

# **Posouzení kvality lepení u kombinovaných kompozitních materiálů na bázi dřeva**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**doc. Dr. Ing. Pavel Král**

**Vypracoval:**

**Filip Krejčí**

**Brno 2014**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Posouzení kvality lepení u kombinovaných kompozitních materiálů na bázi dřeva** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 02.05.2017

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Pavlovi Královi za pomoc s vypracováním teoretické části práce, poskytnutí užitečných rad a podkladů při zpracování bakalářské práce a také za ochotu vést mě při této práci. Dále Ing. Tomášovi Pipíškovi a Ing. Davidovi Děckému za pomoc při vypracování praktické části. Mé poděkování také patří mé rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu psaní této práce podporovali.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je posoudit kvalitu lepení u kombinovaných kompozitních materiálů na bázi dřeva. Budou vybrány dřevotřískové desky od různých výrobců se zastoupením v České republice. V teoretické části budou stručně popsány důležité části procesu výroby a faktory, ovlivňující vlastnosti dřevotřískových desek. V praktické části bude stanovena metodika provádění experimentu a následné provedení zkoušek za účelem zjištění fyzikálních a mechanických vlastností vybraného materiálu. V bakalářské práci budou zobrazeny tabulky a grafy, které budou v závěru vyhodnoceny a okomentovány pro praktické využití.

## **Klíčová slova**

Aglomerované materiály, kompozitní materiály, TD - třísková deska, DTD - dřevotřísková deska, LTD - laminotřísková deska, lepení, laminování, mez pevnosti, modul pružnosti, rozlupčivost

## **Abstract**

The aim of the bachelor thesis is to evaluate the bonding quality of wood-based composite materials. Chipboard panels from various manufacturers with representation in the Czech Republic will be selected. In the theoretical part will be briefly described the important parts of the production process and the factors influencing the properties of chipboard. In the practical part will be determined the methodology of the experiment and the subsequent testing to determine the physical and mechanical properties of the selected material. The bachelor's thesis will show tables and charts, which will be evaluated and commented in the end for practical use.

## **Keywords**

Agglomerated materials, composite materials, chipboard, laminated chipboard, bonding, lamination, measure of rigidity, modulus of elasticity, friability

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Cíle bakalářské práce</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled</b>	<b>10</b>
3.1	Definice kompozitních materiálů.....	10
3.1.1	Základní standardní a speciální vlastnosti třískových desek .....	11
3.1.2	Ostatní, nestandardní vlastnosti třískových desek.....	12
3.2	Faktory ovlivňující vlastnosti třískových desek.....	12
3.2.1	Suroviny použité k výrobě.....	13
3.2.2	Teorie lepení .....	15
3.2.3	Geometrie, velikost a orientace třísek .....	19
3.2.4	Lisovací parametr .....	20
3.2.5	Příčný hustotní profil.....	22
3.2.6	Plošná hustota .....	23
3.2.7	Vlhkost.....	24
3.2.8	Rovnovážná vlhkost .....	25
3.3	Proces lisování.....	25
3.4	Dokončování třískových desek .....	27
3.4.1	Chlazení a kondicionování třískových desek .....	28
3.4.2	Ořezávání a tloušťková egalizace.....	28
3.4.3	Skladování.....	29
3.5	Povrchové úpravy aglomerovaných materiálů.....	29
3.5.1	Laminování .....	30
3.6	Mechanické a fyzikální vlastnosti třískových desek.....	31
3.6.1	Fyzikální vlastnosti.....	32
3.6.2	Mechanické vlastnosti .....	32
3.7	Produkce dřevotřískových desek.....	32

<b>4</b>	<b>Materiál a metodika</b>	<b>35</b>
4.1	Předmět zkoušky .....	35
4.2	Použité technické normy .....	35
4.3	Použité pomůcky a zkušební zařízení .....	35
4.4	Materiál použitý na zkoušky .....	36
4.4.1	Odběr vzorků .....	36
4.4.2	Zjišťování rozměrů zkušebních těles .....	37
4.4.3	Zjišťování hustoty .....	37
4.4.4	Klimatizace .....	38
4.4.5	Zjišťování vlhkosti .....	39
4.4.6	Stanovení pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu .....	39
4.4.7	Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky .....	42
4.4.8	Analýza získaných dat .....	43
<b>5</b>	<b>Vyhodnocení výsledků</b>	<b>44</b>
5.1	Hustota .....	44
5.2	Vlhkost .....	45
5.3	Modul pevnosti v ohybu – MOR (podélný) .....	47
5.4	Modul pružnosti v ohybu – MOE (podélný) .....	48
5.5	Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky – Rozlupčivost .....	50
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Summary</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>56</b>
<b>10</b>	<b>Přílohy</b>	<b>58</b>
10.1	Seznam obrázků .....	58
10.2	Seznam tabulek .....	59
10.3	Naměřená data .....	60

# 1 Úvod

Dřevo je využíváno již odedávna a nachází stále nová uplatnění. Je to obnovitelný materiál a má řadu výhod ve srovnání s ostatními materiály. Působí na nás přirozeným dojmem, má dobré fyzikální a mechanické vlastnosti a je dobře opracovatelné. Z důvodu stále se zvyšujících cen a některých nevýhod masivního dřeva jakými je například heterogenita, anizotropie a rozměrová nestálost začali lidé používat aglomerované materiály. Ty zachovávají kladné vlastnosti masivního dřeva a eliminují jeho nevýhody. K aglomerovaným materiálům se řadí i dřevotřískové desky, ty se vyrábí ve velkých formátech, mají široký sortiment tloušťky a pevnosti v závislosti na použití. Mají dobré mechanické vlastnosti vzhledem k jejich hustotě a dají se dobře povrchově dokončovat. Proto si člověk může vybrat z velikého sortimentu dezénů a barev, který se stále rozšiřuje.

Každý závod na výrobu dřevotřískových desek používá rozdílné výrobní postupy a z toho důvodu desky nedosahují stejných hodnot mechanických vlastností. V této bakalářské práci se zaměříme na dřevotřískové desky od různých výrobců se zastoupením v ČR a pokusíme se odhalit rozdíly mezi jednotlivými z nich, se zaměřením na kvalitu lepení. Vybrány budou desky z běžných stavebních supermarketů i ze známých závodů na výrobu dřevotřískových desek. Výsledky budou vyhodnoceny statisticky a zobrazeny pomocí sloupcových a krabicových grafů.

## 2 Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je posoudit kvalitu lepení u kombinovaných kompozitních materiálů na bázi dřeva, ke kterým se řadí i dřevotřískové desky.

V teoretické části budou popsány důležité postupy při výrobě dřevotřískových desek a faktory, které ovlivňují jejich vlastnosti

U získaných dřevotřískových desek jak surových, tak desek dokončených povrchovou úpravou laminací bude v praktické části stanovena hustota, vlhkost, pevnost v ohybu, pružnost v ohybu a pevnost v tahu. Z dosažených výsledků bude posouzena kvalita lepení těchto materiálů a budou mezi sebou porovnány.



## 3 Literární přehled

### 3.1 Definice kompozitních materiálů

Kompozitní materiály na bázi dřeva jsou materiály složené z jednotlivých substancí o rozdílných vlastnostech, které výslednému výrobku dávají nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. Patří mezi ně i materiály aglomerované. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Aglomerované materiály jsou výrobky z dřevních či jiných lignocelulosoových částic, získaných dezintegrací rostlinného materiálu a jejich opětovnému spojení na plošné či tvarové výrobky. Do této skupiny se řadí i třískové desky. (Hrázský, Král, 2007)

Aglomerované materiály na bázi dřeva mají celou řadu předností jako je velkoplošnost, izotropnost a homogenní struktura bez přírodních vad, široký sortiment, příznivé mechanické vlastnosti a další. Aglomerované materiály tedy překonávají některé nevýhody rostlého dřeva a zachovávají většinu jeho kladných vlastností. (Hrázský, Král, 2007)

Rozdělení třískových desek dle ČSN EN 312:

P1 Desky pro všeobecné účely pro použití v suchém prostředí

P2 Desky pro vnitřní vybavení (včetně nábytku) pro použití v suchém prostředí

P3 Nenosné desky pro použití ve vlhkém prostředí ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi$  okolního vzduchu přesahující 85 % jen několik týdnů v roce)

P4 Nosné desky pro použití v suchém prostředí

P5 Nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí

P6 Zvlášť zatížené nosné desky pro použití v suchém prostředí

P7 Zvlášť zatížené nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí

Tab. 1 Požadavky na desky tloušťkové třídy 13 až 20 mm

Typ	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
MOR [MPa]	10	11	14	15	16	18	20
MOE [MPa]	-	1600	1950	2300	2400	3000	3100

Zdroj: ČSN EN 312

### 3.1.1 Základní standardní a speciální vlastnosti třískových desek

Základní standardní vlastnosti třískových desek jsou závazné a jejich požadavky jsou stanoveny podle ČSN EN 312. Výrobce musí tyto standardy průběžně kontrolovat a ujistit se, že jsou ve stanovených normách. Případně, aby byl proveden korekční zásah do technologie výroby a tím zaručena stabilita kvality třískové desky. K základním standardním vlastnostem dle Hrázského a Krále (2007) patří:

- rozměr desky,
- vlhkost,
- hustota,
- tloušťkové bobtnání,
- pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu,
- pevnost v tahu kolmo na rovinu desky,
- obsah formaldehydu.

Za speciální standardní vlastnosti se dle Hrázského a Krále (2007) považují:

- pevnost v tlaku kolmo na rovinu desky,
- přídržnost povrchových vrstev,
- obsah alkálií,
- obsah ochranných prostředků,
- drsnost povrchu.

### **3.1.2 Ostatní, nestandardní vlastnosti třískových desek**

Ostatní, nestandardní, vlastnosti nejsou zpravidla normami předepsány a nejsou předmětem průběžné kontroly při výrobě. Patří sem ty vlastnosti, které s normovanými vlastnostmi více méně korelují a také ty pro které zatím neexistují normované postupy, nebo je jejich stanovení časově velmi náročné. Jsou důležité při výzkumu, studiu procesu výroby aglomerovaných materiálů a při zkoumání faktorů ovlivňujících jejich kvalitu. Do této skupiny je možné dle Hrázského a Krále (2007) zařadit:

- rozložení hustoty v ploše TD – plošná hmotnost,
- hustotní profil (rozložení hustoty kolmo na rovinu desky),
- hustota povrchových vrstev,
- hustota středových vrstev,
- odpor proti vytažení vrutu,
- nasákavost po máčení ve vodě,
- navlhavost (po uložení ve vlhkém vzduchu),
- rozměrová stabilita,
- kvalita povrchu (klid povrchu, savost povrchu, pH povrchové zóny),
- stlačitelnost,
- hustota hran,
- opracování hran,
- tepelné a akustické vlastnosti,
- elektrické a magnetické vlastnosti,
- optické vlastnosti apod.

### **3.2 Faktory ovlivňující vlastnosti třískových desek**

Kvalita třískových desek je stanovena jejími vlastnostmi. Tyto vlastnosti zásadně ovlivňují faktory, jako jsou vstupní suroviny, pomocné látky a technologie, která byla použita při výrobě. (Hrázský, Král, 2007)

### 3.2.1 Suroviny použité k výrobě

Pro výrobu třískových desek mají zásadní vliv parametry jako je hustota dřeva, roztríškovatelnost, podíl běle a jádra, pH dřeviny. (Hrázský, Král, 2000)

Dříve se k výrobě třískových desek používaly jehličnaté a měkké listnaté dřeviny, které se vyznačují nízkou hustotou, která se projevila i ve výsledném výrobku. Z důvodu nedostatku a cenových úrovní jehličnatých a měkkých listnatých dřevin musí průmysl aglomerovaných materiálů postupovat i ke zpracování tvrdých listnatých dřevin, jako je například buk, dub, habr, jasan a akát. Je velice důležité dodržovat směšovací poměry mezi těmito sortimenty z důvodu rozličné reakce dřeva. Při zpracování některých dřevin s extrémním pH, ke kterým se přiřazuje například dub, je nutno upravovat množství přidaných chemikálií, zejména tvrdidla k lepicí směsi. (Hrázský, Král, 2000)

Některé listnaté dřeviny dle Hrázského a Krále (2000) vykazují specifické vlastnosti při výrobě dřevotřískových desek.

- U břízy je nežádoucí kůra, která je tvrdá a tím pro výrobu nevhodná.
- Dub má vysokou hmotnost je křehký, při roztrískávání vznikají drobné třísky také má vysoký obsah tříselovin.
- Topol způsobuje problémy při roztrískávání, pokud použijeme špatný úhel, třísky obalují ostří nožů sekačky.
- Buk má také vysokou hmotnost a je potřeba zohlednit vyšší požadavky na rovnoměrnost vrstvení.

Exotické dřeviny je možno použít, ale v některých případech mohou vadit jejich extraktivní látky. Další nevýhodou je vysoký obsah křemičitých látek, které otupují ostří nožů u sekaček a roztrískovačů. (Hrázský, Král, 2000)

Dle Hrázského a Krále (2000) se jako sortimenty k výrobě aglomerovaných materiálů se používají:

- a) tenké lesní sortimenty z prořezávek, kde je potřeba mít na zřeteli velký podíl kůry,
- b) vlákninové dříví 5. třídy jakosti (rovnané dříví průmyslové) ve formě kuláčů a štěpin, jestliže jsou odkorněny, používají se k výrobě povrchových vrstev,
- c) hrubý průmyslový odpad, jako například pilařské krajiny, odřezky, zbytky od zkracovacích pil, válcové zbytky po loupání, dýhárenský odpad,
- d) drobný průmyslový odpad, do kterého se řadí hobliny, piliny a škrabky nepadající při loupání sloupů,
- e) štěpky a třísky z agregátních pilařských strojů,
- f) štěpky dovážené z jiných závodů,
- g) lesní štěpky (vytříděné a vyčištěné),
- h) truhlářský kusový odpad ze zpracování suchého dřeva,
- i) staré recyklované dřevo.

Cena dřeva a lepidla při výrobě třískových desek tvoří 40-50 % nákladů. Z důvodu snížení těchto nákladů se čím dál více využívá odpadová dřevní hmota (staré palety, bedýnky, odpady z nábytkářských závodů, starý nábytek, piliny a podobně). (Hrázský, Král, 2000)

Kůra je nežádoucí z důvodu svých nepříznivých vlastností, které snižují fyzikální a mechanické vlastnosti aglomerovaných materiálů. Je přípustná jen ve středové vrstvě, a to v maximálním množství 20 %. (Hrázský, Král, 2000)

Kromě dřeva se využívají i jiné lignocelulosové suroviny např.: pazdeří (lněné, konopné), sláma, řepka, v tropických zemích bagasa, rýžová sláma, bambus, papyrus, juta, rákos, stonky bavlníku apod. (Hrázský, Král, 2000)

### 3.2.2 Teorie lepení

Lepení znamená spojení dvou různých ploch prostřednictvím lepidla, které má dobrou přilnavost k oběma plochám. Každé lepidlo je v okamžiku lepení v kapalném stavu, protože jedině tak může zajistit dokonalé přilnutí k povrchům lepeného materiálu. (Lear a. s., 2013)

Dle poradenského centra Lear a. s. (2013) pevnost slepeného spoje závisí na čtyřech parametrech:

- na přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (adheze),
- na soudržnosti hmoty lepidla neboli vnitřní pevnosti lepidla (koheze),
- na smáčivosti lepeného povrchu kapalným lepidlem,
- na pevnosti (soudržnosti) lepeného materiálu.

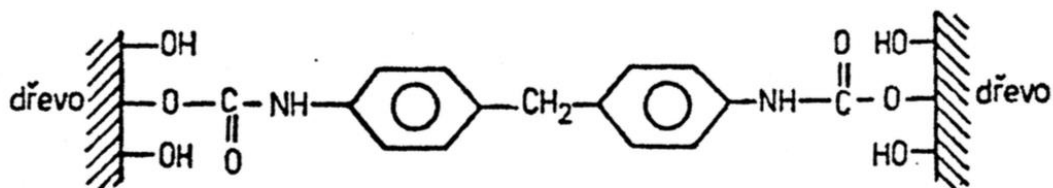
#### **ADHEZE**

Adheze je základní předpoklad k úspěšnému lepení. Pokud lepidlo není schopno k materiálu dostatečně přilnout, spoj neudrží a dochází k rozlepení na rozhraní lepidla a lepeného materiálu. V tomto případě je vnitřní soudržnost lepidla (koheze) a vlastní pevnost materiálu vyšší než přilnavost (adheze). Na otázku, proč vznikají adhezní síly existují podle poradenského centra Lear a. s. (2013) dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- mechanická vazba
- chemická vazba

Mechanická vazba je uplatněna u členitých nebo porézních povrchů, kdy lepidlo v tekutém stavu zatéká do pórů a prohlubní, a po jeho zatuhnutí vytváří jakýsi pevný zámek mezi hmotou lepidla a lepeného materiálu. Můžeme si to představit jako kolíkový spoj. Tato vazba je velice důležitá u materiálů jako dřevo, papír, keramika. Při lepení hladkých povrchů je zanedbatelná a nelze se na ni spolehnout. (Lear a. s., 2013)

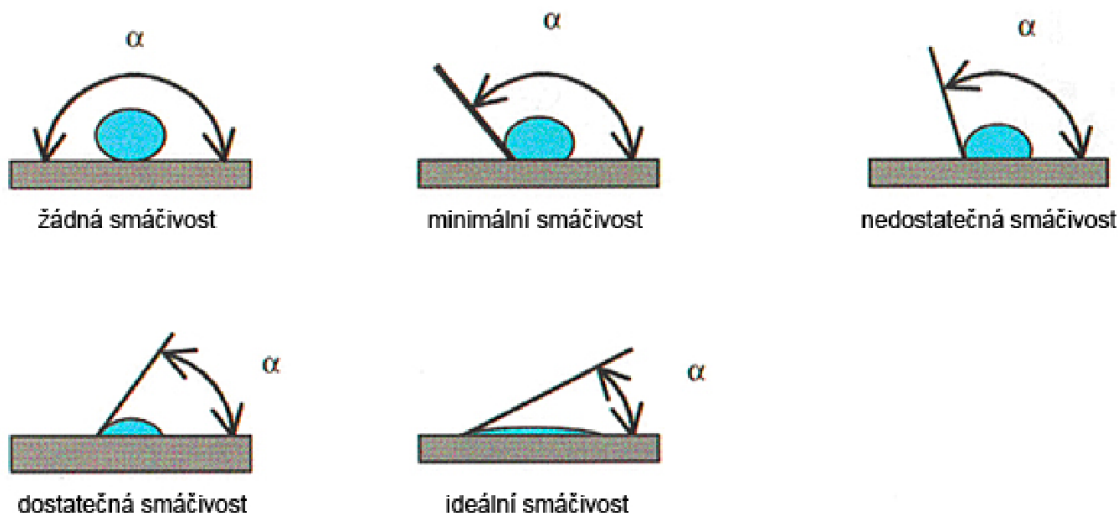
Chemická vazba se uplatňuje jak u porézních, tak u zcela hladkých povrchů. Tato teorie je založena na působení slabých van der Walsových elektrických přitažlivých sil mezi molekulami lepidla a lepeného materiálu. Zejména však závisí na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Z tohoto důvodu se dobře lepí materiály, které mají reaktivní povrchy. Dochází k chemické reakci, při které mezi lepidlem a povrchem vznikají kovalentní vazby. (Lear a. s., 2013)



Obr. 1 Schéma chemické vazby na hydroxylovou skupinu dřevních složek  
Zdroj: Hrázský, Král (2007)

Kromě mechanické a chemické vazby je důležitá také smáčivost lepeného povrchu. Pokud se lepidlo nedokáže rozprostřít na povrchu lepeného materiálu, nedojde ke vzniku adhezní vazby. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a povrchovým napětím lepidla a povrchu. Molekuly lepidla jsou polární, to znamená, že jsou jednostranně elektricky orientovány. Dobře smáčí polární povrchy jako například papír, dřevo, mírně povrchově oxidované kovy, přírodní textilie, ale i sklo a další. Naopak nepolární povrchy jsou mnohé plasty, vosk a syntetické textilie. (Lear a. s., 2013)

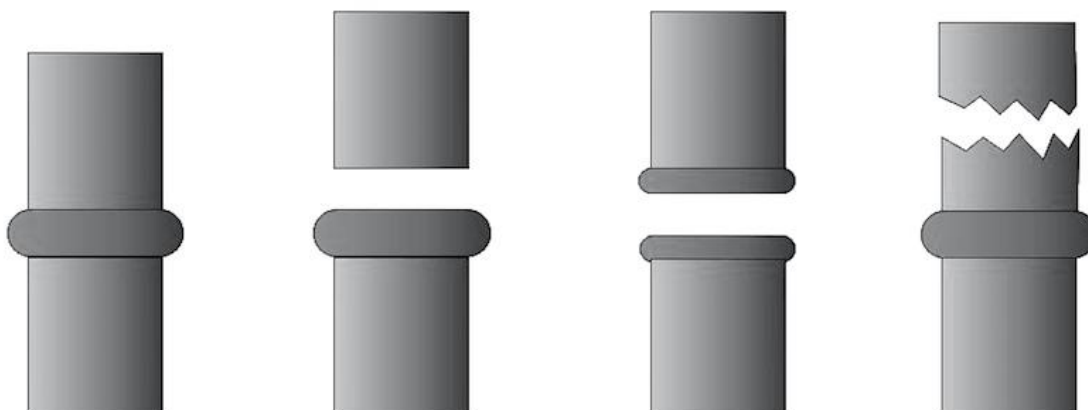
Polarita povrchu látek je důvodem vzniku takzvaného povrchového napětí. Je-li povrchové napětí lepidla nižší než povrchové napětí povrchu, dojde k rozlití lepidla po povrchu (smočení). Je-li naopak povrchové napětí lepidla vyšší než napětí povrchu, lepidlo se nerozlije a kapka lepidla se drží na povrchu jako kulička viz. obr. 2. (Lear a. s., 2013)



Obr. 2 Schéma smáčivosti lepidel od žádné až po ideální  
Zdroj: Lear a. s. (2013)

## KOHEZE

Koheze představuje vlastní pevnost lepidla po vytvrzení. Jestliže se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, znamená to, že adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze použitého lepidla. Koheze tedy závisí na charakteru lepidla. (Lear a. s., 2013)



Obr. 3 Schéma vztahu mezi adhezí a kohezí  
Zdroj: Lear a. s. (2013)

Pro výrobu aglomerovaných materiálů se ve dřevozpracujícím průmyslu nejčastěji používají tyto druhy lepidel: močovino-formaldehydové (UF), fenol-



formaldehydové (PF), melamin-formaldehydové (MF), izokyanátové a jeho polymery (MDI). (Hrázský, Král, 2000)

Z důvodu nízké ceny jsou lepidla UF nejrozšířenější. Tato lepidla však nemají příliš dobré vlastnosti ve vlhkém prostředí, a proto se hodí pouze pro výrobu desek do interiéru. Pokud chceme vylepšit vlastnosti DT vůči vlhkosti, mísí se tato lepidla s MF lepidly, která mají podobnou strukturu a jsou odolnější vůči vlhkosti. Obvykle však ani tato kombinace nesplňuje podmínky pro použití výrobku v exteriéru. MF lepidla jsou také z důvodu vyšší ceny melaminu modifikována UF lepidly. Takto upravená lepidla pak bývají značena zkratkou MUF (melamin-močovino-formaldehydová lepidla). Váhový poměr melaminu a močoviny se změnil za období 40 let z původního poměru 70:30 až na 40:60. (Sedliačik, 1998; Zanetti et. al., 2003)

Obecně platí že čím větší je obsah lepidla v TD, tím lepší jsou pevnosti v ohybu a pevnost v tahu kolmo na rovinu desky. Tloušťkové bobtnání a odolnost proti vlhkosti se se zvyšujícím obsahem lepidla zlepšují. Tento fakt je vysvětlován snížením hygroskopicity, snížením prostupnosti ztenčenin buněčných stěn, a dále pak možným vznikem nových vnitrobuněčných vazeb. Lepidlo je nejdražší složkou při výrobě a z toho důvodu se zvyšuje i výsledná cena TD. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Lepidlo se mísí s ostatními přídatnými látkami jako jsou tvrdidla, hydrofobizační přísady, biocidní prostředky a retardéry hoření. Hydrofobizační přísady snižují bobtnání a zvyšují odolnost proti vodě a vodí páře, nejčastěji jsou to látky na bázi parafínu. Přidávají se v množství 0,5 – 1,5 váhových procent. Dalším způsobem je nanášení parafínu formou emulze. Parafín snižuje bobtnání TD velmi výrazně, ale hydrofobizace je účinná jen při krátkodobém působení kapalné vody a méně při působení vodní páry. (Lam, 2001; Štefka, 2002)

### 3.2.3 Geometrie, velikost a orientace třísek

Aglomerované materiály na bázi dřeva jeví stejně jako vstupní materiál anizotropní vlastnosti. To znamená, že v různých směrech mají nesejnoměrné vlastnosti. Výhodou kompozitních materiálů je, že si směr a velikost třísek při vrstvení koberce můžeme do jisté míry ovlivnit a tím zajistíme výslednému výrobku lepší stabilitu. (Baker, 2002)

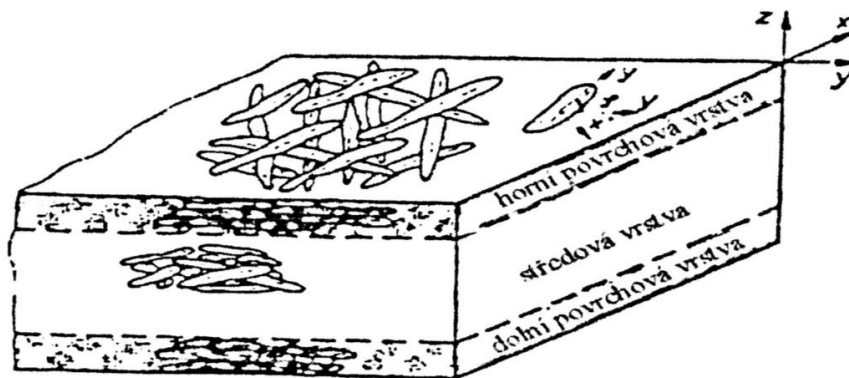
Bylo prokázáno, že pevnost v tahu u třískových desek je zásadně ovlivněna velikostí použité třísky při lepení. Při použití větších třísek vzrůstá velikost jejich překrývajících se částí a tím je umožněno lepidlu větší přenos sil (Böhm, Reisner a Bomba, 2012). Účinná plocha překrytí jednotlivých třísek v desce vztahovaná na nosný průřez třísky se dá zvětšit

- při stejné délce třísky zmenšením její tloušťky ( $h$ ) nebo
- při stejné tloušťce třísky zvětšením její délky ( $L$ ).

Aby mohl být vyjádřen vliv délky třísky na pevnost třískové desky vyrobené ze dřeva o hustotě  $g/cm^3$  a pevnost  $N/mm^2$ , zavádí se nový pojem „stupeň štíhlosti“ s označením „S“. Se vzrůstajícím stupněm štíhlosti  $S$  se také zvětšuje velikost překrývajících se a lepených ploch třísek. Stoupá tedy i stupeň přenášení pevnosti jednotlivých třísek na vyhotovenou desku. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Velké třísky ovšem nejsou vždy vhodné. Pokud chceme dosáhnout hladkého povrchu TD a tím i lepší výslednou povrchovou úpravu, je zapotřebí použít jemnější třísky. Ty nejen zajišťují hladký povrch, ale i rovnoměrnější hustotní profil díky vyplňování dutin v místech s nižší hustotou. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Z důvodu, že mechanické vlastnosti dřeva jsou v podélném směru dřevních vláken několikanásobně vyšší než ve směru příčném, je orientace vláken při vrstvení třískového koberce velice důležitá. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)



Obr. 4 Model struktury třívrstvé dřevotřískové desky  
Zdroj: Hrázský, Král (2000)

### 3.2.4 Lisovací parametr

Lisovací proces ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti více než kterákoliv jiná z předchozích etap. V této etapě dochází k mnoha interakcím mezi fyzikálními faktory a k chemickým reakcím. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

V první fázi musí dojít k předlisování třískového koberce, aby došlo ke zhuštění koberce do té míry, aby snesl manipulaci na nosném dopravníku a navážení do lisu. Předlisy jsou dnes kontinuální a jejich průběh je tedy plynulý. Dále následuje formátování na potřebné délky a poté přemístění a lisování v etážových lisech. (Janák, Král, 2003)

Dále je třískový koberec formován mezi vyhřívanými lisovacími deskami až do úplného stlačení. Čas potřebný pro tento proces je závislý na rychlosti transferu tepla do středové vrstvy a času potřebného k vytvrzení lepidla. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

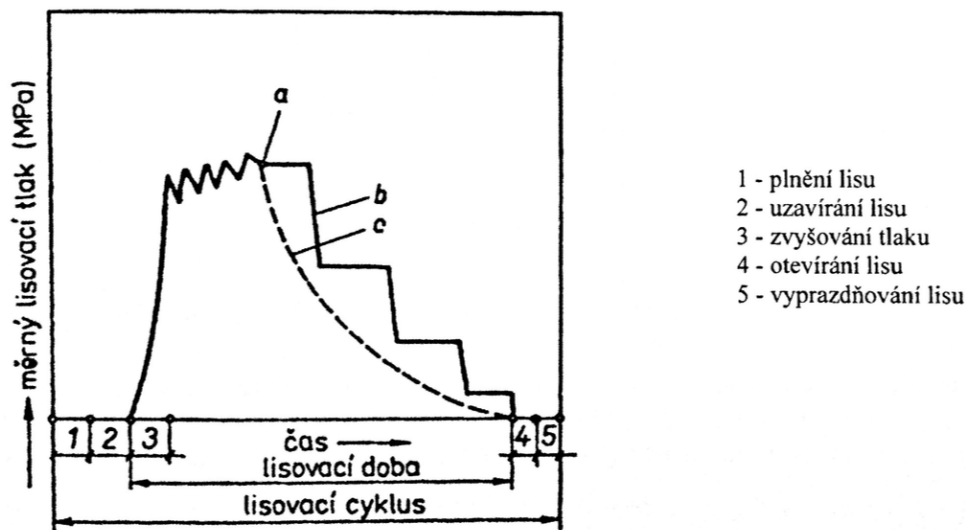
Proces lisování lze rozdělit do tří etap a to uzavírání lisu, lisování a otevírání lisu. Každá z těchto etap má svůj vlastní význam. Uzavírací čas lisu je faktorem, který nejvíce ovlivňuje tvorbu příčného hustotního profilu desek. Hustotní profil se vytváří v době mezi uzavíráním lisu a dosažením požadované tloušťky. Ve středové vrstvě se vytváří hustotní profil teprve poté. (Hrázský, Král, 2000)

Lisovací čas je závislý především na rychlosti pronikání tepla do středové vrstvy, která je ovlivněna nejvíce vlhkostí navrstveného třískového koberce, teplotou lisovací desky, tloušťkou výsledného sortimentu a lepící směsí, která byla použita k lepení. Nejčastěji používanější močovino-fenolformaldehydová lepidla vyžadují lisovací čas okolo 10-15 s/mm tloušťky desky a teploty v rozmezí 160 až 220 °C. Použití vyšší lisovací teploty zkracuje lisovací čas a tím výrazně zrychluje proces výroby, ale zároveň snižuje mechanické vlastnosti desek. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Lisovacím tlakem se mění stupeň zhuštění třískového koberce, zformování a jakost lepení. Lisovací tlak a zvolený typ lisovacího diagramu se zároveň projeví v hustotě třískových desek a na ostatních fyzikálních a mechanických vlastnostech. Velikost lisovacího tlaku závisí na konkrétním typu materiálu, pohybuje se v rozmezí 2,5-6 MPa. (Kelly, 1977; Hrázský, Král, 2000)

Vlhkost třísek také ovlivňuje rychlost přenosu tepla. V průběhu lisování je vlhkost přeměněna na páru, která pomáhá při vytvrzení lepidla ve středové vrstvě desky, a také k plastifikaci třísek. Pokud je nízká vlhkost třískového koberce, nedojde k dostatečné plastifikaci povrchových třísek, což snižuje jejich schopnost formování a dosažení hladkého povrchu. Vlhkost třísek ovlivňuje nejen délku času lisování, ale také i jejich stlačitelnost. Má vážný vliv na tvorbu příčného hustotního profilu. Vlhkost třísek může být v celém průřezu rovnoměrná, nebo se může v jednotlivých vrstvách lišit. Pokud je vlhkost třísek v povrchových vrstvách větší než ve středové vrstvě, dochází ke strmějšímu příčnému hustotnímu profilu. Větší obsah vlhkosti v celém třískovém koberci také způsobuje větší rozdíl mezi hustotou povrchových vrstev a hustotou středové vrstvy. (Kelly, 1977)

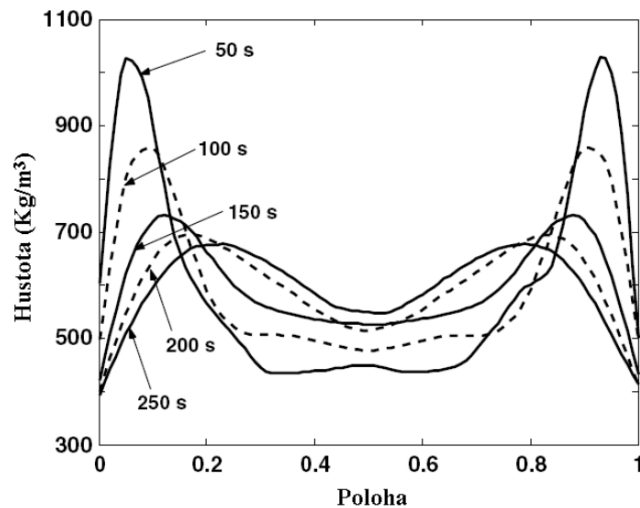
Společné působení tlaku a tepla v čase na třískový koberec je dáno lisovacím diagramem. Tento diagram je vytvářen v závislosti na tloušťce a hustotě výsledné TD dále na druhu třísek, druhu dřeviny a na vlhkosti navrstveného třískového koberce. (Hrázský, Král, 2000)



Obr. 5 Lisovací diagram třískových desek pro víceetážový lis  
Zdroj: Hrázský, Král (2000)

### 3.2.5 Příčný hustotní profil

Příčný hustotní profil znázorňuje hustotu v průřezu desky. Pokud je krátký uzavírací čas lisu, což znamená, že dosáhneme maximálního lisovacího času za co nejkratší možnou dobu, způsobíme velké zhuštění třísek v povrchových vrstvách a menší zhuštění třísek ve středové vrstvě. Při pomalejším uzavírání lisu dojde k plastifikaci třísek ve středové vrstvě v důsledku prohřátí a působení vodních par a tím i lepšímu zhuštění této vrstvy. Delší čas uzavírání lisu tedy vede k výrobě desek s rovnoměrnějším příčným hustotním profilem. Vytvoření hustotního profilu v podstatě závisí na odporu třísek vůči zhuštění. Tenké a ploché třísky jsou lépe stlačitelné než tlusté třísky nepravidelných tvarů, jak si můžeme všimnout na obr. 6. (Hrázský, Král, 2000)



Obr. 6 Vliv uzavíracího času lisu na tvorbu příčného hustotního profilu  
Zdroj: Hrázský, Král (2000)

Z důvodu, že při ohybovém namáhání působí největší napětí v povrchových vrstvách materiálu, je vhodné vyrábět desky se strmějším příčným hustotním profilem (ve tvaru písmene „U“) a s větší hustotou v povrchových vrstvách než s ve středové vrstvě. Takto vyrobené desky dosahují lepších výsledků ohybové pevnosti a modulu pružnosti v ohybu než desky, u kterých je příčný hustotní profil rovnoměrný. Na druhou stranu dosahují nižší hodnoty pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Hustotní profil též ovlivňuje tloušťkové bobtnání a nasákavost. Hustější povrchové vrstvy desky mají za následek menší tloušťkové bobtnání a nasákavost. Toto zlepšení hodnot bobtnání je způsobeno zpomalením průchodu vlhkosti přes povrchové vrstvy. (Lam, 2001)

### 3.2.6 Plošná hustota

Při výrobě aglomerovaných materiálů dochází k formování výsledné dřevotřískové desky s nerovnoměrnou hustotou v ploše desky. Během vrstvení dochází k tomu, že některé oblasti obsahují větší množství třísek než jiné. Při lisování třískového koberce na konstantní tloušťku jsou tyto oblasti více zhuštěny než oblasti, které obsahují překrývající se části méně. Rozdílné schopnosti tloušťkového bobtnání

mezi těmito oblastmi s různou hustotou potom způsobují větší vnitřní pnutí desek. Nerovnoměrné rozložení hustoty desek není nevýhodou jen z důvodu většího pnutí v místech s větší hustotou, ale také z hlediska rozdílných fyzikálních a mechanických vlastností. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

### **3.2.7 Vlhkost**

At' už se jedná o dřevo nebo materiál na bázi dřeva, přijímá z okolního prostředí vlhkost ve formě vodní páry, a to v závislosti na materiálu, teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu. Vlhkost zásadně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu na bázi dřeva, dochází ke snížení jejich pevnostních vlastností a k trvalému tloušťkovému nabobtnání. Často také dochází ke změně vzhledu a v extrémních případech může dojít až k porušení celistvosti desek. (Hrázský, Král, 2004)

U aglomerovaných materiálů má na sorpční vlastnosti rozhodující vliv druh a množství lepidla a použitých hydrofobních látek, technologie výroby, velikost a orientace třísek, stupeň komprese a kvalita povrchu. Čím hutnější jsou povrchové vrstvy tím pomalejší je průchod vlhkosti do materiálu. (Hrázský, Král, 2000)

Schopnost absorbovat vodu z okolního vzduchu ve formě vodní páry u materiálů na bázi dřeva je nežádoucí hlavně z důvodu následných změn rozměrů materiálu. Má také negativní vliv na mechanické vlastnosti. Pokud odstraníme vlhkost ze dřeva, navrátí se původní rozměry, ovšem v případě materiálů na bázi dřeva je tato schopnost vratného bobtnání nižší. (Matovič, 1993)

Množství vratného bobtnání u aglomerovaných materiálů přímo souvisí s hygroskopicitou dřevěných částí (bobtnání přírodního dřeva). Oproti tomu nahromadění energie při lisování (pružení slisovaných třísek a vláken, které mají snahu vrátit se do původního stavu před slisováním) a nestejný stresový potenciál materiálu při bobtnání zapříčiňuje změny nevratné. (Matovič, 1993)

### 3.2.8 Rovnovážná vlhkost

Vysoká teplota a tlak při lisování redukuje hygroscopicitu aglomerovaných materiálů. To má za následek snížení rovnovážného obsahu vlhkosti materiálu až o 3 % oproti rovnovážnému obsahu dřeviny použité k výrobě. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

## 3.3 Proces lisování

K lisování třískových desek se používají následující typy lisů: víceetážové, jednoetážové a kontinuální. Je potřeba zmínit, že víceetážové lisy patří k nejstarším a ve vyspělých zemích jsou již na ústupu. (Hrázský, Král, 2000)

Při použití víceetážových lisů je důležitý optimální čas uzavírání lisu, a to z důvodu vytvoření správného hustotního profilu, který ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti vyrobené desky. Tento čas se pohybuje v rozmezí 25–30 s. (Hrázský, Král, 2000)

Lisovací faktor, tj. doba potřebná na vylisování 1 mm tloušťky TD, závisí hlavně na hustotě vyráběných TD, dále na lisovací teplotě a na vlhkosti třískového koberce. Porovnání hodnot lisovacích faktorů a ostatních lisovacích veličin pro všechny typy lisů je uvedeno v tabulce 2. (Hrázský, Král, 2000)

Tab. 2 Porovnání hodnot lisovacích faktorů a ostatních lisovacích veličin při lisování TD pro různé typy lisů

Typ lisu	Lisovací teplota (°C)	Lisovací tlak (N/mm <sup>2</sup> )	Lisovací faktor (s/mm)
Více etážový	145–190	3–4	12–24
jednoetážový	190–230	2,5–3,5	6–8
Kontinuální	180–200	do 4	6

Zdroj: Kompozitní materiály na bázi dřeva (Hrázský, Král 2007)

Uvedené hodnoty v tabulce jsou pro stejný typ TD, stejné tloušťky (19 mm) za použití stejného UF lepidla.



Při použití fenolformaldehydových lepidel s výrobě TD, se tyto hodnoty zvyšují u všech typů těchto lisů. Například u více etážových je to z 12–24 s/mm na 24–32 s/mm. (Hrázský, Král, 2000)

Nejkratší lisovací časy dosáhneme za použití takzvaného parního nárazu nebo na použití vysokofrekvenčního ohřevu. Parní náraz spočívá v navlhčení horní povrchové vrstvy vodní mlhou (100 g/m<sup>2</sup>). Z této vlhkosti vzniká pára, která prohřívá středovou vrstvu podstatně rychleji než za obvyklých podmínek. Tak je dosaženo zrychlení lisovacího času. (Hrázský, Král, 2000)

Tlak při lisování je závislý na výsledné hustotě TD. U desek střední hustoty se používá tlak v rozmezí od 1,5 až do 3,5 N/mm<sup>2</sup>. (Hrázský, Král, 2000)

Víceetážové lisy musí být vybaveny tzv. simultánním uzavíráním lisu které zajišťuje, že se veškeré etáže uzavírají současně a stejnou rychlostí. Jen tímto způsobem je zajištěno, že se při uzavírání lisu všechny koberce dostanou do styku s vyhřátými horními topnými deskami lisu a ve stejný moment dojde k vytvoření lisovacího tlaku. (Hrázský, Král, 2000)

Při lisování TD, ale i v samotné TD, existuje tepelný i vlhkostní spád. To znamená, že teplota středové a povrchové vrstvy má rozdílnou hodnotu. Teplota od povrchu ke středu desky klesá a může zde být rozdíl až 30 °C. Teplota ve středu desky závisí na velikosti lisovaného formátu, na lisovací teplotě a na lisovacím čase. Vlhkost však směrem ke středu desky stoupá a bývá po ukončení lisování 8–10 %, v závislosti na počáteční vlhkosti třískového koberce, na teplotě a lisovacím čase, ale i na stupni stlačení a hustotě TD. (Hrázský, Král, 2000)

Víceetážové lisy, které mohou mít až 20 etáží po určité době provozu již nedosahují tak přesných hodnot, jakých by měly z důvodu opotřebování hydraulického systému. Jsou u nich větší tloušťkové tolerance, než je žádoucí. Proto se TD v těchto lisech vyrábí s nadmírami na tloušťkovou egalizaci a to 1,2 – 1,5 mm. (Hrázský, Král, 2000)

Jednoetážové lisy mají ve všeobecnosti nižší výkon než lisy víceetážové. Z tohoto důvodu se výrobci snaží zvětšovat jejich kapacitu zvětšováním jejich formátů, a to až na rozměr 2850 x 30 m současně se používá i vyšší teplota (190–230 °C). Pak se jejich kapacita vyrovná s kapacitou lisů víceetážových. (Hrázský, Král, 2000)

Výhodou jednoetážových lisů je jednoduchost jejich plnění a vyprazdňování. Pro plnění lisu se využívá síťový nebo ocelový pás. U těchto lisů se často využívá vysokofrekvenčního ohřevu, který snižuje lisovací faktor až na 4,5 – 6 s/mm tloušťky TD. V důsledku své masivní konstrukce se u těchto lisů lisuje s menšími tloušťkovými tolerancemi, a to 0,4 – 0,6 mm, což je výrazný rozdíl oproti lisům víceetážovým. (Hrázský, Král, 2000)

Lisovací desky lisů jsou vyhřívány parou, tlakovou horkou vodou nebo termoolejem, který je nejvýhodnější a nejefektivnější. Vyhřívání lisovacích desek termoolejem však vyžaduje větší nároky na oběhová čerpadla a větší vrtání kanálků v topných deskách lisu. (Hrázský, Král, 2000)

Čím dál více se využívají lisy kontinuální, a to hlavně ve vyspělých zemích. Nejznámější kontinuální lisy jsou např., „Hydro-dyn-press“ (firmy „Kvaerner“), „ContiRoll“ (firmy „Siempelkamp“), „küsterspress“ (firmy „Küsters“). (Hrázský, Král, 2000)

### **3.4 Dokončování třískových desek**

Dokončování vylisovaných třískových desek je závěrečnou fází jejich výroby. Skládá se většinou z těchto operací: chlazení desek, ořezání na přesný formát, případné přetřídění. Následuje kondicionování, broušení, třídění a rozřezání na dohodnuté přířezy, balení a expedice. Sled těchto operací se může lišit podle uspořádání výrobní linky. (Hrázský, Král, 2000)

### **3.4.1 Chlazení a kondicionování třískových desek**

Po opuštění lisu dosahují desky teplot okolo 100 °C, a proto je velice důležité, aby došlo ke klimatizaci desky a vyrovnání teplotního spádu v desce mezi povrchovými a středovými vrstvami. Je dokázáno, že pokud nedojde ke klimatizaci a desky jsou navrženy do hrání, dojde ke snížení jejich fyzikálních a mechanických vlastností v důsledku částečné hydrolyzy UF lepidla. Projevuje se to i změnou barvy desky do žluta a opadáváním povrchových třísek. Pokles pevnostních vlastností je tím vyšší, čím vyšší je teplota lisování a vlhkost TD po lisování. Z tohoto důvodu se TD pojené UF lepidly ochlazují, zpravidla ve hvězdicových turniketech na teplotu 70 °C. (Hrázský, Král, 2000)

U TD pojených PF pryskyřicí se zvýšená teplota, které se akumuluje v hráních, využívá na dotvrzení lepidla, což umožňuje použití kratších lisovacích časů. (Hrázský, Král, 2000)

Pokud dojde k příliš rychlému dotvrzení, hrozí nebezpečí, že napětí, vznikající při vyrovnání vlhkostního spádu se v plném rozsahu neuvolní a zůstanou v deskách. (Hrázský, Král, 2000)

Před tloušťkovou egalizací (broušením) se nechávají desky kondicionizovat, za účelem vyrovnání vlhkostního spádu mezi povrchovými a středovými vrstvami TD. Dosáhne se tak lepší kvality povrchových vrstev TD, ale také se sníží sklon k borcení a zvýší se tvarová stálost a přesnost tloušťky desky po broušení. Desky se nechávají ještě 4-5 dní uložené v hráních, aby došlo k doběhnutí kondenzační reakce lepidla. Tato fáze se nazývá jako dozrávání desek. (Hrázský, Král, 2000)

### **3.4.2 Ořezávání a tloušťková egalizace**

Po ochlazení desek jsou desky formátovány pomocí automatických formátovacích pil. Tento systém je výhodnější, jelikož nedochází k znečištění kondicionačního prostoru. Může však dojít k poškození hran při nešetrné manipulaci vysokozdvíženými vozíky a jinou mechanizační technikou. (Hrázský, Král, 2000)

U některých modernějších linek dochází ke třídění třískových desek až po tloušťkové egalizaci (broušení). Tloušťková egalizace se provádí na stavebnicových brousících agregátech – na kontaktních širokopásových bruskách. Pro zlepšení povrchu bývá do procesu zařazena i příčná pásová bruska. Pásové brusky mají minimálně tři brusné hlavice. Zrnitost brousících pásů se nejčastěji používá 40–80–100 (120). Pro příčné pásové broušení se používá zrnitost brusného pásu 150. Dosažená přesnost broušení je u většiny brusných agregátů  $\pm 0,1$  mm. Z důvodu, že se jednotlivé odchylky při opracování sčítají, je nutno počítat s tloušťkovými odchylkami mezi deskami  $\pm 0,2$  až  $\pm 0,3$  mm. (Hrázský, Král, 2000)

Po broušení jsou desky tříděny dle platných norem, dovolených vad povrchu, hran a podle tlouštěk. (Hrázský, Král, 2000)

Vzhledem k velké kapacitě a velikosti formátů TD je potřeba desky dělit na menší formáty, to se provádí na rozřezávacích automatech. Je tím zajištěna lepší manipulace, snižují se náklady na transport. Vše však závisí na komunikaci odběratele s výrobcem. (Hrázský, Král, 2000)

### **3.4.3 Skladování**

Skladování přířezů TD se provádí v krytých skladech na rovných podložkách, nejlépe na paletách. Musí se dbát, aby nebyly desky prohnuty a nedošlo k jejich deformaci. (Hrázský, Král, 2000)

Ve skladu musí panovat takové klima, aby rovnovážná vlhkost desek byla  $8 \pm 2$  % vlhkosti. Teplota se má pohybovat v rozmezí 15–25 °C, relativní vlhkost vzduchu 45–55 %. Hráně desek mají být přesně vyrovnány, chráněny proti vlhkosti od podlahy skladu, přikryté na to určenými deskami. (Hrázský, Král, 2000)

## **3.5 Povrchové úpravy aglomerovaných materiálů**

Veškeré materiály na bázi dřeva a výrobky z nich, se kterými přicházíme do styku, musí být dokončeny konečnou povrchovou úpravou. Ať už se jedná o mokré způ-

sob povrchové úpravy, kde se řadí tmelení, moření, lakování, reliéfování, nebo suchý způsob povrchové úpravy, kam spadá laminování, foliování a nalepování laminátů. Náklady na povrchovou úpravu jsou ve srovnání s hodnotou dokončovaných materiálů relativně nízké, ale vliv povrchové úpravy na finální kvalitu a užité vlastnosti je vysoký. (Hrázský, Král, 2007)

Povrchová úprava materiálů na bázi dřeva má velký význam z důvodu prodloužení jejich životnosti, zvýrazňuje a dokresluje přirozenou krásu dřeva a materiálů na bázi dřeva, zlepšuje užité vlastnosti výrobku, potlačuje barevné rozdíly povrchu a zvýrazňuje tvar produktu. (Hrázský, Král, 2007)

### **3.5.1 Laminování**

Lamino někdy označované LTD patří dnes k nejpoužívanějším materiálům ve výrobě nábytku. Je to cenově dostupný materiál, který je vyráběn ve stovkách dekorů od různých výrobců. Lamino je poměrně otěruvzdorné, odolné proti krátkodobé vlhkosti. Je ideální k výrobě cenově dostupného nábytku. (Co je lamino, 2014)

Technologie laminování se v zásadě provádí na celé formáty desek přímo ve výrobním závodě po vyrobení surových TD. Při jednom lisovacím cyklu se na obě povrchové strany desky nalepí papír s potiskem různých dezénů dřeva nebo v různém barevném provedení. Deska musí být před laminováním tloušťkově egalizována a broušena. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Papír, který se nalepuje na desku, musí být předem napuštěný močovino-melamin-formaldehydovou pryskyřicí, která po zahřátí v lisu vytvrdne a přilepí laminovací papír k surové desce. Podle použití lisovacího plechu na povrchu desky vznikne struktura povrchu desky (např. lesk, mat, póry...). Výsledný produkt, tedy laminovaná dřevotřísková deska, je povrchovou úpravou zcela dokončen. Vytvořený povrch je velmi odolný proti mechanickým vlivům, vlhkosti, slabým kyselinám, zvýšené teplotě a je světlo stálý. Pro zpracovatele těchto desek přináší použití tohoto materiálu výrazné zjednodušení výrobního procesu. Odpadají tím některé

velice náročné operace jako je dýchování, broušení a nanášení nátěrové hmoty. Vedle absence některých strojů a zařízení není nutné řešit vytápění lisu, odsávání brusného prachu při broušení a likvidaci ředidel a rozpouštědel při aplikaci nátěrových hmot. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Kvalita laminátů se neustále zlepšuje a imitace textury i povrchu dřeva je stále dokonalejší. Zdá se, že v průmyslu se začínají LTD stále více prosazovat na úkor krájené dýhy. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

### **3.6 Mechanické a fyzikální vlastnosti třískových desek**

Na mechanické a fyzikální vlastnosti třískové desky mají zásadní vliv téměř veškeré výrobní parametry. Ty nejdůležitější jsou druh dřeviny, velikost, geometrie, orientace, formování a kvalita třísek, typ a množství použitého lepidla a přídatných látek. Mechanické a fyzikální vlastnosti TD dále zásadně ovlivňují i lisovací faktory, mezi které patří lisovací čas, teplota, tlak, rychlost uzavírání lisu, vlhkost, chemické reakce při lepení třísek, plastifikace a formát výrobku. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Uvádí se, že se zmenšující se velikostí lepených částic se zlepšuje možnost jejich formování, což vede k vyšším hustotám výsledného výrobku. Musíme však brát v úvahu, že při zachování hustoty a zmenšení velikosti lepených částic klesá pevnost výsledné desky. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Postup zjišťování vlastností aglomerovaných materiálů se řídí podle daných norem platných pro daný druh výrobku. Výsledky naměřené na zkušebních těleších se poté porovnávají s hodnotami stanovenými danou normou. Z toho se poté rozhodne, zda výrobek je vhodný na použití k danému účelu či nikoliv. Na materiály, které jsou určeny pro nosné účely a do vlhkého prostředí se kladou vyšší nároky, zpravidla mají náročnější zkušební postup než materiály k nenosným účelům v suchém prostředí. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

### **3.6.1 Fyzikální vlastnosti**

Pro určování fyzikálních vlastností jsou nejdůležitější zkoušky jako jsou zjišťování hustoty (ČSN EN 323), zjišťování vlhkosti (ČSN EN 322), rozměrové změny v závislosti na změnách vlhkosti vzduchu (ČSN EN 318), obsah volného formaldehydu. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Pro desky k nosným účelům a do vlhkého prostředí se používají i další zkoušky, jako stanovení odolnosti proti vlhkosti – zkouška cyklováním (ČSN EN 321) a varná zkouška (ČSN EN 1087-1). Zkouška cyklováním je založena na uložení zkušebních vzorků ve vodě, mrazničce a sušárně. Tento cyklus se třikrát opakuje a poté se na vzorcích provedou zkoušky bobtnání a rozlupčivosti. U varné zkoušky se zjišťují hodnoty rozlupčivosti po vystavení vzorků vroucí vodě. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

### **3.6.2 Mechanické vlastnosti**

K nejvýznamnějším mechanickým vlastnostem patří pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu (ČSN EN 310), stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky – rozlupčivost (ČSN EN 319) a stanovení odporu proti vytažení spojovacích prostředků (ČSN EN 13446). (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

## **3.7 Produkce dřevotřískových desek**

Mezi dnešní nejrozšířenější a nejvíce používané aglomerované materiály patří třískové desky, vláknité desky, desky z velkoplošných orientovaných třísek a překližky. Produkce dřevotřískových a OSB desek stoupá až do roku 2007, poté z důvodu hospodářské krize došlo k poklesu výroby. Do budoucna se však předpokládá nárůst produkce a čím dál větší uplatnění těchto materiálů. (Lear a. s., 2013)

Tab. 3 Produkce dřevotřískových a OSB desek od roku 1996 až do roku 2005

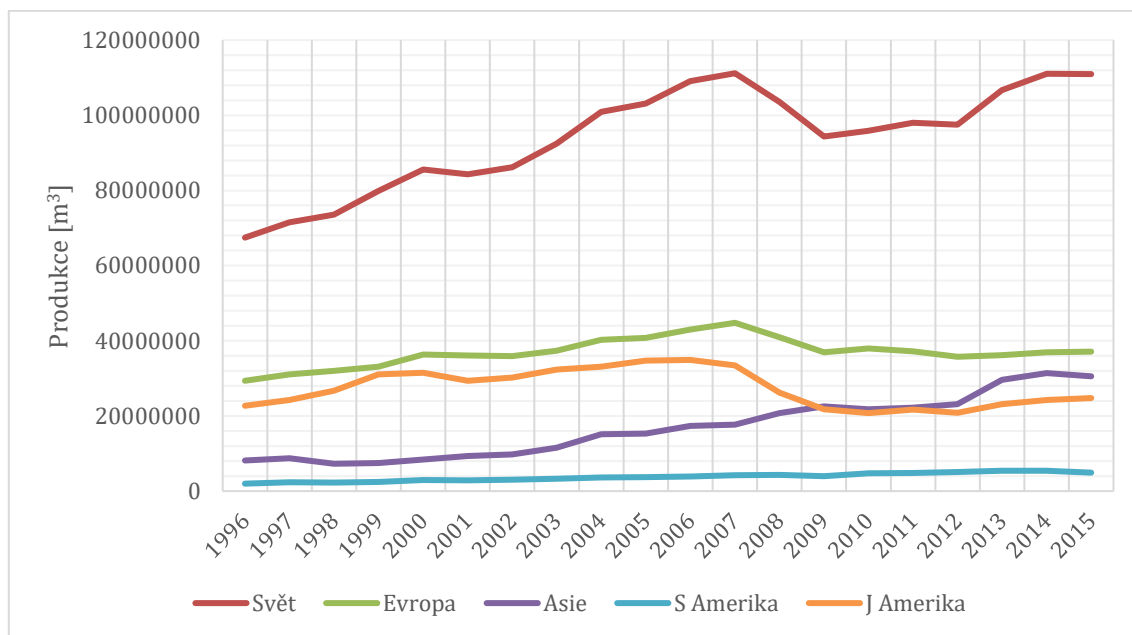
roky	1996 [m <sup>3</sup> ]	1997 [m <sup>3</sup> ]	1998 [m <sup>3</sup> ]	1999 [m <sup>3</sup> ]	2000 [m <sup>3</sup> ]	2001 [m <sup>3</sup> ]	2002 [m <sup>3</sup> ]	2003 [m <sup>3</sup> ]	2004 [m <sup>3</sup> ]	2005 [m <sup>3</sup> ]
Svět	67459456	71505412	73559963	79848900	85590133	84343912	86149010	92472418	100884425	103129030
Evropa	29366000	31033300	32033500	33094100	36375116	36070316	35959850	37376910	40294510	40756210
Asie	8145400	8707800	7284900	7433500	8396100	9312700	9749800	11535020	15147900	15330220
S Amerika	1987156	2321212	2305153	2476100	2928230	2900006	3075820	3271998	3672955	3693540
J Amerika	22739000	24224000	26685110	31103000	31525987	29368490	30197800	32383490	33110360	34687760
Česko	635000	737000	640000	700000	720000	820000	874000	1113000	1128000	1218000

Zdroj: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)

Tab. 4 Produkce dřevotřískových a OSB desek od roku 2006 až do roku 2015

roky	2006 [m <sup>3</sup> ]	2007 [m <sup>3</sup> ]	2008 [m <sup>3</sup> ]	2009 [m <sup>3</sup> ]	2010 [m <sup>3</sup> ]	2011 [m <sup>3</sup> ]	2012 [m <sup>3</sup> ]	2013 [m <sup>3</sup> ]	2014 [m <sup>3</sup> ]	2015 [m <sup>3</sup> ]
Svět	109094840	111194087	103533779	94390165	95859761	98034856	97481699	106738224	111068046	110936576
Evropa	43014000	44783546	40938878	36911719	37983231	37237042	35770224	36145491	36908412	37116359
Asie	17321020	17703660	20789800	22513100	21741700	22239200	23170600	29580900	31407200	30535200
S Amerika	3914820	4200300	4282700	3940520	4737400	4840400	5113000	5397000	5414000	4938300
J Amerika	34908530	33445110	26240320	21798310	20757000	21674000	20881000	23153099	24228490	24760000
Česko	1287000	1428000	1436000	928000	1085000	1052000	1033000	1032000	1036000	1040000

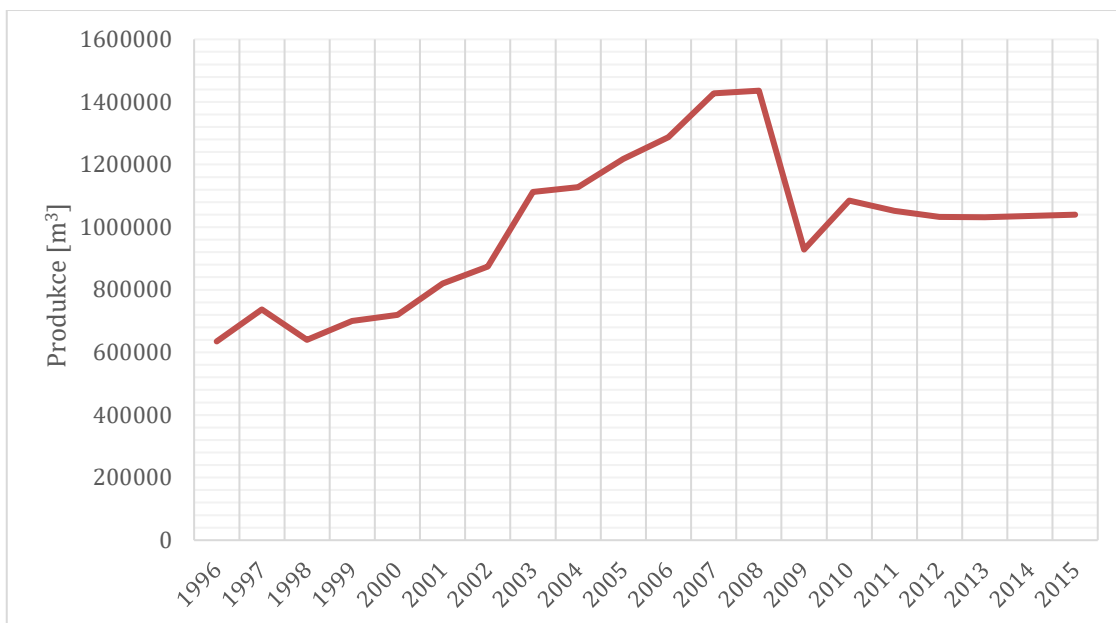
Zdroj: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)



Obr. 7 Graf produkce DTD a OSB desek v jednotlivých letech dle kontinentů

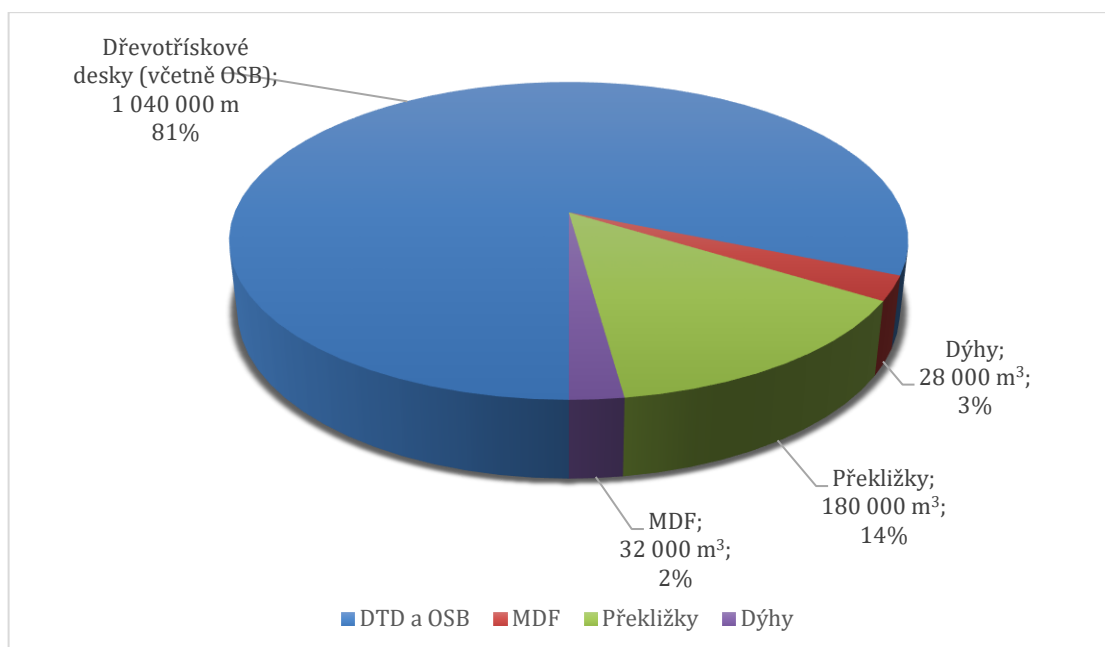
Zdroj: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)





Obr. 8 Graf produkce DTD a OSB desek v jednotlivých letech v Česku  
Zdroj: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)

Následující graf zobrazuje vyráběné množství a procentuální podíl pro jednotlivé druhy materiálů na bázi dřeva v ČR. OSB desky jsou započítány do produkce dřevotřískových desek, měkké ani tvrdé vláknité desky nejsou v současné době v ČR vyráběny. (Lear a. s., 2013)



Obr. 9 Produkce velkoplošných materiálů na bázi dřeva v ČR za rok 2015  
Zdroj: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)

## **4 Materiál a metodika**

### **4.1 Předmět zkoušky**

Předmětem zkoušky je zjistit pevnost, modul pružnosti ve statickém ohybu a rozlupčivosti u třívrstvých třískových desek a třívrstvých třískových desek laminovaných jmenovité tloušťky 12 a 18 mm. Porovnáním naměřených hodnot bude posouzena kvalita lepení u kombinovaných kompozitních materiálů mezi jednotlivými výrobci desek na bázi dřeva.

### **4.2 Použité technické normy**

Postupy použité při vymanipulování zkušebních těles, při měření a zjišťování výsledků, nebo alespoň jejich částí budou provedeny v souladu s technickými normami:

- ČSN EN 322: Dosky z dřeva, Zisťovanie vlhkosti
- ČSN EN 326-1: Desky ze dřeva – odběr vzorků, nařezávání a kontrola
- ČSN EN 325: Desky ze dřeva. Stanovení rozměrů zkušebních těles
- ČSN EN 323: Dosky z dřeva. Zisťovanie hustoty
- ČSN EN 319: Stanovenie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky

### **4.3 Použité pomůcky a zkušební zařízení**

Ke zjišťování uvedených výsledků budou použity tyto pomůcky a zkušební zařízení:

- univerzální zkušební zařízení ZVICK Z 050,
- laboratorní váha RADWAG WPX 650,
- posuvné měřidlo MITUTOYO,
- software ZWICK.

## 4.4 Materiál použitý na zkoušky

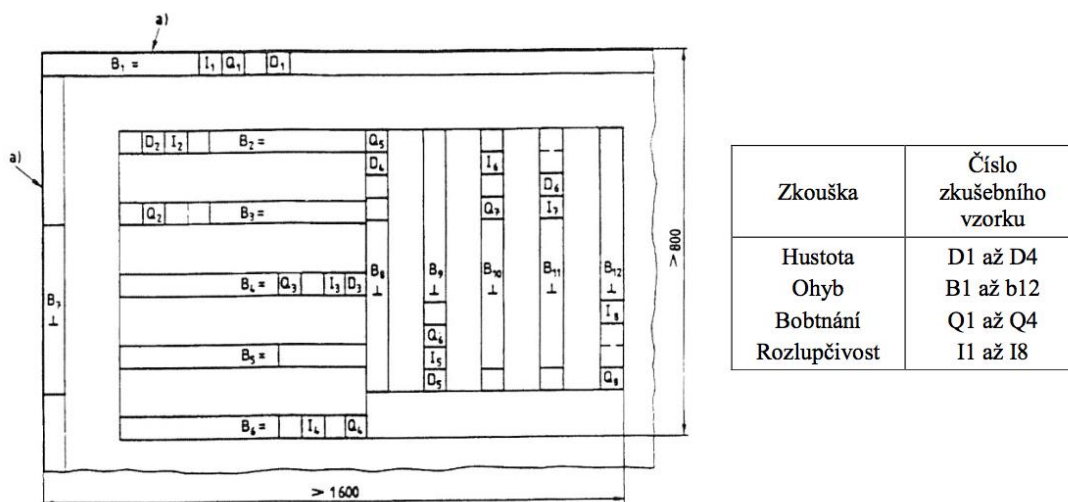
Materiál použitý ke zkoumání je třívrstvá dřevotřísková deska bez povrchové úpravy tloušťky 16 a 18 mm, dále třívrstvá dřevotřísková deska dokončená laminováním tloušťky 18 mm. Desky byly vybrány od tří různých výrobců – Asko, Egger a Kronospan. Třída užití těchto desek je P2.

Tab. 5 Vybrané druhy DTD a LTD ke zkouškám

Druh	Výrobce	Tloušťka	Přidělená značka
DTD	Egger	16	DTD EG 16
DTD	Egger	18	DTD EG 18
DTD	Asko	16	DTD AS 16
LTD	Asko	18	DTD AS18
LTD	Egger	18	LTD EG 18
LTD (voděodol.)	Kronospan	18	LTD EG-VO 18
LTD	Kronospan	18	LTD KS 18

### 4.4.1 Odběr vzorků

K testovacím účelům budou vymanipulovány vzorky podle ČSN EN 326-1. Šířka  $b$  musí být  $(50 \pm 1)$  mm. Délka  $l$  musí být 20tinásobek jmenovité tloušťky plus 50 mm, s největší délkou 1050 mm a minimální délkou 150 mm (pro desku o tloušťce 18 mm je tento rozměr 410 mm). Vzorky budou odebrány v počtu 8 ks ve směru rovnoběžně s podélnou osou plochy desky. Každý vzorek bude opatřen popisem, který obsahuje pořadové číslo vzorku, výrobce a druh. Nepřesnost při vymanipulování by neměla být větší než 0,1 mm.



Obr. 10 Příklad nářezového plánu pro odebrání zkušebních vzorků  
Zdroj: ČSN EN 326-1

#### 4.4.2 Zjišťování rozměrů zkušebních těles

Zjištění rozměrů zkušebních těles se podle ČSN EN 325 rozumí stanovení délky, tloušťky a šířky zkušební tělesa pomocí certifikovaných délkových měřících zařízení – mikrometru nebo jednoduchého měřícího přístroje, jehož dílky stupnice musí dovolovat členění s přesností 0,01 mm. Při měření s posuvným měřidlem se jeho čelisti přiloží volně, bez nadměrného tlaku na zkušební těleso přibližně v úhlu 45° k rovině tělesa.

#### 4.4.3 Zjišťování hustoty

Zjištění hustoty bude prováděno podle ČSN EN 323. Podstatou zkoušky je zjištění hustoty jako poměru hmotnosti zkušební tělesa k objemu, přičemž se obě měření provádí při stejné vlhkosti. Díky těmto výsledkům je možno stanovit hustotu celé desky.

Zkušební zařízení potřebné pro tuto metodu je přístroj na měření délky, tloušťky a šířky. Také je potřebná váha s dostatečnou přesností. Zkušební tělesa musí mít tvar čtverce se stranou 50 mm. Tělesa se klimatizují v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu  $65 \pm 5 \%$  a teplotou  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Každé těleso se zváží s přesností na 0,01 g. Rozměr těles se zjistí tak, že hloubka  $t$  se měří v bodě průsečíků úhlopříček s přesností na 0,05 mm a rozměry  $b_1$  a  $b_2$  se měří ve dvou bodech rovnoběžně s hranami zkušebního tělesa na průsečíkem úhlopříček s přesností na 0,1 mm.

Hustota je následně vypočítána podle následujícího vzorce:

$$\rho = \frac{m}{b \cdot l \cdot t} \cdot 10^6 \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

kde:

$m$  ... hmotnost zkušebního tělesa [g]

$b, l, t$  ... rozměry zkušebního tělesa [mm]

#### 4.4.4 Klimatizace

Podle ČSN EN 323 se v případě potřeby vzorky klimatizují v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu  $65 \pm 5 \%$  a teplotou  $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nejčastěji se vzorky vkládají do tzv. klimatizační komory kde panují tyto hodnoty vlhkosti vzduchu a teploty. Hmotnost  $m$  se považuje za ustálenou, když výsledek dvou měření provedených v rozmezí 24 hodin se vzájemně neliší o více jak 0,1 % hmotnosti zkušebního tělesa. Každé těleso se zváží s přesností na 0,01 g, rozměry zkušebních těles se zjišťují dle ČSN EN 325.

Výsledkem zjišťování, zda je vlhkost v materiálu ustálená, je hustota  $\rho$  každého zkušebního tělesa v  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ , (s přesností na tři desetinná místa) vypočítaná dle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{b \cdot l \cdot t} \cdot 10^6 \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

kde:

$m$  ... hmotnost zkušebního tělesa [g]

$b, l, t$  ... rozměry zkušebního tělesa [mm]

#### 4.4.5 Zjišťování vlhkosti

Podle ČSN EN 322 je podstatou zkoušky zjištění ztráty hmotnosti zkušební tělesa mezi jeho stavem v době odběru vzorků a po vysušení, či naopak, do konstantní hmotnosti při teplotě  $103 \pm 2$  °C. Zkušební zařízení jsou váhy s dovolenou chybou vážení 0,01 g, větraná sušárna s termostatem umožňující udržovat teplotu  $103 \pm 2$  °C. Zkušební tělesa musí mít stejnou tloušťku jako deska, ze které byla vymanipulována. Tělesa mají být uložena v sušárně při teplotě  $103 \pm 2$  °C až do stavu dosažení konstantní hmotnosti (výsledky dvou měření v intervalu 6 h se vzájemně neliší o více jak 0,1 % hmotnosti zkušební tělesa).

V našem případě je podstatná vlhkost, dosažená po klimatizaci tělesa, která je rovnovážnou vlhkostí dřeva při dané relativní vlhkosti vzduchu a teploty okolního prostředí. Vlhkost  $W$ , vyjádřená v %, zkušební tělesa se vypočítá ze vztahu:

$$w = \frac{m_k - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde:

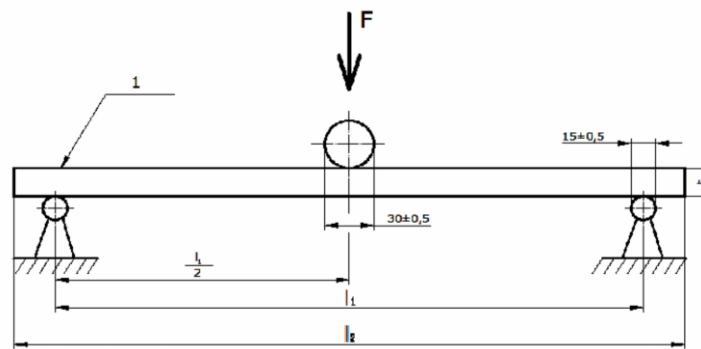
$m_k$  ... hmotnost zkušební tělesa po klimatizaci (při ustálení hustoty dle ČSN EN 323)

$m_0$  ... hmotnost zkušební tělesa při vlhkosti 0 %

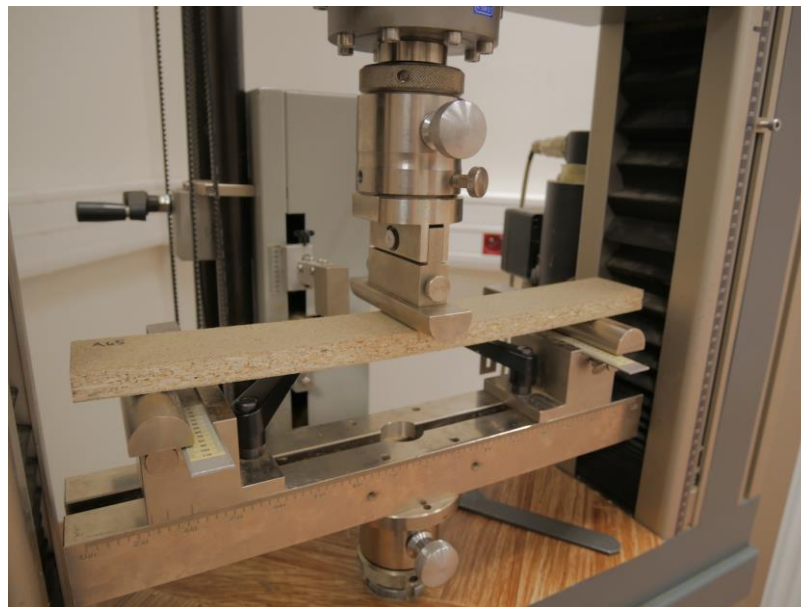
#### 4.4.6 Stanovení pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu

Podle ČSN EN 310 se pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu stanoví statickým zatížením zkušební tělesa v jeho středu. Zkušební těleso je uloženo na dvou podpěrách. Modul pružnosti se vypočítá z lineární části zatěžovací křivky. Musíme brát v úvahu, že vypočítaná hodnota je pouze přibližný, ne skutečný modul, jelikož zkušební metoda zahrnuje kromě ohybu i smyk. Pevnost v ohybu se vypočítá jako podíl ohybového momentu  $M$  při největším zatížení zkušební tělesa a modulu průřezu  $W$ .

Rozměr zkušebních těles, měřící přístroje a způsob měření stanovuje ČSN EN 325. Měřící zařízení (obr. 11) musí mít dvě válcové podpěry o průměru  $15 \pm 0,5$  mm, s možností volného otáčení okolo osy, a délku větší, než je šířka zkušebního tělesa. Vzdálenost podpěr musí být nastavitelná. Válcová zatěžovací hlava má průměr  $30 \pm 0,5$  mm a je umístěná rovnoběžně s podpěrami v poloviční vzdálenosti mezi nimi. Vzdálenost podpěr se nastaví s přesností na 1 mm na dvacetinásobek jmenovité tloušťky desky, nejméně však 100 mm a nejvíce 1000 mm. Zkušební těleso se položí plošně na podpěry, podélnou osou v pravém úhlu k těmto podpěrám, se středem pod zatěžovací hlavou.



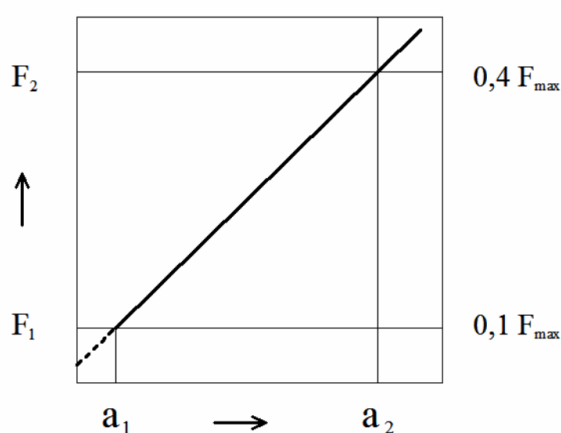
Obr. 11 Uspořádání ohybové zkoušky  
Zdroj: ČSN EN 310



Obr. 12 Probíhající zkouška v ohybu na přístroji ZWICK 050  
Zdroj: Vlastní pořízený snímek z měření

Posuv hlavy se pohybuje konstantní rychlostí tak, aby maximální zatížení při porušení zkušební tělesa došlo v čase  $60 \pm 30$  s. Zkušební zařízení musí být schopno záznamu maximálního zatížení s přesností na 1 % z naměřené hodnoty a měřit průhyb (extenzometr) uprostřed zkušební tělesa – pod zatěžovací hlavou, s přesností na 0,1 mm.

Výstupy měření, užitá dále do výpočetních vztahů pro určení pevnosti a modulu pružnosti v ohybu, se získávají s využitím hodnot  $0,1 \cdot F_{\max}$  a  $0,4 \cdot F_{\max}$  a jim odpovídající hodnoty průhybu zkušební tělesa  $a_1$  a  $a_2$  (obr 12).



Obr. 13 Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace  
Zdroj: Vlastní pořizovaný snímek z měření

Modul pružnosti  $E_m$  v  $[N \cdot mm^{-2}]$  pro každé zkušební těleso (vyjádřený a tři platné číslice):

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

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 v [N].  $F_1$  musí být přibližně 10 % a  $F_2$  40 % z maximálního zatížení  $F_{\max}$

$(a_2 - a_1)$  ... přírůstek průhybu ve středu délky zkušební tělesa (odpovídající  $F_2 - F_1$ ) [mm]



Pevnost v ohybu  $f_m$  v  $[N \cdot mm^{-2}]$  pro každé zkušební těleso:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^2} \quad [N \cdot mm^{-2}]$$

Pevnost v ohybu pro každou skupinu zkušebních těles je aritmetický průměr pevností v ohybu odpovídajících zkušebních těles, vyjádřená na tři platné číslice.

#### 4.4.7 Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky

Tato metoda se stanovuje podle ČSN EN 319. Potřebná zařízení pro tuto zkoušku jsou posuvné měřítko a zkušební stroj s upínacím přípravkem. Zkušební těleso musí být podle normy čtvercového tvaru o straně  $50 \pm 1$  mm. Strany musí být rovné a čisté. Strany čtverce musí svírat  $90^\circ$ .



Obr. 14 Probíhající zkouška v tahu na přístroji ZWICK 050  
Zdroj: Vlastní pořizovaný snímek z měření

Výsledek zkoušky se poté vyjádří podle vzorce:

$$f = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad [N \cdot mm^{-2}]$$

kde:

$F_{max}$  ... zatížení působící na těleso v okamžiku porušení [N]

$a, b$  ... délka a šířka zkušební tělesa [mm]

#### 4.4.8 Analýza získaných dat

Získané hodnoty meze pevnosti a modulu pružnosti zkušebních těles se dále využívají k vytvoření statických analýz.

Z tohoto výběrového souboru je nejprve potřeba vyřadit extrémní hodnoty, které nám odhalí tzv. krabicový graf. Jako graf rozložení skutečných četností použijeme histogram (sloupcový graf četností). Dále využijeme popisné statistiky pro získání přehledu o hodnotách výsledků souboru či vlastností souboru. Analyzovaná data budou shrnuta tabulkami a vyjádřena v grafické podobě.

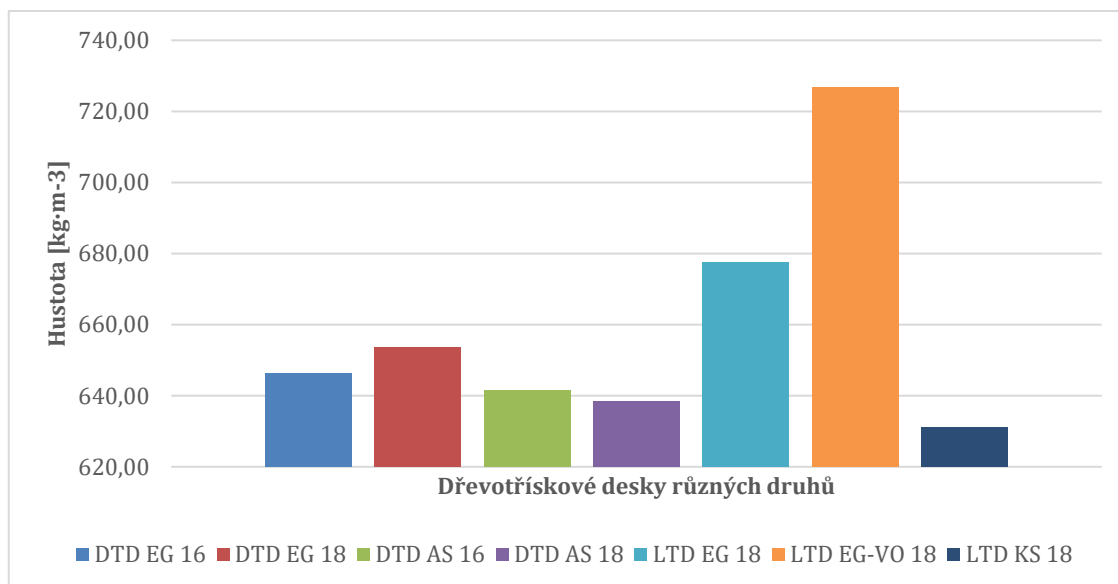
## 5 Vyhodnocení výsledků

### 5.1 Hustota

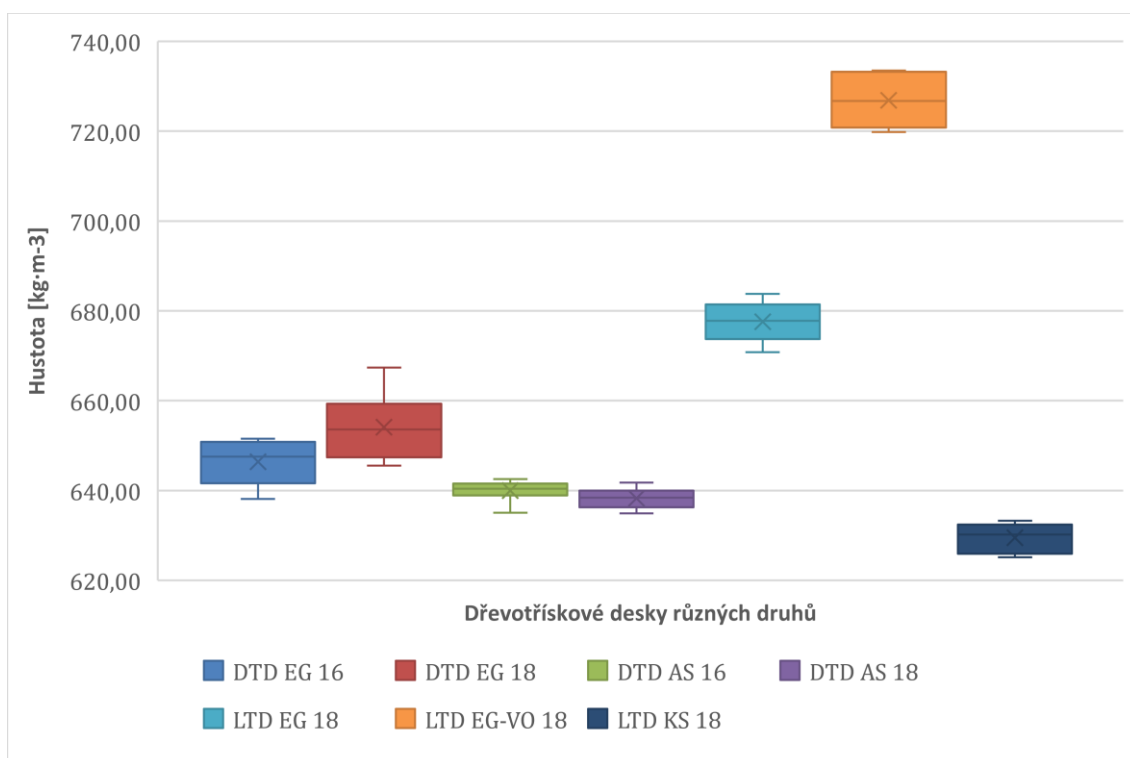
Měřením bylo zjištěno, že desky dosahují rozdílných průměrných hodnot hustoty. Nejnižší hodnotu můžeme pozorovat u LTD Kronospan tloušťky 18 mm, kde je průměrná hustota 631,02 kg/m<sup>3</sup>. Následuje DTD Asko tloušťky 18 mm s hodnotou 638,27 kg/m<sup>3</sup>. Nejvyšších hodnot dosahuje LTD Egger 18 mm s hodnotou 726,69 kg/m<sup>3</sup>. Výrobci uvádí hustotu desek okolo 600 kg/m<sup>3</sup>, což veškeré zkoušené desky dosahují.

Tab. 6 Popisná statistika hustoty

Charakter	DTD EG 16 [kg·m <sup>-3</sup> ]	DTD EG 18 [kg·m <sup>-3</sup> ]	DTD AS 16 [kg·m <sup>-3</sup> ]	DTD AS 18 [kg·m <sup>-3</sup> ]	LTD EG 18 [kg·m <sup>-3</sup> ]	LTD EG-VO 18 [kg·m <sup>-3</sup> ]	LTD KS 18 [kg·m <sup>-3</sup> ]
Průměr	646,22	653,65	641,53	638,27	677,67	726,69	631,02
Min.	638,15	645,51	635,02	634,94	670,82	719,84	625,14
Max.	651,54	667,37	642,54	641,78	683,79	733,52	633,24
Sm. Odch.	4,81	6,99	2,35	2,18	4,18	5,29	2,95



Obr. 15 Graf průměrných hodnot hustoty



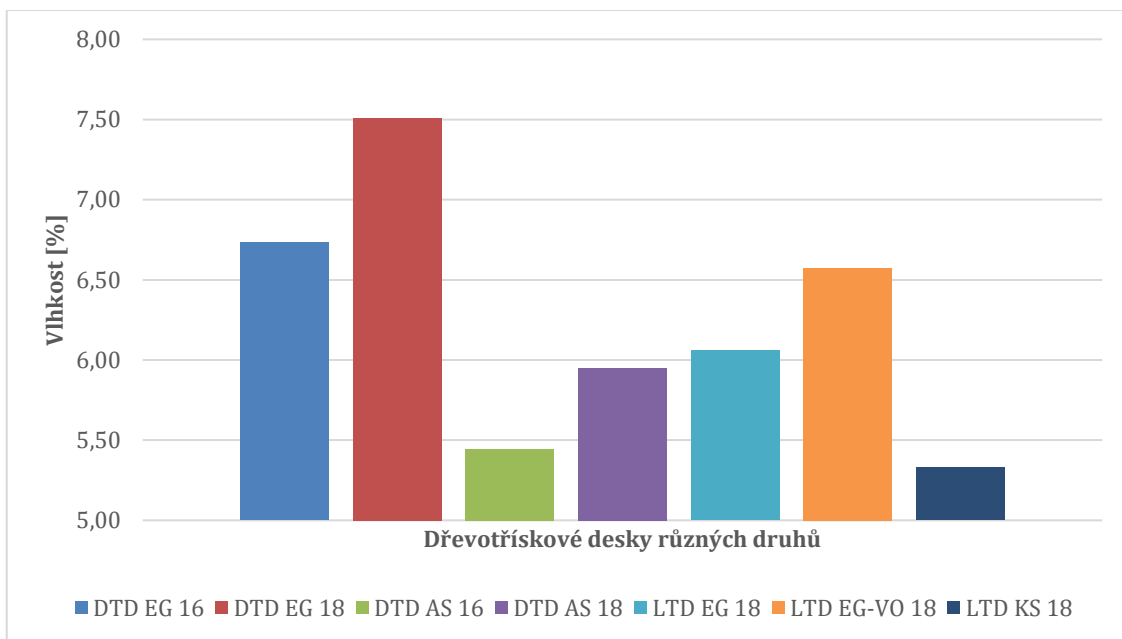
Obr. 16 Krabicový graf hustoty

## 5.2 Vlhkost

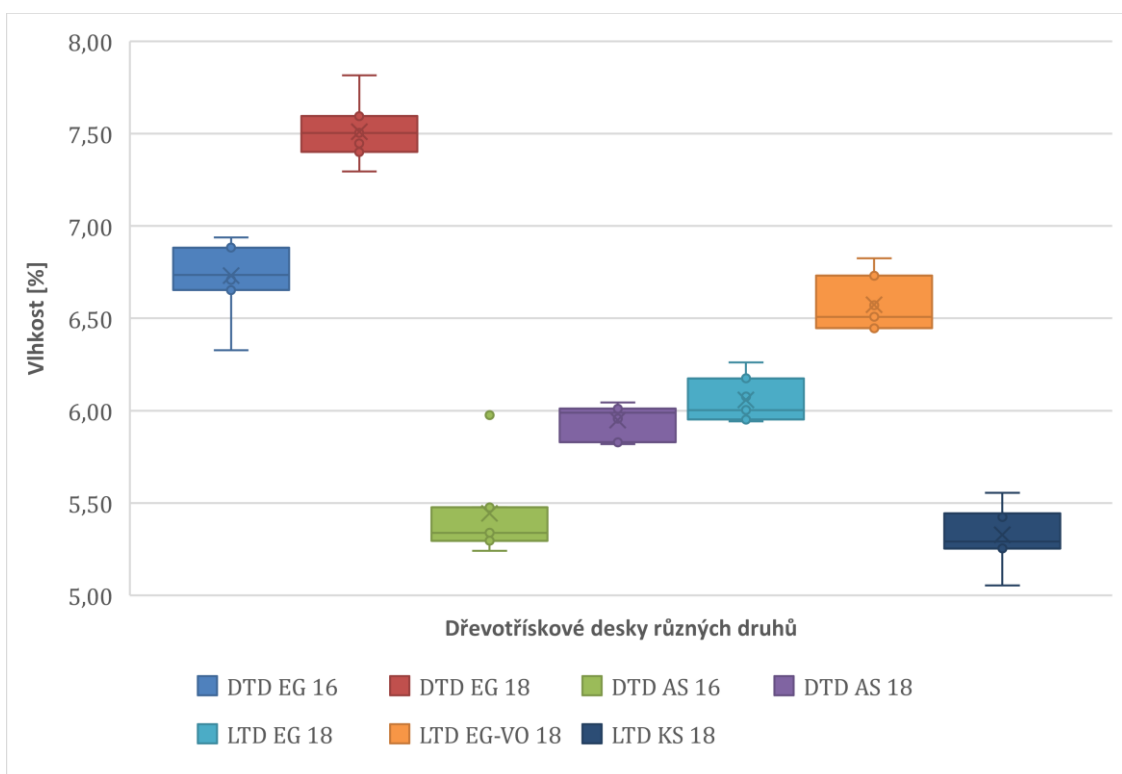
Vlhkost desek se v průměru pohybuje okolo 6 %. Nejvyšších průměrnou hodnot 7,51 % dosahuje DTD Egger tloušťky 18 mm nejnižší hodnotu 5,33 % dosahuje LTD Kronospan tloušťky 18 mm. Desky by měly dosahovat v průměru stejných hodnot vlhkosti, jelikož byly uloženy ve stejném klimatickém prostředí, vlhkostní rozdíl však není až tak znatelný.

Tab. 7 Popisná statistika vlhkosti

Charakter	DTD EG 16 [%]	DTD EG 18 [%]	DTD AS 16 [%]	DTD AS 18 [%]	LTD EG 18 [%]	LTD EG-VO 18 [%]	LTD KS 18 [%]
Průměr	6,73	7,51	5,44	5,95	6,06	6,57	5,33
Min.	6,33	7,30	5,24	5,82	5,94	6,45	5,05
Max.	6,94	7,82	5,98	6,04	6,26	6,83	5,56
Sm. Odch.	0,19	0,15	0,23	0,08	0,11	0,14	0,15



Obr. 17 Graf průměrných hodnot vlhkosti



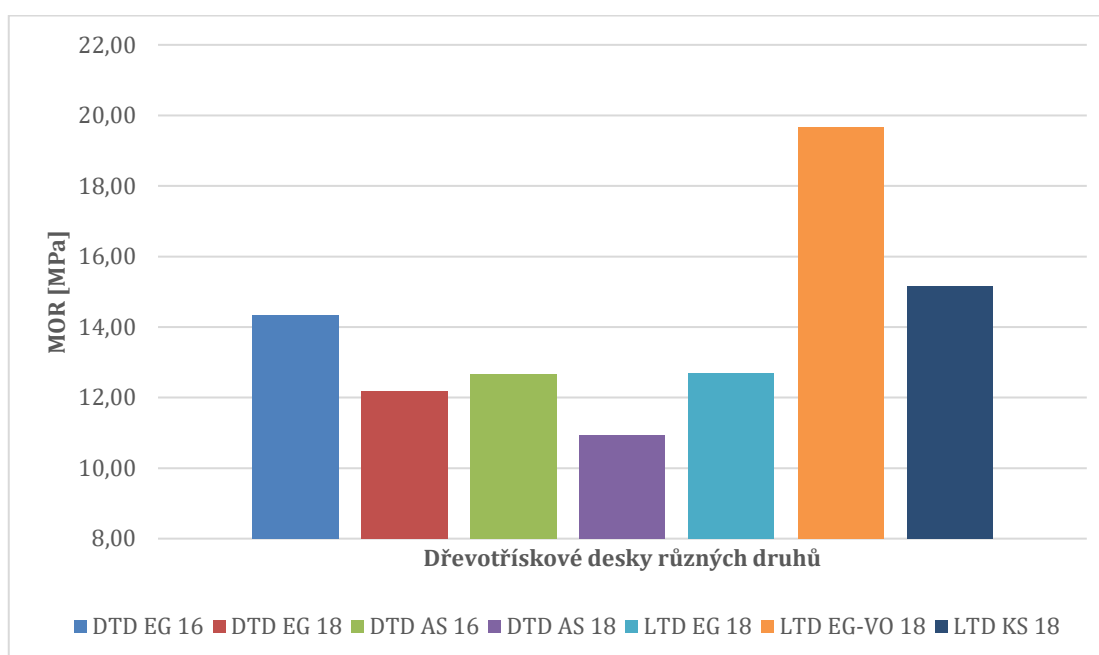
Obr. 18 Křabicový graf vlhkosti

### 5.3 Modul pevnosti v ohybu – MOR (podélný)

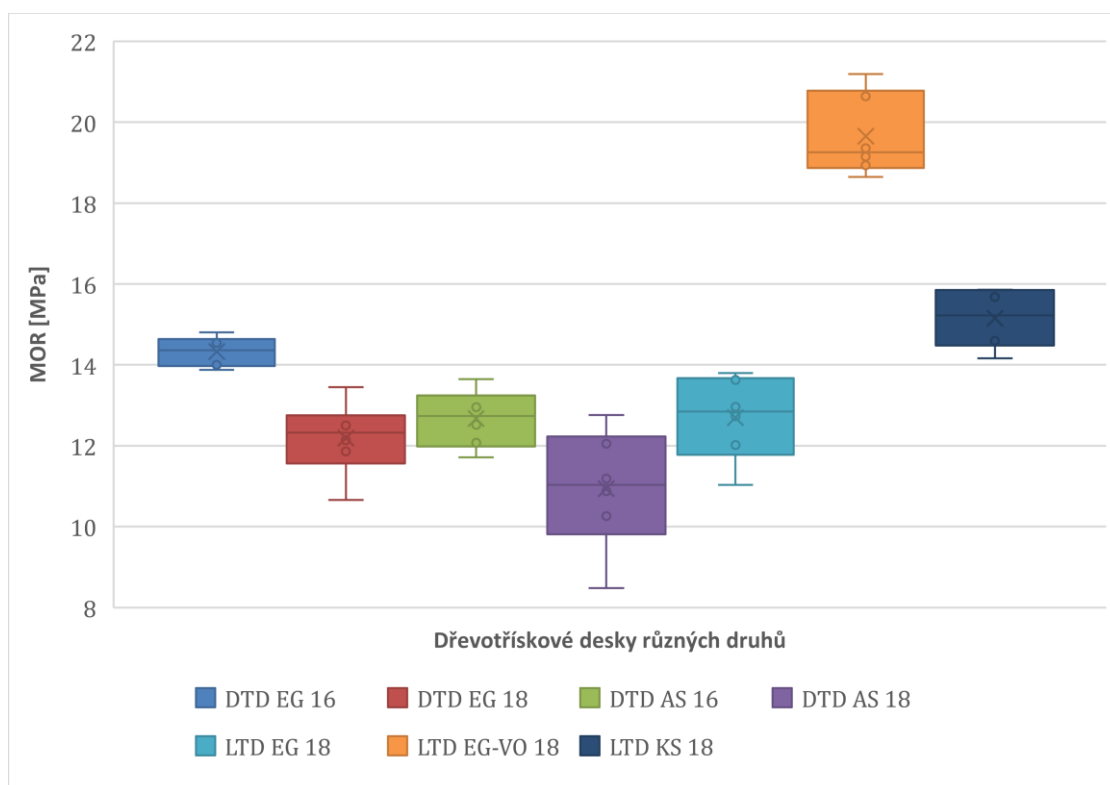
Bylo zjištěno, že mezi jednotlivými deskami existuje významný rozdíl v modulu pevnosti v ohybu. Nejvyšších hodnot dosahuje LTD Egger (voděodolná) tloušťky 18 mm s hodnotou 19,66MPa. Další v pořadí je LTD Kronospan tloušťky 18 mm s hodnotou 15,15MPa. Minimální hodnoty dosahuje DTD Asko tloušťky 18 mm, u které byla naměřená hodnota pouhých 10,94MPa.

Tab. 8 Popisná statistika MOR

Charakter	DTD EG 16 [MPa]	DTD EG 18 [MPa]	DTD AS 16 [MPa]	DTD AS 18 [MPa]	LTD EG 18 [MPa]	LTD EG-VO 18 [MPa]	LTD KS 18 [MPa]
Průměr	14,33	12,19	12,67	10,94	12,70	19,66	15,15
Min.	13,88	10,66	11,71	8,48	11,03	18,65	14,16
Max.	14,8	13,45	13,65	12,76	13,8	21,19	15,86
Sm. Odch.	0,33	0,84	0,65	1,36	0,95	0,93	0,67



Obr. 19 Graf průměrných hodnot MOR



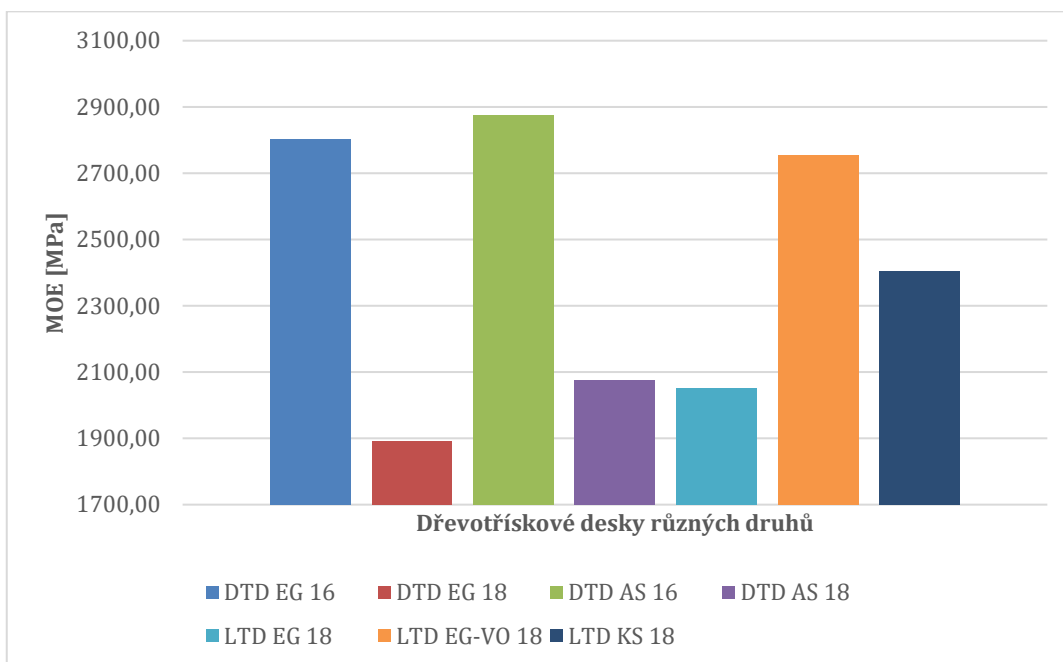
Obr. 20 Krabicový graf MOR

## 5.4 Modul pružnosti v ohybu – MOE (podélný)

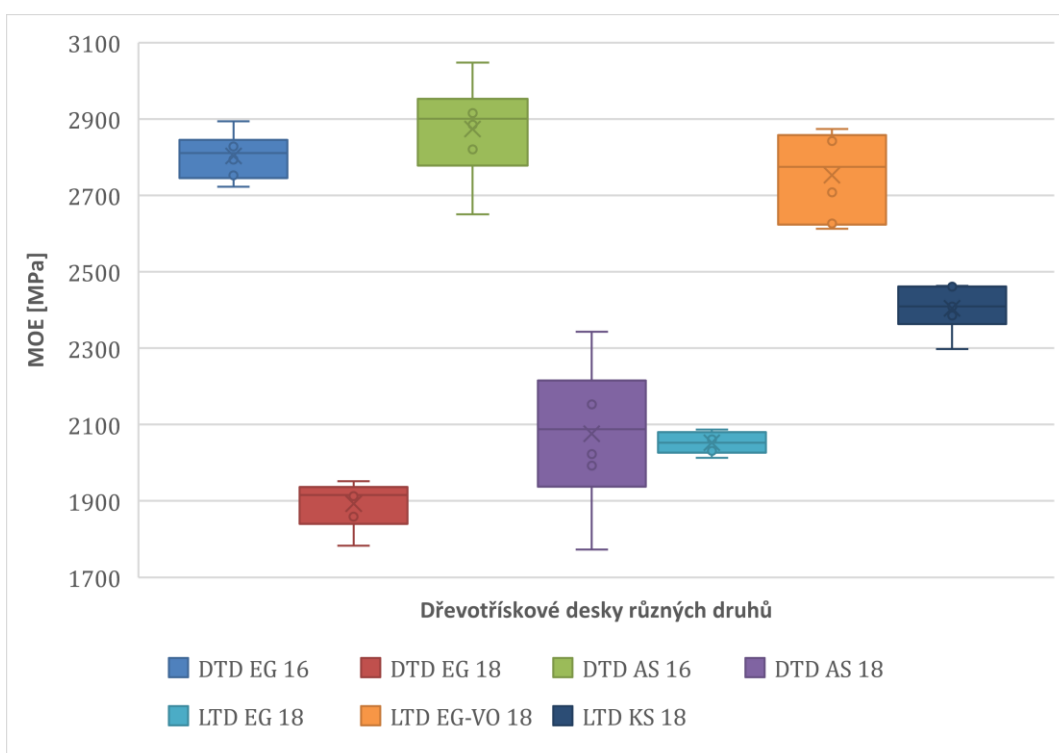
Bylo zjištěno, že jednotlivé desky vykazují zásadně rozdílných hodnot modulu pružnosti v ohybu. Nejvyšší hodnotu dosahuje DTD Asko tloušťky 16 mm, kde je průměrná hodnota 2873,55MPa. Dále DTD Egger tloušťky 16 mm s hodnotou 1803,33MPa, dále v pořadí LTD Egger (voděodolná) tloušťky 18 mm s hodnotou 2752,78MPa. Minimální hodnoty dosahuje DTD Egger tloušťky 18 mm s hodnotou 1892,74MPa.

Tab. 9 Popisná statistika MOE

Charakter	DTD EG 16 [MPa]	DTD EG 18 [MPa]	DTD AS 16 [MPa]	DTD AS 18 [MPa]	LTD EG 18 [MPa]	LTD EG-VO 18 [MPa]	LTD KS 18 [MPa]
Průměr	2803,33	1892,74	2873,55	2076,10	2052,32	2752,78	2404,18
Min.	2722,54	1782,47	2650,33	1772,72	2012,67	2613,09	2297,64
Max.	2893,71	1951,86	3047,52	2343,38	2087,21	2873,67	2463,23
Sm. Odch.	55,77	56,87	120,52	177,29	25,95	108,05	55,46



Obr. 21 Graf průměrných hodnot MOE



Obr. 22 Krabicový graf MOE

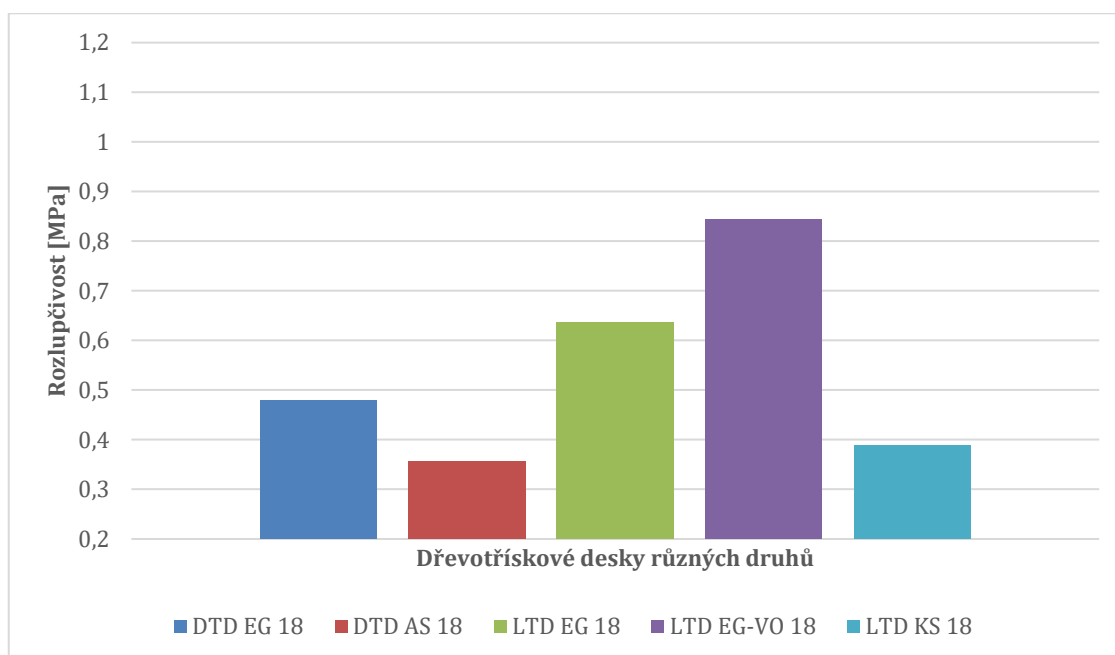


## 5.5 Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky – Rozlupčivost

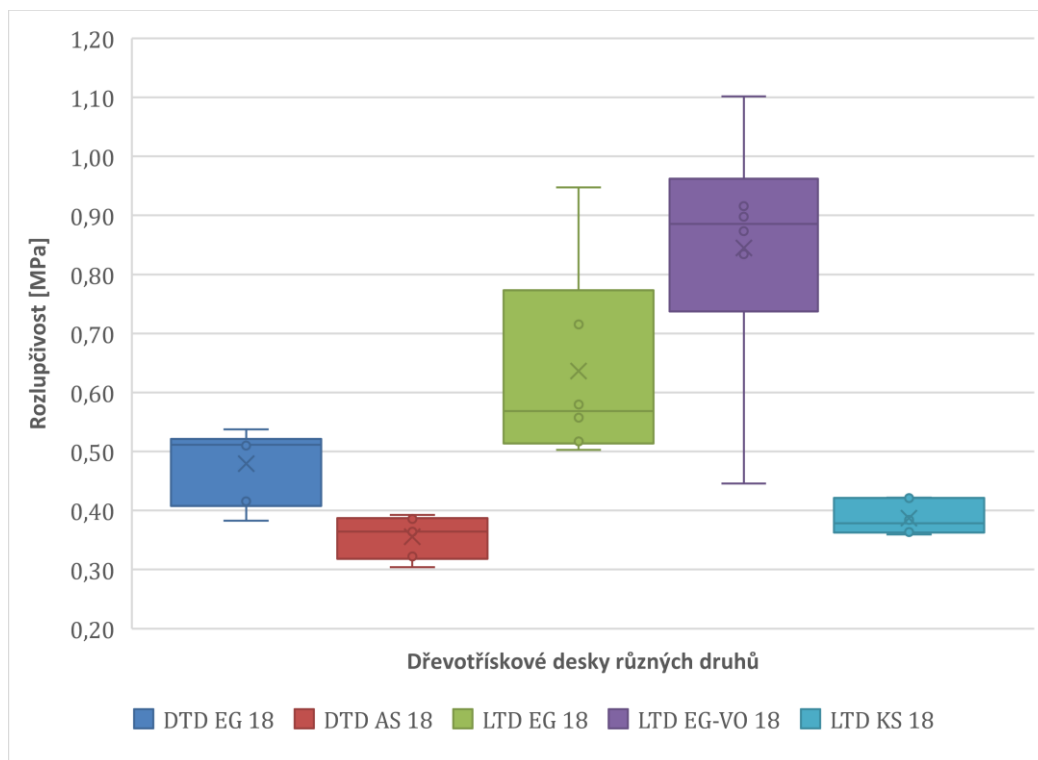
U pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky byl zúžen výběr desek pouze na desky tloušťky 18 mm. Vybrané desky dosahují výrazně rozdílných průměrných hodnot rozlupčivosti. Nejvyšší hodnotu dosahuje voděodolná LTD Egger s hodnotou 0,84 MPa. Další v pořadí je LTD Egger s hodnotou 0,64 MPa. Středních hodnot dosahuje DTD Egger s hodnotou 0,48 MPa. Nízkou hodnotu dosahuje LTD Kronospan s hodnotou 0,39 MPa a nejnižší poté DTD Asko s hodnotou 0,36 MPa.

Tab. 10 Popisná statistika rozlupčivosti

Charakter	DTD EG 18 [MPa]	DTD AS 18 [MPa]	LTD EG 18 [MPa]	LTD EG-VO 18 [MPa]	LTD KS 18 [MPa]
Průměr	0,48	0,36	0,64	0,84	0,39
Min.	0,38	0,30	0,50	0,45	0,36
Max.	0,54	0,39	0,95	1,10	0,42
Sm. Odch.	0,06	0,03	0,16	0,20	0,03



Obr. 23 Graf průměrných hodnot rozlupčivosti



Obr. 24 Krabicový graf rozlupčivosti

## 6 Diskuze

Cílem práce bylo posouzení kvality lepení kompozitních materiálů na bázi dřeva. Byly vybrány dřevotřískové a laminotřískové desky od různých výrobců. Otázkou také bylo, zda se kvalita DTD zakoupených v běžných stavební supermarketech pohybuje na stejné úrovni.

Byla zjištěna hustota desek, kterou většina výrobců uvádí přibližně  $600 \text{ kg/m}^3$ . Tuto hodnotu dosáhly všechny měřené desky. Nejnižší hustotu dosáhla LTD Kronospan 18 mm s hodnotou  $631,02 \text{ kg/m}^3$ . Naopak nejvyšší hodnotu dosáhla voděodolná LTD Egger 18 mm, což bylo předvídatelné, jelikož se do lepící směsi přidávají příměsi, které zajišťují voděodolnost desky. Nebyl zjištěn zásadní rozdíl hustoty mezi tloušťkou desky 16 a 18 mm. Proces laminování zvyšuje hustotu desky čehož si můžeme všimnout u desek Egger, DTD dosahuje průměrné hodnoty hustoty  $653,65 \text{ kg/m}^3$  oproti tomu stejná deska dokončená povrchovou úpravou laminací dosahuje  $677,67 \text{ kg/m}^3$ , což představuje nárůst hustoty o 3,4 %.

Vlhkost desek dosahovala v průměru 6 %, což představuje dobrý základ pro přesná měření dalších vlastností desek, jelikož vlhkost zásadně ovlivňuje jejich fyzikální a mechanické vlastnosti.

U měření modulu pevnosti v ohybu dopadla nejhůře deska Asko tloušťky 18 mm s hodnotou 10,94 MPa, která byla zakoupena ve stavebním supermarketu. Tato deska spadá podle ČSN EN 312 do kategorie P1 (desky pro všeobecné účely pro použití v suchém prostředí) viz. tabulka č. 1. Deska stejného výrobce tloušťky 16 mm již splňuje požadavky pevnosti v ohybu pro kategorii P2 stejně jako všechny ostatní měřené desky. Nejlepší výsledky měla voděodolná LTD Egger 18 mm s 19,66 MPa. Podle ČSN EN 312 je tuto desku možno použít k nosným účelům ve vlhkém prostředí nebo jako zvlášť zatíženou desku v suchém prostředí. Velice dobrých hodnot dosahuje také LTD Kronospan 18 mm s hodnotou 15,15 MPa, u které se ukázalo, že má nejnižší hustotu ze všech testovaných. Hustota nemá tedy

přímý vliv na pevnost desky v ohybu, ale ovlivňuje ji spousta dalších faktorů při výrobě.

Bylo zjištěno, že jednotlivé desky dosahují zásadně rozdílných hodnot modulu pružnosti v ohybu. Je patrné, že desky tloušťky 16 mm dosahují vyšších hodnot než desky tloušťky 18 mm. To se dá odůvodnit tím, že měřené tělísko má menší průřez, a z toho důvodu vznikají i menší smykové síly, které nebrání v průhybu při zatížení. Vysokých hodnot dosahuje voděodolná LTD Egger tloušťky 18 mm (2752,76 MPa). Domnívám se, že čím více lepidla je při výrobě desky použito, tím lepší má tato deska ohybové vlastnosti. Tyto vlastnosti však také ovlivňují výrobní postupy, kvalita použitého vstupního materiálu a zásadní vliv má i povrchová úprava. Můžeme si všimnout, že LTD Egger 18 mm dosahuje 4,2 % nárůst pevnosti v ohybu a 8,4 % nárůst pružnosti v ohybu oproti totožné desce bez povrchového dokončení.

U pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky byl zúžen výběr desek pouze na desky tloušťky 18 mm. Desky i přesto dosahují výrazně rozdílných hodnot rozlupčivosti. Nejvyšších hodnot dosahuje voděodolná LTD Egger s 0,84 MPa. Bardak et. al (2011) uvádí hodnoty rozlupčivosti 0,272-0,516 MPa, tyto hodnoty se však nevztahují k voděodolným deskám. LTD Egger s hodnotou rozlupčivosti 0,64 MPa dosahuje nadprůměru oproti hodnotám zmíněným v literatuře. Z toho lze usoudit, že kvalita lepení u této desky je velmi dobrá. Ostatní desky spadají do vymezeného rozpětí hodnot. Nejhůře dopadla DTD Asko zakoupená ve stavebním supermarketu s průměrnou hodnotou 0,36 MPa.

Ze získaných výsledků můžeme usoudit, že kvalita jednotlivých desek se výrazně liší. Deska Asko 18 mm zakoupená v běžném stavebním supermarketu dosahuje podle ČSN EN 312 nižší kategorie než kterákoliv z ostatních desek. Má také nejnižší hodnotu rozlupčivosti, což poukazuje na nízkou kvalitu lepení této desky. Desky Kronospan dosahují dobrých hodnot pevnosti a pružnost v ohybu, jejich rozlupčivost je však nižší, než je průměrná. To může být zapříčiněno různým příčným hustotním profilem u desek. Desky Egger dosahují velice dobrých výsledků pevnosti v ohybu i rozlupčivosti, tyto desky mají nejlepší kvalitu lepení.

## 7 Závěr

Práce se zabývala kvalitou lepení kompozitních materiálů na bázi dřeva. Byly vybrány dřevotřískové a laminotřískové desky tloušťky 16 a 18 mm od různých výrobců pro jejich porovnání mezi sebou. U těchto desek byla zjištěna hustota, vlhkost, modul pevnosti v ohybu, modul pružnosti v ohybu a rozlupčivost.

Výsledky těchto měření se staticky porovnal a byly vytvořeny sloupcové a krabicové grafy pro lepší představu výsledných hodnot. Testování výše uvedených vlastností desek probíhalo podle platných norem a je blíže popsáno v kapitole Metodika.

Z výsledků vyplývá, že kvalita lepení se u jednotlivých výrobců zásadně liší. Také byl potvrzen fakt, že povrchová úprava laminování má kladný vliv na mechanické vlastnosti dřevotřískových desek.

Kvalita lepení kompozitních materiálů zásadně ovlivňuje výslednou kvalitu. Měla by tedy být jedním z hlavních kritérií při výběru kompozitních materiálů na bázi dřeva.

## 8 Summary

This thesis deals with the quality of gluing of composite materials based on wood. Chipboard and laminated chipboard panels of 16 and 18 mm thickness were selected from different manufacturers to compare them with each other. Density, moisture, bending strength modulus, bending modulus and friability were found on these panels.

The results of these measurements were statically compared and column and box charts were created to give a better idea of the resulting values. Testing of the aforementioned properties of the boards was carried out according to valid standards how is described in detail in the Methodology section.

The results show that the quality of bonding varies considerably between manufacturers. It was also confirmed the fact that laminating has a positive effect on the mechanical properties of chipboard.

The quality of bonding of composite materials has a fundamental effect on final quality. It should be one of the main criteria for the selection of wood-based composite material quality.

## 9 Seznam použité literatury

BAKER, W. A. (2002) Wood Structural Panels in Wood Handbook, APA – The Engineered Wood Association. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN: 0-07-136029-8.

CO JE LAMINO? Nábytek dnes.cz [online]. Praha: Nábytek dnes.cz, 2014 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.nabytek-dnes.cz/co-je-lamino-p20>

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

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. Technologie výroby aglomerovaných materiálů. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 218 s. ISBN 8071574287.

HRÁZSKÝ, J. -- KRÁL, P. Analysis of properties of boards for concrete formwork. Journal of forest science. 2004. sv. 50, č. 8, s. 382--398. ISSN 1212-4834.

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. Kompozitní materiály na bázi dřeva. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 253 s. ISBN 978-80-7375-034-3.

JANÁK, K.; KRÁL, P. Technologie I pro studijní obor Nábytkářství. 1. vyd., Praha: Informatorium, 2003. ISBN 80-7333-003-2 s. 204

KELLY, M. W. (1977) Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. Gen. Tech. Rep. FPL-20, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.

KRÁL, P. Dýhy, překližky a lepené materiály. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.

KRÁL, P. Dýhy, překližky a lepené materiály: cvičení. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. 160 s. ISBN 978-80-7375-654-3.

KRÁL, P. -- KLÍMEK, P. Utilization of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) wood in plywood production using different processing pressures. Journal of forest science. 2014. sv. 60, č. 12, s. 495--499. ISSN 1212-4834. URL: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/138087.pdf>

LAM, F. (2001) Modern structural wood products. Progress in Structural Engineering and Materials, 4 (3): 238-245.

LEAR a. s. Základy teorie lepení. In: ABClepidla.cz [online]. Brno: Poradenské centrum společnosti LEAR a. s., 2013 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)

MATOVIČ, A., 1993. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská. 212 s. ISBN 80-7157-086-9.

MATUŠINEC, L. Posouzení procesu delaminace lepených materiálů. Diplomová práce. MENDELU Brno, 2015. 132.

MATYÁŠ M. Hustotní profil a jeho vliv na vlastnosti třískových desek – Diplomová práce, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav nauky o dřevě, 2017. 134 s

OKŘINA J. Vliv laminování na mez pevnosti a modul pružnosti dřevotřískových desek – Bakalářská práce, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav nábytku designu a bydlení, 2013. 69 s

POŽGAJ, A., et al., 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava: Príroda. 488 s. ISBN 80-07-00960-4

REISNER, J., BÖHM, M., BOMBA J. Materiály na bázi dřeva. Praha: ČZU Praha, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: [http://fd.czu.cz/~bohm/materialy\\_na\\_bazi\\_dreva.pdf](http://fd.czu.cz/~bohm/materialy_na_bazi_dreva.pdf)

SEDLIAČIK, M., Sedliačik, J. (1998) Chemické látky v drevárskom priemysle. Technická univerzita, Zvolen.

ZANETTI, M., Pizzi, A., Kamoun, C. (2003) Upgrading of MUF particleboard adhesives and decrease of melamine content by buffer and additives. Holz als Roh- und Werkstoff (61): 55–65.

ČSN EN 326-1: Desky ze dřeva – odběr vzorků, nařezávání a kontrola (část 1)

ČSN EN 325: Desky ze dřeva. Stanovení rozměrů zkušebních těles

ČSN EN 323: Dosky z dřeva. Zist'ovanie hustoty

ČSN EN 312-1: Třískové desky – Požadavky

ČSN EN 310: Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu



# 10 Přílohy

## 10.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma chemické vazby na hydroxylovou skupinu dřevních složek (Hrázský, Král 2007)

Obr. 2 Schéma smáčivosti lepidel od žádné až po ideální (Lear a. s.,2013)

Obr. 3 Schéma vztahu mezi adhezí a kohezí (Lear a. s.,2013)

Obr. 4 Model struktury třívrstvé dřevotřískové desky (Hrázský, Král 2000)

Obr. 5 Lisovací diagram třískových desek pro víceetážový lis (Hrázský, Král 2000)

Obr. 6 Vliv uzavíracího času lisu na tvorbu příčného hustotního profilu (Hrázský, Král 2000)

Obr. 7 Graf produkce DTD a OSB desek v jednotlivých letech (FAOSTAT)

Obr. 8 Graf produkce DTD a OSB desek v jednotlivých letech v Česku

Obr. 9 Produkce velkoplošných materiálů na bázi dřeva v ČR za rok 2015 (FAOSTAT)

Obr. 10 Příklad nářezového plánu pro odebírání zkušebních vzorků (ČSN EN 326-1)

Obr. 11 Uspořádání ohybové zkoušky

Obr. 12 Probíhající zkouška v ohybu na přístroji ZWICK 050

Obr. 13 Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace

Obr. 14 Probíhající zkouška v tahu na přístroji ZWICK 050

Obr. 15 Graf průměrných hodnot hustoty

Obr. 16 Krabicový graf hustoty

Obr. 17 Graf průměrných hodnot hustoty

Obr. 18 Krabicový graf hustoty

Obr. 19 Graf průměrných hodnot vlhkosti

Obr. 20 Krabicový graf vlhkosti

Obr. 21 Graf průměrných hodnot MOR

Obr. 22 Krabicový graf MOR

Obr. 23 Graf průměrných hodnot MOE

Obr. 24 Krabicový graf MOE

Obr. 25 Graf průměrných hodnot rozlupčivosti

Obr. 26 Krabicový graf rozlupčivosti

## **10.2 Seznam tabulek**

Tab. 1 Požadavky na desky tloušťkové třídy 13 až 20 mm (ČSN EN 312)

Tab. 2 Porovnání hodnot lisovacích faktorů a ostatních lisovacích veličin při lisování TD pro různé typy lisů (Hrázský, Král 2007)

Tab. 3 Produkce dřevotřískových a OSB desek od roku 1996 až do roku 2005

Tab. 4 Produkce dřevotřískových a OSB desek od roku 2006 až do roku 2015

Tab. 5 Vybrané druhy DTD a LTD ke zkouškám

Tab. 6 Popisná statistika hustoty

Tab. 7 Popisná statistika vlhkosti

Tab. 8 Popisná statistika MOR

Tab. 9 Popisná statistika MOE

Tab. 10 Popisná statistika rozlupčivosti

### 10.3 Naměřená data

<b>Vzorek</b>	<b>tloušťka</b>	<b>šířka (a)</b>	<b>šířka (b)</b>	<b>Hustota</b>	<b>Vlhkost</b>
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
E61	15,99	50,39	50,36	650,62	6,88
E62	15,97	50,41	50,46	649,88	6,88
E63	16	50,31	50,54	642,78	6,73
E64	15,95	50,53	50,37	651,54	6,65
E65	15,95	50,4	50,78	638,15	6,33
E66	15,98	50,42	50,4	645,2	6,94
E67	15,98	50,5	50,4	645,4	6,71
E81	18,14	50,48	50,4	667,37	7,5
E82	18,15	50,42	50,62	654,1	7,45
E83	18,17	50,37	50,44	653,11	7,3
E84	18,09	50,38	50,37	648,06	7,59
E85	18,14	50,55	50,41	656,57	7,82
E86	18,14	50,42	50,39	645,51	7,4
E87	18,14	50,47	50,43	650,86	7,51
A61	15,87	50,46	50,44	635,02	5,34
A62	15,87	50,96	50,41	640,2	5,24
A63	15,87	50,36	50,41	640,38	5,31
A64	15,87	50,44	50,43	640,35	5,3
A65	15,87	50,55	50,44	642,54	5,48
A66	15,88	50,58	50,48	641,25	5,48
A67	15,95	50,79	50,44	650,98	5,98
A81	17,9	50,46	50,4	639,24	5,82
A82	17,91	50,52	50,39	639,34	6
A83	17,89	50,64	50,48	641,78	5,96
A84	18,04	50,43	50,41	636,71	5,99
A85	17,92	50,49	50,45	637,51	6,01
A86	17,9	50,52	50,42	634,94	6,04
A87	17,88	50,41	50,49	638,35	5,83

<b>Vzorek</b>	<b>tloušťka</b>	<b>šířka (a)</b>	<b>šířka (b)</b>	<b>Hustota</b>	<b>Vlhkost</b>
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
E81	18,06	50,48	50,37	683,79	6,26
E82	17,97	50,26	50,39	678,96	6
E83	17,95	50,38	50,36	670,82	6,08
E84	17,92	50,53	50,54	680,67	5,95
E85	17,93	50,4	50,76	674,73	6,17
E86	17,97	50,51	50,31	676,67	6
E87	17,93	50,83	50,49	678,03	5,94
EV81	18,16	50,39	50,39	721,09	6,57
EV82	18,19	50,5	50,34	727,69	6,83
EV83	18,16	50,4	50,42	733,52	6,45
EV84	18,17	50,4	50,48	725,75	6,51
EV85	18,19	50,44	50,42	719,84	6,73
EV86	18,13	50,5	50,43	733,13	6,45
EV87	18,15	50,63	50,45	725,84	6,49

<b>Vzorek</b>	<b>tloušťka</b>	<b>šířka</b>	<b>délka</b>	<b>MOR</b>	<b>MOE</b>	<b>Rozlup</b>
	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A61	16,02	50,33	400	11,71	2650,33	x
A62	16,01	50,36	400	12,95	2915,76	x
A63	15,99	50,39	400	13,65	3047,52	x
A64	15,99	50,34	400	12,52	2921,92	x
A65	16,02	50,4	400	13,11	2885,11	x
A66	16,02	50,36	400	12,07	2820,63	x
E61	16,01	50,41	400	14,55	2893,71	x
E62	16,01	50,41	400	14	2829,71	x
E63	16	50,36	400	14,8	2793,59	x
E64	15,98	50,35	400	14,17	2827,83	x
E65	15,99	50,35	400	13,88	2722,54	x
E66	16,02	50,39	400	14,58	2752,59	x

<b>Vzorek</b>	<b>tloušťka</b>	<b>šířka</b>	<b>délka</b>	<b>MOR</b>	<b>MOE</b>	<b>Rozlup</b>
	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A81	18,15	50,4	400	8,48	1772,72	0,36
A82	18,03	50,4	400	12,05	2152,73	0,39
A83	17,94	50,42	400	12,76	2343,38	0,32
A84	17,93	50,43	400	11,19	2172,86	0,3
A85	17,93	50,4	400	10,88	2022,52	0,39
A86	18	50,36	400	10,26	1992,41	0,36
E81	18,06	50,41	400	12,5	1918,73	0,95
E82	18,04	50,3	400	13,45	1931,61	0,72
E83	18,07	50,31	400	12,52	1951,86	0,58
E84	18,08	50,37	400	11,86	1912,97	0,52
E85	18,17	50,36	400	10,66	1782,47	0,5
E86	18,05	50,42	400	12,14	1858,8	0,56
E81L	18,04	50,47	400	12,02	2087,21	0,54
E82L	18,04	50,51	400	12,96	2043,86	0,42
E83L	18	50,37	400	12,73	2031,1	0,51
E84L	18,02	50,44	400	13,63	2012,67	0,51
E85L	18	50,47	400	13,8	2077,77	0,38
E86L	18,01	50,39	400	11,03	2061,29	0,52
EV81	18,13	50,39	400	21,19	2853,09	0,83
EV82	18,14	50,26	400	18,65	2873,67	0,9
EV83	18,14	50,35	400	18,94	2842,07	0,87
EV84	18,18	50,41	400	20,64	2707,98	0,92
EV85	18,2	50,41	400	19,15	2613,09	1,1
EV86	18,18	50,4	400	19,36	2626,79	0,45
K81	18,13	50,38	400	15,86	2463,23	0,42
K82	18,13	50,33	400	14,59	2408,67	0,38
K83	18,24	50,39	400	14,77	2297,64	0,36
K84	18,06	50,41	400	15,68	2409,55	0,37
K85	18,07	50,38	400	15,85	2460,8	0,36
K86	18,1	50,39	400	14,16	2385,21	0,42