tloušťky 9 mm.

---

## Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit vliv vybraných faktorů (tloušťka materiálu, kombinace rostlého a zhuštěného dřeva, nedřevního komponentu a adhezivního prostředku) na základní mechanické charakteristiky, které byly zjišťované tříbodovým ohybem (modul pružnosti, pevnost v ohybu a koeficient ohýbatelnosti). Zjišťování probíhalo na sendvičovém materiálu z rostlého bukového dřeva a zhuštěného bukového dřeva s vyztužujícím prvkem skelné tkaniny, vše bylo dohromady spojeno PVAC lepidlem. Vzorky byly měřeny v tloušťkách 5 a 9 mm. Z měření a následné analýzy byly zjištěny skutečnosti popsané níže.

Při sledování faktorů tloušťky materiálu a zhuštění na pevnost v ohybu můžeme konstatovat, že u všech vzorků 5 mm nemá statisticky významný vliv tloušťka materiálu a zhuštění. Při porovnání obou skupin vzorků mezi sebou má faktor vliv statisticky významný. Trend pevnosti v ohybu je spíše rostoucí, místy ale mírně klesne. Z hlediska pevnosti v ohybu vyšla nejlépe skupina vzorků tloušťky 5 mm při zhuštění o 40 %.

Na výsledcích modulu pružnosti se významně podílela tloušťka materiálu a zhuštění. Celkově lepších výsledků dosáhly vzorky tloušťky 5 mm než 9 mm. U 5 mm vzorků se projevila tendence klesání pevnosti se zhuštěním, nicméně u 40 % zhuštění byl skokový nárůst pevnosti. Naopak u vzorků 9 mm byl trend vzrůstu pevnosti, ale zhuštění 40 % bylo naopak nižší. Nejvyššího modulu pružnosti s téměř nejmenším rozptylem dosáhla skupina vzorků tloušťky 5 mm a při zhuštění o 40 %.

Při sledování vlivů na koeficient ohýbatelnosti B má faktor tloušťka materiálu a zhuštění vliv statisticky významný. Se zvyšujícím se zhuštěním lineárně vzrůstá hodnota koeficientu. Pro vzorky tloušťky 9 mm je z počátku nižší, ale u 40 % zhuštění jsou 5 mm i 9 mm na stejné hodnotě. U koeficientu ohýbatelnosti C můžeme mluvit o téměř stejném průběhu, faktor tloušťky a zhuštění je statisticky významný, trend zvyšování je lineární.

Výše zmíněné výsledky mohou sloužit jako podklad pro návrhy nových sendvičových materiálů a jejich použití.

---

## Seznam použité literatury

### 1. Knihy / Monografie

BÖHM, M.; REISNER, J.; BOMBA, J. *Materiály na bázi dřeva*. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.

ČERNÝ, F. *Chemická technologie polymerů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 304 s. ISBN 04-609-82.

ČUNDERLÍK, I. *Štruktúra dreva*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 133 s. ISBN 978-80-228-2061-5.

DEJMAL, A. *Základy hypotermické úpravy a ochrany dřeva*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská univerzita v Brně, 1995. 193 s. ISBN 80-7157-163-3.

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. *Timber: structure, properties, conversion and use*. 7. vyd. Hampshire : Macmillan Press, 1996, 306 s.

DUCHÁČEK, V. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.

EISNER, K.; BERGER, V. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1958. 196 s.

EISNER, K.; BERGER, V.; HAVLÍČEK, V.; OSTEN, M. *Příručka lepení dřeva*. 2. přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1966. 288 s.

FELLNER, J.; TEISCHINGER, A.; ZSCHOKKE, W. *Spektrum dřevin – vyobrazení, popis a srovnávací údaje*. Vyd. Vídeň : proHolz Austria, 2007, 111 s. ISBN 978-3-902320-44-5.

GAFF, M.; GÁBORÍK, J. *Vlastnosti povrchu dřeva modifikovaného reliéfováním*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 81 s. ISBN 978-80-228-2035-6.

HÁJEK, M.; KUBOVÁ, P.; GAFF, M.; SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M.; KAČÍK, F.; GAŠPARÍK, M.; JANKOVSKÝ, M.; LIESKOVSKÝ, M.; GEJDOŠ, M.; TRIBULOVÁ, T. *Lesnická bioekonomika*. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2018. 252 s. ISBN 978-80-213-2838-9.

HEJNÝ, S.; SLAVÍK, B. *Květenu České republiky*. 2. vyd. Praha : Academia, 2003. 540 s. ISBN 80-200-1089-0.

- 
- HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.* 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1998. 297 s. ISBN 80-7157-347-7.
- CHUCHRJANSKIJ, P. N. *Zušľachťovanie dreva. I. časť – Lisovanie dreva.* Vyd. Bratislava : práca, Knižnica DVÚ – Technologie dreva, 1953. 156 s.
- KAFKA, E. et al. *Dřevařská příručka I. část.* 1. vyd. 1989.
- KOMÁREK, Z. *Prehľad lepidel.* Bratislava: ALFA, 1987.
- MATOVIČ, A. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva.* Brno : Vysoká škola zemědělská v Brně. 1993, 212 s. ISBN 80-7157-086-9.
- NAVI, P.; HEGER, F. *Combined Densification and Thermo-Hydro-Mechanical Processing of Wood.* MRS BULLETIN, 2004, 132 s.
- OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely.* 2. přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1982. 288 s.
- PESCHEL, P.; NUTSCH, W.; NENNEWITZ, I.; SEIFERT, G. *Dřevařská příručka: tabulky, technické údaje.* 1. vyd. Praha : Sobotáles, 2002. 320 s. ISBN 80-85920-84-0.
- POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dřeva.* 2. vyd. Bratislava : Príroda a.s., 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.
- REINPRECHT, L. *Ochrana dreva.* 1. vyd, Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- SARVAŠ, M.; BRUCHÁNIK, R.; HOFFMANN, J.; CHVÁLOVÁ, K.; JEŽOVIČ, V. *Základné charakteristiky lesných dřevín.* Vyd. Zvolen : NLC, 2010. 82 s. ISBN 978-80-8093-112-4.
- SANDBERG, D.; KITER KUZMAN, M.; GAFF, M. *Engineered Wood Products: Wood as an engineering and architectural material = Kompozitní materiály na bázi dřeva : dřevo jako kompozitní a konstrukční materiál.* Prague : Czech University of Life Sciences, Faculty of Forestry and Wood Sciences, 2018, 183 s. ISBN 978-80-213-2869-3.
- SEDLIAČIK, J. *Procesy lepenia dreva, plastov a kovov.* 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 221 s. ISBN 80-228-1500-4.
- SERGOVSKIJ, P. S. *Hydrotermická úprava a sušenie dreva.* Vyd. Bratislava : ALFA, 1977. 402 s.
- STOJČEV, A. *Ligmamon-zušľechťené drevo: výroba, vlastnosti a použitie.* 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury. Práce Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského v Praze, 1979. 98 s.
-

---

ŠLEZINGEROVÁ, J.; HORÁČEK, P.; GANDELOVÁ, L. *Nauka o dřevě*. 1. vyd. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1998. 176 s. ISBN 80-7157-194-6.

ŠLEZINGEROVÁ, J.; GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005. 187 s. ISBN 80-7157-636-0.

TREBULA, P.; KLEMENT, I. *Sušenie a hydrotermická úprava dreva – Návod na cvičenia*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 205 s. ISBN 80-228-0727-3.

VANĚK, J. *Ohýbaný nábytek*. Praha : Průmyslové vydavatelství, 1952. 112 s.

VORREITER, L. *Holztechnologisches Handbuch*. Band 1. Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz un Holzvergutung, Verlag Georg Frame, Wien, 1949. 537 s.

WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. Band 1. Leipzig : Fachbuhverlag, 1974. 690 s.

ZEIDLER, A. *Lexikon dřeva Praha*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2012.

ZEMIAR, J. *Kategorizácia a charakteristika procesov spracovania dreva*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1997. 55 s. ISBN 80-228-0711-7.

## 2. Článek v časopise

GAFF, M.; BABIAK, M. Tangent modulus as a function of selected factors. *Composite Structures*. 2018, vol. 202, s. 436–446.

GAFF, M.; GAŠPARÍK, M.; BABIAK, M.; VOKATÝ, V. Bendability characteristics of wood lamellae in plastic region. 2017, vol. 163, s. 410–422.

GAFF, M.; VOKATÝ, V.; BABIAK, M.; CIHAD BAL, B. Coefficient of wood bendability as a function of selected factors. *Construction and Building Materials*. 2016, vo. 126, s. 632–640.

KESKIN, H.; ATAR, M.; AKYILDIZ, M. H. Bonding strenghts of poly(vinyl acetate), Desmodur-VTKA, phenol–formaldehyde and urea–formaldehyde adhesives in wood materials impregnated with Vacsol Azure. *Materials*. 2009, vol. 30, issue 9, s. 3789–3794.

NAVI, P.; GIRARDET, F. Effects of thermo-hydro-mechanical treatmet on the structure and properties of wood. *Holzforschung*, 2000, vol. 54, issue 3, s. 287–293.

---

TABARSA, T.; CHUI, Y. H. Effects of hot-pressing on properties of white spruce. *Forest products Journal*, 1997, vol. 47, issue 5, s. 71–76.

### **3. Internetové zdroje**

LEAR a. s. *Základy teorie lepení* [online]. [cit. 9.4.2019]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie\\_lepeni%20\\_%20LEAR.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf).

### **4. Normy**

ČSN EN 204. *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha : Český normalizační institut, 2017. 8 s.

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

ČSN EN 923. *Lepidla – Termíny a definice*. Praha : Český normalizační institut, 2016. 80 s.



---

## Seznam příloh

- Príloha A: CD médium – diplomová práce v elektronické podobě, přílohy v elektronické podobě.
- Príloha B: Technický list lepidla AGGLU
- Príloha C: Technický list skelné tkaniny Kittfort
- Príloha D: Zkušební zařízení
- Príloha E: Horkovzdušná sušárna Binder
- Príloha F: Formátovací pila SCM Class SI 300
- Príloha G: Tloušťkovací frézka SCM Class S 630



## AG-COLL 8761 D3

### **POPIS PRODUKTU**

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

### **BÁZE**

PVAc

### **TECHNICKÉ ÚDAJE**

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

### **DOPORUČENÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ**

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

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

Váš prodejce:



Informace uvedené v tomto technickém prospektu jsou založené na praktických zkušenostech a výsledcích laboratorních testů. Hodnoty jsou průběžně aktualizovány podle posledního stavu technologie. Toto vydání nahrazuje všechny dosavadní vydání.



Technický list  
AG-COLL 8761 D3

Doporučené lisovací časy:

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

**BALENÍ**

1080 IBC kg kontejner

10, 30 kg kbelík

0,25; 0,5; 1 kg láhve

**SKLADOVÁNÍ**

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

Váš prodejce:



Informace uvedené v tomto technickém prospektu jsou založené na praktických zkušenostech a výsledcích laboratorních testů. Hodnoty jsou průběžně aktualizovány podle posledního stavu technologie. Toto vydání nahrazuje všechny dosavadní vydání.



KITTFORT PRAHA  
Hornátky 1  
277 11 Neratovice

## SKELNÁ TKANINA

**Název výrobku**

Skelná tkanina 355 g/m<sup>2</sup>

Skelná tkanina 500g/m<sup>2</sup>

**Složení**

Chemicky inertní sklo povlečené ochrannou vrstvou org.polymerů

**Odstín**

Bílošedá

**Použití**

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

**Bezpečnost a ochrana zdraví**

Není nebezpečnou látkou.

**První pomoc**

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

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

**Vzhled**

bílá skelná tkanina

**Balení**

0,5m<sup>2</sup>

80 m<sup>2</sup> role

**Záruční doba** v původních obalech záruční doba neomezená.



## Model ED 260 | Drying and heating chambers Avantgarde.Line with natural convection

The strengths of a BINDER ED series drying chamber include routine drying and sterilization tasks up to 300 °C. Thanks to the natural convection, all thermal processes which use this drying chamber are highly efficient. The ED series ensures fast, uniform drying.

### BENEFITS

- Best energy efficiency on the market
- Excellent temporal and spatial temperature accuracy
- USB connection for recording data
- Temperature range up to 300 °C



Model 260



Model 260

### MAIN FEATURES

- Temperature range: ambient temperature plus 5 °C to 300 °C
- Up to 30% lower energy consumption compared to conventional units on the market
- High temperature accuracy thanks to APT.line™ technology
- Natural convection
- Controller with LCD display
- Electromechanical control of the exhaust air flap
- 2 chrome-plated racks
- Class 2 integrated independent adjustable temperature safety device (DIN 12880) with visual alarm
- Ergonomic handle design
- USB port for recording data

### ORDERING INFORMATION

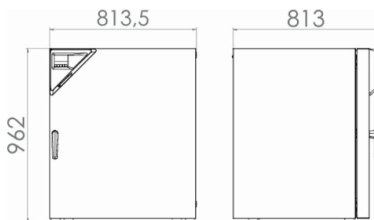
Interior volume [cu.ft.]	Voltage	Option model	Version	Art.-No.
<b>Model ED 260</b>				
9	230 V 1 ph 50/60 Hz	Standard	ED260-230V	9010-0339
	240 V 1 ph 60 Hz	Standard	ED260UL-240V	9010-0340

## TECHNICAL DATA

Description	ED260-230V <sup>1</sup>	ED260UL-240V <sup>1</sup>
Article Number	9010-0339	9010-0340
<b>Performance Data Temperature</b>		
Temperature range 5 °C above ambient temperature to [°C]	300	300
Temperature variation at 150 °C [± K]	1.8	1.8
Temperature fluctuation at 150 °C [± K]	0.8	0.8
Heating-up time to 150 °C [min]	50	50
Recovery time after 30 seconds door open at 150 °C [min]	20	20
<b>Electrical data</b>		
Rated Voltage [V]	230	240
Power frequency [Hz]	50/60	60
Nominal power [kW]	2.25	2.45
Unit fuse [A]	12.5	16
Phase (Nominal voltage) [ph]	1	1
<b>Outer dimensions</b>		
Width net [mm]	810	810
Height net [mm]	965	965
Depth net [mm]	760	760
Wall clearance back [mm]	160	160
Wall clearance sidewise [mm]	100	100
<b>Doors</b>		
Unit doors	1	1
<b>Internal Dimensions</b>		
Width [mm]	610	610
Height [mm]	760	760
Depth [mm]	550	550
<b>Measures</b>		
Interior volume [L]	255	255
Net weight of the unit (empty) [kg]	85	85
permitted load [kg]	270	270
Load per rack [kg]	40	40
<b>Environment-specific data</b>		
Energy consumption at 150 °C [Wh/h]	355	355
<b>Fixtures</b>		
Number of shelves (std./max.)	2/8	2/8

<sup>1</sup> All technical data is specified for unloaded units with standard equipment at an ambient temperature of +22 °C ±3 °C and a power supply voltage fluctuation of ±10%. The temperature data is determined to BINDER factory standard following DIN 12880, observing the recommended wall clearances of 10 % of the height, width, and depth of the inner chamber. All indications are average values, typical for units produced in series. We reserve the right to change technical specifications at any time.

## DIMENSIONS incl. fittings and connections [mm]



## OPTIONS AND ACCESSORIES

Designation	Description	*	Art.-No.
	back		
	10 mm	01	8012-1282
	30 mm	01	8012-0540
	50 mm	01	8012-0546
	left		
	10 mm	01	8012-1275
	30 mm	01	8012-1018
	50 mm	01	8012-1022
	100 mm	01	8012-1030
Access port with silicone plug	right		
	10 mm	01	8012-1268
	30 mm	01	8012-1017
	50 mm	01	8012-1021
	100 mm	01	8012-1031
	top		
	10 mm	01	8012-1262
	30 mm	01	8012-0539
	50 mm	01	8012-0545
	100 mm	01, 10	8012-1029
Analog output 4-20 mA	for temperature values (output not adjustable)	02	8012-1623
Calibration certificate, expanded	for temperature; for extending the measurement in center of chamber to include another test temperature	-	8012-1115
	for temperature, measurement in center of chamber at specified temperature	-	8012-1134
Calibration certificate, temperature	temperature measurement incl. certificate and 27 measuring points at specified temperature	-	8012-1593
	temperature measurement incl. certificate, 15- 18 measuring points at specified temperature	-	8012-1572
	temperature measurement incl. certificate, 9 measuring points at specified temperature	-	8012-1551
Cart	Cart – stable cart, casters with locking brakes, dimensions: W 1,300 x D 800 x H 780 mm	-	9051-0019
Class 3.1 independent temperature safety device	with visual alarm (DIN 12880)	04, 12	8012-0985
Clock	battery-backed	-	8012-1640
Data Logger Kit	T 350: For continuous temperature logging from 0 °C to 350 °C; kit includes 1 data logger, Pt 100 sensor with 2 m extension cable and 1 magnetic fixture for mounting to the BINDER unit	19	8012-0714
Data Logger Software	LOG ANALYZE software kit, configuration and evaluation software for all BINDER Data Logger Kits (incl. USB data cable)	19	8012-0821
Door gasket	made of FKM, silicone-free	03	8012-1011
Door lock	lockable door handle	-	8012-1664
Ethernet interface	for communication software	-	8012-1645
	with lid made from 18/8 stainless steel, stackable, dimensions: 230 x 133 x 45 mm		
	small	-	4022-0123
	with lid made from 18/8 stainless steel, stackable, dimensions: 315 x 215 x 60 mm		
	large	-	4022-0124
Interior lighting	with 15 W light bulb		
	230 V option model	-	8012-1627
Load management	to comply with EMC requirements in accordance with EN 61326-1:2013-07 (IEC 61326-1:2012)	-	8012-0992
Measurement of air exchange rate	in accordance with ASTM D5374, definition and protocol according to ambient temperature	-	8012-0195
Overheating alarm	audible, can be switched off, adjustable limit on the independent temperature safety device	-	8012-1635
pH-neutral detergent	concentrated, for gentle remove of residual contaminants; 1 kg	-	1002-0016
Pt 100 temperature sensor	additional flexible Pt 100, interior, for displaying the temperature on the unit display	-	8012-1619

\* Notes › See last page



Designation	Description	*	Art.-No.
Rack	chrome plated	-	6004-0177
	stainless steel	-	6004-0161
Rack, heavy load	Stainless steel (1.4301/AISI 304), max. load per rack 80 kg, max. total load 270 kg	-	6004-0203
Rubber pads	set of 4 anti-slip feet, for safe stacking of unit	10	8012-0001
Shelf, perforated	Stainless steel	-	6004-0193
Software	APT-COM™ communications software		
	version 2 to 3, GLP edition	19	9053-0016
	version 3, BASIC edition	19	9053-0014
	version 3, GLP edition	19	9053-0015
	version 3, STANDARD edition	19	9053-0013
Viewing window and interior lighting	APT-COM™ communications software, price: for free		
	version 3, GLP DEMO Edition	19	9053-0008
Viewing window and interior lighting	viewing window (triple insulating glass) in door, 370 x 370 mm, and 15 W interior		
	230 V option model	-	8012-1064
	240 V option model	-	8012-1065

\* Notes &gt; See last page

## SERVICES

Designation	Description	*	Art.-No.
<b>Installation services</b>			
Data Logger Kit installation service	unit function instructions for operation and programming of the controller	18	DL100400
Installation	and set up of unit at operating location, connect to existing connections	13, 18	DL100100
<b>Preventive maintenance</b>			
Preventive maintenance	Executive of equipment inspection according to maintenance plan	14, 18	DL200200
<b>Calibration services</b>			
Calibration temperature incl. certificate	including certificate, one measuring point in center of chamber at specified temperature	14, 16, 17, 18	DL300101
Measurement of air exchange rate	including certificate (in accordance with ASTM D5374)	14, 16, 17, 18	DL330000
Temperature measurement 18 measuring points	including certificate, 18 measuring points at specified temperature	14, 16, 17, 18	DL300118
Temperature measurement 27 measuring points	including certificate, 27 measuring points at specified temperature	14, 16, 17, 18	DL300127
Temperature measurement 9 measuring points	including certificate, 9 measuring points at specified temperature	14, 16, 17, 18	DL300109
<b>Validation services</b>			
Execution of IQ/OQ	in accordance with qualification folder	15, 18, 20	DL400100
Execution of IQ/OQ/PQ	in accordance with customer's requirement, price: on request	15, 18	DL440500
Qualification folder IQ/OQ	supporting documents for validation performed by customer, consisting of: IQ/OQ checklists, unit schematics, QM certificate in accordance with ISO 9001	15, 18, 20	8012-0761
Qualification folder IQ/OQ/PQ	supporting documents for validation performed by customer, in accordance with customer's requirement, extension of Qualification folder IQ/OQ by chapter PQ	15, 18	8012-0942
<b>Warranty service</b>			
Extension of the warranty from 2 to 3 years	beginning with the date of delivery, wearing parts are not included	-	DL002041
Extension of the warranty from 2 to 5 years	beginning with the date of delivery, wearing parts are not included	-	DL002042

\* Notes &gt; See last page

## NOTES

- 01 Condensation may occur in the area around the access port. Access ports may be placed in custom locations for an additional charge.
- 02 UL mark is not granted when this option is used.
- 03 Heat resistant only to max. 200 °C.
- 04 Only available on units rated for 230 V.
- 06 Heating-up time may increase as a result of the lower heat conductivity.
- 07 The additional heat input may affect the temperature behavior.
- 09 Not in conjunction with the optional access port, door with window and interior lighting.
- 10 Not available on 23-liter units.
- 11 Not available on 23- or 53-liter units.
- 12 Only available on units rated for 230 V or 400 V.
- 13 Installation and connections take place at unit location; transport within the company only upon consultation.
- 14 We recommend a BINDER service contract to cover unit inspections, calibrations and validations.
- 15 OQ according to Yellow Paper = completed factory validation documentation of all OQ checklists.
- 16 Sensor calibration is performed in an accredited calibration laboratory.
- 17 Calibration is performed according to the BINDER factory standard.
- 18 Quoted prices do not include travel costs. Please refer to the chapter on BINDER Service for travel costs for your region. Quoted prices for services performed in Switzerland do not include a country-specific added fee (available on request).
- 19 For additional accessories, refer to the Process documentation chapter.
- 20 When ordering IQ/OQ qualification folders and associated IQ/OQ execution on one order, we offer a 15 % discount for both items.  
When ordering IQ/OQ/PQ qualification folders and associated IQ/OQ/PQ execution on one order, we offer a 15 % discount for the item of the IQ/OQ/PQ folder.



### Technická data

Maximální výška řezu (průměr kotouče 350 mm) při 90°	100	mm
Maximální výška řezu (průměr kotouče 350 mm) při 45°	70	mm
Naklápění pilového kotouče	45	°
Formátovací rozměr s rozšířeným dorazem		
... s pojezdovým stolem 3200 mm	3200x3200	mm
... s pojezdovým stolem 3800 mm	3800x3200	mm
Šířka řezu s paralelním pravítkem	1270	mm
Průměr vývodu pro odsávání		
... uvnitř stroje	120	mm
... na horním ochranném krytu pilového kotouče	100	mm
... na rozvíracím klínu	60	mm
Otáčky pilového kotouče	4000	ot/min
Otáčky předřezu	8500	ot/min
Výkon motoru pilového kotouče (režim S6)	4 (5)	kW
Výkon motoru předřezu (režim S6)	0,75 (0,9)	kW
Hmotnost stroje (netto)	1050	kg



### Technická data

Pracovní šířka	630	mm
Rozměry pracovního stolu	630x1000	mm
Minimální pracovní výška	3	mm
Maximální pracovní výška	300	mm
Minimální pracovní délka	260	mm
Minimální pracovní šířka	10	mm
Průměr srovnávacího válce	120	mm
Otáčky srovnávacího válce	4500	ot/min
Počet nožů	4	ks
Rozměry nožů	35x3x640	mm
Rychlost posuvu	5/8/12/18	m/min
Průměr vývodu pro odsávání	150	mm
Maximální úběr materiálu	8	mm
Výkon motoru (v režimu S6)	5,5 (7)	kW