

Mendelova univerzita v Brně  
Lesnická a dřevařská fakulta  
Ústav nauky o dřevě

---

# **Analýza třísek vyráběných pomocí laboratorního mlýnu**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Doc. Dr. Ing. Pavel Král**

**Vypracoval:**

**Panáček Radan**

**Brno 2015**

Zadání práce.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Analýza třísek vyráběných pomocí laboratorního mlýnu**

zpracoval/a 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 ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, 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 o tom, 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 \_\_\_\_\_

Zvláštní poděkování za vznik této práce patří mému konzultantovi Petru Klímkovi za ochotu a vstřícnost, kterou člověk v životě mnohdy postrádá, a samozřejmě mým rodičům Ivaně a Radanovi Panáčkovým, bez kterých by vypracování této práce mou osobou nebylo vůbec možné. Zvláštní dík jim patří nejen za absolutní podporu ve studiu...

## **Abstrakt**

Práce porovnává vlastnosti třísek (kulatost, plocha, četnost) vyráběných na laboratorním mlýnu s komerčně vyráběnými třískami a dále vlastnosti desek vyrobených z těchto třísek. Také se zabývá možností využití topolového dřeva jako alternativního materiálu pro výrobu dřevotřískových desek. Laboratorně a komerčně vyrobené třísky jsou významně odlišné tvarem i četností jednotlivých velikostí třísek. Laboratorně vyrobené topolové třísky vykazují větší kulatost na rozdíl od třísek smrkových. Nejlepší vlastnosti desek byly zjištěny při použití komerčních třísek, ale využití topolu jako základní suroviny bylo vyhodnoceno velice kladně.

## **Klíčová slova zjištěny**

Analýza třísek, síťová analýza, ImageJ, dřevotřískové desky, topolové třísky, vliv tvaru třísek na vlastnosti desky, vliv dřeviny na vlastnosti desky

## **Abstract**

This work compares properties (circularity, area, frequency) between commercially produced and laboratory produced particles. Also it compares properties of particleboards made of these particles and possibility of use poplar wood for particle boards. Laboratory and commercially produced particles are significantly different in shape and frequency. Laboratory produced poplar particles show higher circularity than spruce particles. The best properties of particleboards had boards from commercial particles, but use of poplar particles as basic material was positively evaluated.

## **Keywords**

Chips analysis, sieve analysis, ImageJ, particleboards, poplar particleboards, influence of particles shape on particleboard properties, influence of wood species on particleboard properties

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíle bakalářské práce</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled</b>	<b>14</b>
3.1	Výroba základní suroviny .....	14
3.2	Měření třísek.....	14
3.3	Třídění .....	17
3.4	Výroba dřevotřískových desek .....	17
3.5	Charakteristika použitých dřevin .....	18
3.5.1	Smrk ztepilý ( <i>Picea Abies</i> ).....	18
3.5.2	Topol černý ( <i>Populus Nigra</i> ).....	18
3.6	Vliv dřeviny na vlastnosti desky.....	19
3.7	Vliv velikosti frakce na vlastnosti desky .....	20
3.7.1	Počet mikrotřísek a prachových částic .....	20
3.7.2	Tvar třísek (štíhlostní poměr).....	21
<b>4</b>	<b>Materiál a metodika</b>	<b>24</b>
4.1	Výběr druhu dřeva.....	24
4.2	Výroba třísek.....	24
4.3	Vlhkost třísek.....	25
4.4	Charakteristika frakce třísek .....	25
4.4.1	Sítová analýza .....	25
4.4.2	ImageJ .....	27
4.5	Výroba desek.....	28
4.6	Testování vlastností desky .....	29
4.6.1	Bobtnání.....	30
4.6.2	Rozlupčivost.....	30
4.6.3	Ohybová pevnost.....	30

---

<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>32</b>
5.1	Vlhkost třísek.....	32
5.2	Sítová analýza .....	32
5.3	ImageJ analýza.....	33
5.3.1	Kulatost třísek.....	33
5.3.2	Plocha třísek.....	34
5.3.3	Dřeviny.....	35
5.4	Hustota desek .....	36
5.5	Bobtnání.....	37
5.5.1	Tloušťkové bobtnání.....	37
5.5.2	Šířkové bobtnání .....	39
5.5.3	Dřeviny.....	41
5.6	Rozlupčivost.....	42
5.6.1	Dřeviny.....	43
5.7	Mez pevnosti v ohybu.....	43
5.7.1	Dřeviny.....	44
5.8	Modul pružnosti.....	44
5.8.1	Dřeviny.....	45
<b>6</b>	<b>Diskuse</b>	<b>46</b>
6.1	Vlastnosti třísek.....	46
6.2	Vlastnosti desek.....	47
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Summary</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>51</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1	Spojené národy hospodářské komise Zdroj: <a href="http://www.unece.org/oes/nutshell/ecemap.html">http://www.unece.org/oes/nutshell/ecemap.html</a>	12
Obr. 2	Procentuální využití těžného dřeva v letech 2008-2013	12
Obr. 3	Roztřískovače Zdroj: Hrázský (2000)	15
Obr. 4	Diagram výroby třísek Zdroj: Böhm (2005)	16
Obr. 5	Vibrační třídič Zdroj: Soiné (1995)	17
Obr. 6	Vliv hustoty dřeva na mez pevnosti za nezměněné hustoty DTD Zdroj: Kelly (1977)	19
Obr. 7	Vliv úbytku pryskyřice na MOR Zdroj: Arabi a kol. (2011)	21
Obr. 8	Vliv snížení hustoty na MOR Zdroj: Arabi a kol. (2011)	22
Obr. 9	Vliv úbytku pryskyřice a snížení hustoty na vnitřní soudržnost Zdroj: Arabi a kol. (2011)	22
Obr. 10	Vliv geometrie třísek a hustoty na MOR a MOE Zdroj: Shuler a Kelly (1976)	23
Obr. 11	Laboratorní mlýn Retsch SM300	24
Obr. 12	Síto třískovacího stroje	25
Obr. 13	Vibrační laboratorní třídič Retsch AS200	26
Obr. 14	Roztříděné frakce Kronospan	26
Obr. 15	Roztříděné topolové frakce	27
Obr. 16	Převod skenu na 8 bit	28
Obr. 17	Schéma požezu desek	29



---

<b>Obr. 18</b>	<b>Procentuální zastoupení třísek testovaných druhů dřeva v jednotlivých intervalech</b>	<b>32</b>
<b>Obr. 19</b>	<b>Krabicový graf - kulatost třísek</b>	<b>33</b>
<b>Obr. 20</b>	<b>1. f. ANOVA - kulatost třísek</b>	<b>33</b>
<b>Obr. 21</b>	<b>Krabicový graf - plocha třísek</b>	<b>34</b>
<b>Obr. 22</b>	<b>1. f. ANOVA - plocha třísek</b>	<b>34</b>
<b>Obr. 23</b>	<b>Krabicový graf - hustota desek</b>	<b>36</b>
<b>Obr. 24</b>	<b>1. f. ANOVA - hustota desek</b>	<b>37</b>
<b>Obr. 25</b>	<b>Krabicový graf - tloušťkové bobtnání po 2 h</b>	<b>37</b>
<b>Obr. 26</b>	<b>1. f. ANOVA - tloušťkové bobtnání po 2 h</b>	<b>38</b>
<b>Obr. 27</b>	<b>Krabicový graf - tloušťkové bobtnání po 24 h</b>	<b>38</b>
<b>Obr. 28</b>	<b>1. f. ANOVA - tloušťkové bobtnání po 24 h</b>	<b>38</b>
<b>Obr. 29</b>	<b>Krabicový graf - šířkové bobtnání po 2 h</b>	<b>39</b>
<b>Obr. 30</b>	<b>1. f. ANOVA - šířkové bobtnání po 2 h</b>	<b>39</b>
<b>Obr. 31</b>	<b>Krabicový graf - šířkové bobtnání po 24 h</b>	<b>40</b>
<b>Obr. 32</b>	<b>1. f. ANOVA - šířkové bobtnání po 24 h</b>	<b>40</b>
<b>Obr. 33</b>	<b>Krabicový graf - rozlupčivost</b>	<b>42</b>
<b>Obr. 34</b>	<b>1. f. ANOVA - rozlupčivost</b>	<b>42</b>
<b>Obr. 35</b>	<b>Krabicový graf - mez pevnosti v ohybu</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 36</b>	<b>1. f. ANOVA - mez pevnosti v ohybu</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 37</b>	<b>Krabicový graf - modul pružnosti</b>	<b>44</b>
<b>Obr. 38</b>	<b>1. f. ANOVA - modul pružnosti</b>	<b>45</b>

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b>	<b>Navážka třísek</b>	<b>29</b>
<b>Tab. 2</b>	<b>Vlhkost třísek</b>	<b>32</b>
<b>Tab. 3</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – kulatost třísek</b>	<b>34</b>
<b>Tab. 4</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – plocha třísek</b>	<b>35</b>
<b>Tab. 5</b>	<b>ImageJ – smrk I. m.</b>	<b>35</b>
<b>Tab. 6</b>	<b>ImageJ – smrk K. J.</b>	<b>35</b>
<b>Tab. 7</b>	<b>ImageJ – topol</b>	<b>36</b>
<b>Tab. 8</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – tloušťkové bobtnání po 24 h</b>	<b>39</b>
<b>Tab. 9</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – šířkové bobtnání po 2 h</b>	<b>40</b>
<b>Tab. 10</b>	<b>Bobtnání – smrk, laboratorní mlýn</b>	<b>41</b>
<b>Tab. 11</b>	<b>Bobtnání – smrk, Kronospan Jihlava</b>	<b>41</b>
<b>Tab. 12</b>	<b>Bobtnání – topol</b>	<b>41</b>
<b>Tab. 13</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – rozlupčivost</b>	<b>42</b>
<b>Tab. 14</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – mez pevnosti v ohybu</b>	<b>44</b>
<b>Tab. 15</b>	<b>Mnohonásobné porovnání – modul pružnosti</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Dřevo je významným materiálem v každodenním životě člověka. Je to materiál, který nás, lidstvo, provází již od pravěku a jeho potřeba se v průběhu časů nezmenšila. Vždy, když se našel alternativní materiál, našlo se i nové využití pro dřevo a zároveň nedošlo k jeho úplnému odstranění kvůli alternativním materiálům.

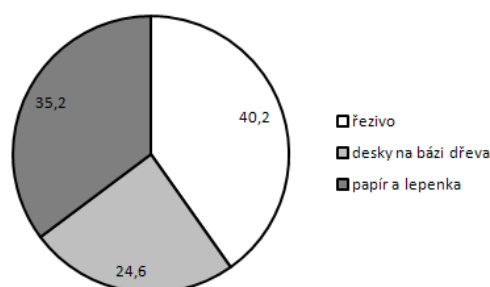
S potřebou znalosti používaného materiálu, se začaly zjišťovat jeho vlastnosti, z nichž mezi nejvýznamnější a nejvíce problémové patří nehomogenita. Ale díky znalosti dochází ke snaze tuto vlastnost odstranit, nebo alespoň redukovat a vznikají tak materiály na bázi dřeva s lepšími fyzikálními či mechanickými vlastnostmi, jako jsou lepené hranoly a překližované materiály.

S postupem času, ve snaze neplýtvat přírodními zdroji, se rozvíjí ekologie a ekonomie. Obecně je třeba co nejvíce recyklovat, využívat materiál do posledního kousku a využít i odpadu výroby, pokud možno k tvorbě nového produktu, nebo alespoň jeho využitím zajistit konkurenční výhodu. Proto v roce 1940 dochází k rozvoji dřevotřískového průmyslu, neboť je potřeba využít odpadu z dřevařského průmyslu jako jsou piliny, hobliny apod. Rowell (2006, s. 83). První továrna na výrobu dřevotřískových desek byla postavena roku 1941 v Brémách. Avšak první myšlenka výroby dřevotřískových desek v dnešní podobě byla vyjádřena již v roce 1887. Kües a kol. (2007, s. 300)

Od roku 1940 do dnešní doby se mnohé změnilo, výrobu dřevotřískových desek už nepokryjí pouze zbytky a odpady dřevařského průmyslu, podle studie hospodářské komise Spojených národů pro Evropu (2012-2013, s. 25) je jen pro region UNECE (Obr. 1) průměrná spotřeba z celkového objemu těžby na výrobu aglomerovaných materiálů za 5 let, tj. v letech 2008-2012, na desky na bázi dřeva 8,7 % (Obr. 2).



Obr. 1 Spojené národy hospodářské komise  
Zdroj: <http://www.unece.org/oes/nutshell/ecemap.html>



Obr. 2 Procentuální využití těžného dřeva v letech 2008-2013

Jak se tyto velkoplošné materiály začínají rozšiřovat a roste i jejich spotřeba a možnosti využití, vznikají i specifické požadavky na jejich funkčnost a začíná se rozvíjet i celková problematika desek na bázi dřeva. Znalost rozměrů používaných třísek na výrobu desky se stává důležitou informací, neboť štíhlostní poměr základního prvku desky ovlivňuje nejen fyzikální a mechanické vlastnosti celé desky, ale také má vliv na ekonomickou a ekologickou stránku výroby. Díky zjištění vlivu třísek můžeme vyrábět dřevotřískové desky se specifickým použitím pouze za pomoci určitého druhu třísek, bez použití jakýchkoli dalších speciálních materiálů.

## **2 Cíle bakalářské práce**

Tato práce si klade za cíl zjištění několika skutečností a závislostí. (1) Zjištění velikosti třísek vyráběných na laboratorním mlýnu s ohledem na roztřískování různých dřevních štěpek. (2) Určení velikosti používaných třísek k tradiční výrobě dřevotřískových desek. (3) Vliv velikosti, tvaru a množství částic třísek na běžně hodnocené vlastnosti třískových desek. Jen dokonalá znalost vstupní suroviny pomůže vést ke zlepšení výrobního procesu a výsledného produktu.

## 3 Literární přehled

### 3.1 Výroba základní suroviny

Jak již bylo výše zmíněno, třísky se vyrábějí z odpadu dřevařského průmyslu, ale protože toto množství nestačí na pokrytí výroby aglomerovaných materiálů, využívá se i průmyslová kulatina. Pro výrobu desek na bázi dřeva se jedná především o jakostní třídu č. 5 (dříví pro výrobu buničiny, desek na bázi dřeva), nejsou tedy kladeny velké nároky na kvalitu (viz ČSN 48 0056 a ČSN 48 0055).

Při použití kulatiny jako vstupní suroviny je nejdříve třeba surovinu dezintegrovat na menší části, které pak nazýváme štěpkou. Více tento proces popisuje Hrázský (2004). Štěpka je dále rozbíjena na menší části neboli třísky. K roztřískování lze použít různé roztřískovače (Obr. 3): diskový, frézovací, prstencový, nebo beznožový. Každý stroj díky rozmístění a poloze nožů vytváří rozměrově jiné třísky. Velikost a četnost třísek záleží na vzdálenosti nožů od sebe, na jejich počtu a ostrosti, na otáčkách nožové hlavy či míře vysunutí nožů. Böhm (2005, s. 34-37).

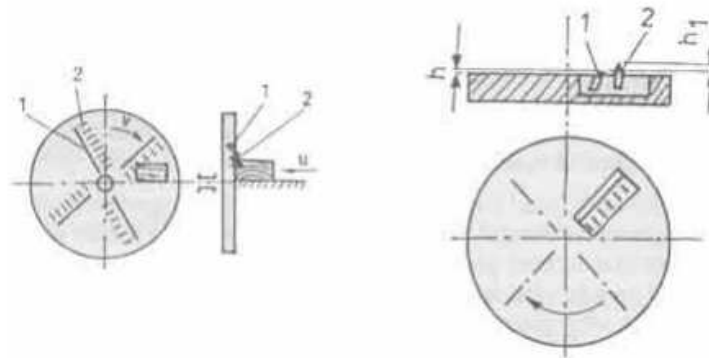
V případě použití jemného dřevařského odpadu už nedochází k roztřískování, ale pouze k domílání (domílány mohou být i třísky). Domílání slouží pro výrobu speciálních mikrotřísek pro povrchovou vrstvu, díky tomu pak můžeme dosáhnout lepšího stlačení, zkvalitnění povrchu a zvýšení hustoty desky. Böhm (2005, s. 46).

Pro lepší představu návaznosti technologií je uveden diagram výroby třísek (Obr. 4).

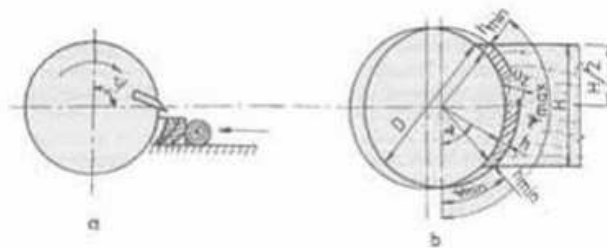
### 3.2 Měření třísek

Základem každé práce, která si klade za cíl stanovení vlastností aglomerovaného materiálu na základě velikosti či tvaru použité frakce, je zjištění rozměrů vstupní suroviny. Měření může být prováděno mechanicky, opticky, manuálně, nebo automaticky. Níže je uvedeno několik konkrétních příkladů z vědeckých prací, které posloužily jako předloha pro tuto bakalářskou práci.

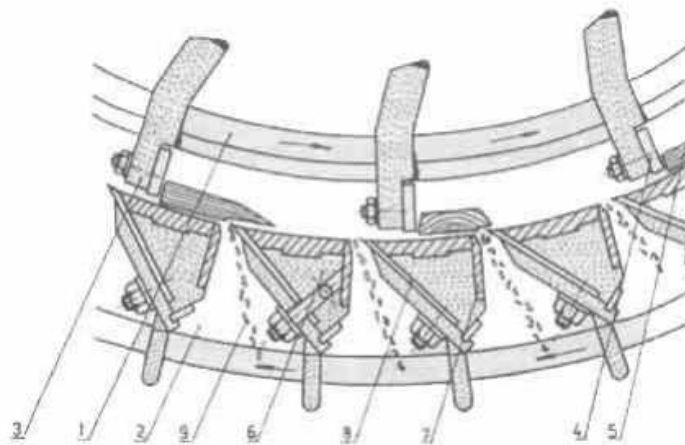
Sackey a kol. (2008) prováděli zjištění velikosti částic pouze podle síťové analýzy, ke svému výzkumu zvolili síta s velikostí ok 2; 1 a 0,5 mm. Hrubost byla zvolena podle používaných sít v továrnách na výrobu dřevotřískových desek. Stejně postupovali Arabi a kol. (2011), pouze za použití jiné hrubosti sít, která vyhovovala jejich požadavkům.



Diskový roztřískovač: 1 - krájecí nůž, 2 - nařezávací nožík (Hrázský)

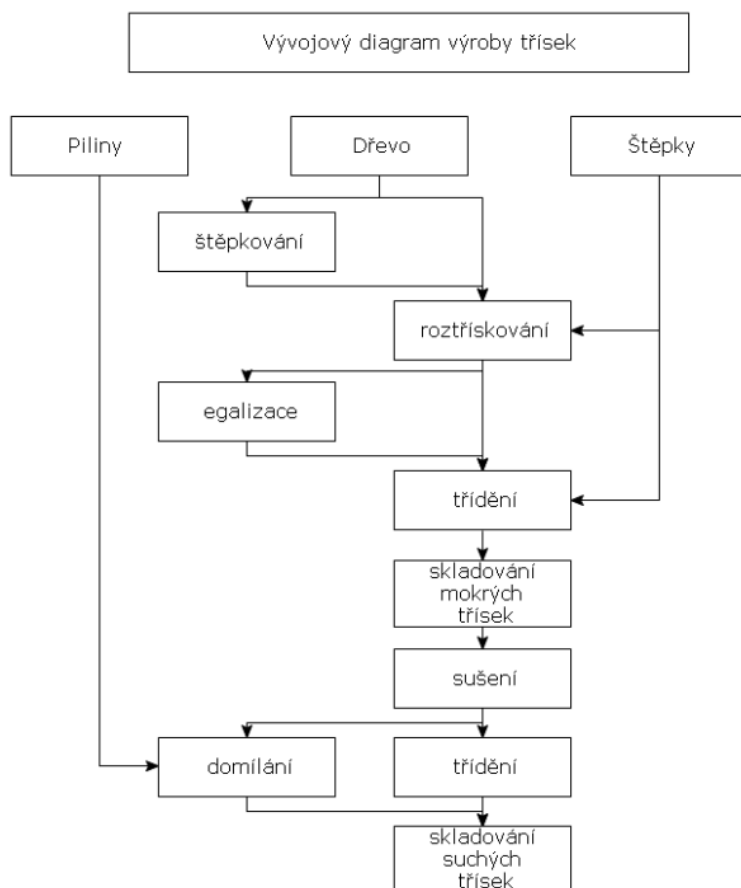


Frézovací roztřískovač: D - průměr frézy, H - výška vrstvy podávaného materiálu,  
h - tloušťka třísky



Prstencový roztřískovač: 1 - oběžné kolo, 2 - nožový prsteneček,  
3 - držák protinože, 4 - protinůž, 5 - štěpka, 6 - držák nože,  
7 - tlačná lišta, 8 - nůž, 9 - tříška

Obr. 3 Roztřískovače  
Zdroj: Hrázský (2000)



Obr. 4 Diagram výroby třísek  
Zdroj: Böhm (2005)

Oproti tomu Shuler a Kelly (1976) stanovili rozměry třísek již výrobním procesem. Třísky byly vyráběny z celé kulatiny. Počáteční proces byl podobný jako při výrobě loupané dýhy, přítlakem nože byla stanovena tloušťka a zároveň byla tato dýha rozřezávána na proužky, jejichž šířka odpovídala délce třísek. Vyrobené pruhy byly následně vysušeny a omílány. Omílání způsobilo rozpad pruhů na třísky. Šířka třísek však zůstává jediným rozměrem, který má náhodnou hodnotu.

Lee a Tahir (2003) již využili modernější vybavení a použili optické technologie. Používané třísky byly naskenovány a celý náhodný výběr, čítající 200 třísek, byl podrobně změřen.

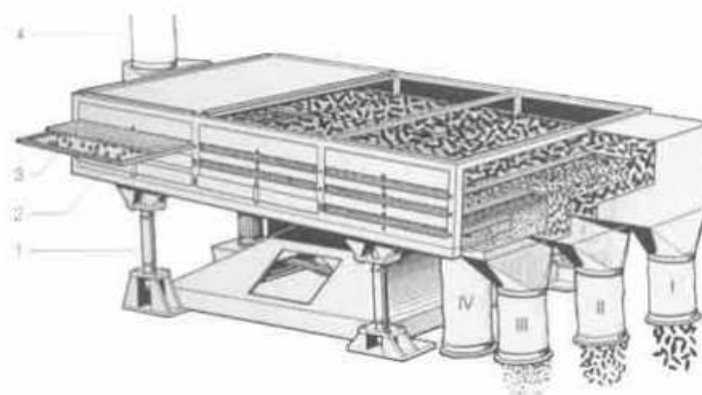
Riegler a kol. (2012) použili optické metody pro měření nánosu lepidla na třískách. Jedná se však o stejnou problematiku, a to zjištění rozměrů nebo plochy. Snímání bylo prováděno pomocí mikroskopu Zeiss Axioplan a výsledné snímky byly vyhodnoceny pomocí programu ImageJ, který umožňuje nastavení kontrastu.



### 3.3 Třídění

„Složení jednotlivých třískových vrstev z hlediska rozměru a podílu jednotlivých frakcí třísek je velmi důležité pro kvalitu desek. Obecně platí, že částice menší než 0,3 mm jsou považovány za prach a při výrobě třískových desek jsou odlučovány. Pro separování jednotlivých frakcí třísek se používají třídíče: pneumatické, vibrační (Obr. 5), sítové, diskové.“ Böhm (2005, s. 46).

Zároveň již v této fázi dochází k diferenciaci třísek na středové a povrchové. Jedná se o standardní třídění, které provádí všechny továrny produkující vícevrstvé dřevotřískové desky.



Vibrační třídíč: 1 - kloubové mechanismy, 2 - rám,  
3 - síto s čistícím prostředkem, 4 - vstup třísek

Obr. 5 Vibrační třídíč  
Zdroj: Soiné (1995)

### 3.4 Výroba dřevotřískových desek

Pokud jsou již třísky vyrobeny, je počáteční operací nanášení lepidla. Zhruba v 90% se jako lepidlo používají močovinoformaldehydové pryskyřice (použití pouze pro suchá prostředí), v ostatních případech se používají fenolformaldehydová, či melaminformaldehydová pojidla. Nanášení probíhá vložení jednotlivých komponentů do jediné gravimetrické nádoby, kde dojde k rovnoměrnému nanesení pojidla na třísky. Indrák (2013, s. 4).

Když je směs hotová, provádí se vrstvení třískového koberce. Přesnost a rovnoměrnost vrstvení ovlivňují zásadním způsobem jakost a ekonomiku výroby desek. Podle typu lisování rozlišujeme výrobu kontinuální a diskontinuální. U výroby diskontinuální dochází k vrstvení na plech vhodný do lisu a na tomto plechu je pak

třískový koberec dopraven do lisu. U kontinuální výroby dochází k vrstvení na pohyblivý dopravník. Vrstvení může probíhat volným pádem, pneumaticky, či vrhacími válci, v případě desek s orientovanými třískami existují i další způsoby. Indrák (2013, s. 4).

Následuje předlisování, aby třískové koberce snesly manipulaci na dopravníku. Indrák (2013, s. 4). Poté navazuje samotné lisování, způsob lisování se liší podle použitého lisovacího stroje. Při této technologické operaci dochází k vytváření charakteristiky a parametrů aglomerovaného materiálu. Dochází zde k vytvrzování pojiva a ke zhutnění třískového koberce. Böhm (2005, s. 51). Nejdůležitějšími působícími faktory je teplo, tlak, čas a rychlost stlačování. Štefka (2002).

Jednou z posledních operací je chlazení a klimatizace. Teplota po lisování je často vyšší než 100° C a je tedy třeba desky pomalu ochladit na teplotu okolo cca 70° C, neboť při rychlém ochlazení vzniká nebezpečí vzniku vnitřního napětí. Klimatizování desek je dlouhodobá operace, při které dochází k vyrovnávání vlhkosti v celém objemu desky a trvá 3 až 5 dnů. Indrák (2013, s. 5).

### **3.5 Charakteristika použitých dřevin**

#### **3.5.1 Smrk ztepilý (*Picea Abies*)**

Smrk ztepilý je v dnešní době nejrozšířenější dřevinou, jen v České Republice zaujímá 51,1 % z celkové zalesněné plochy, jak uvádí Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky (2013). Zároveň se jedná o nejvyužívanější dřevinu, která je používána v mnoha různých odvětvích i kvalitách, ať už jako palivové dříví, nebo jako rezonanční výřez na výrobu hudebních nástrojů.

Jednou z výhod smrku je poměrně krátká doba obmýtlí, která činí v nižších polohách s rychlým růstem 80 let. Juřicová a kol. (2011, s. 13). Hustota dřeva smrku při  $w_{0\%}$  je 420 kg/m<sup>3</sup> a jeho mez pevnosti při ohybu 60 MPa.

#### **3.5.2 Topol černý (*Populus Nigra*)**

Řadí se mezi rychle rostoucí dřeviny a je účelově pěstován v plantážích, především pro energetické účely. Doba obmýtlí této dřeviny je nesrovnatelně kratší, v našich podmínkách se pohybuje mezi 4 až 6 roky. Udržitelná energie a krajina, včera, dnes a zítra (2013, s. 14). Hustota dřeva topolu při  $w_{0\%}$  je 340 kg/m<sup>3</sup> a mez pevnosti při ohybu 64 MPa

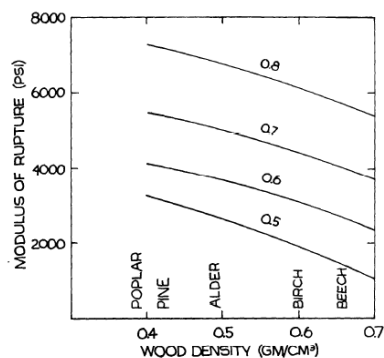
### 3.6 Vliv dřeviny na vlastnosti desky

Medved a kol. (2003) prováděli výzkum ohledně vlivu druhu použité dřeviny na rozměrovou stabilitu desky. Ke svému výzkumu použili dřeviny: buk, dub, topol a smrk. Jejich výsledky dokazují, že pokud se jedná o tloušťkové bobtnání, je druh použité dřeviny důležitý. Vliv na bobtnání dřevotřískové desky mají sorpční vlastnosti, anatomická a chemická struktura dřeviny, velikost použitých částic (třísek) a jejich stlačitelnost. Vzhledem k chemické stavbě ovlivňuje bobtnání obsah ligninu, celulozy a hemicelulozy, čím větší je obsah ligninu, tím menší je bobtnání.

Stejně tak souvisí s rozměrovými změnami desky i hustota. K menšímu bobtnání dochází vlivem menšího zhutnění dřevotřískového koberce u dřevin s vyšší hustotou. S tímto souvisí i množství částic v desce, čím více je částic v desce, tím větší je bobtnání.

Výzkumem bylo tedy zjištěno, že nejmenší rozměrové změny byly pozorovány u dubu a největší u buku, smrk a topol jsou mezi nimi, přičemž smrk je méně náchylný na rozměrové změny, než topol.

Použitý druh dřeva však neovlivňuje jen bobtnání, ale také mechanické vlastnosti. Obecně platí, že se zvyšující se hustotou desky se zvyšuje i její ohybová pevnost. Kelly (1977, s. 37) však poukazuje na skutečnost, že při použití dvou dřevin rozdílné hustoty na výrobu dřevotřískové desky o shodné objemové hmotnosti, bude deska vyrobená ze dřeviny o vyšší hustotě dosahovat menší pevnosti v ohybu. Tento fakt vysvětluje pomocí poměru zhutnění (compaction ratio). Se vzrůstajícím poměrem zhutnění roste i mez pevnosti v ohybu (Obr. 6).



Obr. 6 Vliv hustoty dřeva na mez pevnosti za nezměněné hustoty DTD  
Zdroj: Kelly (1977)

V podobné závislosti se pohybuje i modul pružnosti. S rostoucí objemovou hmotností použité dřeviny klesá poměr ztuhnutí a zmenšuje se i modul pružnosti. Kelly (1977, s. 41).

### **3.7 Vliv velikosti frakce na vlastnosti desky**

Touto problematikou se lidé zabývají téměř od samého počátku výroby aglomerovaných materiálů, jedna z prvních studií byla provedena v roce 1954. Už od této doby je však známo, že optimální velikost dřevních částic pro MOR (mez pevnosti v ohybu) nemusí být optimální vzhledem k bobtnání či vnitřní soudržnosti. Kelly (1977, s. 39). U vícevrstvých desek se již dlouhodobě využívá rozdílných vlastností v důsledku použití různých třísek. Rozdělujeme je na povrchové a středové. Jemné třísky ve středové vrstvě způsobují snížení mechanicko-fyzikálních vlastností, zatímco hrubé třísky na povrchu způsobují nerovný povrch. Böhm (2005, s. 47).

#### **3.7.1 Počet mikrotřísek a prachových částic**

Mnoho studií se zabývá množstvím malých částic ve směsi třísek a posouzením jejich vlivu na vlastnosti desek. Velikost mikrotřísek je menší než 1 mm a větší než 0,3 mm. Částice menší než 0,3 mm nazýváme prachovými částicemi (v tomto případě se nejedná o reálný rozměr, jde o rozměr odvozený dle velikosti síťových ok použitých při síťové analýze). Hrázský a Král (2003, s. 85).

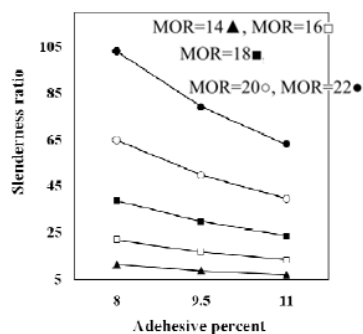
Tématem velikosti třísek se zabývali Hrázský a Král (2003) a Lee a Tahir (2003). V obou případech byly vytvořeny směsi s příměsí prachových částic do 30 %, v jednom případě odstupňováno po 5 %, ve druhém po 10 %. Z těchto směsí byly vytvořeny desky, se shodným obsahem pojiva, shodnou hustotou a za stejných výrobních podmínek. Výsledky obou studií se v tomto případě shodují. Největší pevnosti v ohybu a zároveň i vnitřní soudržnosti bylo dosaženo u vzorků s nejnižším obsahem přidaných prachových částic. Ohledně tloušťkového bobtnání dochází k určitému rozporu. Hrázský a Král (2003, s. 91) uvádějí, že nejvíce došlo k bobtnání u desky s obsahem prachových částic 20 %, z důvodu největší hustoty. Naopak Lee a Tahir (2013, s. 4) zjistili, že deska s obsahem 30% prachových částic je nejvíce rozměrově stabilní. Tento fakt odůvodňují právě množstvím použitých prachových částic v povrchové vrstvě, které se mohlo chovat jako povrchová ochrana proti absorpci vody.

Zajímavý výzkum prováděli Sackey a kol. (2008). Jejich teze byla, že přidáním prachových částic do jádrové směsi třísek dojde k vyplnění mezer, které vznikají v důsledku nedokonalého stlačení a tím i k lepším vlastnostem pro uchycení spojovacích materiálů. Lehké zlepšení této vlastnosti však bylo znatelné pouze u směsi, kde bylo nahrazeno 40 % hrubých třísek směsí s prachovými částicemi, a to pouze u jednovrstvých desek. U třívrstvých desek nebyly zpozorovány žádné tendence.

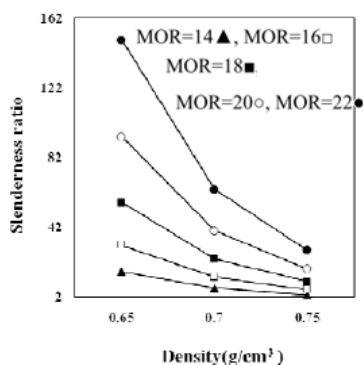
Z hlediska vnitřní soudržnosti došlo v případě studie Sackey a kol. (2007, s. 223) k jednoznačnému zlepšení až o 40 %, a to při použití směsi s prachovými částicemi.

### 3.7.2 Tvar třísek (štíhlostní poměr)

Arabi a kol. (2011) prováděli výzkum, zda je možné snížit hustotu a obsah pryskyřice desky bez nepříznivého ovlivnění mechanických vlastností, pouze za použití kontrolovaných rozměrů třísek. Byl zjištěn vztah mezi obsahem pryskyřice a štíhlostním stupněm, a tedy že je možné udržet mez pevnosti v ohybu na stejné hodnotě za snížení obsahu pryskyřic pouze zvýšením štíhlostního poměru. Čím více je odebráno pryskyřice, tím více musí být přidáno jednotek štíhlostního poměru (Obr. 7). Stejně tak lze ovlivnit i úbytek hmotnostního objemu, neboť s rostoucím obsahem pryskyřic, stejně jako se zvyšující se objemovou hmotností a štíhlostním poměrem se zvedá i mez pevnosti v ohybu. Pokud tedy jednu z těchto tří vlastností snížíme, můžeme její ztrátu kompenzovat zvýšením některé ze zbylých dvou. Experiment prokázal, že snížení hustoty desky lze nahradit zvýšením štíhlostního poměru (Obr. 8). Stejně chování lze pozorovat i u modulu pružnosti, tedy nedostatek pryskyřice, či úbytek hmotnostního objemu lze kompenzovat štíhlostním poměrem.

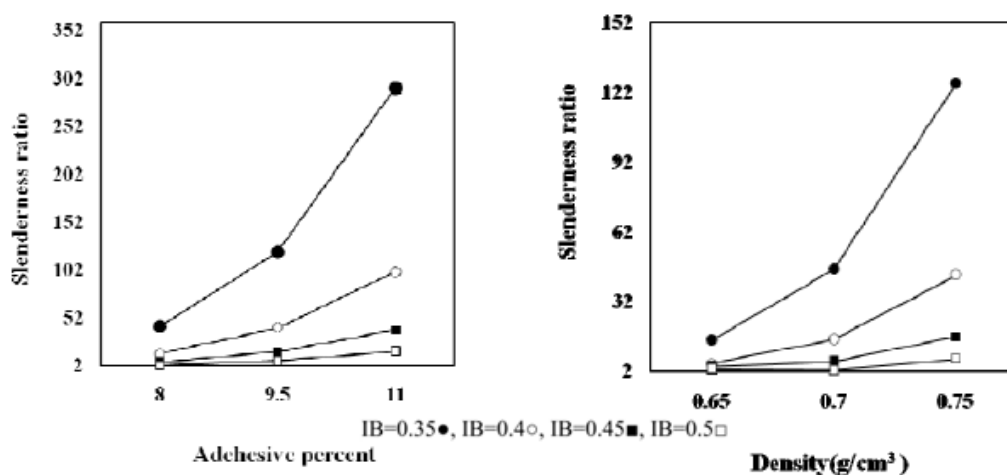


Obr. 7 Vliv úbytku pryskyřice na MOR  
Zdroj: Arabi a kol. (2011)



Obr. 8 Vliv snížení hustoty na MOR  
Zdroj: Arabi a kol. (2011)

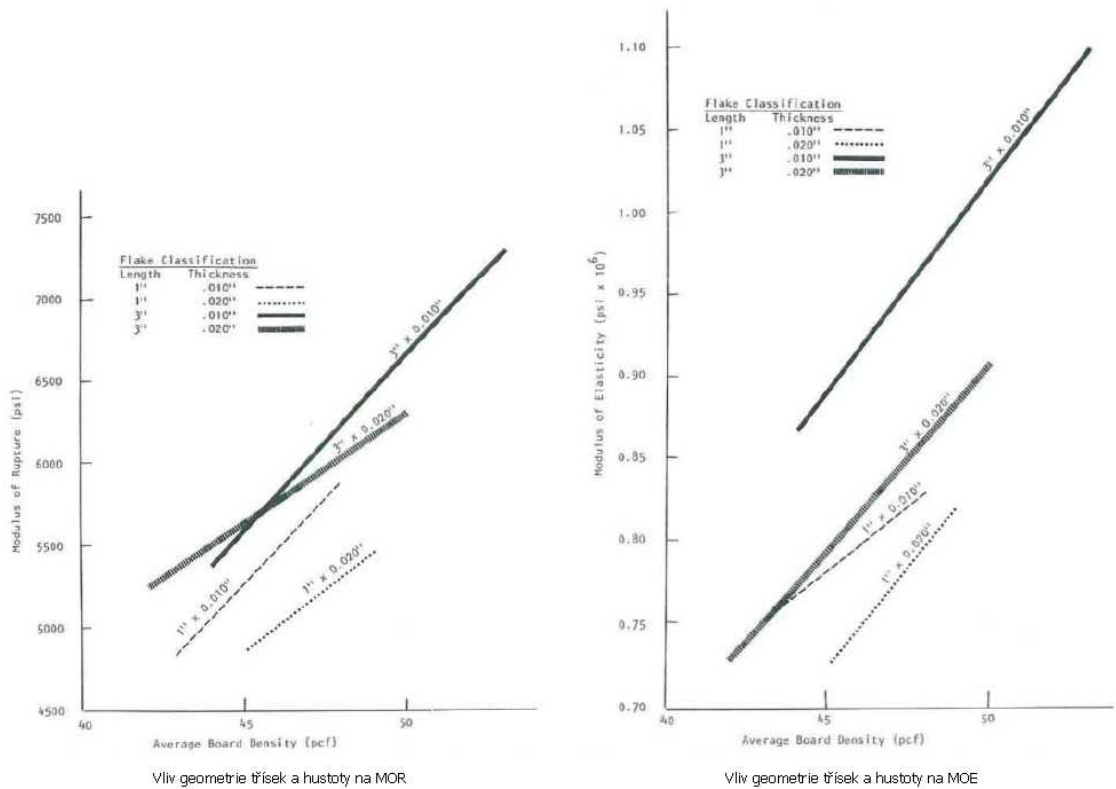
Opačným způsobem se však chová vnitřní soudržnost. Zvýšením štíhlostního poměru dochází ke snížení vnitřní soudržnosti desky, ale hustota a obsah pryskyřic mají na tuto vlastnost opačný vliv. Jeli třeba snížit obsah pojiva nebo snížit objemovou hmotnost musí být snížena i hodnota štíhlostního poměru (Obr. 9).



Obr. 9 Vliv úbytku pryskyřice a snížení hustoty na vnitřní soudržnost  
Zdroj: Arabi a kol. (2011)

Shuler a Kelly (1976) provedli podobnou studii za použití konkrétních třísek. K výrobě zkušebních desek použili třísky o shodných délkách a tloušťkách (šířky byly náhodné). Byly vytvořeny čtyři druhy třísek, a to o délce 1 a 3 palce (25,4 a 76,2 mm) a z obou délek byly vytvořeny třísky o tloušťkách 0,01 a 0,02 palce (0,25 a 0,76 mm). K vyhodnocování byly použity čtyři druhy desek, které byly následně mezi sebou porovnávány. Nejlépe dopadly desky, které byly vyrobeny z delších a tenčích třísek, oproti tomu desky z kratších a tlustších třísek dopadly nejhůře. Modul pružnosti a mez pevnosti v ohybu byly značně zvýšeny použitím delších třísek

(Obr. 10). Na rozdíl od meze pevnosti byl modul pružnosti statisticky významně ovlivněn i tloušťkou třísek. U tenčích třísek došlo ke zvýšení modulu pružnosti.



Obr. 10 Vliv geometrie třísek a hustoty na MOR a MOE  
Zdroj: Shuler a Kelly (1976)

## 4 Materiál a metodika

### 4.1 Výběr druhu dřeva

Pro analýzu jsou použity smrk ztepilý (*Picea Abies*) a topol černý (*Populus Nigra*). Smrková dřevina byla vybrána, neboť smrk je používán jako hlavní surovina pro výrobu desek, a tudíž je možné provést porovnání s komerčně vyráběnými třískami. Zdrojem komerčních třísek pro tuto práci jsou smrkové třísky od firmy Kronospan Jihlava. Oproti tomu topol je použit z důvodu zkoumání možnosti použití rychle rostoucích dřevin pro výrobu dřevotřískových desek.

U topolu je použita netříděná štěpka. Obsahuje tedy určitý podíl nečistot, tentokrát zkoumáme, zda je možné použít netříděnou štěpku. Tato štěpka také obsahovala velké množství vlhkosti.

### 4.2 Výroba třísek

Z jednotlivých druhů štěpky jsou vyrobeny třísky pomocí laboratorního mlýnu Retsch SM300 (Obr. 11) frézového typu. S ohledem na množství suroviny byly vyrobeny 2 kg třísek. Hrubost třísek je určena sítlem s velikostí čtvercového otvoru 2x2 mm (Obr. 12), které bylo vloženo pod frézu třískovacího stroje.



Obr. 11 Laboratorní mlýn Retsch SM300





Obr. 12 Síto třískovacího stroje

### 4.3 Vlhkost třísek

Třísky byly po své výrobě volně rozloženy na sítích, dokud nedosáhly vlhkosti zhruba 10 %. Před použitím byla jejich vlhkost přesně změřena. K měření vlhkosti byl použit přístroj Radwag MAC 210. Do přístroje je vložen cca 1 g třísek a dochází k zahřívání, vlivem tepla se vlhkost odpařuje a přístroj neustále vyhodnocuje změnu hmotnosti. Pokud se hmotnost několikrát za sebou nezmění o 1 tisícinu gramu, měření se ukončí.

### 4.4 Charakteristika frakce třísek

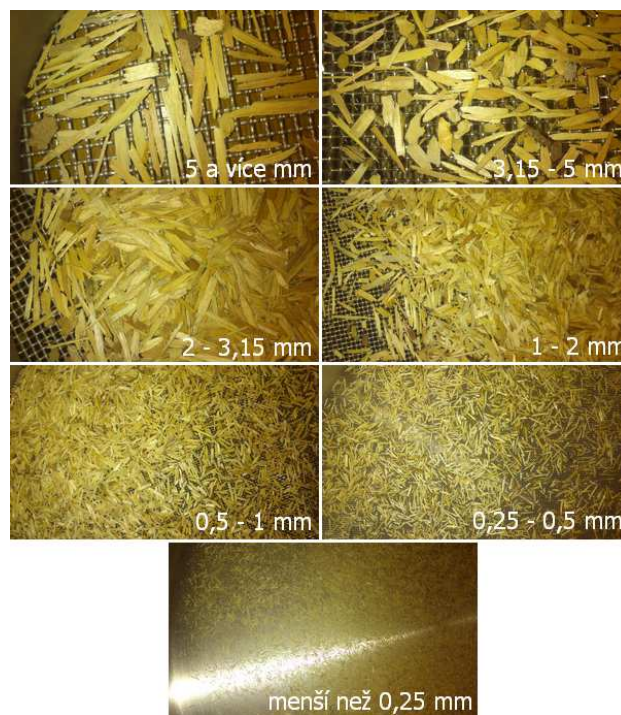
S ohledem na různé využívání nástrojů pro stanovování velikosti třísek byly použity metody optického a mechanického třídění pro stanovení charakteristiky třísek.

#### 4.4.1 Sítová analýza

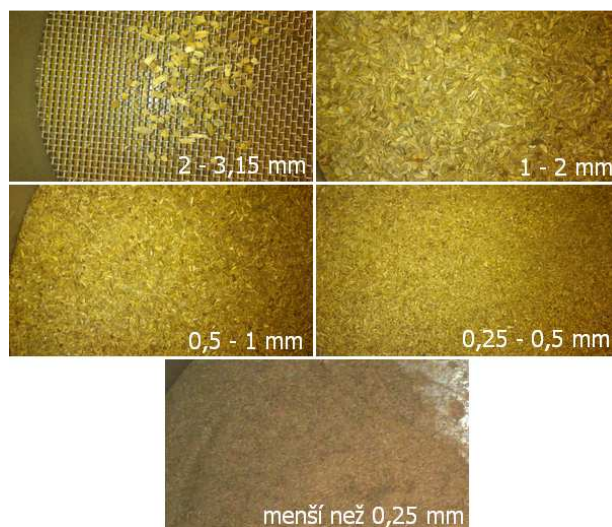
Pro mechanické třídění byl použit tříosý vibrační laboratorní třídič a Retsch AS200 (Obr. 13) s amplitudou 0,8 mm. Vždy byl odebrán vzorek třísek o hmotnosti přibližně 50 g. Doba prosévání byla určena na 3 min a k určení hrubosti byla použita síta s velikostí ok: 5; 3,15; 2; 1; 0,5 a 0,25 mm, bylo tedy získáno 7 hrubostí třísek (menší než 0,25, 0,25-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-3,15, 3,15-5, 5 a více mm [Obr. 14, 15]) Po přesátí byla vždy zvážena hmotnost dané frakce a vypočteno procentuální zastoupení. Měření bylo provedeno dvakrát a naměřené hodnoty byly zprůměrovány.



Obr. 13 Vibrační laboratorní třídič Retsch AS200



Obr. 14 Roztříděné frakce Kronospan



Obr. 15 Roztříděné topolové frakce

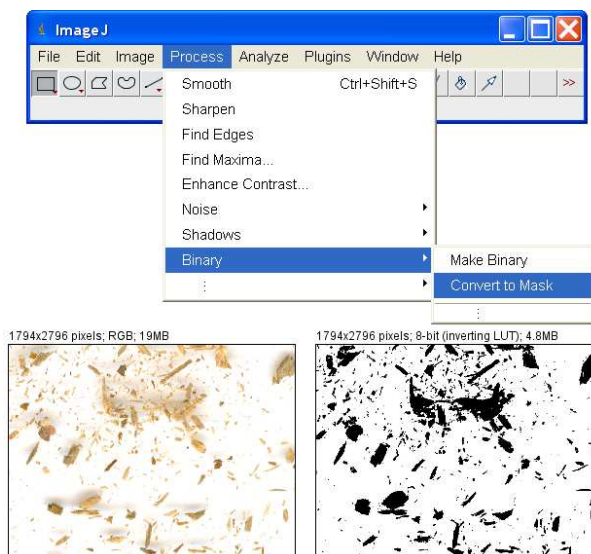
#### 4.4.2 ImageJ

Jedná se o analýzu třísek na základě optické metody. Na sklo skeneru bylo nanese-  
no několik třísek od každého druhu. Třísky byly následně naskenovány ve velkém  
rozdělení (1200 dpi). Výsledný obraz byl dále rozdělen podle druhů třísek a analýza  
byla provedena pro každý druh samostatně. Barevný obraz byl nejdříve převeden  
do 8 bitového formátu (Obr. 16) – díky čemuž došlo k zvýraznění jednotlivých čás-  
tic. Pomocí opakovaného použití funkce odstranění šumu byly odstraněny nečisto-  
ty skenu. Jednotkou obrazu je pixel, proto bylo třeba přepočítat velikost pixelu na  
milimetry, aby výsledky analýzy byly ve vhodných jednotkách. Rozměr pixelu byl  
zjištěn podle následujícího vzorce:

$$p_v = \frac{\text{rozlišení obrazu [dpi]}}{\text{palec [mm]}}$$

Vypočítaná hodnota byla zanesena do nastavení měřítka a program sám dopočítal  
veškeré naměřené hodnoty. Automaticky byla dopočítána plocha třísek i jejich ku-  
latost. Kulatost je zaznamenána pomocí hodnoty od 0 do 1, kde 1 je dokonalý kruh.  
Pro podrobnější zjištění rozměrů třísek bylo provedeno ruční měření (ruční naná-  
šení bodů, jejichž vzdálenost byla programem automaticky dopočítána) délky a  
šířky jednotlivých třísek. Pro každý druh bylo změřeno 50 třísek. Z rozměrů délky  
a šířky byl dopočítán axiální poměr:

$$a_r = \frac{\text{délka}}{\text{šířka}}$$



Obr. 16 Převod skenu na 8 bit

## 4.5 Výroba desek

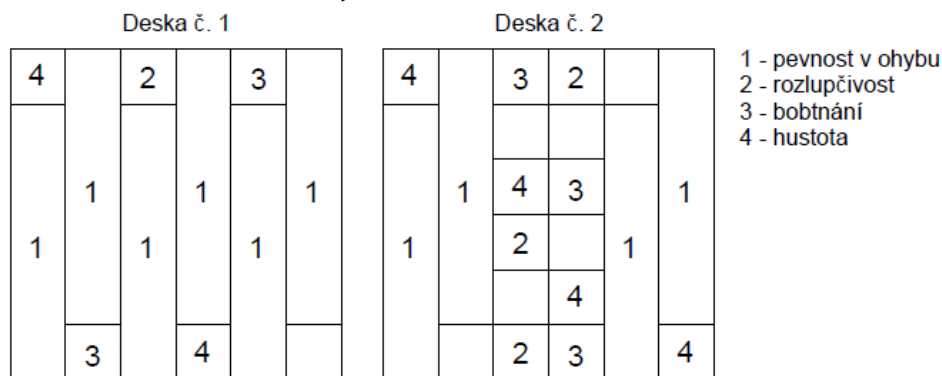
Odvážené množství třísek bylo nasypano do lopatkového míchače s 8 lopatkami tvaru „T“ a rychlostí  $2 \text{ ot}\cdot\text{s}^{-1}$ . Následně byla přidána směs lepidla (PREFERE 4170 [UF]) a tvrdidla (KORNOADD HL 100). Dále byla přidána voda, dle určené vlhkosti třísek, aby bylo dosaženo vlhkosti 11 % (ideální pro lisování – parní náraz). Vzniklá směs byla ručně navrstvena do formátovacího rámu o rozměru  $400 \times 400 \text{ mm}$ . Veškeré poměry (Tab. 1) byly vypočítány podle Hrázského a Krále (2004, s. 25 – 30). Po odstranění rámu byly přidány distanční lišty, které určily tloušťku desky na 10 mm, a výsledný polotovár byl vložen do lisu Strozatech. Deska byla lisována po dobu 2 min (vypočteno pomocí lisovacího faktoru  $12 \text{ s}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) za stálého tlaku 3,5 MPa a teploty  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po vylisování byla deska ochlazená na vzduchu při okolní teplotě  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dále byla deska formátována na rozměr  $300 \times 300 \text{ mm}$

Tab. 1 Navážka třísek

Navážka pro výrobu třísek				
			množství	2
Materiál	Hmotnost materiálu	Hmotnost + 10 %	Hmotnost potřebná pro desky	
Třísky	643,38	707,72	1415,44	g
Pryskyřice	84,36	92,80	185,59	g
Tvrdidlo	2,53	2,78	5,57	g
Aditiva	0,00	0,00	0,00	g
Voda	12,94	14,23	28,46	g
Celková váha po smíchání	743,21	817,53	1635,05	g
Třísky pro formování	765,50			g
Lisovací čas	120			s

## 4.6 Testování vlastností desky

Pro testování vlastností desky byly vytvořeny zkušební vzorky dle příslušných norem: EN 310, EN 317, EN319, EN 323. Tedy na zjištění hustoty, rozlupčivosti a bobtnání vzorky čtvercového tvaru o hraně  $50 \pm 1$  mm a pro ohyb vzorek o šířce  $50 \pm 1$  mm a délce rovné 20násobku nominální tloušťky + 50 mm. V tomto případě se tedy jedná o délku 250 mm. Na základě těchto stanovených rozměrů bylo vytvořeno schéma pořezu desky (Obr. 17). Ke zkouškám mechanických vlastností byl použit univerzální zkušební stroj ZWICK z050.



Obr. 17 Schéma pořezu desek

#### 4.6.1 Bobtnání

Z každé desky bylo vymanipulováno 5 vzorků pro testování rozměrové stálosti vlivem působení vody. U všech vzorků byly zjištěny počáteční rozměry a váha. Tloušťka vzorků byla měřena ve dvou na sebe kolmých směrech, jejichž hodnoty byly pro další výpočty zprůměrovány. Po zjištění daných hodnot a dopočítání hustoty vzorků byly ponořeny do vody na dobu 2h, po dvou hodinách byly opět změřeny a ihned vráceny zpět do vody. Další měření bylo provedeno po 24h a podle vzorce, uvedeného v normě EN 317 byly vypočítány rozměrové změny v procentech.

Rozměrová změna:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \cdot 100$$

kde:  $t_1$  – počáteční rozměr  
 $t_2$  – rozměr po máčení

#### 4.6.2 Rozlupčivost

3 vzorky z každého druhu desky byly testovány na rozlupčivost, neboli na tah kolmo na plochu desky. Pro testování byly na vzorky nalepeny „I“ profily pomocí cca 1 g lepidla SIGA I60. Po ochlazení a zatumnutí lepidla byly vzorky testovány. Předtížení vzorku bylo nastaveno na 5 N a rychlost posuvu byla 1 mm·min<sup>-1</sup>. Ukončení testu bylo vymezeno poklesem zatěžovací síly pod hodnotu 40 % maximální síly. Z naměřených hodnot byla vypočítána pevnost v tahu kolmo na plochu desky.

Tah kolmo na plochu desky:

$$f_{t\perp} = \frac{F_{max}}{a \cdot b}$$

kde:  $F_{max}$  – maximální zatěžovací síla  
 $a, b$  – délka a šířka testovaného tělesa

#### 4.6.3 Ohybová pevnost

Zároveň s ohybovou pevností byl testován i modul pružnosti. Z každého druhu desky bylo vytvořeno 10 zkušebních tělísek. Jejich rozměr je uveden již výše. Vzdálenost podpěr byla stanovena podle normy EN 310, jakožto 20násobek nominální tloušťky desky. Tělísko bylo vždy předtíženo silou 15 N a pro měření průhybu byl ze spodu tělíska umístěn deflektoměr. Rychlost posuvu při zatěžování byla nastavena na 8 mm·min<sup>-1</sup>. K ukončení testu opět došlo při poklesu pod 40 % z maximální

síly zatížení. Díky získaným hodnotám bylo tedy možné dopočítat modul pružnosti a mez pevnosti v ohybu.

Modul pružnosti:

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)}$$

- kde:  $l_1$  – vzdálenost mezi středy podpor  
 $b$  – šířka zkušebního tělíska  
 $t$  – tloušťka zkušebního tělíska  
 $F_2$  – 40 % maximální zatěžující síly  
 $F_1$  – 20 % maximální zatěžující síly  
 $a_2$  – průhyb vzorku při zatížení silou  $F_2$   
 $a_1$  – průhyb vzorku při zatížení silou  $F_1$

Mez pevnosti v ohybu:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^2}$$

- kde:  $F_{max}$  – maximální zatížení  
 $l_1$  – vzdálenost mezi středy podpor  
 $b$  – šířka zkušebního tělíska  
 $t$  – tloušťka zkušebního tělíska

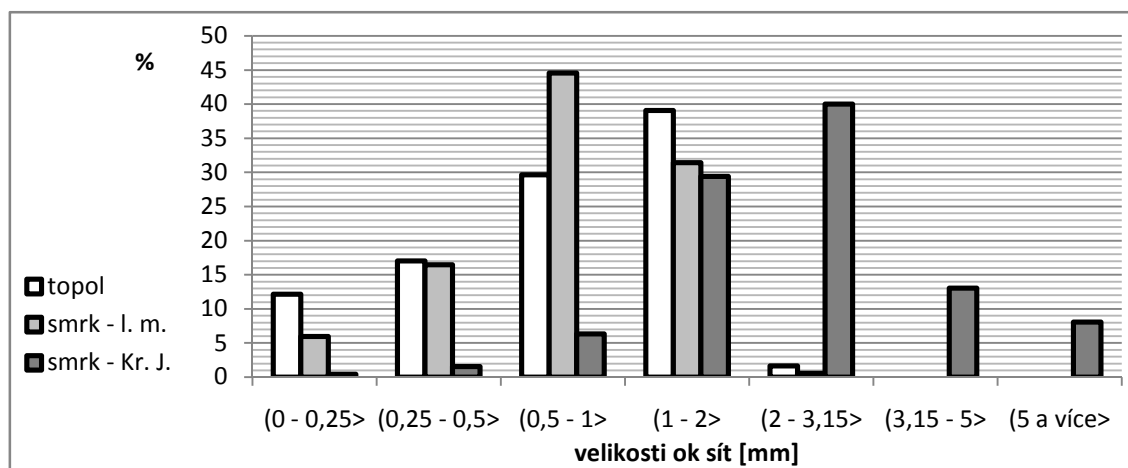
## 5 Výsledky

### 5.1 Vlhkost třísek

Tab. 2 Vlhkost třísek

Druh dřeva	Vlhkost (%)	Sušení při teplotě (°C)	Doba sušení
SM	9,132	120	4 min
TP	9,770	120	3 min 45 s

### 5.2 Sítová analýza

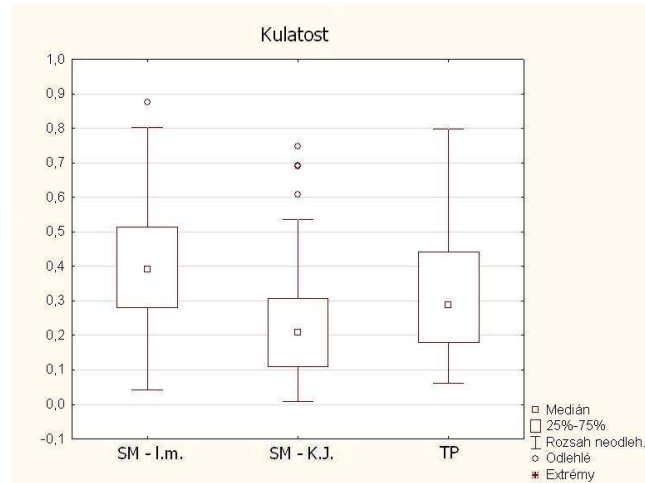


Obr. 18 Procentuální zastoupení třísek testovaných druhů dřeva v jednotlivých intervalech

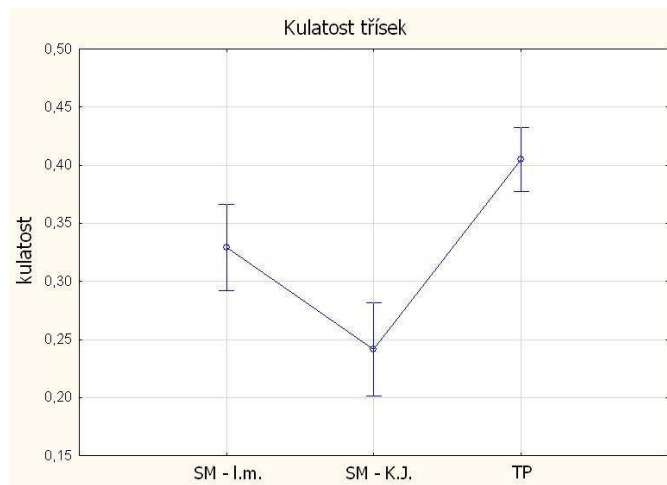


## 5.3 ImageJ analýza

### 5.3.1 Kulatost třísek



Obr. 19 Krabicový graf – kulatost třísek



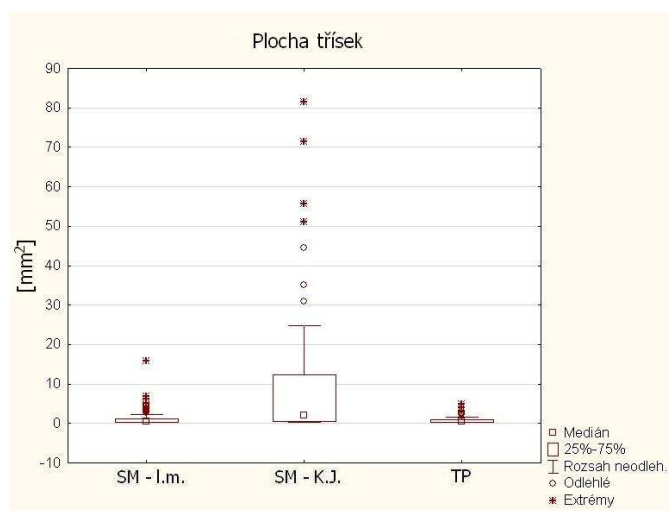
Obr. 20 1. f. ANOVA – kulatost třísek

$p$ hodnota = 0,000000

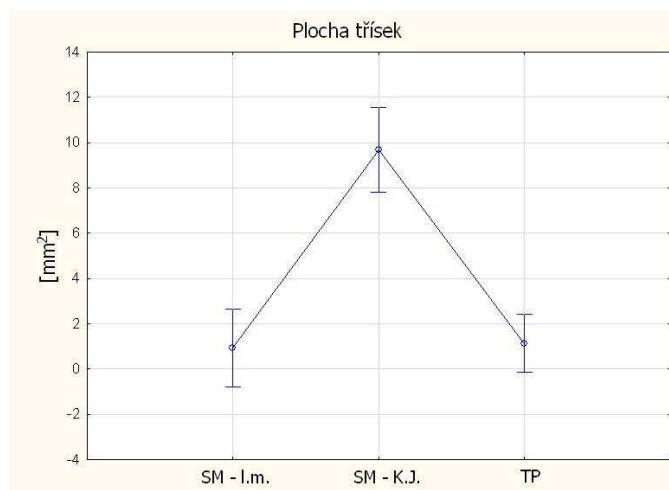
Tab. 3 Mnohonásobné porovnání – kulatost třísek

druh	SM - l. m. 0,32907	SM - K. J. 0,24146	TP 0,40498
1		0,004597	0,003382
2	0,004597		0,000022
3	0,003382	0,000022	

### 5.3.2 Plocha třísek



Obr. 21 Krabicový graf – plocha třísek



Obr. 22 1. f. ANOVA – plocha třísek

$p_{\text{hodnota}} = 0,000000$

Tab. 4 Mnohonásobné porovnání – plocha třísk

druh	SM - l. m. 0,94515	SM - K. J. 9,6962	TP 1,1319
1		0,000022	0,984020
2	0,000022		0,000022
3	0,984020	0,000022	

### 5.3.3 Dřeviny

$ax_r$  = axiální poměr

#### a) Smrk - laboratorní mlýn

Tab. 5 ImageJ – smrk l. m.

	delka	šířka	$ax_r$	plocha	kulatost
	[mm]			[mm <sup>2</sup> ]	
min	0,339	0,085	1,152	0,25	0,062
max	2,649	0,853	10,418	4,998	0,798
<b>průměr</b>	1,193	0,377	3,993	0,945	0,329
SMODCH	0,665	0,188	2,144	0,859	0,177
variační k. [%]	55,744	49,923	53,693	90,888	53,808

#### b) Smrk - Kronospan Jihlava

Tab. 6 ImageJ – smrk K. J.

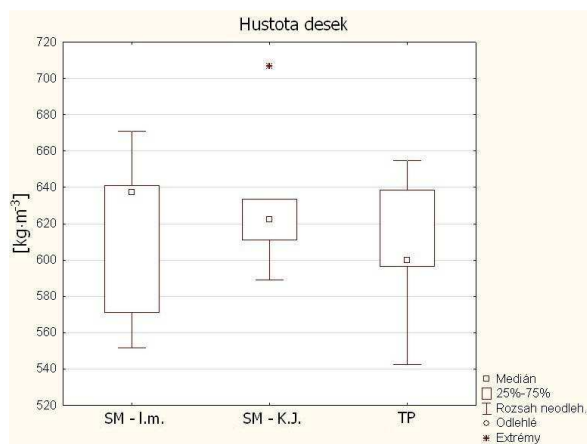
	delka	šířka	$ax_r$	plocha	kulatost
	[mm]			[mm <sup>2</sup> ]	
min	0,339	0,085	1,152	0,256	0,009
max	4,048	0,853	10,418	81,486	0,747
<b>průměr</b>	1,341	0,377	3,993	9,696	0,241
SMODCH	0,815	0,188	2,144	16,458	0,171
variační k. [%]	60,793	49,923	53,693	169,736	70,776

### c) Topol

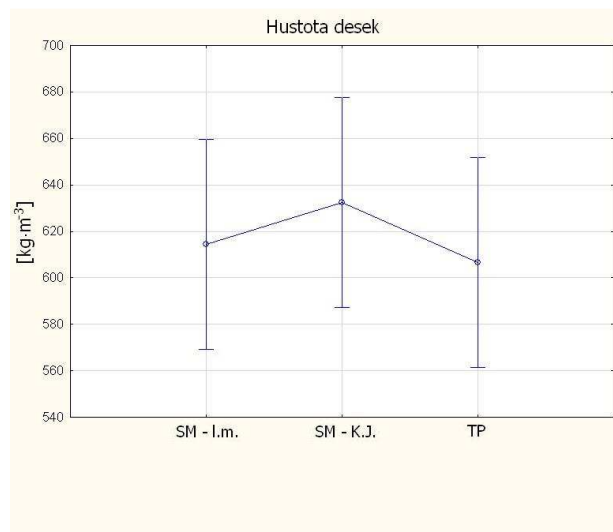
Tab. 7 ImageJ – topol

	delka	šířka	ax <sub>r</sub>	plocha	kulatost
	[mm]			[mm <sup>2</sup> ]	
min	0,117	0,053	1,017	0,253	0,043
max	2,498	0,632	23,566	15,899	0,874
<b>průměr</b>	0,686	0,186	4,152	1,132	0,405
SMODCH	0,501	0,105	3,666	1,673	0,169
variační k. [%]	73,088	56,598	88,298	147,831	41,623

## 5.4 Hustota desek



Obr. 23 Krabicový graf – hustota desek



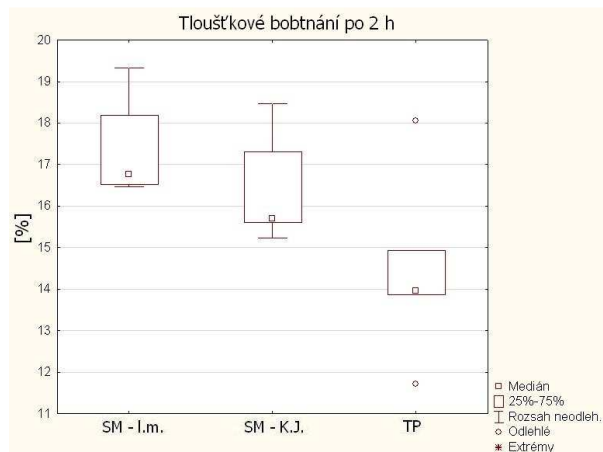
Obr. 24 1. f. ANOVA – hustota desek

$p$ hodnota = 0,670422

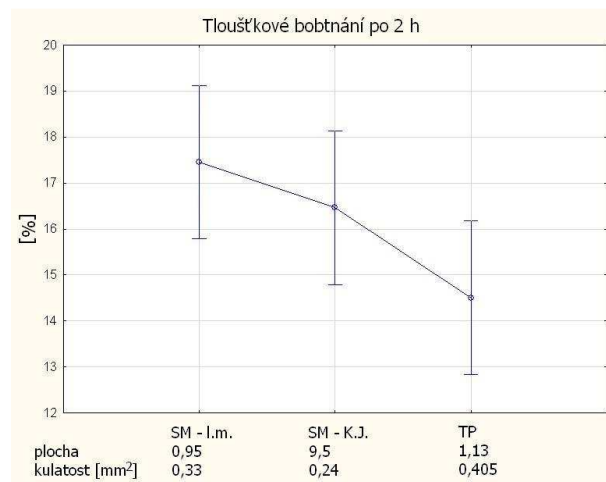
## 5.5 Bobtnání

### 5.5.1 Tloušťkové bobtnání

#### a) Po 2 h máčení



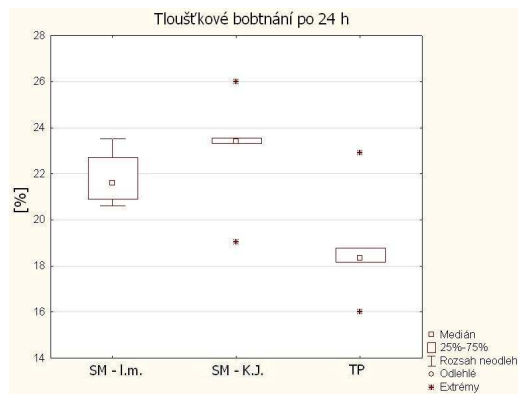
Obr. 25 Krabicový graf – tloušťkové bobtnání po 2 h



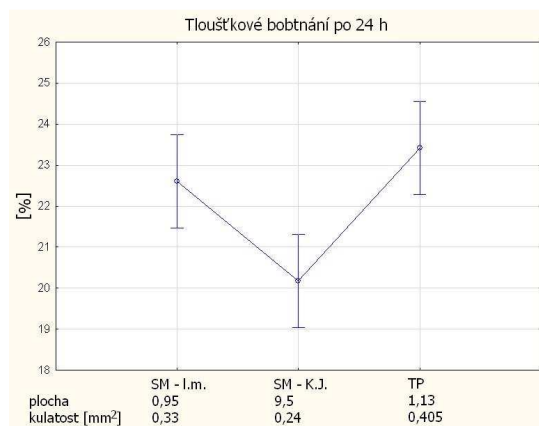
Obr. 26 1. f. ANOVA – tloušťkové bobtnání po 2 h

$p_{hodnota} = 0,051560$

**b) Po 24 h máčení**



Obr. 27 Krabicový graf – tloušťkové bobtnání po 24 h



Obr. 28 1. f. ANOVA – tloušťkové bobtnání po 24 h

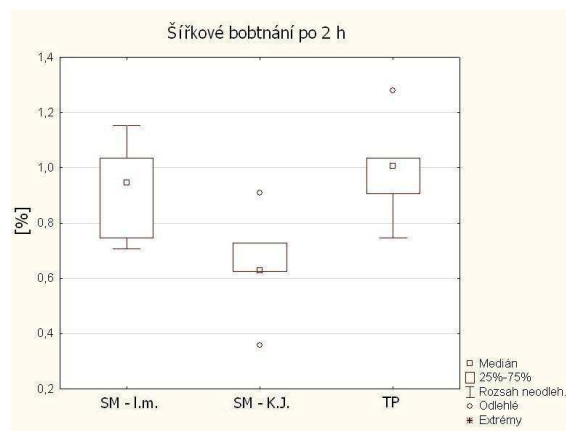
$p_{hodnota} = 0,006343$

Tab. 8 Mnohonásobné porovnání – tloušťkové bobtnání po 24 h

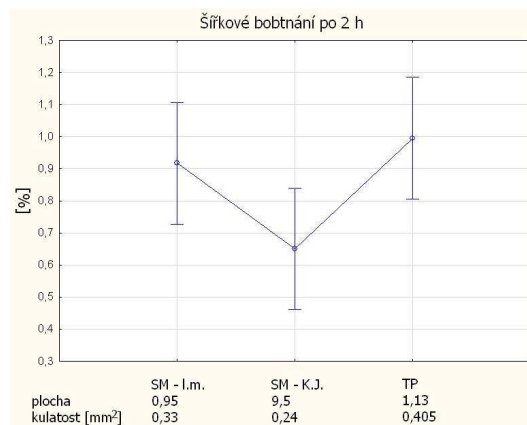
druh	SM - l. m. 22,607	SM - K. J. 20,174	TP 23,422
1		0,023653	0,475176
2	0,023653		0,006388
3	0,475176	0,006388	

### 5.5.2 Šířkové bobtnání

#### a) Po 2 h máčení



Obr. 29 Krabicový graf – šířkové bobtnání po 2 h



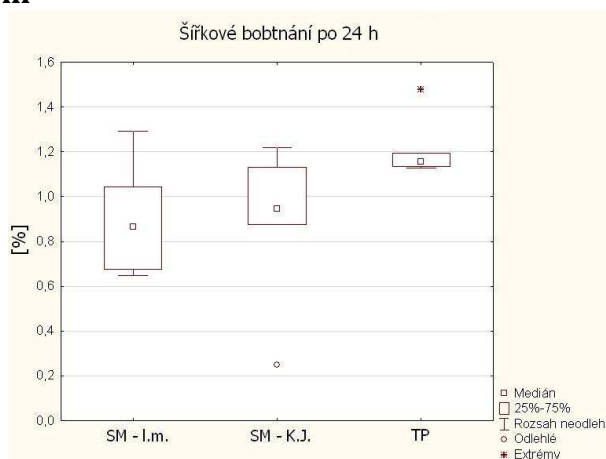
Obr. 30 1. f. ANOVA – šířkové bobtnání po 2 h

p<sub>hodnota</sub> = 0,038880

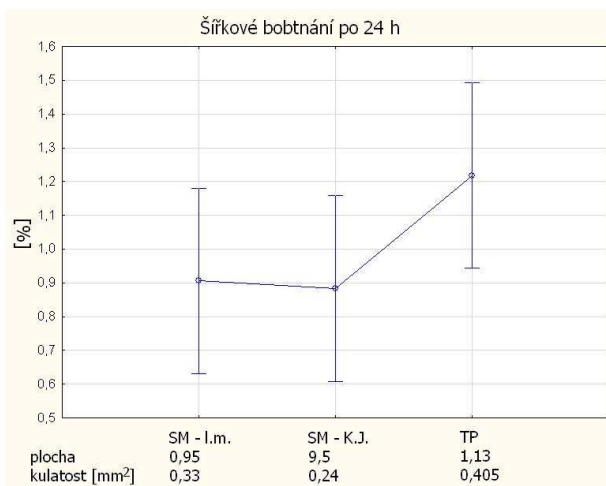
Tab. 9 Mnohonásobné porovnání – šířkové bobtnání po 2 h

druh	SM - l. m. 0,91766	SM - K. J. 0,65030	TP 0,99480
1		0,117254	0,808860
2	0,117254		0,039937
3	0,808860	0,039937	

**b) Po 24 h máčení**



Obr. 31 Krabicový graf – šířkové bobtnání po 24 h



Obr. 32 1. f. ANOVA – šířkové bobtnání po 24 h

p<sub>hodnota</sub> = 0,154432



### 5.5.3 Dřeviny

#### a) Smrk – laboratorní mlýn

Tab. 10 Bobtnání – smrk, laboratorní mlýn

	Po 2 h		Po 24 h	
	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$
	[%]		[%]	
min	16,469	0,706	20,607	0,647
max	19,325	1,154	23,520	1,293
<b>průměr</b>	17,455	0,918	21,863	0,906
SMODCH	1,128	0,170	1,099	0,241
variační k. [%]	6,461	18,514	5,028	26,597

#### b) Smrk – Kronospan Jihlava

Tab. 11 Bobtnání – smrk, Kronospan Jihlava

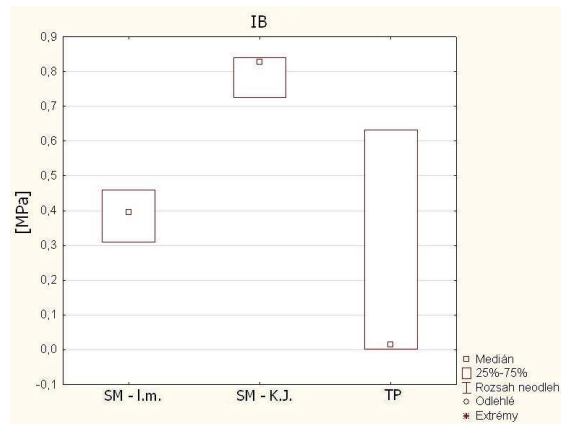
	Po 2 h		Po 24 h	
	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$
	[%]		[%]	
min	15,225	0,358	19,027	0,249
max	18,474	0,910	25,997	1,219
<b>průměr</b>	16,463	0,650	23,058	0,884
SMODCH	1,235	0,179	2,250	0,341
variační k. [%]	7,501	27,476	9,757	38,533

#### c) Topol

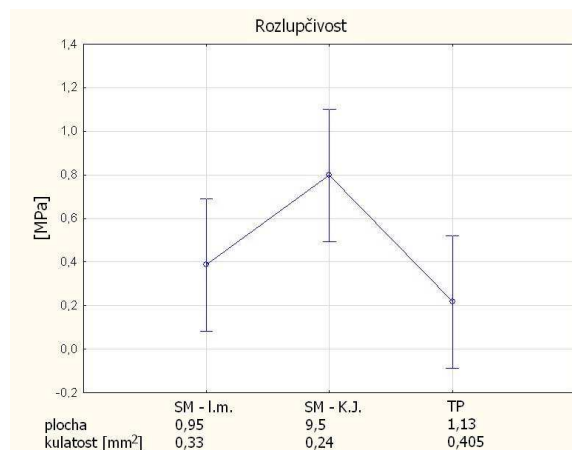
Tab. 12 Bobtnání – topol

	Po 2 h		Po 24 h	
	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$	$\alpha_{tl}$	$\alpha_{\xi}$
	[%]		[%]	
min	11,721	0,747	15,998	1,126
max	18,056	1,278	22,916	1,478
<b>průměr</b>	14,505	0,995	18,838	1,218
SMODCH	2,063	0,174	2,254	0,132
variační k. [%]	14,220	17,482	11,966	10,853

## 5.6 Rozlupčivost



Obr. 33 Krabicový graf – rozlupčivost



Obr. 34 1. f. ANOVA – rozlupčivost

$p_{hodnota} = 0,040176$

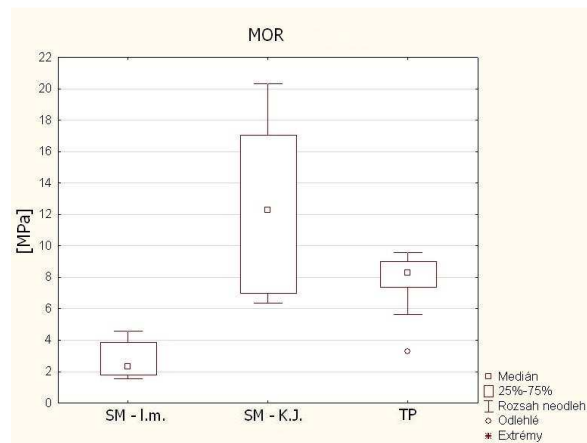
Tab. 13 Mnohonásobné porovnání – rozlupčivost

druh	SM - l. m. 0,38760	SM - K. J. 0,79747	TP 0,21681
1		0,126824	0,619747
2	0,126824		0,037745
3	0,619747	0,037745	

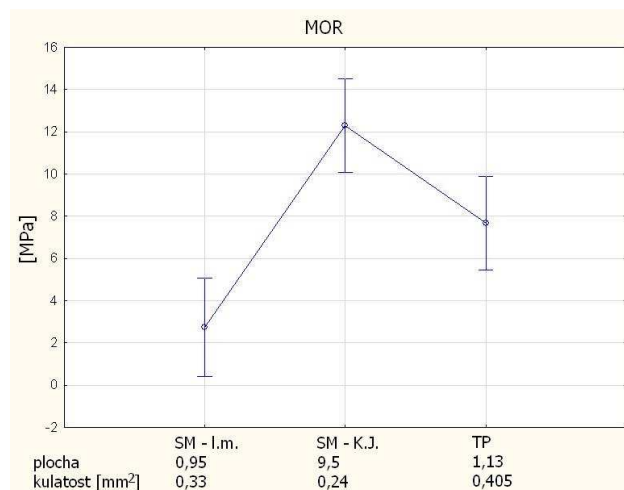
### 5.6.1 Dřeviny

	SM - l. m.	SM - K. J.	TP
	[MPa]		
min	0,309	0,7256	0,002451
max	0,459	0,8396	0,632464
<b>průměr</b>	0,388	0,797467	0,216807
SMODCH	0,061	0,051069	0,293963
variační k. [%]	15,812	6,403895	135,5875

### 5.7 Mez pevnosti v ohybu



Obr. 35 Krabicový graf – mez pevnosti v ohybu



Obr. 36 1. f. ANOVA – mez pevnosti v ohybu

$p_{\text{hodnota}} = 0,000009$

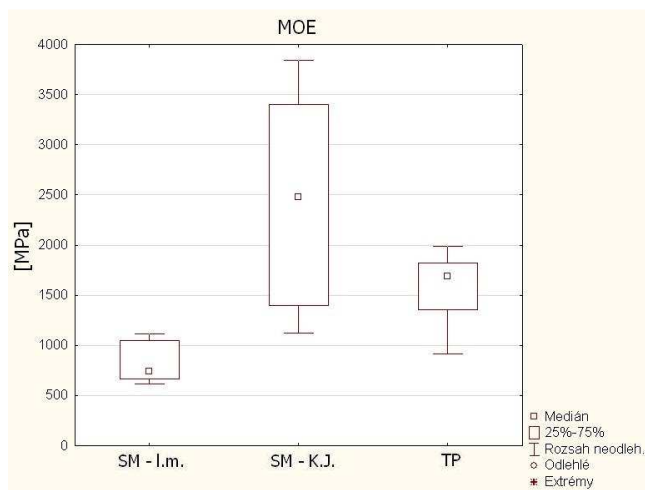
Tab. 14 Mnohonásobné porovnání – mez pevnosti v ohybu

druh	SM - l. m. 2,7444	SM - K. J. 12,305	TP 7,6740
1		0,000132	0,010884
2	0,000132		0,014113
3	0,010884	0,014113	

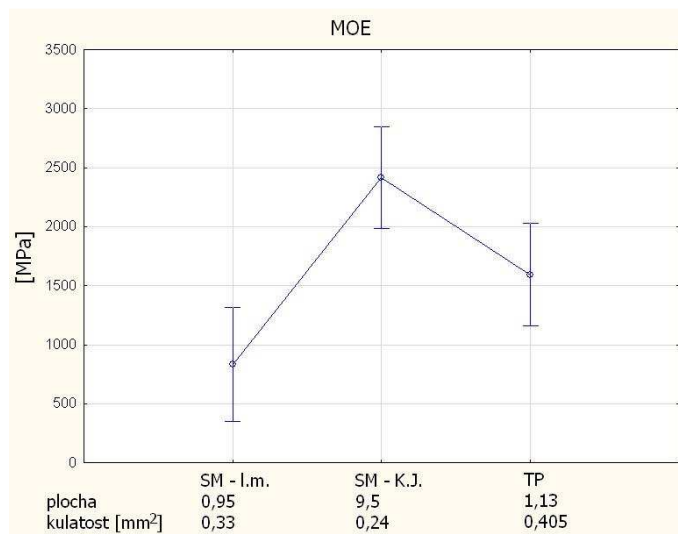
### 5.7.1 Dřeviny

	SM - l. m.	SM - K. J.	TP
	[MPa]		
min	1,540	6,370	3,260
max	4,570	20,330	9,560
<b>průměr</b>	2,744	12,305	7,674
SMODCH	1,147	5,051	1,821
variační k. [%]	2,393	2,436	4,213

## 5.8 Modul pružnosti



Obr. 37 Krabicový graf – modul pružnosti



Obr. 38 1. f. ANOVA – modul pružnosti

$p_{\text{hodnota}} = 0,000158$

Tab. 15 Mnohonásobné porovnání – modul pružnosti

druh	SM - l. m. 831,97	SM - K. J. 2416,3	TP 1592,2
1		0,000221	0,059810
2	0,000221		0,027457
3	0,059810	0,027457	

### 5.8.1 Dřeviny

	SM - l. m.	SM - K. J.	TP
	[MPa]		
min	612,47	1122,22	918,01
max	1116,77	3842,46	1984,50
<b>průměr</b>	853,00	2416,32	1592,19
SMODCH	191,56	986,51	325,36
variační k. [%]	4,45	2,45	4,89

## 6 Diskuse

### 6.1 Vlastnosti třísek

Ze sítové analýzy porovnání četností jednotlivých rozměrů a druhů třísek vyplývá jednoznačný výsledek. Průmyslově vyráběné třísky se jednoznačně liší svým složením od třísek vyráběných na laboratorním mlýnu. Při výrobě dřevotřískových desek se dbá, aby frakce nebyla menší, než 0,3 mm, jak uvádí Böhm (2005, s. 46). Proto se také v rozmezí 0 – 0,25 mm nachází minimální až zanedbatelné množství. Naopak největší četnost je v rozmezí 2 – 3,15 mm

Zajímavější závěry však ukazuje porovnání mezi třískami topolovými a smrkovými, které byly vyráběny na laboratorním mlýnu. Štěpky obou dřevin byly mlety za stejných podmínek, přesto můžeme pozorovat jisté rozdíly. Topolová frakce obsahuje přibližně dvakrát více prachových částic (0 – 0,25 mm) než frakce smrková. Stejně tak i jejich největší četnosti jsou odlišné. Jediným proměnným faktorem při procesu výroby tedy zůstává druh dřeviny. Lze tedy usoudit, že rozdílnost složení frakcí topolu a smrku vyráběných na laboratorním mlýnu je způsobena rozdílnou stavbou dřeva těchto dřevin, čímž dochází i k rozdílnému tříštění při mechanickém namáhání.

Analýza pomocí programu ImageJ však ukazuje podrobnější údaje. Při sítové analýze může dojít ke zkreslení výsledku, kvůli třesení v ose Z. Tímto třesením může u tenkých podlouhlých třísek dojít k nadskočení a propadnutí do nižších sít, i když jejich délka je značně větší, než oka síta, kterým prošly. Dále touto analýzou je zjišťován i tvar třísek, nejen jejich velikost. Porovnání plochy třísek potvrzuje jednoznačnou odlišnost průmyslově vyráběných třísek, zatímco třísky vyráběné na laboratorním mlýnu spíše ukazují na shodnost základního souboru. Podíváme-li se však na kulatost, vykazuje analýza velkou a statisticky významnou rozdílnost u všech typů. U smrku K. J. se jedná o zcela rozdílné složení, proto je důležité porovnat smrk l. m. a topol, kde je proces výroby shodný. Mezi těmito dvěma základními soubory byla stanovena hodnota  $p = 0,0034$ , což jednoznačně zamítá nulovou hypotézu o shodě základního souboru. Opět se tedy potvrzuje, že stavba dřeva má vliv na štěpení dřevní hmoty a tedy i na výsledný tvar třísek.

Hlavní problém rozdílu mezi průmyslově a laboratorně vyráběnými třískami spočívá v použití síta s příliš malými oky.

## 6.2 Vlastnosti desek

Při výrobě desek byla samozřejmě snaha o dosažení stejné hustoty. Při porovnání pomocí jedno faktorové analýzy vychází hodnota  $p = 0,67$ , potvrzuje se tedy nulová hypotéza, že střední hodnoty souborů jsou shodné. V dalších výsledcích tedy můžeme zanedbat vliv hustoty desek na zkoumané vlastnosti.

Měření bobtnání jednoznačně prokázalo, že tloušťkové bobtnání je mnohem větší než šířkové, v průměru se jedná o hodnoty 16:1 po 2 hodinách a 21:1 po 24 hodinách. Variační koeficienty ukazují menší rozptyl u tloušťkového bobtnání než u šířkového, přesto v obou případech ukazují na sourodost zkoumaných souborů. Bobtnání desky je definováno stavbou dřeva (T:R:L = 20:10:1). Délka třísek je rovnoběžná s osou vláken, jedná se tedy o směr s nejmenším podílem bobtnání. Šířkové bobtnání desky je primárně ovlivněno právě tímto rozměrem třísek, dále z natočení a tvaru třísky má vliv i tangenciální a radiální směr, v porovnání s tloušťkovým bobtnáním se však jedná o minimální podíl.

Tloušťkové bobtnání po 2 hodinách nevykazuje statisticky významné rozdíly, zatímco po 24 hodinách byl zaznamenán významný rozdíl mezi smrkovými deskami (SM – I. m. a SM – K. J.). V tomto případě můžeme zanedbat vliv dřeviny, největším rozdílem je plocha třísek. Potvrzuje to i porovnání laboratorně vyráběných třísek, kde oba druhy měly dle analýzy shodné základní soubory, z hlediska plochy třísky. Při podrobnějším prozkoumání, jsou viditelné rozdíly mezi bobtnáním po 2 a po 24 hodinách. Zatímco po 2 hodinách je jednoznačně větší nárůst desek s větším počtem prachových částic, po 24 hodinách dojde k většímu bobtnání u desek s méně prachovými částicemi. Chování by odpovídalo vlhkostnímu gradientu, který se směrem od povrchu snižuje. U malých prachových částic tedy dojde k bobtnání v celém objemu za krátký čas, zatímco u větších třísek je potřeba na prostup vlhkosti delší doby a tím dochází k většímu nárůstu bobtnání až po delší době.

U šířkového bobtnání je významný rozdíl pouze u bobtnání po 2 hodinách a mezi smrkem K. J. a topolem. V tomto případě nejsme schopni provést analyticky správné výsledky, neboť se jedná o rozdílnou dřevinu, plochu i kulatost. Pro správné porovnání bychom potřebovali komerčně vyráběné topolové třísky, které se však nevyrábějí. V tomto případě bychom spíše podpořili teorii, že s větším obsahem prachových částic se zvyšuje koeficient bobtnání, jako to vyšlo Hrázskému a Královi (2003).

Analýza rozlupčivosti opět prokázala rozdíl pouze mezi smrkem K. J. a topolem, tedy mezi těžko porovnatelnými typy, zatímco u smrkových desek byly za-

znamenány minimální rozdíly. Zároveň lze potvrdit shodu s literaturou Hrázský a Král (2003), Lee a Tahir (2003), že se zvyšujícím se podílem prachových částic dochází k poklesu pevnosti v tahu kolmo na plochu desky. Avšak variační koeficient u topolových desek ukazuje na příliš velkou nesourodost souboru.

Mez pevnosti v ohybu se opět shoduje s literaturou, tedy se zvyšujícím podílem prachových částic se snižuje mez pevnosti v ohybu. Při mnohonásobném porovnání jedno faktorové ANOVY výsledky ukazují na významné rozdíly. U smrkových desek se jednoznačně projevuje vliv plochy a velikosti frakce. U laboratorních desek se při porovnání jeví jako hlavní rozdíl kulatost třísek, avšak tento rozdíl je také umocněn druhem dřeviny. Jak uvádí Kelly (1977), se snižující se hustotou použitého dřeva se zvyšuje zhutnění desky za zachování hustoty desky. Díky tomu dochází i ke zvýšení meze pevnosti v ohybu. Kulatost tedy nemusí mít tak velký vliv.

Modul pružnosti je na tom podobně jako pevnost v ohybu, tedy i rozdíly mezi jednotlivými druhy desek lze vysvětlit stejným způsobem. Smrkové l. m. desky se však více podobají topolovým s hodnotou  $p = 0,06$ . Je třeba vzít v úvahu, že hraniční hodnota  $p$  byla nastavena na 0,05, jedná se tedy o velmi malou odchylku.

Celkově můžeme říci, že využití topolu, jako rychle rostoucí dřeviny, by bylo velice výhodné. V porovnání se smrkovými, avšak stejně vyráběnými třískami, dosahují topolové desky větší pevnosti v ohybu a modulu pružnosti. Výsadbou rychle rostoucích dřevin by klesla spotřeba smrkového dřeva a bylo by možné omezit výsadbu smrkových monokultur. I při porovnání průměrných hodnot u bobtnání vykazují topolové desky menší hodnoty, než desky smrkové.

Takovéto desky by měly jednoznačně využít ve dřevostavbách, mají minimálně shodnou odolnost proti vlhkosti jako desky smrkové a zároveň svou pevností v ohybu a modulem pružnosti předčí desky smrkové.



## 7 Závěr

Velikost třísek vyráběných na laboratorním mlýnu je silně ovlivněna sítím, které je používané při třískování. Třísky vyrobené tímto způsobem obsahují velký podíl prachových částic, které ovlivní výsledné vlastnosti desky. V tomto případě tedy nemá druh dřeva vliv na velikost třísek, avšak potvrdila se hypotéza, že rozdílné druhy dřeva tvoří při desintegraci rozdílné tvary. U topolových třísek byla pozorována větší kulatost tvaru než u třísek smrkových a zároveň vyšší procento obsahu prachových částic.

Třísky vyráběné k tradiční výrobě jsou téměř očištěny od prachových částic a jejich rozměr se pohybuje i nad 0,5 mm. Tedy i plocha třísek se pohybuje ve vyšších hodnotách (desítky mm<sup>2</sup>), na rozdíl od třísek vyráběných na laboratorním mlýnu (jednotky mm<sup>2</sup>). Díky velikosti plochy třísek mají desky vyrobené z této suroviny lepší fyzikální i mechanické vlastnosti.

Vstupní tvar a velikost třísek velice ovlivňují vlastnosti desek. Bylo potvrzeno, že s rostoucí velikostí třísek roste i mez pevnosti v ohybu a modul pružnosti. Podobnou tendenci bychom mohli pozorovat i vzhledem k tvaru třísek (kulatosti), avšak k tomuto závěru by bylo třeba více výsledků. Lze pozorovat i změny bobtnání v čase, kde u desek s větším počtem prachových částic dochází k většímu bobtnání po 2 hodinách máčení. Stejně tak můžeme vyhodnotit i vliv druhu dřeva. Z hlediska ohybového namáhání, modulu pružnosti a tloušťkového bobtnání výsledky ukazují na jednoznačně lepší hodnoty u desky vyrobené z topolových třísek.

## 8 Summary

Objective of this work is to compare laboratory made particles with commercial particles, analyze their size, shape and frequency and find out the influence of these particle's properties on particleboard's properties.

For particle analysis were used sieve analysis and ImageJ. It was determine, that laboratory made particles have smaller dimensions and contain bigger amount of dust particles, but that is primarily caused by using sieve with small mesh during grinding. Also type of wood changes particle properties. Poplar particles have more dust particles and bigger circularity than spruce. It is caused by composition of timber.

From all of these particles (spruce laboratory made, spruce commercial and poplar) particleboards were made. These boards were tested for mechanical and physical properties. Density, swelling, internal bonding, modulus of rapture and modulus of elasticity were tested. Test of density showed, that all boards has same density, what was intention so we could exclude density influencing factor. By comparing other tested properties it was find out that area and volume of dust particles have significant effect on board's properties. The higher amount of area of particles the smaller swelling and higher modulus of rapture so modulus of elasticity. The most interesting detection concerns of boards made from poplar particles. Poplar boards compared with spruce boards made from laboratory made particles had better mechanical and physical properties. These results indicate that poplar could be perfect replacement for spruce in particleboard industry. This thesis could be confirmed if it would be achieved same results with commercial poplar particles (unfortunately these particles are not manufactured).

## 9 Seznam použité literatury

- ARABI, Mohammad, Mehdi FAEZIPOUR a Heydar GHOLIZADEH. *Reducing resin content and board density without adversely affecting the mechanical properties of particleboard through controlling particle size*. Journal of Forestry Research. 2011, č. 22, s. 659-664.
- BÖHM, Martin. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. 2005, s. 97. Dostupné z: [http://fd.czu.cz/~bohml/aglomerovane\\_materialy.pdf](http://fd.czu.cz/~bohml/aglomerovane_materialy.pdf)
- HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. *The influence of particle composition in three-layer particleboard on its physical and mechanical properties*. Journal of forest science. 2003, č. 49, s. 83-93.
- INDRÁK, Jaroslav. *Výroba dřevotřískových desek* [online]. 2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: [www.zlinskedumy.cz/download/7004-VY\\_32\\_INOVACE\\_IND110.pdf](http://www.zlinskedumy.cz/download/7004-VY_32_INOVACE_IND110.pdf)
- JUŘICOVÁ, Jolana a Marek BEDNAŘÍK. *Lesnictví a myslivost*. 2011.
- KELLY, Myron. *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard*. Raleigh: U.S. Government printing office, 1977.
- KELLY, Robert a Craig SHULER. *Effect of flake geometry on mechanical properties of eastern spruce flake-type particleboard*. Forest products journal. 1976, č. 6, s. 24-27.
- KÜES, Ursula. *Wood production, wood technology, and biotechnological impacts*. Göttingen: Univ.-Verl. Göttingen, 2007. ISBN 9783940344113.
- LEE, Ong a Paridah TAHIR. *Effects of fine particles content on the properties of five-layered oriented strand board*. XII World Forestry Congress. 2003.
- MEDVED, Sergej a Jože RESNIK. *Influence of beech particle size used in surface layer on bending strength of three-layer particleboard*. Zbornik gozdarstva in lesarstva. 2003, č. 72, s. 197-207.
- NATIONS, United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the United. *Forest products annual market review 2012-2013*. Geneva: United Nations, 2013. ISBN 9789211170702.

SACKEY, Emmanuel, Kate SEMPLE, Seung-Won OH a Gregory SMITH. *Improving core bond strength of particleboard through particle size redistribution*. Wood and fiber science. 2008, č. 40, s. 214-224.

*Udržitelná energie a krajina, včera, dnes a zítra*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2013. ISBN 978-80-87308-20-2.

*Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství české republiky (2013)* [online]. Praha, 2014[cit. 2015-03-04]. ISBN 978-80-7434-153-3. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/337394/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2013.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/337394/Zprava_o_stavu_lesa_2013.pdf)

**NORMY:**

EN 310. Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. : 1993.

EN 317. Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. : 1993.

EN 319. Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. : 1993

EN 323. Wood-based panels – Determination of density. : 1993

ČSN 48 0055. Technické požadavky – Jehličnaté sortimenty surového dříví. : 1985

ČSN 48 0056. Technické požadavky – Listnaté sortimenty surového dříví. : 1985

# **Přílohy**

**IMAGEJ**  
**smrk - Kronospan Jihlava**

ruční měření						automatické měření			
delka	šířka	ax <sub>r</sub>	delka	šířka	ax <sub>r</sub>	plocha		kulatost	
[mm]			[mm]			[mm <sup>2</sup> ]			
10,509	3,437	3,058	8,400	1,767	4,754	31,042	4,093	0,267	0,338
7,338	3,210	2,286	8,432	2,499	3,374	17,926	8,249	0,15	0,057
6,315	0,993	6,360	8,927	1,799	4,962	0,531	1,789	0,536	0,106
7,463	0,720	10,365	6,636	2,926	2,268	4,51	1,433	0,067	0,523
16,613	1,799	9,235	10,541	1,781	5,919	3,179	6,499	0,092	0,096
11,321	0,459	24,664	7,152	0,509	14,051	0,265	18,483	0,306	0,15
7,653	1,094	6,995	12,797	1,891	6,767	81,486	0,39	0,009	0,186
5,221	0,853	6,121	4,642	1,253	3,705	1,845	0,347	0,158	0,368
4,143	0,649	6,384	6,959	1,450	4,799	0,825	0,349	0,056	0,689
9,082	0,180	50,456	3,992	1,079	3,700	0,999	2,429	0,043	0,227
11,391	2,366	4,814	11,625	0,804	14,459	0,583	0,365	0,259	0,215
2,051	1,370	1,497	4,910	1,138	4,315	3,541	0,403	0,163	0,232
6,941	2,719	2,553	20,454	0,720	28,408	8,996	0,266	0,313	0,747
6,785	1,278	5,309	4,443	0,636	6,986	24,804	55,555	0,209	0,034
24,196	2,572	9,407	3,437	0,636	5,404	0,256	0,729	0,304	0,134
4,452	0,763	5,835	4,501	1,439	3,128	71,513	15,389	0,104	0,094
4,042	1,946	2,077	2,970	0,360	8,250	3,502	51,069	0,533	0,125
1,937	1,852	1,046	2,557	1,526	1,676	2,769	44,584	0,609	0,023
6,940	0,804	8,632	2,293	0,524	4,376	20,621	0,263	0,113	0,23
8,568	1,026	8,351	7,417	0,636	11,662	0,345	1,914	0,489	0,137
1,399	1,278	1,095	2,400	1,079	2,224	4,573	0,373	0,174	0,205
1,925	0,763	2,523	7,080	0,459	15,425	0,953	1,885	0,212	0,081
2,290	1,272	1,800	5,492	1,297	4,234	2,206	1,697	0,333	0,143
12,417	1,272	9,762	3,180	1,526	2,084	20,196	0,753	0,053	0,332
6,959	2,293	3,035	11,220	1,821	6,161	35,17	1,805	0,109	0,26
						0,833	0,544	0,201	0,421
						1,827	0,314	0,525	0,098
						13,649	0,413	0,271	0,453
						0,692	0,439	0,209	0,151
						0,334	4,436	0,247	0,284
						5,768	10,556	0,19	0,23
						17,394	12,447	0,042	0,279
						15,011	1,989	0,149	0,25
						10,37	0,455	0,184	0,089
						6,99	0,423	0,507	0,692
						19,799		0,279	

	delka	šířka	ax <sub>r</sub>	plocha	kulatost
	[mm]			[mm <sup>2</sup> ]	
min	1,399	0,180	1,046	0,256	0,009
max	24,196	3,437	50,456	81,486	0,747
průměr	7,208	1,370	7,335	9,696	0,241
SMODCH	4,571	0,762	8,162	16,458	0,171
variáční k.	63,413	55,619	111,269	169,736	70,776

## smrk - laboratorně vyrobené třísky

ruční měření						automatické měření			
delka	šířka	$ax_r$	delka	šířka	$ax_r$	plocha		kulatost	
[mm]			[mm]			[mm <sup>2</sup> ]			
2,072	0,543	3,816	2,488	0,678	3,670	0,262	0,768	0,751	0,272
0,856	0,318	2,692	2,404	0,566	4,247	0,271	0,81	0,286	0,114
0,829	0,427	1,941	1,383	0,761	1,817	0,262	0,569	0,375	0,259
2,448	0,371	6,598	1,459	0,261	5,590	2,626	1,649	0,257	0,141
0,586	0,497	1,179	1,981	0,345	5,742	0,375	0,372	0,49	0,269
1,043	0,497	2,099	1,808	0,24	7,533	0,844	0,294	0,687	0,657
1,845	0,509	3,625	0,894	0,256	3,492	2,252	0,332	0,448	0,296
1,127	0,254	4,437	0,878	0,481	1,825	2,794	0,404	0,175	0,255
0,766	0,262	2,924	0,54	0,102	5,294	0,463	0,892	0,358	0,158
0,911	0,134	6,799	0,93	0,645	1,442	0,604	4,001	0,287	0,4
1,536	0,443	3,467	0,707	0,144	4,910	1,04	0,642	0,149	0,279
0,612	0,306	2,000	1,171	0,141	8,305	0,451	0,405	0,284	0,542
0,569	0,494	1,152	1,469	0,141	10,418	1,029	0,55	0,197	0,116
2,649	0,331	8,003	0,628	0,311	2,019	0,275	1,623	0,374	0,22
2,484	0,323	7,690	0,628	0,152	4,132	0,299	0,358	0,353	0,281
0,742	0,402	1,846	4,048	0,667	6,069	1,03	0,672	0,371	0,169
0,468	0,342	1,368	0,787	0,19	4,142	0,419	4,998	0,178	0,129
1,56	0,842	1,853	3,053	0,426	7,167	1,034	0,42	0,405	0,127
0,69	0,284	2,430	3,152	0,617	5,109	0,333	0,487	0,168	0,193
1,033	0,577	1,790	0,882	0,24	3,675	0,31	0,578	0,405	0,798
0,961	0,271	3,546	0,642	0,212	3,028	0,906	0,489	0,462	0,317
0,339	0,085	3,988	0,823	0,216	3,810	1,021	0,25	0,305	0,18
1,975	0,853	2,315	1,253	0,402	3,117	2,213	0,761	0,139	0,362
0,859	0,4	2,148	2,268	0,391	5,801	2,413	0,426	0,171	0,349
0,87	0,331	2,628	0,939	0,19	4,942	1,426	2,17	0,203	0,191
						1,309	0,646	0,442	0,102
						0,279	0,619	0,166	0,085
						1,704	0,589	0,176	0,314
						2,523	0,602	0,474	0,617
						0,34	0,353	0,441	0,124
						0,39	0,421	0,46	0,289
						1,083	1,245	0,211	0,231
						0,888	0,945	0,483	0,414
						0,879	0,857	0,369	0,56
						1,47	0,383	0,295	0,233
						0,793	0,568	0,363	0,541
						0,573	1,262	0,752	0,452
						0,35	3,194	0,527	0,338
						0,945	0,423	0,062	0,189
						0,436	0,888	0,707	0,151
						0,473	0,319	0,133	0,6
min	0,339	0,085	1,152	0,25	0,062	1,265	0,507	0,249	0,74
max	4,048	0,853	10,418	4,998	0,798				
průměr	1,341	0,377	3,993	0,945	0,329				
SMODCH	0,815	0,188	2,144	0,859	0,177				
variáční k.	60,793	49,923	53,693	90,888	53,808				

## topol (část 1.)

ruční měření						automatické měření			
delka	šířka	ax <sub>r</sub>	delka	šířka	ax <sub>r</sub>	plocha		kulatost	
[mm]			[mm]			[mm <sup>2</sup> ]			
0,43	0,121	3,554	0,761	0,197	3,863	2,051	0,572	0,197	0,46
0,383	0,106	3,613	0,502	0,228	2,202	1,469	0,529	0,214	0,784
0,384	0,109	3,523	0,796	0,121	6,579	0,313	2,37	0,253	0,45
0,494	0,183	2,699	0,956	0,342	2,795	4,204	0,342	0,571	0,355
0,212	0,206	1,029	0,73	0,152	4,803	0,974	0,597	0,353	0,377
0,631	0,185	3,411	0,442	0,122	3,623	1,38	0,493	0,159	0,375
0,312	0,203	1,537	0,43	0,215	2,000	0,703	0,316	0,28	0,493
0,212	0,17	1,247	0,393	0,095	4,137	0,407	6,229	0,515	0,296
0,798	0,053	15,057	1,284	0,23	5,583	0,918	0,512	0,692	0,775
0,637	0,138	4,616	0,772	0,165	4,679	15,899	0,481	0,043	0,567
0,185	0,098	1,888	0,412	0,13	3,169	0,418	0,774	0,454	0,49
0,254	0,234	1,085	0,833	0,219	3,804	0,275	0,57	0,44	0,316
0,917	0,17	5,394	0,773	0,184	4,201	0,376	0,533	0,689	0,588
0,611	0,098	6,235	0,24	0,103	2,330	2,219	0,894	0,391	0,243
0,594	0,108	5,500	0,771	0,17	4,535	0,281	0,26	0,347	0,53
0,711	0,191	3,723	1,982	0,306	6,477	1,057	1,354	0,529	0,281
0,178	0,175	1,017	2,498	0,106	23,566	0,701	0,469	0,331	0,259
0,204	0,138	1,478	1,14	0,446	2,556	1,81	0,503	0,443	0,306
0,562	0,166	3,386	0,849	0,632	1,343	0,825	0,617	0,687	0,413
0,235	0,077	3,052	0,35	0,108	3,241	0,581	2,163	0,274	0,332
0,117	0,085	1,376	0,735	0,095	7,737	0,409	0,324	0,442	0,298
0,121	0,068	1,779	0,409	0,225	1,818	0,505	0,275	0,599	0,482
0,806	0,382	2,110	1,185	0,391	3,031	0,321	0,656	0,487	0,534
2,075	0,252	8,234	1,442	0,258	5,589	0,424	1,205	0,435	0,675
1,334	0,228	5,851	0,209	0,136	1,537	0,278	1,113	0,517	0,468
						3,43	0,48	0,29	0,804
						0,414	2,218	0,317	0,433
						0,495	0,404	0,641	0,486
						1,529	0,298	0,687	0,45
						0,351	0,37	0,313	0,783
						0,559	0,26	0,577	0,874
						0,863	0,371	0,467	0,144
						0,409	0,478	0,635	0,525
						0,27	0,483	0,362	0,201
						0,281	0,298	0,552	0,438
						0,668	0,392	0,603	0,402
						2,032	0,484	0,13	0,514
						0,639	3,096	0,226	0,447
						0,268	1,394	0,485	0,115
						0,493	0,486	0,513	0,229
						0,646	3,988	0,319	0,283
						0,274	3,426	0,405	0,157
						0,598	5,088	0,22	0,42
						2,306	0,304	0,668	0,383
						0,298	0,265	0,235	0,262
						3,982	0,398	0,093	0,555



## topol (část 2.)

plocha		kulatost	
[mm <sup>2</sup> ]			
1,179	0,351	0,178	0,259
0,759	2,892	0,168	0,427
0,632	0,482	0,367	0,295
1,324	2,183	0,175	0,478
1,434	0,282	0,498	0,311
0,309	0,426	0,408	0,641
6,942	0,435	0,211	0,389
1,163	0,379	0,393	0,466
0,374	0,956	0,491	0,3
0,297	1,073	0,375	0,323
0,433	0,276	0,477	0,566
0,59	1,291	0,528	0,215
0,282	0,293	0,35	0,659
0,592	0,475	0,317	0,646
0,659	0,641	0,16	0,208
3,863	3,081	0,265	0,179
0,264	1,862	0,639	0,307
0,583	0,459	0,233	0,209
0,518	0,413	0,374	0,345
1,428	0,306	0,45	0,496
0,335	3,573	0,669	0,27
0,289	1,361	0,299	0,346
1,738	1,699	0,287	0,24
0,253	0,307	0,592	0,221
0,527	0,794	0,274	0,544
0,36	0,362	0,319	0,482
2,787	0,446	0,206	0,417
0,289	0,35	0,352	0,356
0,749	1,201	0,5	0,27
0,257	0,516	0,568	0,767
4,066		0,075	

	delka	šířka	ax <sub>r</sub>	plocha	kulatost
	[mm]			[mm <sup>2</sup> ]	
min	0,117	0,053	1,017	0,253	0,043
max	2,498	0,632	23,566	15,899	0,874
průměr	0,686	0,186	4,152	1,132	0,405
SMODCH	0,501	0,105	3,666	1,673	0,169
variáční k.	73,088	56,598	88,298	147,831	41,623

**BOBTNÁNÍ**  
smrk - laboratorně vyrobené třísky

suchý vzorek

vzorek č.	$tl_1$	$tl_2$	$tl_{prum}$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_{prum}$	m	$\rho$
	[mm]						[g]	$kg \cdot m^{-3}$
1	9,73	9,83	9,78	50,13	50,22	50,175	16,519	670,920
2	9,72	9,71	9,715	50,34	50,17	50,255	15,73	641,104
3	9,95	9,91	9,93	50,27	50,21	50,24	15,975	637,371
4	9,4	9,38	9,39	50,23	50,25	50,24	13,071	551,498
5	9,42	9,49	9,455	50,28	50,26	50,27	13,652	571,369
6	9,15	9,27	9,21	50,34	49,89	50,115	16,003	691,855
7	9,15	9,28	9,215	50,19	50,2	50,195	15,861	683,147
8	9,21	9,14	9,175	50,23	50,29	50,26	15,311	660,621
9	9,25	9,15	9,2	50,27	50,14	50,205	15,261	658,115
10	9,7	9,56	9,63	49,89	50,31	50,1	13,341	551,943
11	9,56	9,41	9,485	50,34	50,17	50,255	13,861	578,629
12	9,45	9,48	9,465	50,3	49,67	49,985	13,178	557,271

min	.....	551,498
max	.....	691,855
průměr	.....	621,154
SMODCH	.....	52,371
variáční k.	.....	8,431 %

Po 2 h máčení

bobtnání

$tl_1$	$tl_2$	$tl_{prum}$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_{prum}$	$\alpha_{tl}$	$\alpha_\xi$
[mm]						[%]	
11,740	11,600	11,670	50,540	50,760	50,650	19,325	0,947
11,430	11,200	11,315	50,640	50,580	50,610	16,469	0,706
11,550	11,590	11,570	50,490	50,740	50,615	16,516	0,746
10,890	11,040	10,965	50,780	50,740	50,760	16,773	1,035
11,070	11,280	11,175	50,900	50,800	50,850	18,191	1,154

min	.....	16,469	0,706
max	.....	19,325	1,154
průměr	.....	17,455	0,918
SMODCH	.....	1,128	0,170
variáční k.	.....	6,461	18,514

Po 24 h máčení

bobtnání

$tl_1$	$tl_2$	$tl_{prum}$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_{prum}$	$\alpha_{tl}$	$\alpha_\xi$
[mm]						[%]	
12,070	11,930	12,000	50,600	50,430	50,515	22,699	0,678
12,140	11,860	12,000	50,600	50,560	50,580	23,520	0,647
12,190	11,960	12,075	50,550	50,800	50,675	21,601	0,866
11,350	11,300	11,325	50,720	50,810	50,765	20,607	1,045
11,330	11,530	11,430	50,950	50,890	50,920	20,888	1,293

min	.....	20,607	0,647
max	.....	23,520	1,293
průměr	.....	21,863	0,906
SMODCH	.....	1,099	0,241
variáční k.	.....	5,028	26,597

## smrk - Kronospan Jihlava

suchý vzorek

vzorek č.	tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	m	ρ
	[mm]						[g]	kg·m <sup>-3</sup>
1	9,470	9,450	9,460	50,300	50,280	50,290	14,617	610,947
2	9,150	9,180	9,165	49,800	50,190	49,995	14,511	633,459
3	9,110	9,240	9,175	50,130	50,310	50,220	14,401	622,350
4	9,140	9,170	9,155	49,920	50,190	50,055	13,509	588,943
5	9,640	9,670	9,655	50,020	50,350	50,185	17,189	706,895
6	9,890	9,840	9,865	50,190	49,990	50,090	16,376	661,623
7	9,780	9,650	9,715	49,870	50,170	50,020	14,649	602,673
8	9,390	9,400	9,395	50,320	50,130	50,225	14,180	598,330

min	.....	588,943
max	.....	706,895
průměr	.....	628,153
SMODCH	.....	36,665
variáční k.	.....	5,837 %

Po 2 h máčení

bobtnání

tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	α <sub>tl</sub>	α <sub>š</sub>
[mm]						[%]	
10,810	11,080	10,945	50,440	50,770	50,605	15,698	0,626
10,480	10,710	10,595	50,340	50,560	50,450	15,603	0,910
10,940	10,800	10,870	50,340	50,460	50,400	18,474	0,358
10,690	10,790	10,740	50,250	50,490	50,370	17,313	0,629
11,450	10,800	11,125	50,390	50,710	50,550	15,225	0,727

min	.....	15,225	0,358
max	.....	18,474	0,910
průměr	.....	16,463	0,650
SMODCH	.....	1,235	0,179
variáční k.	.....	7,501	27,476

Po 24 h máčení

bobtnání

tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	α <sub>tl</sub>	α <sub>š</sub>
[mm]						[%]	
11,070	11,450	11,260	50,920	50,540	50,730	19,027	0,875
11,280	11,340	11,310	50,710	50,410	50,560	23,404	1,130
11,300	11,370	11,335	50,370	50,320	50,345	23,542	0,249
11,420	11,160	11,290	50,600	50,730	50,665	23,321	1,219
12,210	12,120	12,165	50,570	50,750	50,660	25,997	0,946

min	.....	19,027	0,249
max	.....	25,997	1,219
průměr	.....	23,058	0,884
SMODCH	.....	2,250	0,341
variáční k.	.....	9,757	38,533

## topol

suchý vzorek

vzorek č.	tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	m	ρ
	[mm]						[g]	kg·m <sup>-3</sup>
1	9,470	9,470	9,470	50,310	50,040	50,175	12,938	542,682
2	9,350	9,340	9,345	50,190	50,250	50,220	15,049	638,521
3	9,030	9,080	9,055	49,900	50,220	50,060	14,857	654,735
4	9,670	9,610	9,640	50,110	50,290	50,200	14,495	596,671
5	9,490	9,590	9,540	50,330	50,030	50,180	14,410	599,871
6	9,490	9,500	9,495	50,220	49,920	50,070	14,264	599,232
7	9,580	9,660	9,620	49,870	50,250	50,060	13,263	550,163
8	9,520	9,550	9,535	50,220	50,160	50,190	12,638	526,167
9	9,610	9,610	9,610	50,180	50,310	50,245	12,786	527,019
10	9,480	9,480	9,480	50,210	50,290	50,250	13,799	576,458

min	.....	526,167
max	.....	654,735
průměr	.....	581,152
SMODCH	.....	42,473
variáční k.	.....	7,308 %

Po 2 h máčení

bobtnání

tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	α <sub>tl</sub>	α <sub>š</sub>
[mm]						[%]	
10,510	10,650	10,580	50,570	50,690	50,630	11,721	0,907
10,660	10,620	10,640	50,640	50,840	50,740	13,858	1,035
10,660	10,720	10,690	50,560	50,840	50,700	18,056	1,278
10,990	10,980	10,985	50,620	50,790	50,705	13,952	1,006
10,940	10,990	10,965	50,410	50,700	50,555	14,937	0,747

min	.....	11,721	0,747
max	.....	18,056	1,278
průměr	.....	14,505	0,995
SMODCH	.....	2,063	0,174
variáční k.	.....	14,220	17,482

Po 24 h máčení

bobtnání

tl <sub>1</sub>	tl <sub>2</sub>	tl <sub>prum</sub>	š <sub>1</sub>	š <sub>2</sub>	š <sub>prum</sub>	α <sub>tl</sub>	α <sub>š</sub>
[mm]						[%]	
11,000	10,970	10,985	50,680	50,800	50,740	15,998	1,126
11,140	11,060	11,100	50,800	50,840	50,820	18,780	1,195
11,180	11,080	11,130	50,920	50,680	50,800	22,916	1,478
11,500	11,280	11,390	50,820	50,740	50,780	18,154	1,155
11,250	11,330	11,290	50,960	50,540	50,750	18,344	1,136

min	.....	15,998	1,126
max	.....	22,916	1,478
průměr	.....	18,838	1,218
SMODCH	.....	2,254	0,132

**ROZLUPČIVOST**  
**smrk - laboratorně vyrobené třísky**

rozměry smykové plochy		$\epsilon_{Fmax}$	$f_{tL}$
a	b		
[mm]		[MPa]	
50	50	0,39	0,395
50	50	0,31	0,309
50	50	0,60	0,459
min	.....		0,309
max	.....		0,459
průměr	.....		0,388
SMODCH	.....		0,061
variáční k.	.....		15,812 %

**smrk - Kronospan Jihlava**

rozměry smykové plochy		$\epsilon_{Fmax}$	$f_{tL}$
a	b		
[mm]		[MPa]	
50	50	0,65	0,726
50	50	1,03	0,827
50	50	0,62	0,840
min	.....		0,726
max	.....		0,840
průměr	.....		0,797
SMODCH	.....		0,051
variáční k.	.....		6,404 %

**topol**

rozměry smykové plochy		$\epsilon_{Fmax}$	$f_{tL}$
a	b		
[mm]		[MPa]	
50	50	0,47	0,016
50	50	0,64	0,002
50	50	0,53	0,632
min	.....		0,002
max	.....		0,632
průměr	.....		0,217
SMODCH	.....		0,294
variáční k.	.....		135,588 %

**OHYB**  
**smrk - laboratorně vyrobené třísky**

tloušťka	šířka	délka	$\rho$	váha	$F_{max}$	$\epsilon_{Fmax}$	MOR	MOE
	[mm]		[kg·m <sup>3</sup> ]	[g]	[N]	[mm]	[MPa]	
9,82	50,03	230	606	68,5	-	-	-	-
9,82	50,03	225	514	56,8	75,71	3,32	4,51	1021,23
9,70	49,98	225	539	58,8	28,76	2,35	1,76	683,51
9,70	49,99	225	621	67,8	38,12	1,89	2,33	790,09
9,47	50,11	228	641	69,4	61,81	2,69	3,84	1047,81
9,62	49,82	228	518	56,6	73,17	2,93	4,57	1116,77
9,49	49,69	228	510	54,8	31,30	2,85	2,01	656,57
9,53	49,74	228	504	54,5	24,13	2,27	1,54	612,47
9,48	50,03	230	608	66,3	28,06	2,85	1,80	694,83
9,45	50,15	230	625	68,1	36,46	1,98	2,34	1053,74
min	.....		504,00	.....			1,540	612,470
max	.....		641,00	.....			4,570	1116,77
průměr	.....		568,60	.....			2,744	853,002
SMODCH	.....		53,05	.....			1,147	191,562
variáční k.	.....		10,72	.....			2,393	4,453 %

**smrk - Kronospan Jihlava**

tloušťka	šířka	délka	$\rho$	váha	$F_{max}$	$\epsilon_{Fmax}$	MOR	MOE
	[mm]		[kg·m <sup>3</sup> ]	[g]	[N]	[mm]	[MPa]	
9,63	50,05	230	577	64,0	109,89	4,08	6,82	1307,70
9,57	50,10	230	774	85,4	101,5	3,26	6,37	1558,93
9,59	49,99	230	794	87,5	308,25	3,79	19,31	3786,32
9,58	50,15	230	579	64,0	324,86	3,99	20,33	3842,46
9,34	50,24	230	584	63,0	119,51	3,41	7,85	1397,10
9,61	49,91	230	640	70,6	111,99	4,46	7,00	1122,22
9,58	50,16	230	639	70,6	217,42	3,55	13,60	2788,58
9,60	49,95	230	655	72,2	220,22	3,65	13,78	2609,49
9,58	50,03	230	742	81,8	174,32	3,18	10,93	2352,49
9,35	50,40	230	572	62,0	260,96	4,09	17,06	3397,92
min	.....		572,00	.....			6,370	1122,22
max	.....		794,00	.....			20,330	3842,46
průměr	.....		655,60	.....			12,305	2416,321
SMODCH	.....		80,82	.....			5,051	986,506
variáční k.	.....		8,11	.....			2,436	2,449 %

## topol

tloušťka	šířka	délka	$\rho$	váha	$F_{max}$	$\epsilon_{Fmax}$	MOR	MOE
	[mm]		[kg·m <sup>3</sup> ]	[g]	[N]	[mm]	[MPa]	
9,45	50,15	230	579	63,1	50,70	2,39	3,26	918,01
9,38	49,83	230	619	66,5	115,14	3,69	7,56	1357,38
9,31	50,16	230	635	68,2	135,68	3,40	8,99	1624,47
9,54	50,16	230	576	63,4	151,50	3,55	9,56	1938,49
9,16	50,21	230	631	66,7	126,41	3,51	8,64	1822,54
9,07	49,87	230	625	65,0	123,70	3,28	8,68	1984,5
9,54	50,17	230	581	64,0	125,36	3,63	7,91	1565,71
9,34	49,82	230	623	66,7	137,95	3,73	9,14	1745,67
9,53	50,01	230	560	61,4	115,57	2,97	7,36	1776,4
9,70	49,88	230	512	57,0	91,97	3,24	5,64	1188,68
min	.....		512,00	.....		3,260		918,010
max	.....		635,00	.....		9,560		1984,50
průměr	.....		594,10	.....		7,674		1592,19
SMODCH	.....		37,52	.....		1,821		325,361
variáční k.	.....		15,84	.....		4,213		4,894 %

## SÍTOVÁ ANALÝZA

[mm]	topol			smrk - l. m.			smrk - Kr. J.		
měření	1	2	Ø	1	2	Ø	1	2	Ø
celkové měřené množství	51,32	50,47	50,895	50,75	50,83	50,79	51,12	50,28	50,7
velikost ok									
5 a více	0	0	0	0	0	0	3,51	4,67	4,09
3,15 - 5	0	0	0	0	0	0	6,67	6,54	6,605
2 - 3,15	0,83	0,84	0,835	0,27	0,29	0,28	19,67	20,90	20,285
1 - 2	19,64	20,12	19,88	15,30	16,64	15,97	16,29	13,51	14,9
0,5 - 1	15,36	14,80	15,08	22,74	22,50	22,62	3,48	2,93	3,205
0,25 - 0,5	8,87	8,46	8,665	8,45	8,26	8,355	0,85	0,70	0,775
0 - 0,25	6,51	5,87	6,19	3,39	2,67	3,03	0,18	0,23	0,205