

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA  
Ústav nauky o dřevě



**Posouzení vlivu použitého dřeva na vlastnosti  
třískových desek**  
Diplomová práce

2016/2017

Bc. Juraj Ďurovec

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci: „Posouzení vlivu použitého dřeva na vlastnosti třískových desek“ 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 nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta

## **Poděkování**

Rád by som poďakoval môjmu vedúcemu záverečnej práce pánovi doc. Dr. Ing. Pavlovi Královi a môjmu konzultantovi pánovi Ing. Tomášovi Pipíškovi za užitočné rady a ochotné vedenie počas spracovania tejto diplomovej práce. Taktiež by som rád poďakoval všetkým, ktorí mi pomohli pri práci, i tým, ktorí svojimi pripomienkami a podporou prispeli k vzniku tejto diplomovej práci.

## **Abstrakt**

**Jméno/name:** Bc. Juraj Ďurovec

**Název diplomové práce:** Posouzení vlivu použitého dřeva na vlastnosti třískových desek

Diplomová práce sa zaoberá výrobou a testovaním drevotrieskových dosiek, kde tieto dosky sú vyrobené v kombinácii s recyklovaným drevom a štiepkou. Pri výrobe dosiek sa používal rôzny pomer recyklovaného drevo a štiepky. Podľa noriem sú vytvorené skúšobné vzorky z dosiek a tie sú následne testované na vybrané vlastnosti. Namerané výsledky sú medzi sebou štatisticky porovnané.

**Klíčova slova:** dřevotřísková deska, recyklát, recyklované dřevo, třísky, ohybová pevnost

**Title of thesis:** Impact of wood waste on the properties of particle boards

Thesis describes the construction and testing of particle boards, where these boards are made in combination with the recycled wood and chips. In the production of boards we had been using different ratio of the recycled wood and chips. According to the standards, we have created a test samples of the boards and they are subsequently tested for selected properties. Measured results are statistically compared between themselves.

**Keywords:** particle board, recycled wood, wood waste, chips, bending strength

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Cieľ práce.....	10
3	Literárny prehľad.....	11
3.1	Drevotriesková doska .....	11
3.2	Suroviny pre výrobu drevotrieskovej dosky.....	12
3.2.1	Drevný odpad (recyklované drevo).....	13
3.3	Spracovanie suroviny .....	14
3.3.1	Odkôrňovanie drevnej hmoty .....	14
3.3.2	Štiepkovanie .....	14
3.3.3	Roztrieskovanie.....	16
3.4	Skladovanie triesok .....	18
3.5	Sušenie triesok .....	19
3.6	Domielanie triesok .....	20
3.7	Triedenie triesok .....	20
3.8	Nanášanie lepiacej zmesi.....	21
3.9	Vrstvenie trieskového koberca.....	21
3.10	Lisovanie trieskových dosiek.....	21
3.11	Dokončovanie trieskových dosiek .....	22
3.12	Vplyv tvaru triesok na vlastnosti dosky .....	23
3.13	Vplyv veľkosti frakcie na vlastnosti dosky .....	25
3.14	Vplyv drevinu na vlastnosti dosky.....	25
4	Metodika .....	27
4.1	Odber recyklovaného dreva a štiepky .....	27
4.2	Sieťová analýza.....	27
4.3	Výroba triesok.....	28

4.4	Vysitovanie jednotlivých frakcií.....	28
4.5	Sušenie triesok .....	29
4.6	Výroba dosiek.....	30
4.7	Testovanie vlastností dosky.....	31
4.7.1	Zisťovanie modulu pružnosti a pevnosti v ohybe.....	32
4.7.2	Rozlupčivosť.....	35
4.7.3	Napúčanie .....	35
4.7.4	Hustota a vlhkosť .....	36
4.8	Použité zariadenia pri testovaní .....	37
5	Výsledky a diskusia.....	38
5.1	Hodnoty pre výpočet navážok surovín pre výrobu trieskových dosiek .....	38
5.2	Výsledky ohybovej pevnosti.....	39
5.3	Rozlupčivosť.....	43
5.4	Hrúbkové napúčanie.....	46
5.5	Hustota dosiek.....	49
5.6	Vlhkosť dosiek.....	51
6	Záver.....	53
7	Summary .....	54
8	Zoznam literatúry .....	55
9	Prílohy.....	57

## Zoznam obrázkov

1. Obr. 1: Disková sekačka (Deppe a kol. 1964) .....	15
2. Obr. 2: Bubnová sekačka s dvoma spôsobmi uchytenia nožov (Deppe a kol. 1964).....	16
3. Obr. 3: Diskový roztrieskovač (Hrazský a Král 2000) .....	17
4. Obr. 4: Frézovací roztrieskovač (Hrazský a Král 2000) .....	17
5. Obr. 5: Prstencový roztrieskovač (Hrazský a Král 2000).....	18
6. Obr. 6: Vibračný triedič (Böhm 2005).....	20
7. Obr. 7: Vplyv zníženia obsahu živice a hustoty na MOR (Arabi a kol. 2011).....	24
8. Obr. 8: Vplyv zníženia obsahu živice a zníženie hustoty na vnútornú súdržnosť (Arabi a kol. 2011).....	24
9. Obr. 9: Vplyv hustoty dreva na medzu pevnosti s nezmenenou hustotou drevotriekovej dosky (Kelly 1977).....	26
10. Obr. 10: Trojosí vibračný triedič FRITSCH analysette 3 (zdroj: vlastný).....	27
11. Obr. 11: Frézovací laboratórny mlyn Retsch SM 300 (zdroj: vlastný).....	28
12. Obr. 12: Vyseparované jednotlivé veľkosti triesok (zdroj:vlastný).....	29
13. Obr. 13: Zhutnené vrstvy dosky pred vložením do lisu (zdroj: vlastný).....	30
14. Obr. 14: Nárezová schéma pre výrobu testovacích vzoriek s pozičným označením vzoriek (zdroj: vlastný).....	31
15. Obr. 15: Spôsob usporiadania skúšobného telesa a prípravku pre ohybovú skúšku (zdroj: vlastný).....	33
16. Obr. 16: Ohybové zaťaženie, chytenie telesa v testovacom stroji a jeho porušenie spôsobené zaťažením (zdroj: vlastný).....	34
17. Obr. 17: Krabicový graf ohybovej pevnosti jednotlivých typov dosiek .....	40
18. Obr. 18: Vylisovaná doska so stopami nerozmiešaného lepidla (zdroj: vlastný).....	41
19. Obr. 19: Štatistické vyhodnotenie ohybovej pevnosti pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	42
20. Obr. 20: Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti v ohybe pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	43
21. Obr. 21: Krabicový graf pevnosti v ťahu kolmo na plochu jednotlivých typov dosiek.....	44
22. Obr. 22: Štatistické vyhodnotenie pevnosti v ťahu kolmo na plochu jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	45
23. Obr. 23: Porušenie testovanej vzorky na rozlupčivosť v povrchovej vrstve (zdroj: vlastný).....	46
24. Obr. 24: Krabicový graf hrúbkového napučania vyjadrený v percentách.....	47
25. Obr. 25: Štatistické vyhodnotenie hrúbkového napučania jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	48
26. Obr. 26: Krabicový graf hustoty v jednotlivých dosiek .....	49
27. Obr. 27: Štatistické vyhodnotenie hustoty jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	50
28. Obr. 28: Krabicový graf vlhkostí jednotlivých dosiek.....	51
29. Obr. 29: Štatistické vyhodnotenie vlhkosti v jednotlivých typoch dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY.....	52

## Zoznam tabuliek

1. Tab. 1: Percentuálne zastúpenie veľkostí triesok pre stredové a povrchové vrstvy.....	38
2. Tab. 2: Výsledok hmotnostných navážok triesok, lepidla, tužidla pre stredové a povrchové vrstvy dosky podľa Hrazský a Král (2004).....	38
3. Tab. 3: Výpočet potrebného množstva recyklátu pre daný variant.....	38
4. Tab. 4: Popisná štatistika pevnosti v ohybe pre jednotlivé druhy dosiek.....	39
5. Tab. 5: Popisná štatistika modulu pružnosti pri ohybe .....	39
6. Tab. 6: Popisná štatistika rozlupčivosti pre jednotlivé dosky.....	43
7. Tab. 7: Popisná štatistika hrúbkového napúčania pre jednotlivé dosky.....	46
8. Tab. 8: Popisná štatistika hustoty pre jednotlivé dosky.....	49
9. Tab. 9: Popisná štatistika vlhkosti u jednotlivých dosiek.....	51



# 1 Úvod

Drevo využíva človek od nepamäti, kedy ho využíval ako nástroj alebo zbraň pri love a využíva ho dodnes pre jeho vynikajúce vlastnosti, ktoré sa dajú uplatniť v drevárskom, nábytkárskom, chemickom, stavebnom priemysle. K jeho najväčším prednostiam patrí napríklad pevnosť, napriek jeho pomerne nízkej hmotnosti, tepelno-izolačné vlastnosti či dobrá opracovateľnosť.

Takisto, ako aj iné materiály drevo má nedostatky, ktoré obmedzujú celkové využitie jeho možností. Veľkosti vyrobeného materiálu sú dané veľkosťou kmeňa. K najviac problémovým vlastnostiam dreva patrí nehomogenita, teda vlastnosti drevín nie sú stabilné.

Kvôli narastúcej spotrebe dreva sa drevná hmota stáva ubúdajúcim materiálom, kde s klesajúcou kvalitou a s stúpajúcou cenou, bola príčina vývinu nových materiálov z dreva s vybranými vlastnosťami. Vznikli veľkoplošné materiály a ďalšie materiály z dreva, kde tieto materiály disponujú výhodami dreva a odstraňujú heterogenitu a anizotropiu, teda nestabilitu pri vlhkostných zmenách. Taktiež sa s príchodom veľkoplošných materiálov vyriešil problém s vytváraním rozmerných plôch.

Prvá továreň na výrobu drevotrieskových dosiek bola postavená v roku 1941 v Brémach. Myšlienka výroby drevotrieskových dosiek v dnešnej podobe bola vyjadrená už v roku 1887 (Kües a kol. 2007).

Odstupom času sa začalo čo raz viac dbať na ekológiu a tým sa začal spracovávať drevný odpad, ktorý má v dnešnej dobe široké využitie. Spracovaním drevného odpadu firma získava určitú konkurenčnú výhodu pre jeho obstarávajúcu cenu. No na druhej strane môže recyklované drevo v drevotrieske spôsobiť určité problémy s jej kvalitou.

## **2 Cieľ práce**

Cieľom práce je zistiť vplyv použitého dreva na konci životného cyklu v drevotrieskovej doske a nájsť optimálny pomer tohto odpadového dreva a triesok z masívneho dreva. Vzorky drevotrieskovej dosky budú testované na vybrané mechanické a fyzikálne vlastnosti, pričom vybrané vzorky budú mať rôzne podiely použitého dreva (recyklátu) a triesok z masívneho dreva (štiepok). Drevotrieskové dosky budú zhotovené s 0; 20; 50; 80 percentným obsahom použitého dreva.

## 3 Literárny prehľad

### 3.1 Drevotriesková doska

Definovať drevotrieskovú dosku môžeme ako panelový produkt, ktorý je vyrobený z ligninocelulóзовých materiálov, primárne vo forme oddelených častíc dreva, kombinovaných so syntetickým lepidlom alebo iným adekvátnym spojivom, pomocou ktorého sú spojované dokopy za pomoci tepla a tlaku. Hlavným rozdielom medzi drevotrieskovou doskou a inými materiálmi na báze dreva je materiál alebo častice použité k ich výrobe. Hlavnými druhmi častíc k výrobe sú triesky, hobliny, vlákna, drevná hmota, piliny a pod. (EPA 2002).

Drevotriesková doska je jedným z hlavných výrobkov na báze dreva, ktorá môže byť vyrobená použitím materiálov nízkej kvality, teda použitím recyklovaného dreva. Pri tomto výrobnom procese sa môže využiť väčšina stromu, vrátane kôry, malých vetiev a ihličia (Maloney 1993).

Drevotrieskové dosky sú vyrábané o hustote v rozmedzí 590-800 kg/m<sup>3</sup> a viac. Väčšina drevotrieskových dosiek je formovaná do panelov, ale používajú sa aj ako súčasť nábytku, opláštenie dverí a pod. (EPA 2002).

Aglomerované materiály, medzi ktoré radíme drevotrieskové dosky, prekonávajú do značnej miery nevýhody dreva akými sú napríklad heterogenita, anizotropia, rozmerová nestálosť, pričom zachovávajú do značnej miery väčšinu dobrých vlastností dreva. Prednosti aglomerovaných materiálov:

- veľkoplošnosť
- široký sortiment (hustota, hrúbka, pevnosť, špeciálne povrchové úpravy)
- izotropnosť a homogénna štruktúra bez prírodných defektov
- priaznivé mechanické vlastnosti vzhľadom ku svojej hustote
- nízka teplotná vodivosť
- dobré akustické vlastnosti
- možnosti lepenia a spojovania klasickými spojovacími prostriedkami
- vhodnosť pre rôzne povrchové úpravy
- nízke nároky na kvalitu vstupnej suroviny

Nedostatky aglomerovaných materiálov:

- nižšia „atraktivita“ v porovnaní s masívnym drevom
- diskutované emisie škodlivých látok
- u niektorých typov menšia odolnosť voči poveternostným vplyvom  
(Hrázský a Král 2000)

### **3.2 Suroviny pre výrobu drevotrieskovej dosky**

Pri výrobe drevotrieskových dosiek majú zásadný význam parametre dreva ako hustota, podiel bele a jadra, pH dreveniny, roztrieskovateľnosť.

K terajšej komplikovanej surovinovej situácii a vzhľadom k cenám musí priemysel na drevotrieskových materiáloch pristupovať i k spracovaniu iných druhov drevín a to napríklad dubu, buku, hrab, jaseň aj agátu. Vo výrobných linkách môže dochádzať ku spracovaniu ihličnatej, mäkkej a tvrdej listnatej suroviny. Je nutné však dodržiavať miešacie pomery, pretože reakcie drevín sú totiž veľmi významné. Napríklad u dubovej dreveniny je nutné upravovať množstvo prídavných chemických látok, najmä tužidla a lepiacej zmesi, pretože dub patrí k dreveninám s extrémnym pH.

Z hľadiska použiteľnosti k výrobe trieskových dosiek vykazujú niektoré dreveniny špecifické vlastnosti:

- brezová kôra je nežiaduca pre svoju tuhosť a húževnatosť
- dub je krehký a má vysoký obsah trieslovín
- pri roztrieskovaní topol'u sa obalujú ostria nožov tým, že triesky majú nesprávny uhol pri ich spracovaní
- vzhľadom na vyššiu hustotu buku treba dbať na vyššie požiadavky rovnomernosti vrstvenia

Hrázský a Král (2007) uvádza suroviny pre výrobu aglomerovaných materiálov z hľadiska sortimentu:

- a) tenké lesné sortimenty z prerezávok a prebierok, pričom treba dbať na vysoký obsah kôry
- b) vlákninové drevo 5. triedy akosti vo forme guľatiny a štiepok. Ak sú odkôrnené, sú vhodné k výrobe povrchových triesok

- c) hrubý priemyselný odpad napr.: odkory z pílnice, zbytky od skracovacích píl, odrezky, zbytkové valce z výroby dýh, dyhárenský odpad
- d) drobný priemyselný odpad napr.: piliny, hobliny
- e) štiepky a triesky z agregátnych pílnicových strojov
- f) štiepky dovážané z iných závodov
- g) lesné štiepky (po triedení a čistení)
- h) stolársky kusový odpad zo spracovania suchého dreva v nábytkárskej a stavebno-stolárskej výrobe
- i) staré drevo (recyklované drevo)

### 3.2.1 Drevný odpad (recyklované drevo)

Pod pojmom „recyklácia“ si mnohí ľudia predstavujú separáciu zameranú na zber sklenených fliaš, hliníkových plechoviek, plastových pohárikov a staré noviny. Veľká pozornosť bola venovaná týmto odpadovým materiálom, zatiaľ čo recyklácia drevného odpadu si zasluhovala pomerne málo pozornosti. Po mnohých dekádach, odpad z drevospracujúceho priemyslu bol využívaný ako palivo. Dnes veľa drevného odpadu je využívaný pre novú výrobu produktov (kompozitné výrobky atď.). Ďalšie zdroje drevného odpadu môžeme získať prostredníctvom demolačných projektov, pozemkového čistenia, spracovaním starého nábytku atď. Týmto zdrojmi môžeme generovať milióny ton drevného odpadu, avšak tieto materiály sú vnímané skôr ako problém pre svoju likvidáciu a zabúda sa na potenciál tohto drevného odpadu (Falk 1997).

Pre zvyšujúcu sa cenu za drevo priemysle aglomerovaných materiálov stále vo väčšej miere spracováva použité drevo tzv. recyklované drevo. Kvôli narastajúcej cene dreva a deficite dreva sa firmy snažia o jeho efektívne využitie a prejavujú čím ďalej tým viac záujem o spracovanie menej hodnotných druhotných zdrojov, ktoré vznikajú pri spracovaní dreva a hľadajú využitie lesného odpadu.

Hrázský a Král (2007) uvádza, že skúsenosti svetových výrobcov trieskových dosiek, hlavne z Nemecka a Talianska, tvorí cena dreva a lepidla 40 – 50 % nákladov na výrobu dosky. To je príčinou maximálneho využitia odpadovej drevnej hmoty, vďaka čomu sa im podarilo znížiť náklady na výrobu. Pre spracovanie veľkoobjemového drevného odpadu vyvinula rada firiem, špeciálne stroje na ich spracovanie. Odpadovú drevnú hmotu tvorí: staré palety, debne, starý nábytok, odpady z nábytkárskeho závodu, vyradené bubny na elektrikárske káble, piliny, a podobne.

### **3.3 Spracovanie suroviny**

#### **3.3.1 Odkôrňovanie drevnej hmoty**

Kôra zastupuje problémový vstup v oblasti výroby drevotrieskovej dosky. Obsahuje značné množstvo minerálnych, prípadne aj kovových prímiesí, ktoré nepriaznivo vplyvajú na ostrie nástrojov v roztrieskovacích strojov a dochádza k ich otupeniu. Prítomnosť kôry v trieskových doskách znižuje fyzikálne a mechanické vlastnosti a ak je kôra prítomná v povrchových vrstvách, dochádza k výrazným problémom pri povrchových úpravách. Kôra vplyvom vlhkosti výrazne napúča a preto by spôsobovala drsnosť povrchu.

Hrázský a Král (2000) uvádza, že povrchové vrstvy trojvrstvých a viacvrstvých trieskových dosiek by v zásade mali byť vyrobené z odkôrnenej drevnej hmoty.

Pre stredové vrstvy je prípustná maximálne 20 hmotnostných % kôry. Vyšší obsah kôry u stredových vrstvách zhoršuje súdržnosť trieskovej dosky, teda zhoršuje rozlúpčivosť.

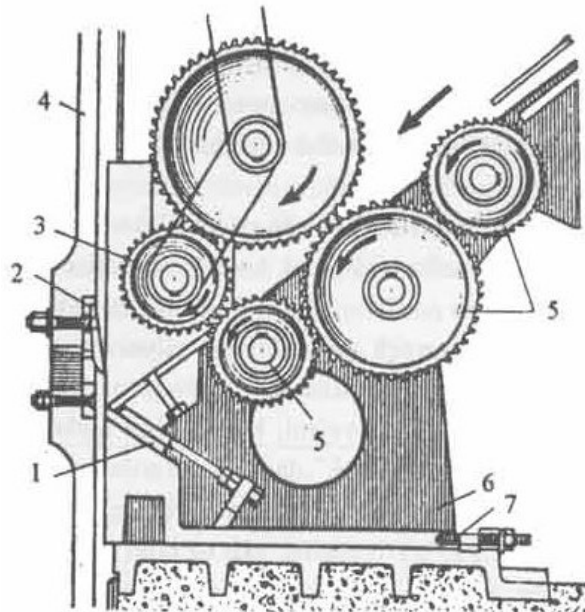
Typy odkôrňovačov: rotorové, frézovacie, tryskové, bubnové (mokrú) pre odkôrnenie tenkej guľatiny a vlákny.

#### **3.3.2 Štiepkovanie**

Štiepky sa vyrábajú sekaním rôznych drevných sortimentov, najmä lesných a priemyslových sekundárnych zdrojov na rôznych typoch sekačiek. Najpoužívanejšie sú diskové a bubnové sekačky, ktoré môžu byť stacionárne alebo s pojazdom.

##### **Princíp diskovej sekačky**

Princípom sekania štiepok na diskovej sekačke je ten, že nože sú upevnené na disku tak, vyčnievajú z bočnej plochy kotúča. Disky majú priemer obvykle do 3000 mm s rôznymi počtami nožov (2-16) a zvislou, vodorovnou alebo šikmou polohou disku.

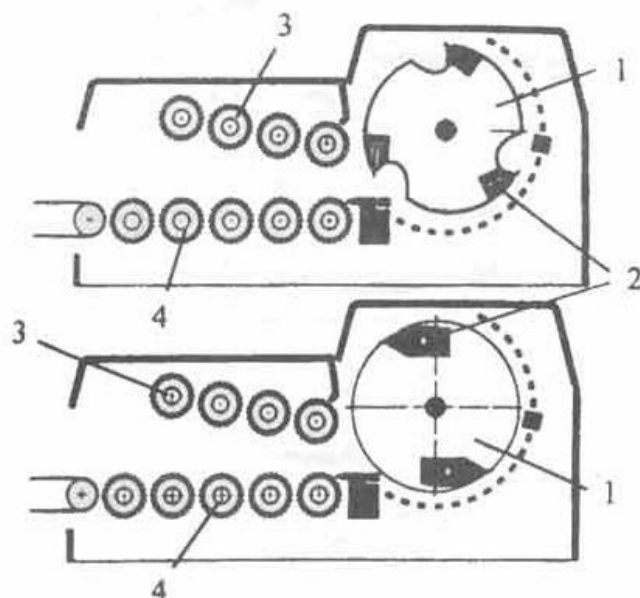


1 – protinôž, 2 – nôž, 3 – vrchné prítlačné valce, 4 – diskový kotúč, 5 – spodné podávacie valce, 6 – nosná konštrukcia, 7 – inštaláčna skrutka

Obr. 1: Disková sekačka (Deppe a kol. 1964)

### Princíp bubnovej sekačky

Sekačky delíme podľa tvaru rotačného telesa s nožovou hlavou dvoj, troj, štvor alebo mnohonožovú (6-8). Všetky sú opatrené protinožom. Nože na bubnových sekačkách bývajú rôznych tvarov, veľkostí a spôsobov uchytenia. Ide o masívne, silné a namáhané nože. Materiál do sekačky je prisúvaný pomocou pásového dopravníka alebo vibračným žľabom. V jednotlivých systémoch sú zabudované hľadače kovu. Pre dosiahnutie rovnomernej kvality a dĺžky štiepky, je nutné aby sekaný materiál vstupoval do stroja konštantnou rýchlosťou. Moderné sekačky bývajú často opatrené veľkými vťahovacími valcami. Horné valce sú hydraulicky prítlačané vstupujúci materiál. U bubnových sekačiek je nemožné zamedziť vzniku istého podielu dlhých štiepok. Preto väčšina výrobcov sekačiek vybavuje svoje sekačky sitom v dolnej časti sekacieho bubna.



1 – rotor, 2 – uchytenie nožov, 3 – vrchné prítlačné a podávacie valce, 4 – spodné podávacie valce

Obr. 2: Bubnová sekačka s dvoma spôsobmi uchytenia nožov (Deppe a kol. 1964)

### 3.3.3 Roztrieskovanie

Pri spracovaní guľatiny ako vstupnej suroviny je potreba ako prvé surovinu dezintegrovat' na menšie časti, ktoré následne nazývame štiepkou. Štiepka je ďalej rozbíjaná na menšie časti teda triesky. K roztrieskovaniu sa používajú rôzne roztrieskovače: diskový, frézovací, prstencový alebo beznožový. Každý stroj vďaka rozmiesteniu a polohe nožov vytvára rozmerovo iné triesky. Veľkosť a počet triesok vyplýva zo vzdialenosti nožov od seba, na ich počte, ostrosti nožov, na otáčkach nožovej hlavy, či miere vysunutí nožov (Böhm 2005).

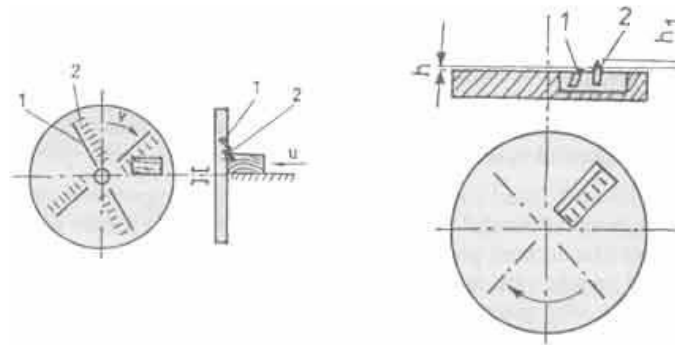
Pre spracovanie dreva na triesky poznáme spôsoby tzv. jednostupňové alebo dvojstupňové. Jednostupňovým spôsobom sa vyrábajú triesky, ktoré sa nazývajú lístkové. Lístkové triesky slúžia k výrobe mikrotriesky pre povrchové vrstvy trojvrstvých a viacvrstvých trieskových dosiek. Dvojstupňovým spracovaním sa najprv vyrobí pomocou dezintegrácie (sekanie) kusový odpad štiepky a na ďalšom stroji (roztrieskovač) sa spracujú triesky na danú hrúbku. Vyrobené triesky nazývame ihlicové a používajú sa pre stredové vrstvy trieskových dosiek.



## Typy rozrieskovačov:

### Diskový (kotúčový roztrieskovač

Vláknina býva skracovaná na kusy kratších dĺžok. Hrúbka triesky je rovnomerná a je daná veľkosťou presahu noža z roviny disku. Dĺžka triesky je daná vzdialenosťou narezávacích nožov od seba v smere ostria noža.

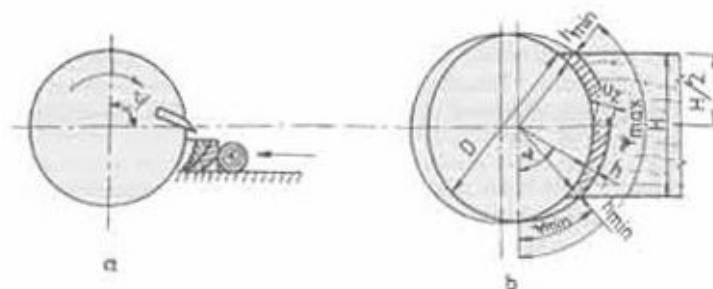


1 – krájací nôž, 2 – narezávací nôž

Obr. 3: Diskový roztrieskovač (Hrazský a Král 2000)

### Frézovací (valcový) roztrieskovač

Drevo pomocou frézovacieho roztrieskovača je rezané v tangenciálnom alebo v tangenciálne pozdĺžnom smere. Dĺžku triesok určujú narezávacie nože. Hrúbka triesky je nerovnomerná a je ovplyvnená počtom nožov na frézovacej hlave. Taktiež hrúbka triesky je ovplyvnená aj otáčkami nožovej hlavy a rýchlosťou posuvu materiálu.

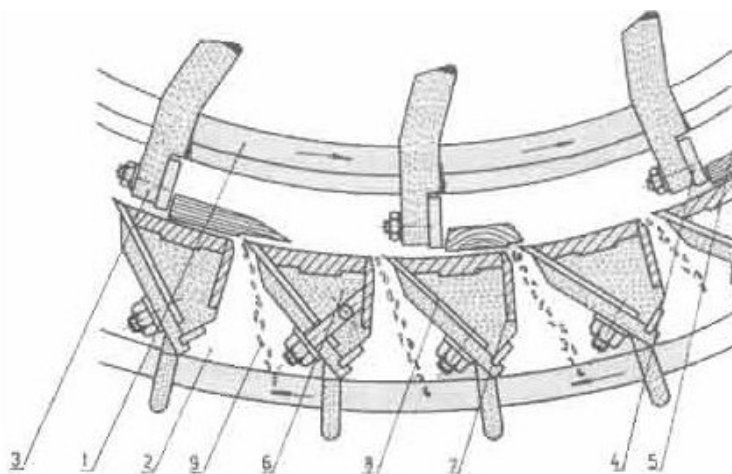


D – priemer frézy, H – výška vrstvy podávaného materiálu, h – hrúbka triesky

Obr. 4: Frézovací roztrieskovač (Hrazský a Král 2000)

## Prstencový roztrieskovač

Používa sa u dvojstupňovej technológie, kde pomocou prstencového roztrieskovača sa spracováva lesná štiepka a odpad z prvého stupňa spracovania. V tomto typu stroja sú štiepky vrhané odstredivou silou lopatkovým kolesom na ostrie nožov umiestnených na prstenci, ktorý sa točí voči nemu protismerne. Hrúbka triesky je daná mierou vysunutia noža za vnútorný obvod nožového prstenca a šírkou štrbiny medzi ostrím a chrbtovou hranou drážka noža. Horšia kvalita ihlicových triesok než u jednostupňovom roztrieskovaní a vzniká väčšie množstvo drobnej frakcie.



1 – obežné koleso, 2 – nožový prsteneč, 3 – držiak protinoža, 4 – protinôž, 5 – štiepka, 6 – držiak noža, 7 – tlačná lišta, 8 – nôž, 9 – trieska

Obr. 5: Prstencový roztrieskovač (Hrazský a Král 2000)

### 3.4 Skladovanie triesok

Vyrobené triesky sú skladované v zásobníkoch z dôvodu vyrovnania výrobného toku do technologických uzlov, ako je sušenie a nanášanie lepidla. Uplatňujú sa dva typy zásobníkov triesok:

- **Horizontálny:** majú menšie objemy, cca do 50 m<sup>3</sup>. Prevažne slúžia ako medzizásobníky lepiacej zmesi nanosených triesok pred vlastnou vrstviacou stanicou.

- **Vertikálny:** je určený pre uskladňovanie mokrých triesok a triesok po vysušení. Bývajú to stojaté valce o priemere nad 4 m a objeme od 50 m<sup>3</sup> do 1000 m<sup>3</sup>.

Zásobníky bývajú vybavené hlásičom hladiny triesok, hasiacim zariadením a rozbíjačom klenby.

### 3.5 Sušenie triesok

Vlhkosť triesok je významný faktor vo výrobe trieskových dosiek, ktorý rozhoduje o kvalite, ale aj o kapacite výrobného zariadenia.

Vysušanie triesok sa vykonáva v sušiarňach, z počiatočnej vlhkosti 40 – 120 % na konečnú vlhkosť:

- stredových triesok 2 – 3 %
- povrchových triesok 3 – 5 %

Príliš vysoká vlhkosť triesok môže predĺžiť lisovací čas alebo spôsobiť praskanie dosky, prípadne vytvárať parné pľuzgieri. Preto z technologických dôvodov sa triesky vysušujú na nižšiu vlhkosť a vlhkosť sa následne dopĺňa podielom vody z lepidla. V súčasnej dobe sú takmer všetky výrobné linky na výrobu drevotrieskových dosiek vybavené tryskovými sušiarňami. Intenzita sušenia sa reguluje teplotou vstupných spalín a dobou prechodu triesok sušiarňou, pomocou vodiacich klapiek. Vysoká teplota spalín sa získava spaľovaním zemného plynu v spaľovacích komorách, prípadne i spaľovaním vykurovacieho oleja s prímiesou drevného prachu z triediča a brúsok. Všetky sušiarne sú vybavené hasiacim zariadením. Vlastný sušiaci proces trvá radovo sekundy až minúty. Záleží na druhu použitej sušiarne. Sušiarne sú zvyčajne vybavené zariadením na recirkuláciu sušiaceho média s automatickou reguláciou. Odvedený usušený materiál sa sušiacom prostredím odlučuje pomocou odlučovacích cyklónových zariadení. Sušiarne musia byť vybavené ústrojenstvom pre vypúšťanie explozívneho tlaku. Musia teda obsahovať protipožiarne a protitlakové membrány (Hrazský a Král 2000).

Typy sušiarňí triesok pre výrobu trieskových dosiek:

- Rotačná trysková sušiareň
- Jednocestná bubnová sušiareň

- Trubková sušiareň „Kvaerner“
- Prúdová sušiareň „Babcock“

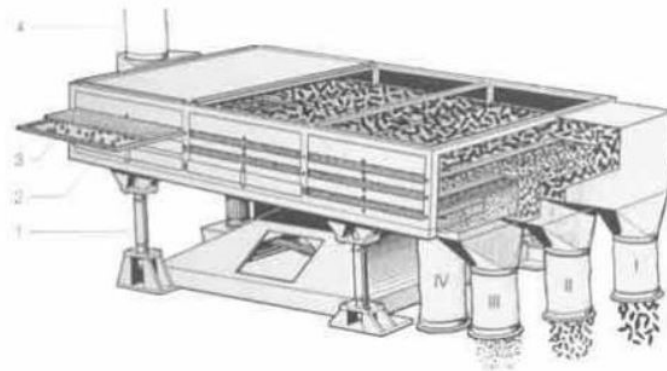
### 3.6 Domielanie triesok

Vysušené triesky by sme mohli rozdeliť na 4 frakcie pre stredové vrstvy, jemné mikrotriesky pre povrchové vrstvy, hrubé triesky a prachová frakcia pre spaľovanie v spaľovacích komorách sušiarne. Na domielacích mlynoch sa domielajú len vytriedené hrubé triesky, ktoré slúžia k vytváraniu špeciálnych mikrotriesok pre povrchovú vrstvu (lepšie stlačenie a skvalitnenie povrchu, zvýšenie hustoty dosky).

Domielanie triesok sa vykonáva z kapacitných a energetických dôvodov až po vysušení triesok i za cenu väčšej tvorby prachu.

### 3.7 Triedenie triesok

Obecne platí, že častice menšie než 0,3 mm sú považované za prach a pri výrobe trieskových dosiek sú odlučované. Pre separáciu jednotlivých frakcií triesok sa používajú triediče: pneumatiké, vibračné, sitové, diskové (Böhm 2005).



1 – kľbové mechanizmy, 2 – rám, 3 – sito s čistiacim prostriedkom, 4 – vstup triesok

Obr. 6: Vibračný triedič: (Böhm 2005)

Rozdelenie na jednotlivé frakcie je závislé na veľkosti otvorov v sitách. Bolo preukázané, že triediče pracujúce sitovým spôsobom nemôžu rozdeliť triesky podľa hrúbky. Triedenie podľa hrúbky je dosiahnuteľné triedením vo vzdušnom prúde, kde sa využívajú gravitačné a aerodynamické sily (Hrázský a Král 2007).

### **3.8 Nanášanie lepiacej zmesi**

K výrobe trieskových dosiek sa prevažne používajú močovinoformaldehydové lepidlá (UF), ktoré sú najlacnejšie. Močovinoformaldehydové lepidlá sa používajú len v suchom prostredí. Nepoužívajú sa samostatne, ale s prímiesou tužidla, parafínu a popripade iných prísad ako napr. biocídnych, fungicídnych, reterdérov horenia a pod.

Pre prípravu lepiacej zmesi sa používa gravimetrické zariadenie. Gravimetrické zariadenie „GRADO“ od firmy Schenck pripravuje lepiacu zmes oddelene pre povrchové triesky a pre triesky stredové. Prípravná nádrž vybavená miešadlom leží na váhach. Do tejto nádoby sú postupne váhovo pridávané jednotlivé zložky lepidla, okrem tužidla. Tužidlo sa pridáva k lepiacej zmesi až do zmiešavacieho ventilu. Tento spôsob zaručuje, že lepiaca zmes nevytvrdne v nádrži v prípade poruchy linky trieskových dosiek (Hrázský a Král 2000).

### **3.9 Vrstvenie trieskového koberca**

Vrstvenie trieskového koberca ovplyvňuje akosť a ekonomiku výroby presnosťou a rovnomernosťou vrstvenia. Staršie linky používajú ako vrstviace podložky hliníkový alebo duralový plech, na ktorom sa doska lisuje. Novšie zariadenia používajú techniku, kde sa vrství trieskový koberec na transportný pás, prípadne na ohybnú sitovú podložku. Koberec triesok sa plynule vrství na pás a následne sa delí na dané rozmery určené pre viacetážový lis. Možnosti vrstvenia:

- voľným pádom: jednotlivé a viacvrstvé DTD
- pneumaticky: plynulý prechod triesok
- vrhacími valcami: plynulý prechod triesok
- s orientovanými trieskami: elektrostaticky, pomocou ryhovaných valcov, pomocou lišty (mechanicky)

### **3.10 Lisovanie trieskových dosiek**

Pred samotným lisovaním trieskového koberca v horkom lise sa trieskový koberec predlisováva za studena. Podľa použitej technológie sa používajú diskontinuálne stacionárne jednoetážové predlisy alebo kontinuálne pásové, resp. článkové. Predlisovacie tlaky bývajú od 1 do 3,5 MPa a predlisovacie časy od 15 do 45 s.

Trieskový koberec je pri lisovaní vystavený tlaku lisu a súčasného pôsobenia vysokej teploty prostredníctvom vyhrievaných dosiek lisu. Tým dochádza k vytvrdeniu lepidla v trieskovom koberci. Hrúbka a tým aj hustota trieskovej dosky je určovaná buď distančnými lištami uloženými medzi lisovacími doskami alebo elektronickou reguláciou.

Priebeh lisovania popisuje lisovací diagram, ktorý zachytáva počiatočný rýchli nárast tlaku a jeho postupné uvoľňovanie až do otvorenia lisu. Lisovacie tlaky bývajú od 3 až do 4 MPa a lisovacia teplota od 145 do 200 °C. Hodnoty závisia od typu použitého lisu. Typy lisov:

- jednoetážové: nižší výkon než lisy viacetážové, vyššie teploty (190-230°C) dĺžka dosky 30 m.
- viacetážové: simultánne uzatváranie, 20 etáží
- kontinuálne linky: valcové lisy, výtlačné lisy

### **3.11 Dokončovanie trieskových dosiek**

Záverečnou fázou výroby vylisovaných trieskových dosiek je dokončovanie. Dokončovanie sa skladá z: chladenia dosiek, orezávanie na presný formát, kondicionovanie, brúsenie, triedenie a rozrezanie na dohodnuté výrezy, balenie a expedícia.

#### **Chladenie a kondicionovanie**

Vylisované dosky majú po opustení lisu teplotu nad 100°C. Aby sa vyrovnal teplotný spád medzi povrchovými a stredovými vrstvami, tak sa dosky lepené močovinoformaldehydovými ochladzujú v hviezdicových turniketoch na teplotu cca 70°C.

Kondicionovanie slúži k vyrovnaniu vlhkostného spádu medzi povrchovými a stredovými vrstvami. Tým sa dosiahne lepšia kvalita povrchových vrstiev, znižuje sa sklon k šuvereniu, zvyšuje sa tvarová stálosť a presnosť hrúbky dosky po brúsení. Dosky sa nechajú 4-5 dní uložené v kliebkach. Túto fázu označujeme ako dozrievanie dosiek (Hrazský a Král 2000).

## **Orezávanie a hrúbková egalizácia**

Orezávanie prebieha na automatických formátovacích pílach. Tento proces sa vykonáva po kondicionovaní, aby nedochádzalo k znečisťovaniu kondicionačného priestoru. Odrezky vzniknuté pri formátovaní sú ihneď rozdrvcované na drobný materiál, ktorý je pneumaticky dopravený do sila a je ním zásobovaná spaľovacia komora sušiarne triesok.

Hrúbková egalizácia sa vykonáva na kontaktných širokopásových brúskach. Pre dosiahnutie hladšieho povrchu sa používa priečne pásové brúsenie. Brúsky majú minimálne 3 brúsiace hlavy. Najčastejšie sa používa zrnitosť 40 – 80 – 100 (120) a pri priečnom brúsení zrnitosť 150. Výsledné odchýlky medzi doskami sú  $\pm 0,2$  až  $\pm 0,3$  mm.

Trieskové dosky sú po brúsení triedené podľa platných noriem, dovolených chýb povrchu, hrán a podľa hrúbky.

## **Skladovanie**

Skladovanie sa vyhotovuje v krytých halách na rovných podložkách, najlepšie na paletách.

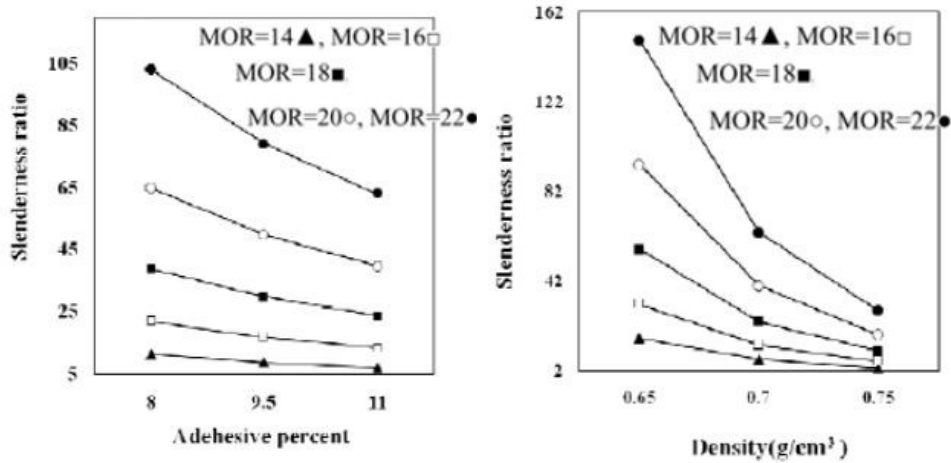
Vlhkosť prostredia v sklade by malo odpovedať stavu vlhkostnej rovnováhy trieskových dosiek.

- vlhkosť dosiek:  $8 \pm 2$  %
- teplota: 15 – 25°C
- relatívna vlhkosť vzduch 45 – 55 %

## **3.12 Vplyv tvaru triesok na vlastnosti dosky**

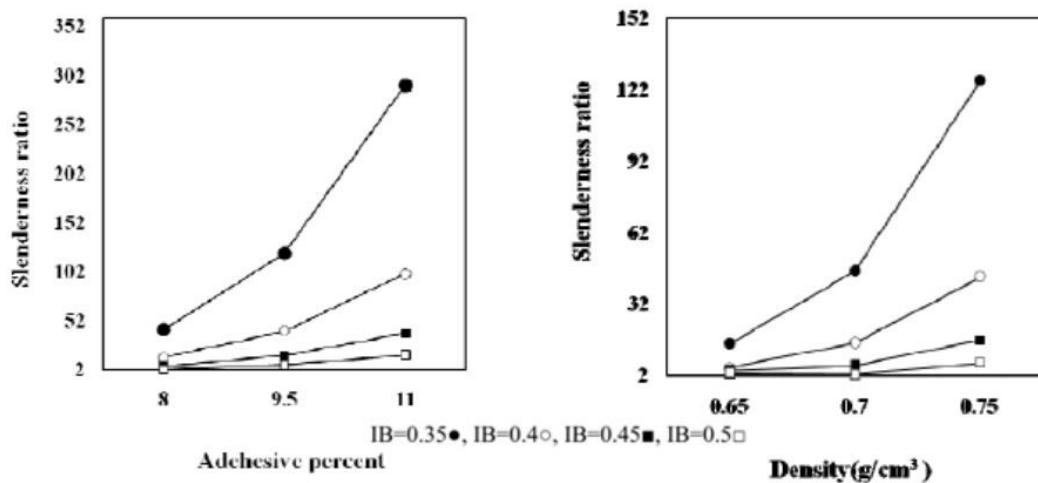
Arabi a kol. (2011) uskutočnili výskum, v ktorom sa zaoberali problematikou zníženia obsahu živice a hustoty trieskovej dosky, aby neovplyvnili mechanické vlastnosti dosky, pričom kontrolovali rozmery triesok. Bolo zistené, že ak sa zvýši štiňlostný pomer triesok a zníži sa obsah živíc je možné udržať medzu pevnosti na rovnakej hodnote. Čím viac sa odoberie živice, tým viac sa musí pridať jednotiek štiňlostného pomeru. Vďaka tomuto javu môžeme ovplyvniť aj úbytok hmotnostného objemu, pretože s rastúcim obsahom živíc a zvyšujúcou sa objemovou hmotnosťou a štiňlostným pomerom sa zvyšuje aj medza pevnosti v ohybe (MOR). Ak znížime jednu z týchto troch vlastností, môžeme túto stratu kompenzovať zvýšením niektorej zo

zvýšných vlastností. To teda platí aj u znížení hustoty, kde sa môže zvýšiť štíhlostný pomer za účelom zachovania ohybových vlastností. Touto metódou sa dá zachovať aj modul pružnosti dosky.



Obr. 7: Vplyv zníženia obsahu živice a hustoty na MOR (Arabi a kol. 2011)

Avšak zvýšením štíhlostného pomeru dochádza k zníženiu vnútornej súdržnosti dosky, kde hustota a obsah živice majú na súdržnosť opačný vplyv. Ak je treba znížiť obsah spojiva alebo znížiť objemovú hmotnosť, musí byť znížená aj hodnota štíhlostného pomeru.



Obr. 8: Vplyv zníženia obsahu živice a zníženie hustoty na vnútornú súdržnosť (Arabi a kol. 2011)



### 3.13 Vplyv veľkosti frakcie na vlastnosti dosky

Od samého začiatku výroby aglomerovaných materiálov sa ľudia zaujímajú problematikou vplyvu veľkosti frakcie na vlastnosti dosky, kde jedna z prvých štúdií bola prevedená už v roku 1954 (Kelly 1977).

Böhm (2005) uvádza, že veľmi dôležitým faktorom pre kvalitu dosky je zloženie jednotlivých trieskových vrstiev z hľadiska rozmeru a podielu jednotlivých frakcií triesok. Jemné triesky v stredovej vrstve znižujú mechanicko-fyzikálne vlastnosti a hrubé triesky v povrchových vrstvách spôsobujú nerovný povrch.

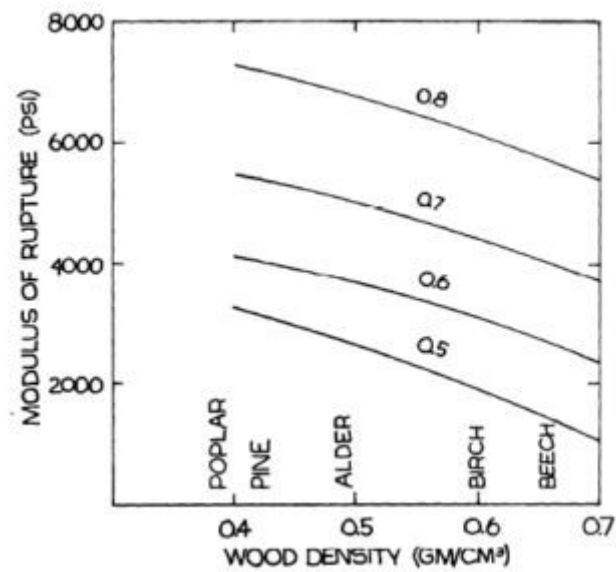
### 3.14 Vplyv drevinu na vlastnosti dosky

Medved a kol. (2003) pracovali na výskume zaoberajúcom sa vplyvu použitej drevinu na rozmerovú stabilitu dosky. Testovali drevinu: buk, dub, topoľ a smrek. Výskum dokazuje, že druh použitej drevinu je dôležitý pokiaľ sa jedná o hrúbkové napúčanie. Vplyv na napúčanie trieskových dosiek majú sorpčné vlastnosti, anatomická a chemická štruktúra drevinu, veľkosť použitých triesok a ich stlačiteľnosť. Čo sa týka chemickej stavby dreva, tak napúčanie ovplyvňuje obsah lignínu, celulózy a hemicelulózy. Čím je väčší obsah lignínu, tak tým je menšie napúčanie.

Výskum preukázal, že najmenšie rozmerové zmeny boli zistené pri dube a najväčšie pri buku. Smrek a topoľ dosahovali väčšie rozmerové zmeny ako pri dube, pričom smrek je menej náchylnejší na rozmerové zmeny než topoľ.

Hustota taktiež súvisí s rozmerovými zmenami. K menšiemu napúčaniu dochádza vplyvom menšieho zhustenia drevotrieskového koberca u drevín s vyššou hustotou. S tým súvisí aj množstvo častíc v doske. Čím je viac častíc v doske, tým je väčšie napúčanie.

Použitý druh dreva ovplyvňuje aj mechanické vlastnosti. Obecne platí, že so zvyšujúcou sa hustotou dosky sa zvyšuje aj jej ohybová pevnosť. Pri použití dvoch drevín a rozdielnej hustote na výrobu trieskovej dosky o zhodnej objemovej hmotnosti, bude doska vyrobená z drevinu vyššej hustoty dosahovať menšiu pevnosť v ohybe. Tento fakt je vysvetlený pomocou pomeru zhustenia (compaction ratio). S vyšším pomerom zhustenia rastie aj medza pevnosti v ohybe (Kelly 1977).



Obr. 9: Vplyv hustoty dreva na medzu pevnosti s nezmenenou hustotou drevotrieskovej dosky (Kelly 1977)

V podobnej závislosti sa pohybuje aj model pružnosti, kde s rastúcou objemovou hmotnosťou použitej dreveniny klesá pomer zhustenia a znižuje sa aj modul pružnosti (Kelly 1977).

## 4 Metodika

### 4.1 Odber recyklovaného dreva a štiepky

Pre otestovanie vplyvu použitého dreva na vlastnosti trieskových dosiek boli odobraté od spoločnosti KNOSPAN triesky recyklátu a triesky štiepky od frakcií F2, čo sú triesky o veľkosti do cca 30 cm. Tieto triesky sú určené na ďalšie spracovanie pre dosiahnutie menšej frakcie k výrobe trieskovej dosky o hrúbke 12 mm.

### 4.2 Siet'ová analýza

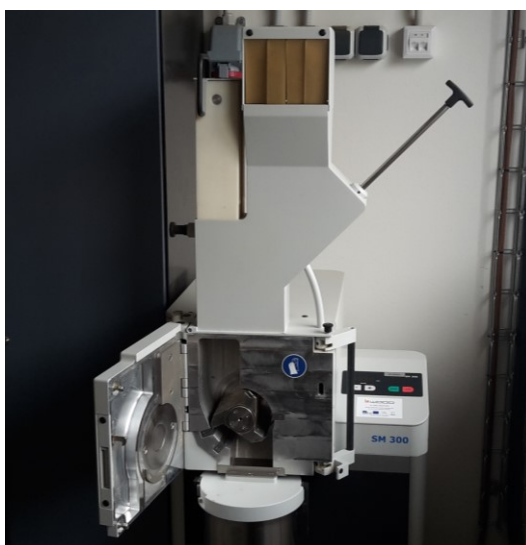
Aby sa nami vyrobené drevotrieskové dosky približovali doskám od firmy KRONOSPAN, bolo nutné ako prvé vykonať siet'ovú analýzu stredových a povrchových vrstiev, pomocou ktorej sa zistili hmotnostné hodnoty jednotlivých frakcií. Zo stredových a z povrchových triesok sa odobrala testovacia vzorka o hodnote 200 g. Následne táto vzorka sa vložila do trojosého vibračného triediča FRITSCH analysette 3, kde boli vložené sitá s veľkosťou dier: 0,2; 0,5; 1; 2; 3,15; 5; 10 mm pre stredové triesky a pre povrchové triesky: 0,2; 0,315; 0,5; 0,630; 1; 2 mm. Triedič FRITSCH analysette 3 sa nastavil na 3 minúty s amplitúdou 1,2 mm. Po vysiet'ovaní danej vzorky, bola zvážená a zaznamenaná hmotnosť danej frakcie. Zo zaznamenaných hmotností frakcií sa vypočítalo percentuálne zastúpenie jednotlivých frakcií u stredových a povrchových triesok (viď Tab. 1). Vďaka tejto analýze sa určili presné množstvá jednotlivých frakcií, ktoré je potrebné získať z odobratého recyklátu a štiepky.



Obr. 10: Trojosí vibračný triedič FRITSCH analysette 3 (zdroj: vlastný)

### 4.3 Výroba triesok

Z odobratých triesok recyklátu a štiepky sa pomocou frézového typu laboratórneho mlyna Retsch SM300 vyrobili triesky jednotlivých frakcií. Veľkosť triesok je určená sitom, ktoré bolo uložené pod frézovacou hriadelom laboratórneho mlyna. Pre výrobu stredových triesok sa použilo sito so štvorcovými otvormi o rozmere 8x8 mm a 4x4 mm. Pre výrobu povrchových triesok sa tiež použilo sito so štvorcovými otvormi o rozmere 4x4 mm a 2x2 mm. Pri spracovaní recyklátu bolo nutné dbať na to, aby sa do mlynu nedostali kovové či nekovové predmety, kamene a iné materiály, ktoré by dokázali zatupiť ostrie nástroja.



Obr. 11: Frézovací laboratórny mlyn Retsch SM 300 (zdroj: vlastný)

### 4.4 Vysitovanie jednotlivých frakcií

Pri mletí recyklátu a štiepky vznikol zhuk triesok rôznych veľkostí. Tie sa následne pomocou trojosého vibračného triediča FRITSCH analysette 3 pretriedili na veľkosti triesok pre:

stred	0,2; 0,5; 1; 2; 3,15; 5; 10 mm
povrch	0,2; 0,315; 0,5; 0,630; 1; 2 mm

Z percentuálneho zastúpenia jednotlivých frakcií u stredových a povrchových triesok sa vypočítali potrebné množstvá jednotlivých veľkostí triesok pre recyklát ako aj štiepku.



Obr. 12: Vyseparované jednotlivé veľkosti triesok (zdroj: vlastný)

#### 4.5 Sušenie triesok

Triesky po vysitovaní na jednotlivé veľkosti nemali tú správnu vlhkosť, ktorá je potrebná pre lisovanie dosky. Triesky sa sušili v teplovzdušnej sušiarňi pri teplote 80 °C na 90 min. Po tomto čase sa zo sušených triesok odobrala testovacia vzorka o hmotnosti približne 1 g a bola vložená do prístroja k meraniu vlhkosti Radwag MAC 210. V prístroji dochádza k zahrievaniu triesok a vplyvom tepla sa z triesok odparuje vlhkosť a prístroj neustále vyhodnocuje zmenu hmotnosti. Pokiaľ sa hmotnosť niekoľkokrát za sebou nezmení o tisícinu gramu, meranie sa ukončí. Rozdielom hmotností na začiatku a na konci merania sa určí vlhkosť testovacej vzorky podľa vzťahu:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 [\%]$$

kde:  $m_1$  – hmotnosť skúšobného telesa v vlhkom stave [g]  
 $m_0$  – hmotnosť skúšobného telesa v vysušenom stave [g]  
 $w$  – vlhkosť [%]

K výrobe dosiek bolo potrebné dosiahnuť vlhkosť triesok 4 %.

#### 4.6 Výroba dosiek

Celkovo sa vyrobilo 10 trieskových dosiek v piatich variantoch a to s 0%, 20%, 50%, 80% zastúpením recyklátu plus verzia z triesok od firmy KRONOSPAN, kde už štiepka bola zmiešaná s recyklátom a teda nepoznáme presné percentuálne zastúpenie recyklátu. Z každej varianty sa teda vyrobili dve dosky. Výpočet hmotnostných navážok lepidla, tužidla a triesok (viď Tab. 2) sa vypočítali podľa Hrazský a Král (2004).

Z percentuálneho zastúpenia recyklátu sa vypočítala presná hmotnosť recyklátu, ktorý má daný variant obsahovať (viď Tab. 3).

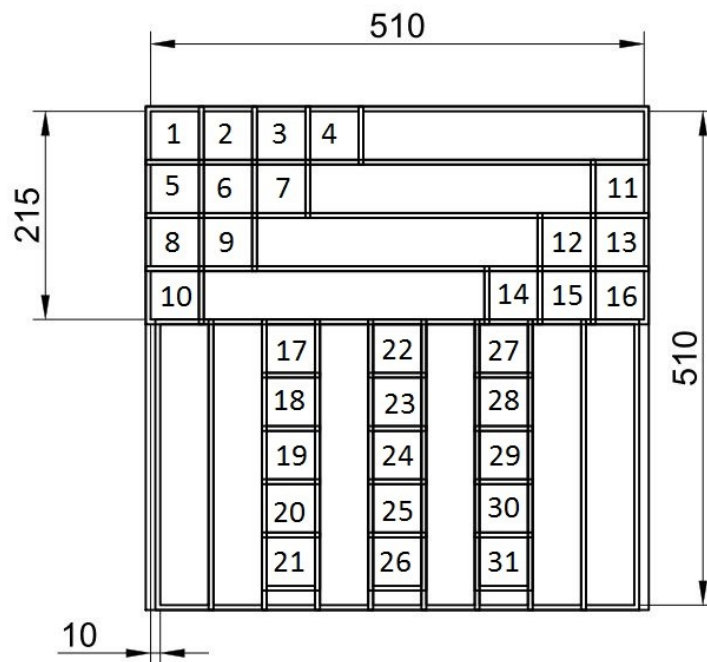
Vysušené a navážené triesky s určitým percentuálnym zastúpením recyklátu sa nasypali do lopatkovej miešačky s ôsmymi lopatkami v tvare „T“ ktoré sa točili rýchlosťou 2 ot./s. Následne bola pridaná zmes lepidla (KRONORES CB 1100 pre povrchové vrstvy a KRONORES CB 1637 pre stredové vrstvy) a tužidlo. Stredové a povrchové triesky boli miešané samostatne.

Vzniknutá zmes sa ručne navrstvila do formy o rozmeroch 600x600 mm, kde sa dodržal pomer stredovej a povrchovej vrstvy (2 : 1). Forma bola položená na oceľových platniach a medzi formou a platňou bol papier na pečenie. Ten slúži k tomu, aby sa navrstvené triesky neprichytili na oceľovú platňu. Ako prvé sa vrstvihli povrchové triesky, ktoré sa rovnomerne rozvrstvihli po celej ploche formy a zhutnili pomocou utláčajúceho telesa. Na zhutnenú povrchovú vrstvu sa navrstvila stredová vrstva, ktorá sa tak isto zhutnila. A na stredovú vrstvu opäť prišla povrchová vrstva.



Obr. 13: Zhutnené vrstvy dosky pred vložením do lisu (zdroj: vlastný)

Po takto zhutnených vrstvách sa forma odstránila, pridali sa distančné lišty o hrúbke 12 mm, ktoré určujú hrúbku dosky. Lišty boli uložené z dvoch strán (na pravú a ľavú stranu zhutnenej dosky). Zhutnená doska sa prekryla papierom na pečenie a prekryla ďalšou oceľovou platňou. Doska sa vložila do lisu Strozatech, kde doska bola lisovaná po dobu 2 min. (vypočítané pomocou lisovacieho faktoru 12 s/mm) za stáleho tlaku 3,5 MPa a teploty 190 °C. Po vylisovaní a ochladení sa doska naformátovaná na rozmer 510x510 mm, z ktorej sa pomocou nárezovej schémy vyrezali vzorky pre testovanie. Testovacie vzorky (testovacie telieska) sa dôkladne označili pomocou čiernej fixky, kde sa na telieska značilo percentuálne zastúpenie recyklátu a číslo pozície na doske (Obr. 14). Pred testovaním boli vzorky klimatizované pri teplote 20 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu 60 %.



Obr. 14: Nárezová schéma pre výrobu testovacích vzoriek s pozičným označením vzoriek (zdroj: vlastný)

#### 4.7 Testovanie vlastností dosky

Vyrobené testovacie vzorky sa testovali na zisťovanie hustoty, rozlupčivosti, vlhkosti, napúčania a ohybovej pevnosti. Vzorky pre zisťovanie ohybovej pevnosti sú obdĺžnikového tvaru o šírke  $50 \pm 1$  mm a dĺžke rovnej 20 násobku nominálnej hrúbky +

50 mm. V tomto prípade sa jedná o dĺžku 290 mm. Ostatné vzorky sú štvorcového tvaru o rozmere  $50 \pm 1$  mm. Jednotlivé testovacie vzorky boli vyrobené a vyhodnotené podľa zásad, ktoré sú uvedené v norme ČSN EN 326 – 1. Testované vzorky boli vytvorené podľa príslušných noriem a to: ČSN EN 310, ČSN EN 317, ČSN EN 319, ČSN EN 322, ČSN EN 323.

Testovali sa testovacie vzorky zo všetkých vyrobených variant a to z dosiek o percentuálnom zastúpení recyklátu 0; 20; 50; 80 % plus variant s trieskami od firmy KRONOSPAN a pre porovnanie sa testovali dosky (brúsená a nebrúsená) vyrobené firmou KRONOSPAN. Keďže z každej varianty sa vyrobili 2 dosky, tak pre zisťovanie modulu pružnosti a pevnosti v ohybe sa použilo celkovo 100 vzoriek

#### **4.7.1 Zisťovanie modulu pružnosti a pevnosti v ohybe**

Táto metóda spočíva v ohybovej skúške skúšobného telesa, ktoré sa umiestni na dve podpery a na stred pôsobí osamelé bremeno. Pri skúške sa odmeria, šírka, hrúbka a vzdialenosť medzi podperami skúšobného telesa, priehyb pri zaťažení a zlomové zaťaženie. Pre zisťovanie modulu pružnosti a pevnosti v ohybe sa použilo celkovo 135 vzoriek.

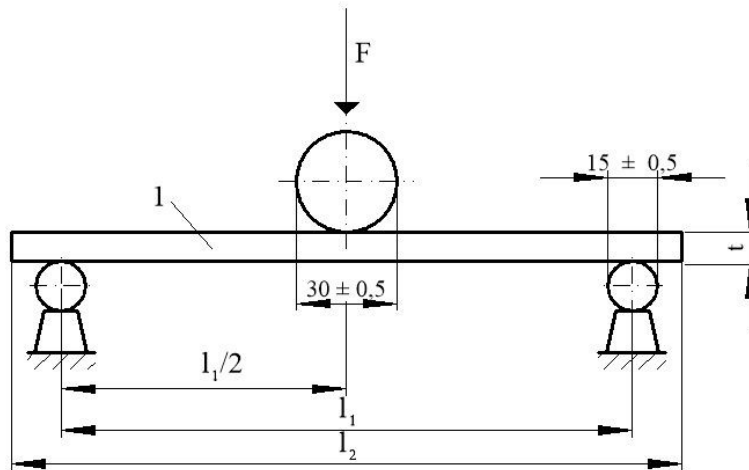
Modul pružnosti v ohybe sa vypočíta z lineárnej časti krivky zaťaženia – priehyb a rozpätie podpier, hrúbky a šírky skúšobného telesa. Vypočítaná hodnota je zdanlivý, nie skutočný modul pružnosti, pretože skúšobná metóda zahrňuje okrem ohybu aj šmyk. Pevnosť v ohybe každého skúšobného telesa sa vypočíta ako podiel ohýbaného momentu  $M$  pri najväčšom zaťažení skúšobného telesa  $F_{max}$  k momentu jeho celého prierezu (Hrazský a Král 2004).

Podľa normy bol vytvorený spôsob usporiadania skúšobného telesa a prípravku pre ohybovú vzorku (viď Obr. 15).

Prípravok sa skladá z dvoch rovnobežných valcových podpier o priemere  $15 \pm 5$  mm ktoré sa voľne otáčajú okolo svojej vlastnej osi vo vodorovnej polohe pod zaťažením. Rovnomerné valcové podpery je možné posúvať vo vodorovnom smere. Ich dĺžka je väčšia než šírka testovacieho telesa. Ohybová valcovitá hlava je takej istej dĺžky ako valcovité podpery a jej priemer činí  $30 \pm 5$  mm. Valcovitá hlava je rovnobežná s podperami, nachádza sa v strede medzi podperami a pohybuje sa v zvislej rovine, rovnobežne s podperami pri posune zaťažovaného prvku skúšobného stroja.



- $F$ : zaťaženie
- $l$ : testovacie teleso
- $t$ : hrúbka testovacieho telesa
- $l_1$ : 20 násobok  $t$
- $l_2$ :  $l_1 \pm 50$  mm



Obr. 15: Spôsob usporiadania skúšobného telesa a prípravku pre ohybovú skúšku (zdroj: vlastný)

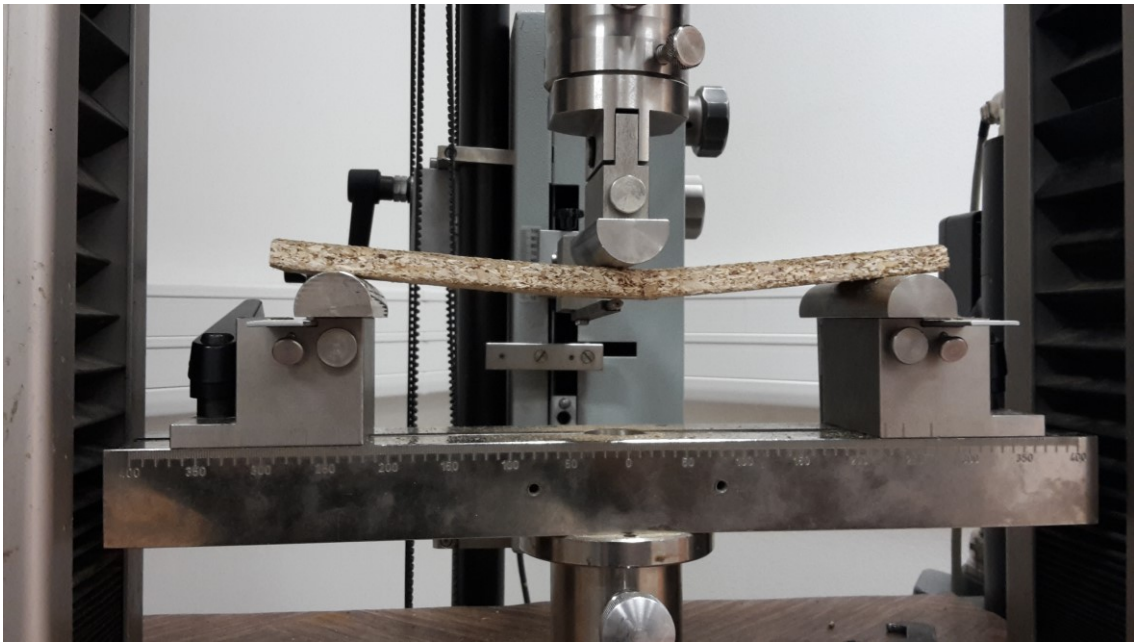
Testovacie teleso sa symetricky položí na podpory skúšobného prípravku tak, aby jeho pozdĺžna os bola kolmá na os podpier a priečna os ležala v zvislej rovine ohybovej hlavy. Pozdĺžna os skúšobného telesa musí byť v strede šírky podpier.

Zaťažovanie sa prevádza pri konštantnej rýchlosti posuvu v priebehu skúšky. Rýchlosť zaťažovanie sa upraví tak, aby doba dosiahnutia maximálneho zaťaženia bola  $60 \pm 30$  sekúnd.

Zmeria sa priehyb v strede testovacieho telesa (pod ohybovou hlavou) s presnosťou na 0,1 mm. Táto hodnota sa zakreslí do grafu s odpovedajúcim zaťažením s presnosťou na 1 % z nameranej hodnoty.

Zaznamená sa maximálne zaťaženie s presnosťou na 1 % z nameranej hodnoty. Po ohybovej skúške sa určí vďaka programu *testXpert* modul pružnosti a pevnosť v ohybe testovacieho telesa.

Tabuľkový výstup meraných veličín z programu *testXpert* obsahuje už vypočítaný **modul pružnosti** ( $E_m$ ) označený ako MOE (Modulus of Elasticity), udaný v  $\text{N/mm}^2$ . Taktiež obsahuje vypočítanú **pevnosť v ohybe** ( $f_m$ ) označenú ako MOR (Modulus of Repture) udaný v  $\text{N/mm}^2$ . Tabuľkové výstupy sú uvedené v prílohe.



Obr. 16: Ohybové zaťaženie, chytenie telesa v testovacom stroji a jeho porušenie spôsobené zaťažením (zdroj: vlastný)

#### Výpočet modulu pružnosti (MOE):

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

kde:

$l_1$ : vzdialenosť medzi stredmi podpier [mm]

$b$ : šírka skúšobného telesa [mm]

$t$ : hrúbka skúšobného telesa [mm]

$F_2 - F_1$ : prírastok zaťaženie v priamkovej časti grafu zaťažovacej krivky [N],  $F_1$  musí byť približne 10 % a  $F_2$  vo 40 % z maximálneho zaťaženia

$a_2 - a_1$ : prírastok priehybu testovacieho telesa v strede vzdialeností podpier, odpovedajúci prírastku zaťaženia  $F_2 - F_1$  [mm]

### Výpočet pevnosti v ohybe (MOR):

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

kde:

- $F_{max}$ : zaťaženie skúšobného telesa (v dobe porušenia) [N]  
 $l_1$ : vzdialenosť medzi stredmi podpier [mm]  
 $b$ : šírka skúšobného telesa [mm]  
 $t$ : hrúbka skúšobného telesa [mm]

Z nameraných dát bude spravené štatistické vyhodnotenie pomocou softwaru *Statistica CZ*.

#### 4.7.2 Rozlupčivosť

Z každej dosky sa použilo 5 vzoriek pre testovanie na rozlupčivosť alebo na ťah kolmo na plochu dosky. Použili sa vzorky s číslom: 1; 7; 15; 17; 24 (Obr. 14). Celkovo sa testovalo 10 vzoriek pre každý variant. Na vzorky boli nalepené testovacie telieska s profilom „I“ pomocou polyuretánového lepidla. Predzaťaženie vzoriek bolo nastavené na 5 N a rýchlosť posuvu bola 1 mm/min. Zastavenie testu bolo vymedzené poklesom maximálnej sily o 40 %. Z nameraných hodnôt sa vypočítala pevnosť v ťahu kolmo na plochu dosky zo vzorca podľa ČSN EN 319.

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

- kde:  $F_{max}$  – maximálna zaťažovacia sila [N]  
 $a, b$  – dĺžka a šírka testovacej vzorky [mm]

#### 4.7.3 Napúčanie

Pre testovanie rozmerovej stálosti vplyvom pôsobenia vody sa z každej dosky odobralo 10 testovacích vzoriek, teda pre každý variant bolo celkovo testovaných 20 vzoriek. Konkrétne sa jedná o vzorky s číslom: 3; 6; 8; 13; 16; 19; 21; 22; 25; 31 (Obr. 14). Na začiatku testovania sa u všetkých vzoriek zistila počiatočná hrúbka a váha. Hrúbka vzorku sa merala v dvoch na seba kolmých smeroch a jej hodnoty sa

spriemerovali. Vzorky sa ponorili do vody na 24 hodín. Po uplynutí časovej lehoty sa vzorky vytiahli a opätovne sa zmerala hrúbka, Podľa vzorca z normy ČSN EN 317 sa vypočítali rozmerové zmeny vzoriek v percentách.

Rozmerová zmena:

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

kde:  $t_1$  – počiatočný rozmer [mm]

$t_2$  – rozmer po vytiahnutí z vody [mm]

#### 4.7.4 Hustota a vlhkosť

Pre zistenie hustoty a vlhkosti dosiek sa odobralo z každej dosky 10 vzoriek a to vzorky s číslom 2; 5; 11; 12; 14; 20; 23; 26; 27; 29 (Obr. 14).

Ako prvé sa zisťovala hustota teliesok (ČSN EN 323), kde sa hustota vyjadruje ako pomer hmotnosti skúšobného telesa k jeho objemu, pričom sa zaznamenávajú rozmery telieska (dĺžka, šírka, hrúbka) a hmotnosť. Pomocou výsledkov z tohto merania sa zistí hustota celej dosky.

Výpočet:

$$p = \frac{m}{b_1 * b_2 * t} * 10^6$$

kde:  $m$  – hmotnosť skúšobného telesa [g]

$b_1, b_2, t$  – rozmery skúšobného telesa [mm]

Pre zistenie vlhkosti dosiek sa použili tie isté vzorky ako pri zisťovaní hustoty. Po zaznamenaní hmotnosti skúšobných teliesok sa skúšobné telieska vložia do sušiarne, kde sa vysušia 24 hodín a pri  $103 \pm 2$  °C, aby dosiahli 0 % vlhkosti.

Výpočet:

$$H_a = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100$$

kde:  $m_1$  – hmotnosť telesa pred sušením [g]

$m_2$  – hmotnosť telesa po sušení [g]

Vlhkosť dosky je aritmetický priemer vlhkostí všetkých skúšobných vzoriek danej dosky vyjadrená v percentách. Počíta sa s presnosťou na 0,1 %.

## **4.8 Použité zariadenia pri testovaní**

### **Univerzálny skúšobný stroj Zwick Z050**

Meranie testovacích telies bolo vykonané univerzálnom skúšobnom stroji Zwick Z050 s mechanickým pohybom horného priečniku. Stroj sa používa k určeniu skúšok na ťah, tlak, ohyb a šmyk. V našom prípade sa používal u skúšok na ohyb a rozlupčivosť.

Ku skúšobnému stroju patrí počítač so softwarom *TestXpert* od spoločnosti Zwick/Roell. Do príslušenstva patrí aj posuvné meradlo s digitálnym výstupom a pripojením do USB portu. Vďaka nemu bolo možné rýchlo a dostatočne presne zmerať rozmery daného skúšobného telesa.

## 5 Výsledky a diskusia

### 5.1 Hodnoty pre výpočet navážok surovín pre výrobu trieskových dosiek

Podiel jednotlivých frakcií triesok vysitovaných z triesok od firmy KRONOSPAN a následný výpočet percentuálneho zastúpenia jednotlivých frakcií obsiahnutých v približne 200 g triesok.

Tab. 1: Percentuálne zastúpenie veľkostí triesok pre stredové a povrchové vrstvy

Stredová vrstva			Povrchová vrstva		
[mm]	m [g]	%	[mm]	m [g]	%
10	3,65	1,79	>2	0,35	0,18
5	54,8	26,94	2	23,75	12,35
3,15	67,65	33,26	1	72,7	37,81
2	63,75	31,34	0,63	26	13,52
1	10,55	5,19	0,5	34,3	17,84
0,5	2,7	1,33	0,315	15	7,80
0,2	0,3	0,15	0,2	20,2	10,50
Σ	203,4	100	Σ	192,3	100

Tab. 2: Výsledok hmotnostných navážok triesok, lepidla, tužidla pre stredové a povrchové vrstvy dosky podľa Hrazský a Král (2004)

Surovina	SV	SV + 4 %	SV + 10 %	PV	PV + 4 %	PV + 10 %
Triesky	1481,48	1540,74	1694,81	727,27	756,36	832,00
Lepidlo	118,52	171,77	188,94	72,73	105,40	115,94
Tužidlo	1,72	2,49	2,74	1,05	1,53	1,68

Tab. 3: Výpočet potrebného množstva recyklátu pre daný variant

Varianty	0%	20%	50%	80%
štiepka [g]	2526,815	2021,452	1263,407	505,363
recyklát [g]	0	505,363	1263,407	2021,452

## 5.2 Výsledky ohybovej pevnosti

Tab. 4: Popisná štatistika pevnosti v ohybe pre jednotlivé druhy dosiek

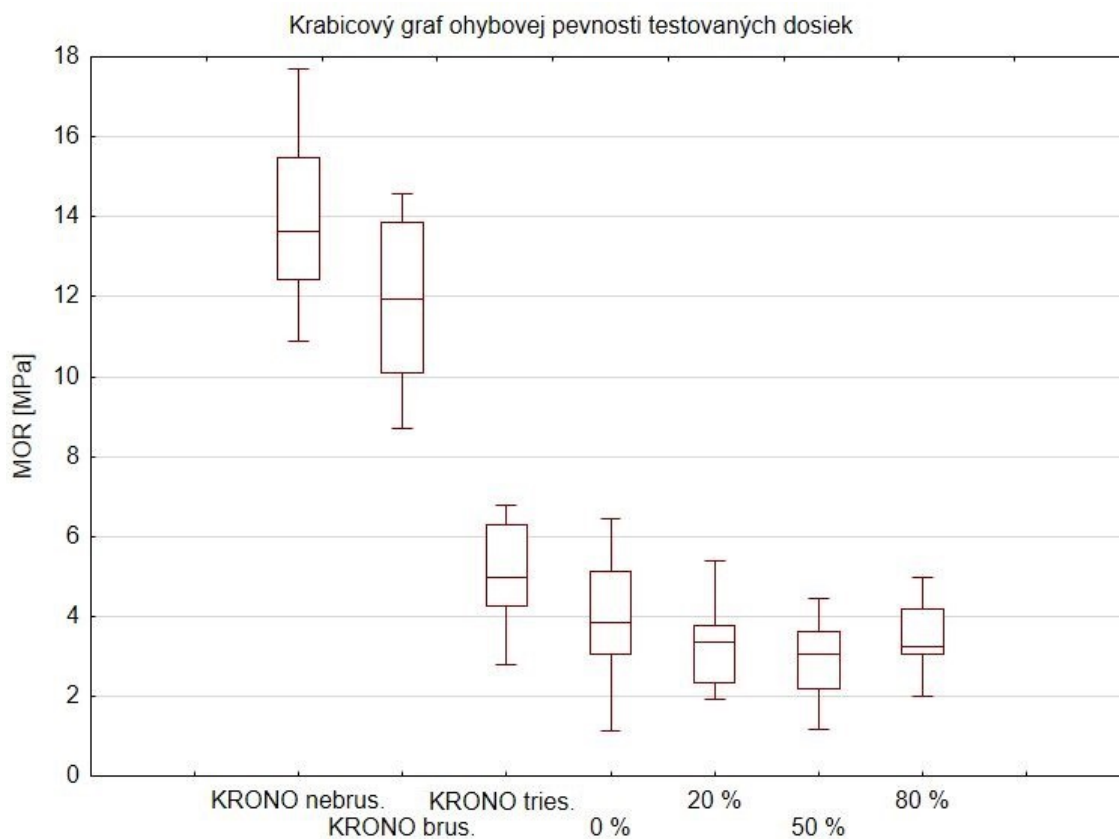
Popisná štatistika MOR	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep,	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	13,834	11,870	5,018	3,823	3,239	2,949	3,526
Chyba str. hodnoty	0,482	0,465	0,263	0,338	0,227	0,201	0,186
Medián	13,635	11,935	4,975	3,85	3,375	3,07	3,255
Modus	#	14,07	6,31	#	3,66	3,55	#
Smer. odchýlka	2,047	1,972	1,175	1,474	1,015	0,900	0,833
Rozptyl výberu	4,188	3,888	1,381	2,171	1,031	0,810	0,693
Špicatosť	-0,735	-1,607	-0,754	-0,359	-0,651	-0,825	-0,594
Šikmosť	0,440	-0,102	-0,263	0,018	0,488	-0,226	0,022
Rozdiel max - min	6,81	5,88	4	5,3	3,48	3,29	2,97
Minimum	10,89	8,7	2,79	1,15	1,92	1,17	2
Maximum	17,7	14,58	6,79	6,45	5,4	4,46	4,97
Súčet	249,02	213,66	100,36	72,63	64,78	58,98	70,51
Počet	18	18	20	19	20	20	20

Z Tab. 4 vidíme, že u dosiek dodaných od firmy KRONOSPAN (KRONO nebrús., KRONO brús.) dosahuje stredná hodnota znateľne väčšie hodnoty ako ostatných, nami vyrobených dosiek. Tento rozdiel je ďalej popísaný pri Obr. 17.

Tab. 5: Popisná štatistika modulu pružnosti pri ohybe

Popisná štatistika MOE	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep,	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	2654,374	2856,132	937,245	608,055	574,951	539,934	736,046
Chyba str. hodnoty	128,311	97,654	32,890	46,266	39,480	28,820	34,751
Medián	2654,960	2831,385	918,945	591,110	594,990	541,860	702,690
Modus	#	#	#	#	#	#	#
Smer. odchýlka	544,377	414,312	147,089	201,669	176,562	128,888	155,410
Rozptyl výberu	296346,1	171654,6	21635,06	40670,43	31173,98	16612,24	24152,12
Špicatosť	-2,076	-1,369	-0,364	0,269	-1,074	-0,962	-0,162
Šikmosť	0,034	0,263	-0,129	-0,066	-0,094	-0,319	0,542
Rozdiel max - min	1301,37	1256,71	540,54	798,1	573,12	431,47	588,05
Minimum	2012,56	2312,84	649,5	187,72	284,63	289,11	489,63
Maximum	3313,93	3569,55	1190,04	985,82	857,75	720,58	1077,68
Súčet	47778,73	51410,37	18744,89	11553,05	11499,02	10798,68	14720,91
Počet	18	18	20	19	20	20	20

Taktiež ako u predchádzajúcej tabuľky, sú z Tab. 5 zreteľné rozdiely u dosiek od firmy KRONOSPAN v nameraných hodnotách modulu pružnosti od nami vyrobených dosiek.



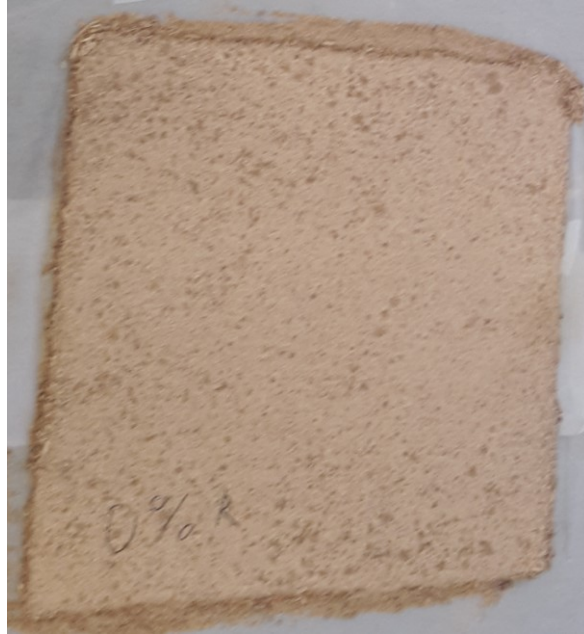
Obr. 17: Krabicový graf ohybovej pevnosti jednotlivých typov dosiek

Tento fakt je zreteľný aj z Obr. 17, kde dosky KRONO nebrús. a KRONO brús. dosahujú približne o 700 MPa lepšiu pevnosť v ohybe než ostatné dosky. Väčšia ohybová pevnosť dosiek môže byť ovplyvnená mnohými faktormi ako napríklad: hustota, štihlostný pomer triesok, orientovanie triesok v doske, lepšie navrstvenie povrchových vrstiev. Každý z týchto faktor môže ovplyvniť vlastnosti dosky. V tomto prípade je zreteľné, že významný faktor je hustota dosiek, pretože čím je vyššia hustota dosky, tým sa zvyšuje aj jej ohybová pevnosť. Obr. 27 dokazuje významný štatistický rozdiel medzi hustotami dosiek KRONO nebrús. a KRONO brús. od ostatných dosiek, čo sa odráža na rozdieloch ohybových pevností u testovaných dosiek.

Ďalším dôležitým faktorom bola súdržnosť povrchových vrstiev, pretože pri ohybe najviac prenášajú zaťaženie práve povrchové vrstvy. Pri laboratórnej výrobe dosiek sme sa nepriblížili takej kvalite povrchových vrstiev dosiek ako u KRONO nebrús. a KRONO brús., čo mohlo byť spôsobené nízkym obsahom lepidla



v povrchových vrstvách a tým bola znížená súdržnosť povrchovej vrstvy. Nízky obsah lepidla v povrchových vrstvách môže byť spôsobený väčšími stratami v miešacom zariadení, kde dochádzalo k nanášaniu lepidla na triesky. Na Obr. 18 sú vidieť hnedé fľaky (pripomínajúce ľudské pehy), ktoré vznikli pri miešaní triesok s lepidlom, kde sa nepodarilo rovnomerne naniesť lepidlo na všetky triesky a tým vznikli takéto lepidlové zhluky.



Obr. 18: Vylisovaná doska so stopami nerozmiešaného lepidla (zdroj: vlastný)

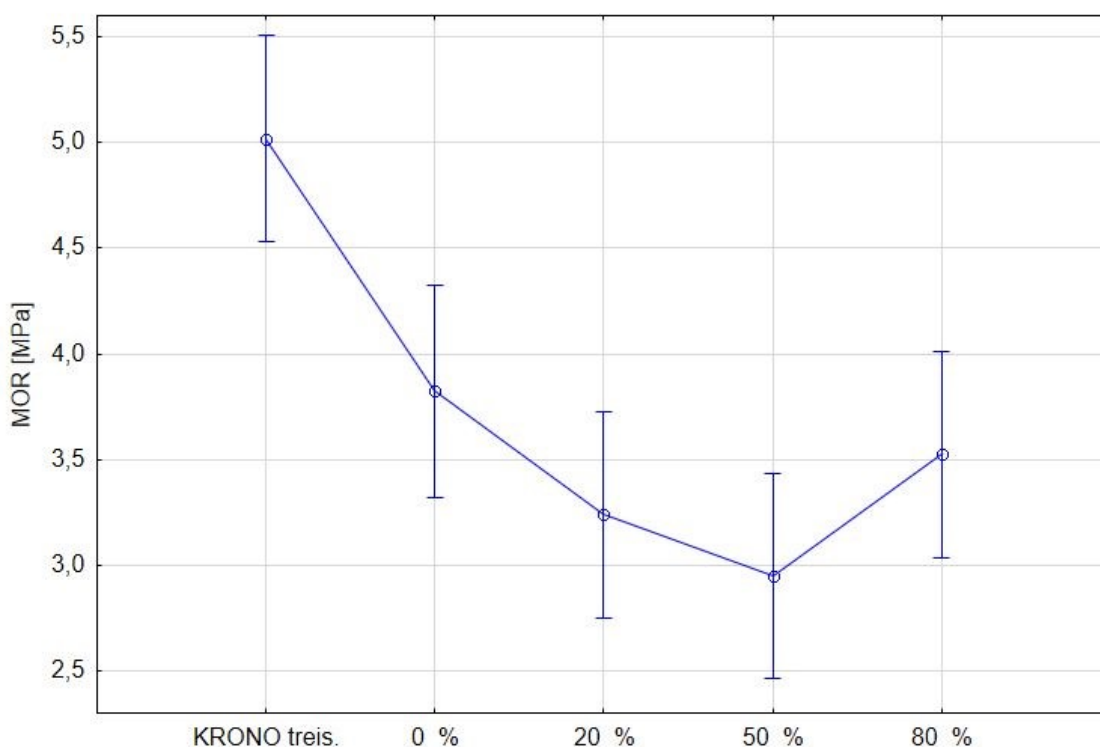
K štatistickému vyhodnoteniu vplyvu použitého dreva pomocou ANOVY je pre ohybovú pevnosť a modul pružnosti v ohybe zbytočné sa zaoberať skupinami KRONO nebrús. a KRONO brús., ktoré z Obr. 17. sú zreteľne odlišné od ostatných, a tým štatistické výsledky v nasledujúcich grafoch sú prehľadnejšie.

Podľa Obr. 19 môžeme určiť, že významný štatistický rozdiel u ohybovej pevnosti je pri testovacej skupine KRONO tries. Tento štatistický rozdiel je spôsobený štíhlostným pomerom triesok, pretože tieto triesky boli dodané od firmy KRONOSPAN a neboli mleté na laboratórnom mlyne ako ostatné triesky. Laboratórnym mlynom sa vyrábali kratšie lístkové triesky, pričom KRONO tries. mohli obsahovať väčšie množstvo ihlicových triesok.

U ostatných testovaných dosiek nie je významný štatistický rozdiel pri ohybovej pevnosti (Obr. 19).

ANOVA vplyvu druhu triesok na ohybovú pevnosť

Současný efekt:  $F(4, 94)=10,595, p=,00000$

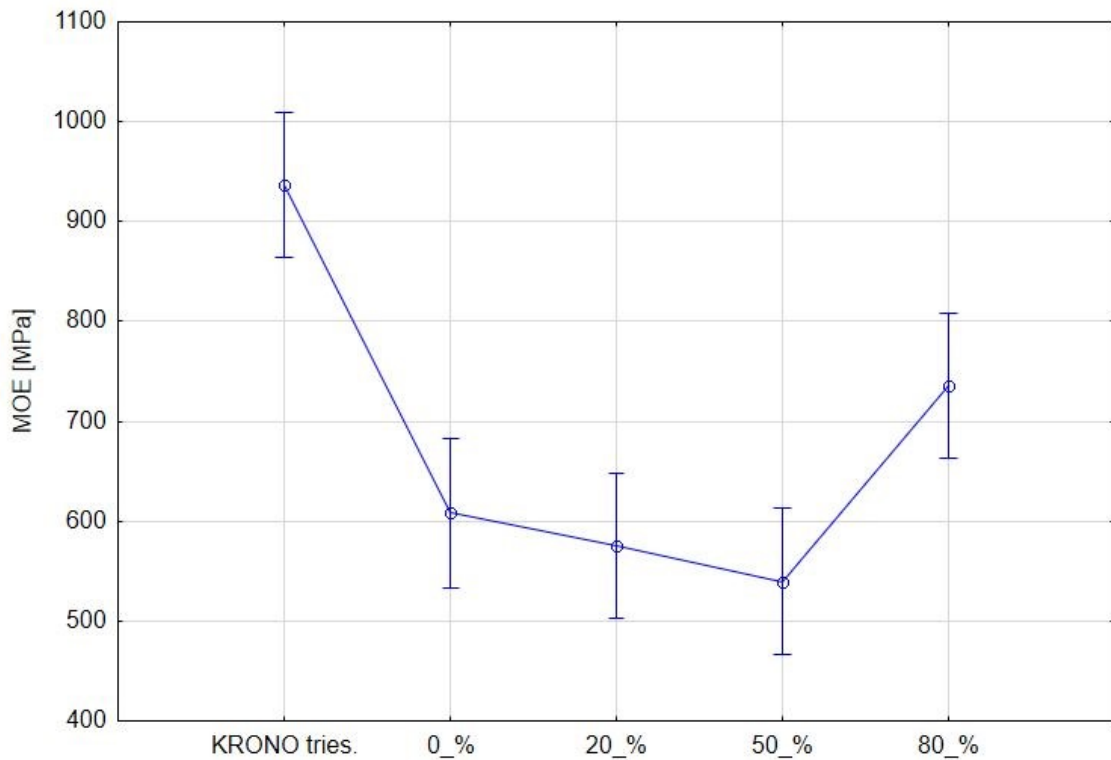


Obr. 19: Štatistické vyhodnotenie ohybovej pevnosti pomocou jednofaktorovej ANOVY

Podľa Obr. 20 môžeme určiť, že významný štatistický rozdiel u modulu pružnosti v ohybe je pri testovacej skupine KRONO tries. od ostatných testovacích skupín. Vyššia hodnota modulu pružnosti u KRONO tries. je takisto ako aj u ohybovej pevnosti spôsobená štíhlostným pomerom triesok v doske.

Na Obr. 20 môžeme takisto vidieť aj štatisticky významný rozdiel u testovacej skupiny 80 %. Tá je významne rozdielna od skupín 20 % a 50 %. Tento fakt môže byť spôsobený hustotou, kde 80 % má štatisticky významný rozdiel v nameranej hustote. To dokazuje Obr. 27. Vyššia hustota dosiek s 80% zastúpením recyklátu môže byť spôsobená vyšším obsahom nedrevených častíc v doske.

ANOVA vplyvu triesok na modul pružnosti pre ohybe  
 Současný efekt:  $F(4, 94)=19,640$ ,  $p=,00000$



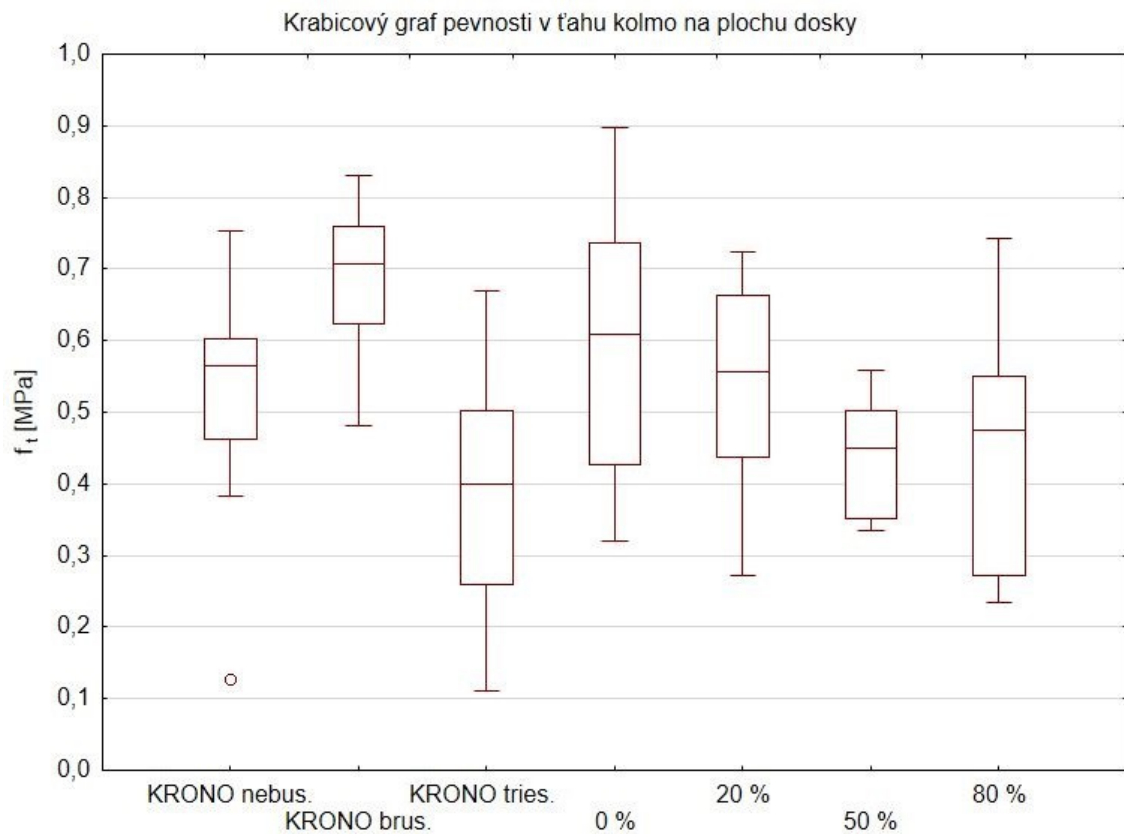
Obr. 20: Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti v ohybe pomocou jednofaktorovej ANOVY

### 5.3 Rozlupčivosť

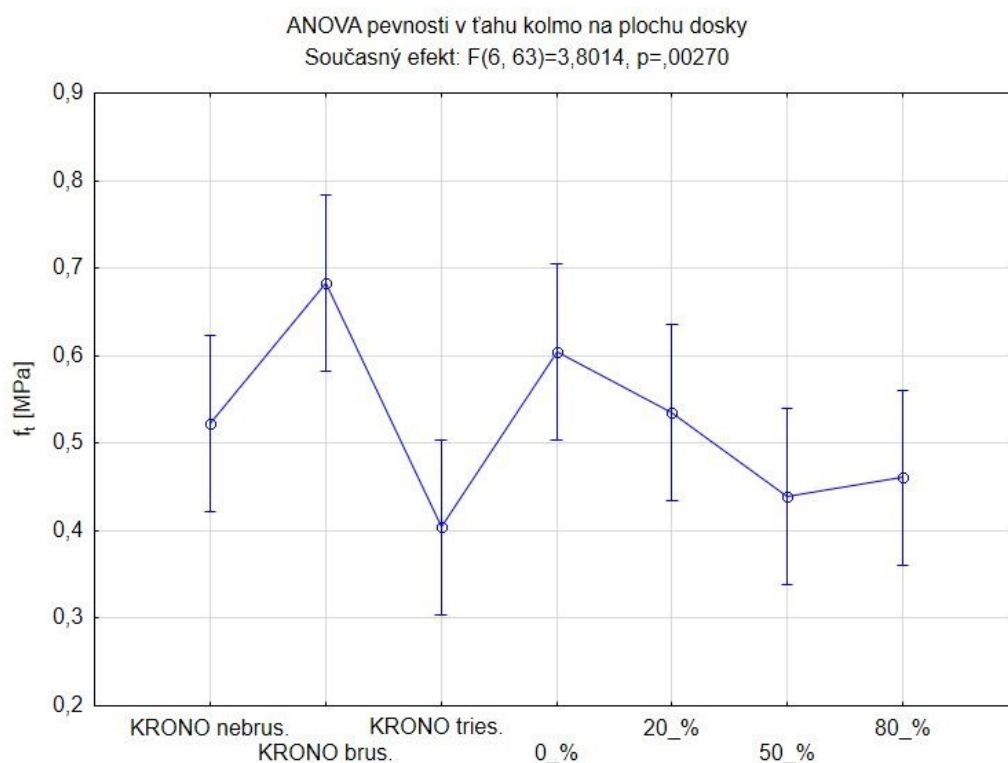
Tab. 6: Popisná štatistika rozlupčivosti pre jednotlivé dosky

Popisná štatistika rozlupčivosti	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep,	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	0,522	0,683	0,404	0,605	0,535	0,440	0,461
Chyba str. hodnoty	0,055	0,034	0,056	0,065	0,049	0,024	0,056
Medián	0,565	0,707	0,399	0,609	0,557	0,450	0,474
Modus	#	#	#	#	#	#	#
Smer. odchýlka	0,174	0,108	0,178	0,205	0,154	0,077	0,177
Rozptyl výberu	0,030	0,012	0,032	0,042	0,024	0,006	0,031
Špicatosť	2,283	-0,014	-0,615	-0,908	-0,914	-1,217	-0,999
Šikmosť	-1,232	-0,792	-0,088	-0,039	-0,495	-0,093	0,250
Rozdiel max - min	0,624	0,349	0,557	0,579	0,452	0,223	0,509
Minimum	0,129	0,482	0,112	0,320	0,272	0,336	0,234
Maximum	0,752	0,830	0,669	0,898	0,724	0,559	0,743
Súčet	5,222	6,834	4,041	6,047	5,349	4,395	4,608
Počet	10	10	10	10	10	10	10

Z Tab. 6 môžeme vidieť, že medián a stredná hodnota sa u testovacích skupín nijak výrazne nelíšia. Základný súbor neobsahuje extrémne hodnoty. Na Obr. 21 vidíme krabicový dokazuje neprítomnosť extrémnych hodnôt v základnom súbore. Jedine v testovacej skupine KRONO nebrús. vidíme odľahlú hodnotu a aj medián dosahuje nižšiu hodnotu ako u testovacej skupine KRONO brús. Tento fakt môže byť spôsobený nižšou súdržnosťou medzi testovanými vzorkami a testovacím telieskom v tvare „I“. Povrch KRONO nebrús. bol po vylisovaní dokonale hladký a tým bola spôsobená menšia súdržnosť lepidla medzi testovacím telieskom a testovanými vzorkami. Pri KRONO nerús. často nedochádzalo k dokonalému roztrhnutiu ale časť testovanej vzorky ostala na testovacom teliesku sa časť sa porušila práve v lepenom spoji.



Obr. 21: Krabicový graf pevnosti v ťahu kolmo na plochu jednotlivých typov dosiek



Obr. 22: Štatistické vyhodnotenie pevnosti v ťahu kolmo na plochu jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY

Podľa Obr. 22 môžeme určiť, že namerané hodnoty rozlupčivosti sú štatisticky odlišné u skupiny KRONO brús. pričom táto skupina dosahovala významne vyššie hodnoty než skupiny KRONO tries., 50 % a 80 %. Skupina KRONO tries. má štatisticky významne nižšie hodnoty než skupina 0 %. U tejto skupiny dochádzalo k porušeniu v povrchovej vrstve (Obr. 23) a tým vzorky dosahovali nižšie hodnoty pevnosti v ťahu kolmo na plochu. To mohlo byť spôsobené slabou súdržnosťou lepidla v povrchovej vrstve, pretože lepidlo nebolo dôkladne nanosené na všetky triesky rovnako. O príčine nesprávneho nanosenia lepidla na triesky je uvedené na strane 40.



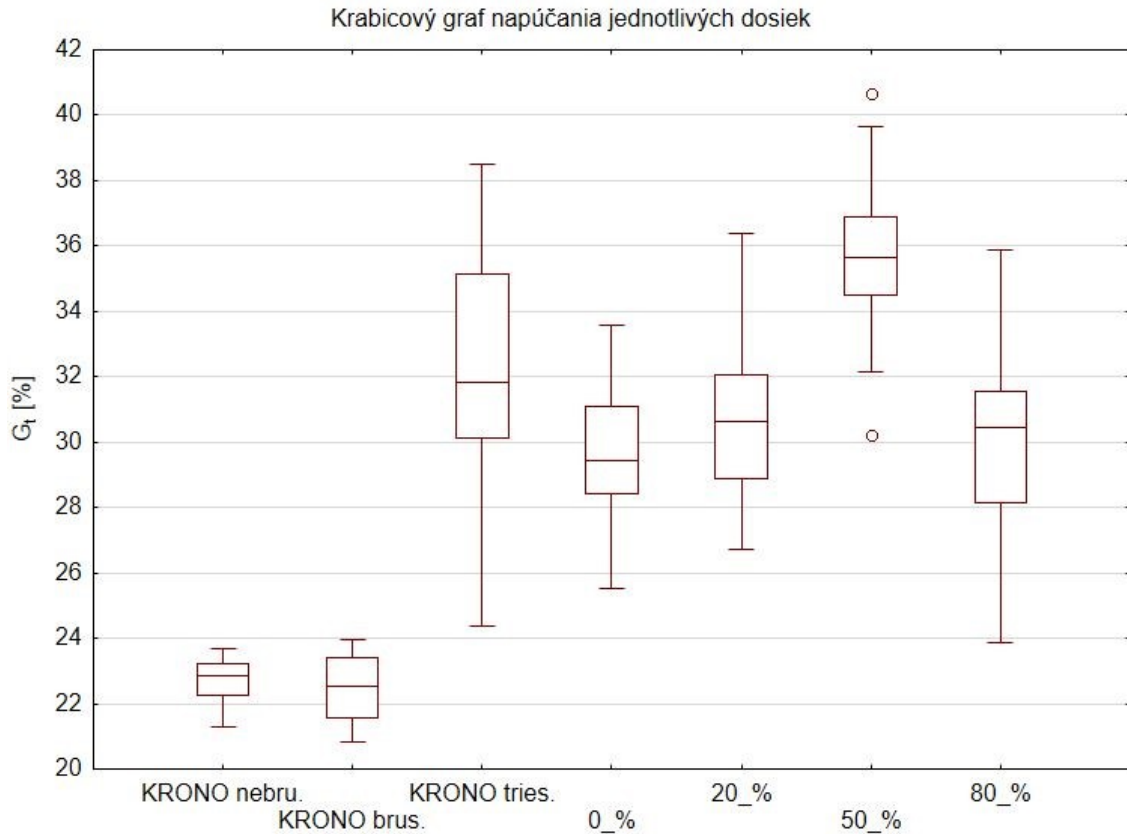
Obr. 23: Porušenie testovanej vzorky na rozlupčivosť v povrchovej vrstve (zdroj: vlastný)

## 5.4 Hrúbkové napúčanie

Tab. 7: Popisná štatistika hrúbkového napúčania pre jednotlivé dosky

Popisná štatistika napúčania	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep.	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	22,724	22,513	32,145	29,736	30,487	35,627	30,015
Chyba str. hodnoty	0,198	0,300	0,793	0,444	0,520	0,544	0,603
Medián	22,878	22,552	31,835	29,434	30,630	35,662	30,455
Modus	#	#	#	#	#	#	#
Smer. odchýlka	0,686	1,039	3,548	1,984	2,326	2,435	2,699
Rozptyl výberu	0,471	1,079	12,591	3,936	5,409	5,927	7,284
Špicatosť	0,054	-1,137	0,036	-0,059	0,626	0,716	0,735
Šikmosť	-0,632	-0,089	-0,393	-0,033	0,551	-0,051	-0,153
Rozdiel max-min	2,395	3,154	14,144	8,057	9,675	10,478	12,010
Minimum	21,294	20,823	24,355	25,532	26,711	30,202	23,892
Maximum	23,689	23,977	38,499	33,588	36,386	40,681	35,902
Súčet	272,689	270,157	642,910	594,715	609,734	712,545	600,293
Počet	12	12	20	20	20	20	20

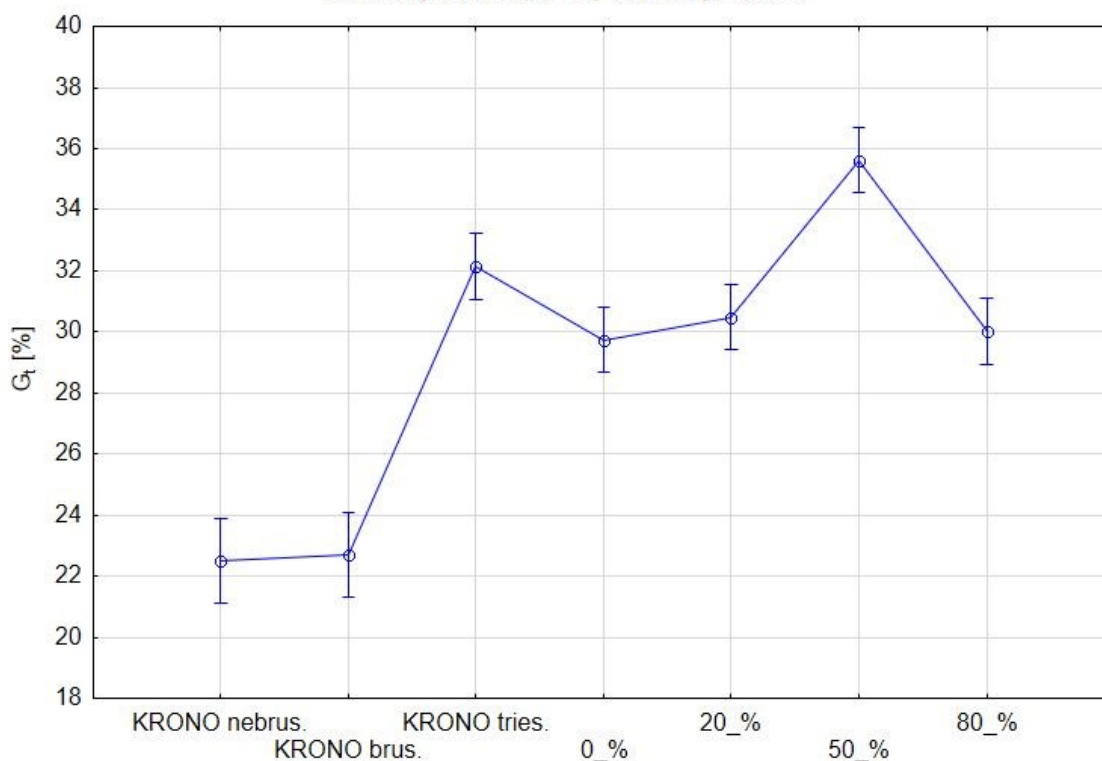
Z Tab. 7 vidíme, že smerodajná odchýlka je najväčšia u testovacej skupiny KRONO štiep., čo nám naznačuje veľkú variabilitu hodnôt. Veľká variabilita hodnôt u tejto skupiny je spôsobená podstatne odlišnými nameranými hodnotami v danej testovacej skupine. Najväčší rozdiel u tejto skupiny je 14,144 %. Malá smerodajná odchýlka je u skupiny KRONO nebrús., kde môžeme vidieť, že rozdiel medzi hrúbkovým percentuálnym napúčaním je iba 2,395 %.



Obr. 24: Krabicový graf hrúbkového napúčania vyjadrený v percentách

Na Obr. 24 môžeme vidieť malú variabilitu súborov KRONO nebrús. a KRONO brús. Tým, že tieto súbory dosahovali takú malú variabilitu naznačuje, že tieto vzorky majú podobné vlastnosti ako v celej doske. Ostatné testovacie súbory majú zreteľne väčšiu variabilitu súboru. Takýto rozdiel v hrúbkovom napúčaní medzi KRONO doskami a nami vyrobenými doskami môže byť spôsobený výrobnou technológiou použitou pri ich výrobe. V prípade nami vyrobených dosiek môže hrúbkové napúčanie ovplyvňovať problémová povrchová vrstva, či nedostatok lepidla.

ANOVA napúčania jednotlivých dosiek  
 Současný efekt:  $F(6, 117)=58,005, p=0,0000$



Obr. 25: Štatistické vyhodnotenie hrúbkového napúčania jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY

Podľa jednofaktorovej ANOVY (Obr. 25) môžeme vidieť veľký štatistický rozdiel medzi nami vyrobenými doskami a testovacou skupinou 50 %. Práve u tejto skupine bolo namerané veľké hrúbkové napúčanie. Z Tab. 7 vidíme, že najväčšia nameraná hodnota bola 40,681 % a medián 35,662 %. Hrúbkové napúčanie u testovacej skupiny 50 % mohla byť ovplyvnená množstvom lepidla obsiahnutým v jednotlivých vrstvách. Pretože čím viac lepidla obsahuje triesková doska, tým je napúčanie dosky menšie.

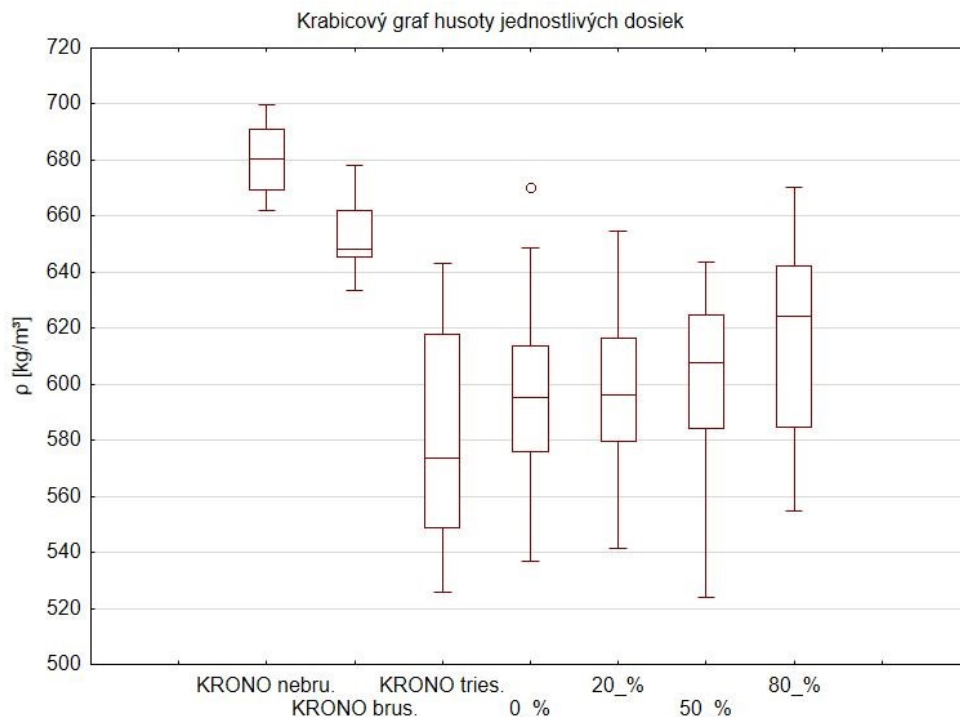


## 5.5 Hustota dosiek

Tab. 8: Popisná štatistika hustoty pre jednotlivé dosky

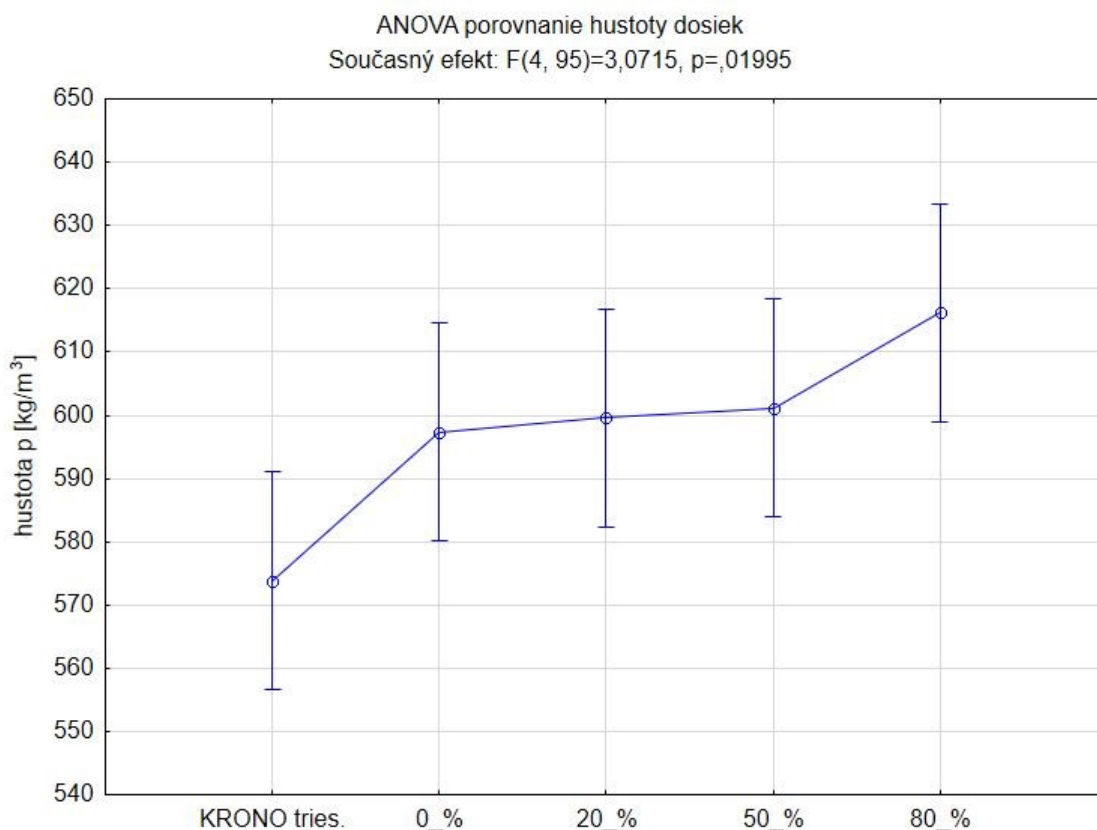
Popisná štatistika hustoty	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep.	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	680,635	653,867	581,707	597,321	599,608	601,103	616,221
Chyba str. hodnoty	3,654	3,960	8,374	7,348	6,764	7,079	8,262
Medián	680,411	648,410	573,653	595,470	596,187	607,977	624,489
Modus	#	#	#	#	#	#	#
Smer. odchýlka	12,657	13,718	37,451	32,862	30,251	31,660	36,947
Rozptyl výberu	160,201	188,184	1402,554	1079,931	915,123	1002,378	1365,116
Špicatosť	-1,159	-0,517	-1,422	0,146	-0,366	0,580	-1,031
Šikmosť	0,023	0,569	0,142	0,330	0,364	-1,014	-0,332
Rozdiel max-min	38,086	44,430	117,587	133,762	113,010	119,922	115,305
Minimum	661,865	633,695	525,684	536,784	541,495	523,850	555,043
Maximum	699,951	678,125	643,271	670,546	654,506	643,772	670,348
Súčet	8167,62	7846,40	11634,14	11946,42	11992,17	12022,07	12324,43
Počet	12	12	20	20	20	20	20

Z popisnej štatistiky (Tab.8) môžeme vidieť u testovej skupiny KRONO nebrús. a KRONO brús. menšie smerodajné odchýlky než u ostatných skupín. Značí to nízku variabilitu testovacích skupín KRONO nebrús. a KRONO brús. Naopak u ostaných skupín vidíme väčšie smerodajné odchýlky, čo naznačuje značne rozdielnú hustotu v jednotlivých doskách.



Obr. 26: Krabicový graf hustoty v jednotlivých dosiek

Na krabicovom grafe (Obr. 26) vidíme, že súbory neobsahujú žiadne extrémne hodnoty, akurát pri testovacej skupine 0 % môžeme vidieť odľahlú hodnotu. Ďalej nám krabicový graf potvrdzuje hypotézu malej variability skupín KRONO nebrús. a KRONO brús. oproti ostatným skupinám. Z Obr. 26 vidíme, že skupiny KRONO tries., 0 %, 20 %, 50 %, a 80 % nie sú od seba nijak zvlášť rozdielne. Presnejšie vyhodnotenie výsledkov hustoty nám povie Obr. 27, kde pomocou ANOVY určíme či skupiny zo základného súboru sú štatisticky rozdielne.



Obr. 27: Štatistické vyhodnotenie hustoty jednotlivých typov dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY

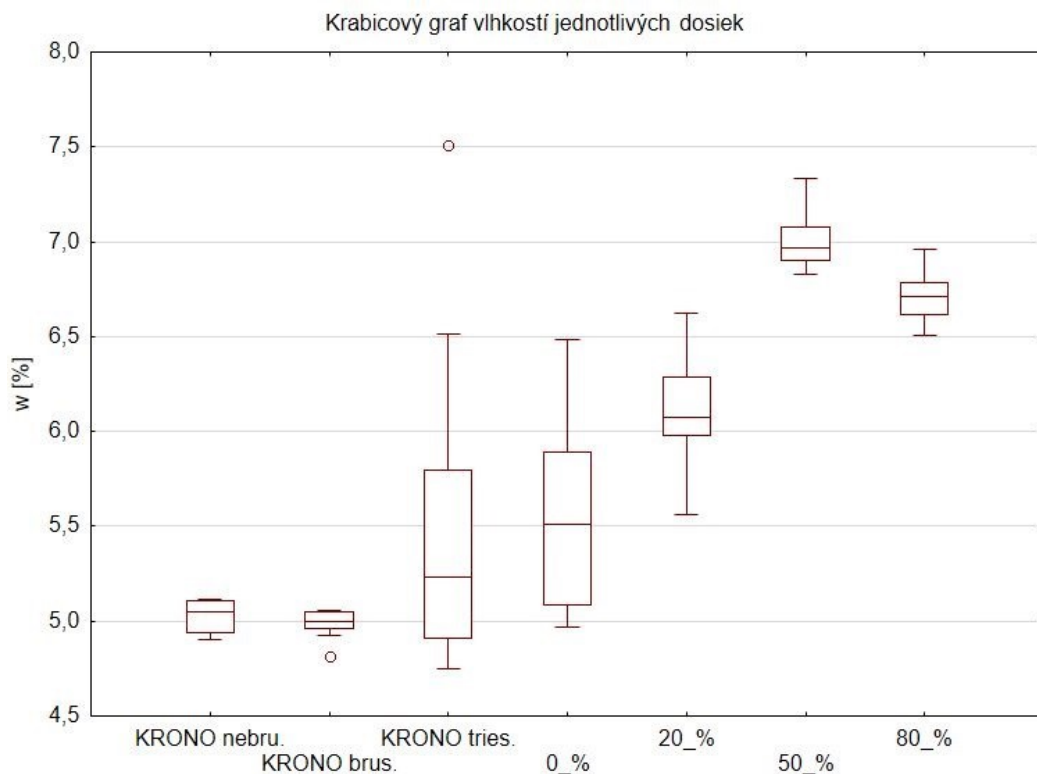
Z jednofaktorovej ANOVY (Obr. 27) vidíme významný štatistický rozdiel medzi testovanou skupinou KRONO tries. a 80 %. V tomto prípade testovacia skupina 80 % dosahuje vyššiu hustotu než testovacia skupina KRONO tries. Vyššia hustota u skupiny 80 % môže byť spôsobená práve nedrevenými časticami obsiahnutými v recyklovanom dreve. Pri výrobe recyklátových triesok sa mohli medzi triesky zamiešať napríklad kovové elementy alebo kamenky, ktoré sme si nevšimli pri výrobe triesok. Nedrevené elementy ako kov, kamene, plasty v konečnom dôsledku ovplyvňujú hustotu dosiek.

## 5.6 Vlhkosť dosiek

Tab. 9: Popisná štatistika vlhkosti u jednotlivých dosiek

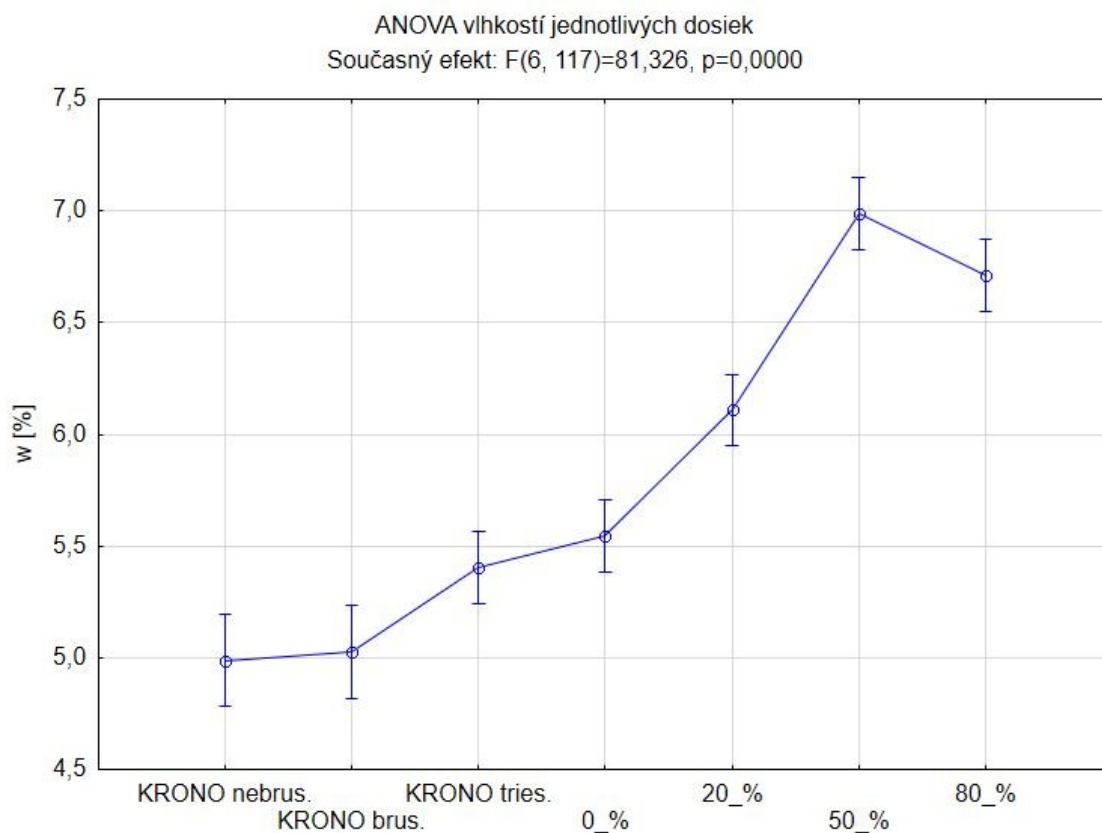
Popisná štatistika vlhkosti	KRONO nebrús.	KRONO brús.	KRONO štiep.	0%	20%	50%	80%
Str. hodnota	5,028	4,989	5,402	5,546	6,109	6,988	6,712
Chyba str. hodnoty	0,025	0,020	0,156	0,105	0,057	0,027	0,027
Medián	5,050	5,001	5,230	5,511	6,073	6,966	6,713
Modus	#	#	#	#	#	#	#
Smer. odchýlka	0,085	0,071	0,698	0,470	0,256	0,120	0,121
Rozptyl výberu	0,007	0,005	0,488	0,221	0,066	0,014	0,015
Špicatosť	-1,779	2,572	3,268	-0,883	0,080	2,214	-0,334
Šikmosť	-0,349	-1,464	1,697	0,505	0,080	1,232	0,106
Rozdiel max-min	0,216	0,244	2,759	1,516	1,059	0,503	0,451
Minimum	4,902	4,812	4,752	4,971	5,565	6,832	6,506
Maximum	5,118	5,056	7,511	6,486	6,625	7,335	6,958
Súčet	60,331	59,867	108,045	110,923	122,185	139,764	134,245
Počet	12	12	20	20	20	20	20

Z popisnej štatistiky (Tab. 9) vidíme, že u skupiny KRONO nebrús a KRONO brús. sa hodnoty mediánu nijak zvlášť nelíšia. Môžeme teda povedať, že vzorky v testovacej skupine majú totožnú vlhkosť. Smerodajná odchýlka u týchto skupín je takisto malá, takže tieto testovacie skupiny majú malú variabilitu hodnôt.



Obr. 28: Krabicový graf vlhkostí jednotlivých dosiek

Na Obr. 28 vidíme malú variabilitu hodnôt skupín KRONO nerús. a KRONO brús., čo dokazovala smerodajná odchýlka z Tab. 9.



Obr. 29: Štatistické vyhodnotenie vlhkosti v jednotlivých typoch dosiek pomocou jednofaktorovej ANOVY

Z jednofaktorovej ANOVY (Obr. 29) vidíme určitú závislosť, že so zvyšujúcim sa percentuálnym zastúpením recyklátu v trieskovej doske sa zvyšuje jej vlhkosť. Táto teória však nemusí byť úplne pravdivá, pretože testovacia skupina KRONO tries. obsahuje určité percento recyklátu a jej vlhkosť je podobná so skupinou 0 %. To by túto teóriu vyvracalo. Dôležitým faktorom pri vlhkosti trieskových dosiek množstvo lepidla obsiahnuté v stredových a povrchových vrstvách. Tieto rozdiely vlhkostí mohli byť spôsobené nedostatočným nanosením lepidla na všetky triesky a tým doska môže prijať viacej vody zo vzduchu.

## 6 Záver

Cieľom tejto diplomovej práce bolo zistiť do akej miery ovplyvňuje recyklované drevo fyzikálne a mechanické vlastnosti trieskových dosiek. Testovali sa dosky vyrobené firmou KRONOSPAN a dosky, ktoré boli vyrobené v laboratóriu. Celkovo sa vyrobilo 5 variant a z každej varianty 2 dosky. Vyrobili sa dosky s 0%, 20%, 50%, 80% zastúpením recyklátu a jeden variant s trieskami od firmy KRONOSPAN. Všetky dosky boli testované na vybrané fyzikálne a mechanické vlastnosti, za účelom zistenia ako ovplyvňuje recyklované drevo vlastnosti dosky v závislosti na jeho množstve.

Pri testovaní ohybovej pevnosti sa percentuálne zastúpenie nijak výrazne neprejavilo na výsledkoch. Dôležitým aspektom pri ohybovej pevnosti je kvalita povrchových vrstiev a štíhlostný pomer triesok v doske.

Pri testovaní rozlupčivosti je rozhodujúca súdržnosť lepidla medzi trieskami v doske. V našom prípade bola táto súdržnosť ovplyvnená nanášačkou lepidla, ktorá nedokáže dôkladne rozmiešať lepidlo s malou frakciou triesok. Po vylisovaní vznikali na doske fľaky od lepidla a pri testovaní dosahovali vzorky nízke hodnoty.

Pri hrúbkovom napúčaní sa dosky vyrábané v laboratóriu výrazne odlišovali od dosiek pochádzajúcich z firmy KRONOSPAN. Štatistický rozdiel od ostatných vzoriek bol pri testovacej skupine 50 % čo mohlo byť spôsobené malým množstvom lepidla v doske. Tento fakt sa odráža aj na výsledkoch vlhkosti v doskách, kde znova u skupiny 50 % bola nameraná najvyššia vlhkosť.

Hustota dosiek bola ovplyvnená u skupiny 80 % nedrevenými elementmi obsiahnutými v doske. Pri výrobe dosky sa v laboratóriu nepodarilo odstrániť všetky nedrevené elementy a tým doska dosahovala vyššiu hustotu.

Dosky od firmy KRONOSPAN dosahovali u všetkých testov výrazne lepšie hodnoty než dosky vyrobené v laboratóriu.

Podľa našich výsledkov zastúpenie recyklovaného dreva v drevotrieskovej doske nijako významne neovplyvňuje fyzikálne či mechanické vlastnosti. Aby sa potvrdila táto hypotéza, musia sa vyrobiť trieskové dosky s rôznym percentuálnym zastúpením recyklovaného dreva pomocou technológie, ktorá sa používa vo firme KRONOSPAN alebo v inej firme zaoberajúcou sa výrobou drevotrieskovými doskami, a následne ich otestovať na vybrané fyzikálne a mechanické vlastnosti.

## 7 Summary

The main purpose of this thesis was to find out what impact has recycled wood on physical and mechanical properties of particle board. We were testing boards manufactured by KRONOSPAN and boards that were made in the laboratory. Overall, we produced 5 variants and each of variant consist of 2 boards. Boards were made with 0%, 20%, 50%, 80% recycled material and one variant was made of chips from KRONOSPAN. All boards were tested on specific physical and mechanical properties, in order to determine how recycled wood affects the properties of recycled wood boards, depending on the quantity.

By testing the bending strength, percentage of recycling wood were not reflected in the results. An important aspect in bending strength is quality of surface layers and slenderness ratio of chips in the board.

By testing internal bond is important cohesion of glue adhesive in board. In our case was the cohesion affected by gluer, which cannot thoroughly mixed glue with a small fraction of chips. On the boards after pressing were seen spots of glue and the testing values reached low levels.

By the diameter swell were boards made in the laboratory Significantly different from boards coming from the company KRONOSPAN. Statistical difference of samples was in group 50 % which may be due to a small glue amount on board. This fact is also reflected in the results of the moisture in the boards, where in group 50 % was the highest measured moisture.

The density of boards was affected in the group 80% by non-wood element contained in the board. In the production of boards in laboratory we failed in removing all non-wood elements and the board reached higher density.

KRONOSPAN boards were significantly better in all tests than boards produced in the laboratory.

According to our results quantity of recycled in wood particle board not significantly affect the physical or mechanical properties. To confirm this hypothesis, they must produce particle boards with varying percentages of recycled wood by using technology that is used in the KRONOSPAN company or other companies engaged in the production of particle board, and then test them on selected physical and mechanical properties.

## 8 Zoznam literatúry

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://fld.czu.cz/~bohm/aglomerovane\\_materialy.pdf](http://fld.czu.cz/~bohm/aglomerovane_materialy.pdf)

DEPPE, H.J. a K ERNST. *Technologie der Spanlatten : ein Ratgeber fuer die Praxis*. Stuttgart: Stuttgart, 1964, 283 s. ISBN 370758.

FALK, Bob. Wood recycling: Opportunities for the woodwaste resource. *Forest Products Journal*. Madison, 1997. 17-22.

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

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. *Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 1. Aglomerované materiály, Cvičení*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. ISBN 80-7157-751-0.

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 253 s. ISBN 978-807375-034-3.

KELLY, Myron. *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard*. Raleigh: U.S. Government printing office, 1977

KÜES, Ursula. *Wood production, wood technology, and biotechnological impacts*. Göttingen: Univ.-Verl. Göttingen, 2007. ISBN 9783940344113.

MALONEY, Thomas M. *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. Updated ed. San Francisco: Miller Freeman, c1993, 681 p. ISBN 0879302887.

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.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Chapter 10: Wood Products Industry, Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 6/2002 10.6.2-1

ČSN EN 310 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu

ČSN EN 317 Stanovení bobtnání po uložení ve vodě

ČSN EN 319 Zjišťování pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky

ČSN EN 322 Zjišťování vlhkosti

ČSN EN 323 Zjišťování hustoty

ČSN EN 326 – 1 Odběr vzorků, řezání zkušebních těles, vyhodnocení zkoušek



## 9 Prílohy



Príloha 1: Štiepka pred roztrieskovaním



Príloha 2: Vyselektované nedrevené častice z recyklátu

### Príloha 3: Parametre a výpočet vyrábaných dosiek

#### Parametre:

Parameter	Zn.	Hodnota	Jedn.
Dĺžka dosky	l	60	cm
Šírka dosky	š	60	cm
Hrúbka dosky	h	12	mm
Hustota dosky	$\rho$	0,6	$\text{g}^*\text{cm}^{-3}$
Lepidlo	L	UF (69 % sušina)	-
Nános lepidla na povrchové triesky (PT)	$n_L$	10 % sušiny na a.s. triesky	%
Nános lepidla na stredové triesky (ST)	$n_L$	8 % sušiny na a.s. triesky	%
Tužidlo	T	$\text{NH}_4\text{CL}$ - 69 % roztok	-
Nános tužidla	$n_T$	1 % tvrdila na hm. Lepidla (PV aj SV)	%
Vlhkosť vysušených triesok	w	PT - 4 %, ST - 4 %	%
Vlhkosť TD po klimatizácii na SVR	w	8%	%
Rozdelenie na vrstvy	-	PV:SV = 1 : 2	-

#### Zoznam značiek a skratiek:

l.....	dĺžka
š.....	šírka
h.....	hrúbka
$\rho$ .....	hustota
V.....	objem
$m_w$ .....	hmotnosť vlhkých triesok
$m_0$ .....	hmotnosť suchých triesok
w.....	vlhkosť
PV.....	povrchová vrstva
SV.....	stredová vrstva
$m_{PV}$ .....	hmotnosť povrchovej vrstvy
$m_{SV}$ .....	hmotnosť stredovej vrstvy
$m_{t0-SV}$ .....	hmotnosť a.s. triesok stredovej vrstvy
chlp.....	obsah chemických pomocných látok
$m_{t0-PV}$ .....	hmotnosť a.s. triesok povrchovej vrstvy
$m_{t4-SV}$ .....	hmotnosť triesok stredovej vrstvy pri w=4%
$m_{L-0}$ .....	hmotnosť lepidla bez ohľadu na obsah sušiny
$m_{L-s52}$ .....	hmotnosť lepidla prepočítaného na obsah sušiny
$m_{P-0}$ .....	hmotnosť parafínovej emulzie bez ohľadu na obsah sušiny
$m_{P-s35}$ .....	hmotnosť parafínovej emulzie prepočítanej na obsah sušiny
$m_{T-0}$ .....	hmotnosť tužidla bez ohľadu na obsah sušiny
$m_{T-s15}$ .....	hmotnosť tužidla prepočítaného na obsah sušiny

## Výpočet

Objem dosky

$$V = l * š * h = 60 * 60 * 1,2 = 4320 \text{ cm}^3$$

Hmotnosť častíc v doske

$$m_w = V * \rho = 4320 * 0,6 = 2592 \text{ g}$$

Hmotnosť absolútne suchej dosky

$$m_0 = \frac{m_w}{1 + w} = \frac{2592}{1 + 0,08} = 2400 \text{ g}$$

Pomer stredovej a povrchovej vrstvy

$$PV:SV = 1 : 2$$

$$m_{PV} = \frac{2400}{3} = 800 \text{ g}$$

$$m_{SV} = m_0 - m_{PV} = 2400 - 800 = 1600 \text{ g}$$

Výpočet hmotnosti a.s. triesok vo vrstvách trojvrstvovej DTD

Výpočet z **nánosu** pomocných surovín

Výpočet hmotnosti a.s. triesok v stredovej vrstve

$$m_{t0-SV} = \frac{m_{SV}}{1 + chpl} = \frac{1600}{1 + 0,08} = 1481,48 \text{ g}$$

Výpočet hmotnosti a.s. triesok v povrchovej vrstve

$$m_{t0-PV} = \frac{m_{PV}}{1 + chpl} = \frac{800}{1 + 0,1} = 727,27 \text{ g}$$

Výpočet hmotnosti a.s. pomocných surovín a prepočet na hmotnosti použitých pomocných surovín

### Stredová vrstva

Hmotnosť triesok o vlhkosti 4 %

$$m_{t4-SV} = m_{t0-SV} * (1 + w) = 1481,48 * (1 + 0,04) = 1540,74 \text{ g}$$

Hmotnosť lepidla o sušine 69 %

$$m_{L-0} = m_{t0-SV} * n_L = 1481,48 * 0,08 = 118,52 \text{ g}$$

$$m_{L-s69} = \frac{m_{L-0}}{S_L} = \frac{118,52}{0,69} = 171,77 \text{ g}$$

Hmotnosť tužidla

$$m_{T-0} = m_{L-s69} * n_T = 171,77 * 0,01 = 1,72 \text{ g}$$

$$m_{T-s69} = \frac{m_{T-0}}{S_T} = \frac{1,72}{0,69} = 2,49 \text{ g}$$

### **Povrchová vrstva**

Hmotnosť triesok o vlhkosti 4 %

$$m_{t4-PV} = m_{t0-PV} * (1 + w) = 727,27 * (1 + 0,04) = 756,36 \text{ g}$$

Hmotnosť lepidla o sušine 52 %

$$m_{L-0} = m_{t0-PV} * n_L = 727,27 * 0,10 = 72,727 \text{ g}$$

$$m_{L-s69} = \frac{m_{L-0}}{S_L} = \frac{72,727}{0,69} = 105,40 \text{ g}$$

Hmotnosť tužidla

$$m_{T-0} = m_{L-s69} * n_T = 105,40 * 0,01 = 1,054 \text{ g}$$

$$m_{T-s69} = \frac{m_{T-0}}{S_T} = \frac{1,054}{0,69} = 1,53 \text{ g}$$

K výpočtu sa pridáva ešte 10 % na pokrytie strát pri miešaní chemických pomocných látok.

Surovina	SV	SV + 4 %	SV + 10 %	PV	PV + 4 %	PV + 10 %
Triesky	1481,48	1540,74	1694,81	727,27	756,36	832,00
Lepidlo	118,52	171,77	188,94	72,73	105,40	115,94
Tvrdidlo	1,72	2,49	2,74	1,05	1,53	1,68

Príloha 4: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny KRONO nebrús.  
s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

KRONO nebrús.	Vlhkosť/hustota						
	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,38	50,37	12,22	21,13	681,3938	20,136	4,936432
2	50,54	50,41	12,23	21,44	688,0918	20,429	4,948847
3	50,49	50,6	12,21	20,9	669,9999	19,888	5,088496
4	50,4	50,52	12,2	20,56	661,865	19,564	5,090983
5	50,44	50,39	12,23	20,79	668,819	19,779	5,111482
6	50,6	50,47	12,21	21,14	677,9622	20,112	5,111376
7	50,22	50,41	12,18	20,95	679,4278	19,933	5,102092
8	50,41	50,32	12,2	20,56	664,3638	19,559	5,117849
9	50,31	50,49	12,22	21,27	685,2304	20,255	5,011108
10	50,24	50,36	12,18	21,57	699,9508	20,562	4,902247
11	50,55	50,44	12,2	21,68	696,9525	20,665	4,911686
12	50,46	50,42	12,19	21,51	693,5641	20,486	4,998536

Príloha 5: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny KRONO brús.  
s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

KRONO brús.	Vlhkosť/hustota						
	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,33	50,46	11,95	19,619	646,4498	18,691	4,964956
2	50,55	50,35	11,94	19,47	640,6797	18,534	5,050178
3	50,3	50,32	11,89	20,408	678,1253	19,471	4,812285
4	50,66	50,46	11,93	20,118	659,6779	19,15	5,05483
5	50,61	50,4	11,92	19,644	646,0807	18,708	5,003207
6	50,51	50,29	11,96	20,154	663,3933	19,184	5,056297
7	50,87	50,45	11,94	19,764	644,982	18,823	4,999203
8	50,32	50,34	11,9	20,364	675,5574	19,4	4,969072
9	50,38	50,24	11,93	19,135	633,6949	18,231	4,958587
10	50,29	50,38	11,95	20,011	660,9386	19,052	5,033592
11	50,34	50,47	11,92	19,664	649,3055	18,72	5,042735
12	50,41	50,37	11,94	19,631	647,5144	18,71	4,922501

Príloha 6: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny KRONO tries.  
s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

KRONO tries.	Vlhkosť/hustota						
	č.	x	y	z	m	hustota	m0
1	50,47	56,56	12,48	18,91	530,804	17,95	5,34819
2	50,47	50,46	12,32	19,52	622,141	18,63	4,77724
3	50,31	50,37	12,36	18,47	589,688	17,6	4,94318
4	50,56	50,38	12,34	18,89	600,968	18,03	4,76983
5	50,34	50,55	12,45	17,94	566,264	17,09	4,97367
6	50,46	50,27	12,46	17,21	544,511	16,35	5,25994
7	50,57	50,47	12,71	17,59	542,243	16,6	5,96386
8	50,39	50,42	12,51	19,53	614,466	18,63	4,83092
9	50,48	50,46	12,45	20,4	643,271	19,27	5,86404
10	50,45	50,46	12,68	17,71	548,644	16,75	5,73134
11	50,48	50,6	12,46	18,03	566,51	17,01	5,99647
12	50,56	50,39	12,38	19,61	621,735	18,24	7,51096
13	50,56	50,47	12,27	18,01	575,213	17,15	5,01458
14	50,63	50,41	12,44	17,43	548,975	16,62	4,87365
15	50,4	50,49	12,38	17,29	548,831	16,43	5,23433
16	50,49	50,59	12,4	18,12	572,093	17,22	5,22648
17	50,53	50,39	12,34	19,4	617,437	18,52	4,75162
18	50,47	50,53	12,8	17,16	525,684	16,11	6,51769
19	50,72	50,64	12,26	20,03	636,088	19,07	5,03408
20	50,45	50,44	12,35	19,44	618,576	18,44	5,42299

Príloha 7: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 0 % s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

0%	Vlhkosť/hustota						
č.	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,47	50,46	11,74	18,3	612,072	17,36	5,41475
2	50,53	50,58	11,94	18,25	598,04	17,28	5,61343
3	50,62	50,43	12	18,8	613,713	17,84	5,38117
4	50,4	50,66	11,66	17,23	578,75	16,38	5,18926
5	50,59	50,42	11,87	19,64	648,669	18,71	4,9706
6	50,65	50,4	11,88	17,06	562,539	16,05	6,29283
7	50,5	50,51	12,04	19,51	635,275	18,57	5,06193
8	50,51	50,68	12,05	17,91	580,623	16,88	6,1019
9	50,56	50,46	12,23	17,22	551,89	16,22	6,16523
10	50,38	50,52	11,79	16,94	564,518	16,04	5,61097
11	50,44	50,58	12,03	18,13	590,715	17,25	5,10145
12	50,46	50,61	12,3	18,88	601,054	17,73	6,48618
13	50,46	50,37	11,83	16,14	536,784	15,33	5,28376
14	50,44	50,6	11,92	20,4	670,546	19,43	4,99228
15	50,51	50,56	11,75	18,42	613,857	17,42	5,74053
16	50,58	50,3	11,81	18,27	608,054	17,3	5,60694
17	50,51	50,54	11,68	18,66	625,83	17,76	5,06757
18	50,57	50,61	11,87	17,84	587,239	16,98	5,06478
19	50,46	50,55	12,26	17,93	573,352	16,94	5,84416
20	50,54	50,6	12,01	18,21	592,9	17,19	5,93368

Príloha 8: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 20 % s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

20%	Vlhkosť/hustota						
č.	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,5	50,62	12,27	18,23	581,204	17,15	6,29738
2	50,55	50,58	11,98	18,67	609,519	17,51	6,62479
3	50,38	50,67	11,96	17,5	573,189	16,49	6,12492
4	50,57	50,49	12,35	18,23	578,125	17,13	6,42148
5	50,57	50,58	12,09	19,63	634,779	18,52	5,99352
6	50,54	50,56	12,1	18,52	598,981	17,46	6,07102
7	50,6	50,69	12,06	16,75	541,495	15,8	6,01266
8	50,68	50,49	11,96	18,16	593,393	17,12	6,07477
9	50,55	50,67	12,13	18,93	609,281	17,86	5,99104
10	50,62	50,51	11,95	17,77	581,594	16,72	6,2799
11	50,85	50,38	12,16	19,43	623,721	18,37	5,77028
12	50,6	50,67	12,07	18,02	582,299	17,07	5,56532
13	50,6	50,55	11,91	17,28	567,231	16,27	6,20774
14	50,61	50,5	12,36	20,54	650,211	19,38	5,98555
15	50,69	50,51	12,09	20,26	654,506	19,14	5,85162
16	50,55	50,67	12,13	18,63	599,625	17,58	5,9727
17	50,54	50,47	12,29	18,24	581,841	17,22	5,92334
18	50,57	50,65	12,39	19,26	606,894	18,1	6,40884
19	50,88	50,46	11,89	17,6	576,549	16,53	6,47308
20	50,75	50,51	12,19	20,24	647,729	19,07	6,13529



Príloha 9: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 50 % s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

50%	Vlhkosť/hustota						
č.	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,55	50,53	11,94	18,72	613,806	17,51	6,91034
2	50,6	50,65	12,17	18,88	605,315	17,65	6,96884
3	50,52	50,53	12,27	17,01	543,059	15,9	6,98113
4	50,59	50,61	11,97	19,73	643,772	18,46	6,87974
5	50,48	50,6	12,48	19,39	608,266	18,15	6,83196
6	50,56	50,48	12,53	18,03	563,791	16,84	7,06651
7	50,53	50,67	12,48	18,97	593,68	17,75	6,87324
8	50,63	50,64	11,91	19,06	624,18	17,84	6,83857
9	50,62	50,53	11,96	19,51	637,756	18,24	6,96272
10	50,65	50,55	12,22	16,39	523,85	15,27	7,33464
11	50,49	50,79	12,16	19,59	628,228	18,29	7,10771
12	50,52	50,63	12,11	18,4	594,022	17,18	7,10128
13	50,51	50,46	12,02	19,23	627,697	17,97	7,01169
14	50,68	50,61	12,04	18,57	601,329	17,34	7,09343
15	50,7	50,63	12,27	19,14	607,689	17,9	6,92737
16	50,59	50,63	11,98	18,81	612,998	17,59	6,93576
17	50,65	50,61	12,25	17,92	570,671	16,73	7,11297
18	50,66	50,68	12,29	18,13	574,572	16,96	6,89858
19	50,57	50,61	12,46	19,94	625,285	18,64	6,97425
20	50,59	50,64	12,16	19,38	622,102	18,12	6,95364

Príloha 10: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 80 % s vypočítanou hustotou a vlhkosťou

80%	Vlhkosť/hustota						
č.	x	y	z	m	hustota	m0	w [%]
1	50,41	50,57	12,28	20,77	663,481	19,47	6,67694
2	50,61	50,48	12,31	17,67	561,853	16,55	6,76737
3	50,58	50,57	12,03	19,47	632,745	18,26	6,62651
4	50,41	50,46	12,22	20,08	645,994	18,81	6,75173
5	50,54	50,83	12	17,61	571,245	16,49	6,792
6	50,58	50,69	12,09	18,98	612,306	17,78	6,74916
7	50,5	50,54	12,16	19,81	638,299	18,57	6,67744
8	50,6	50,67	12,03	19,53	633,192	18,28	6,83807
9	50,53	50,54	12,3	19,86	632,251	18,6	6,77419
10	50,44	50,44	12,19	20,79	670,348	19,52	6,50615
11	50,62	50,57	12,13	19,15	616,727	17,95	6,68524
12	50,52	50,53	12,13	17,75	573,225	16,65	6,60661
13	50,48	50,51	12,09	17,11	555,043	16,03	6,73737
14	50,52	50,47	11,89	16,91	557,783	15,81	6,95762
15	50,58	50,49	12,14	20	645,1	18,76	6,60981
16	50,43	50,58	12,31	19,12	608,923	17,95	6,51811
17	50,61	50,54	12,08	18,43	596,468	17,24	6,90255
18	50,67	50,59	12,07	18,66	603,099	17,49	6,68954
19	50,49	50,45	12,16	20,67	667,33	19,35	6,82171
20	50,39	50,55	11,98	19,5	639,017	18,3	6,55738

Príloha 11: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny KRONO nebrús. a KRONO brús. s vypočítanou percentuálnou zmenou hrúbky po 24 h vo vodnej emulzii

KRONO nebrús.	Napúčanie				KRONO brús.	Napúčanie			
	z	m	z 24 h	Gt [%]		z	m	z 24 h	Gt [%]
1	12,22	20,34	14,95	22,3404	1	11,93	19,67	14,52	21,71
2	12,2	21	14,93	22,377	2	11,95	19,892	14,63	22,4268
3	12,16	21,57	14,95	22,9441	3	11,91	19,2	14,39	20,8228
4	12,21	20,59	14,81	21,294	4	11,95	19,769	14,66	22,6778
5	12,21	20,43	14,91	22,113	5	11,97	20,209	14,84	23,9766
6	12,26	21,47	15,09	23,0832	6	11,96	21,256	14,81	23,8294
7	12,21	21,14	15,07	23,4234	7	11,95	19,762	14,61	22,2594
8	12,23	21,27	15,08	23,3034	8	11,95	19,727	14,78	23,682
9	12,23	21,24	15,02	22,8128	9	11,94	20,402	14,67	22,8643
10	12,21	21,54	15,04	23,1777	10	11,89	19,63	14,64	23,1287
11	12,2	21,42	15,09	23,6885	11	11,95	19,695	14,51	21,4226
12	12,2	20,76	14,9	22,1311	12	11,94	19,572	14,49	21,3568

Príloha 12: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny KRONO tries. s vypočítanou percentuálnou zmenou hrúbky po 24 h vo vodnej emulzii

KRONO tries.	Napúčanie			
	z	m	z 24 h	Gt [%]
1	12,39	18,81	16,84	35,9161
2	12,29	19,25	16,64	35,3946
3	12,4	20,2	16,46	32,7419
4	12,26	20,4	16,98	38,4992
5	12,41	18,92	16,51	33,0379
6	12,56	17,83	16,48	31,2102
7	12,37	19,42	16,27	31,5279
8	12,37	20,19	16,85	36,2167
9	12,5	19,07	16,32	30,56
10	12,32	19,22	16,28	32,1429
11	12,28	18,51	16,09	31,0261
12	12,43	18,44	16,03	28,9622
13	12,39	20	16,68	34,6247
14	12,48	20,18	16,93	35,6571
15	12,55	18,05	15,81	25,9761
16	12,51	19,45	16,23	29,7362
17	12,4	17,54	15,42	24,3548
18	12,35	19,22	16,66	34,8988
19	12,46	18,18	16,38	31,4607
20	12,67	17,96	16,34	28,9661

Príloha 13: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 0 % a 20 % s vypočítanou percentuálnou zmenou hrúbky po 24 h vo vodnej emulzii

0%	Napúčanie				20%	Napúčanie			
	z	m	z 24 h	Gt [%]		z	m	z 24 h	Gt [%]
1	11,76	18,11	15,71	33,5884	1	12,35	19,5	16,25	31,5789
2	12,1	16,72	15,36	26,9421	2	12,1	20,24	15,59	28,843
3	11,92	16,77	15,26	28,0201	3	11,9	18,95	15,75	32,3529
4	12,22	18	15,34	25,5319	4	12,13	18,22	15,52	27,9472
5	11,94	20,58	15,38	28,8107	5	12,09	18,35	15,59	28,9495
6	12,24	16,91	15,67	28,0229	6	11,97	16,17	15,89	32,7485
7	11,83	18,72	15,46	30,6847	7	11,99	19,98	15,72	31,1093
8	11,94	19,12	15,83	32,5796	8	11,84	18	15,69	32,5169
9	12,02	19,7	15,55	29,3677	9	12,33	20,52	16,25	31,7924
10	11,66	17,83	15,32	31,3894	10	12,02	17,27	15,8	31,4476
11	11,78	18,18	15,09	28,0985	11	12,26	20,79	16,08	31,1582
12	12	19,01	15,54	29,5	12	12,11	18,53	15,46	27,6631
13	11,71	19,23	15,26	30,316	13	11,94	18,42	15,54	30,1508
14	11,98	17,98	15,48	29,2154	14	12,12	18,84	15,47	27,6403
15	11,9	18,68	15,34	28,9076	15	11,85	16,91	15,72	32,6582
16	11,88	17,99	15,72	32,3232	16	11,98	18,85	15,18	26,7112
17	11,99	18,71	15,44	28,774	17	12,05	17,87	15,61	29,5436
18	11,72	17,51	15,38	31,2287	18	12,06	19,88	15,57	29,1045
19	12,04	17,56	15,71	30,4817	19	12,01	18,21	16,38	36,3863
20	11,8	17,46	15,45	30,9322	20	12,13	19,79	15,7	29,4312

Príloha 14: Rozmery a hmotnosť teliesok testovacej skupiny 50 % a 80 % s vypočítanou percentuálnou zmenou hrúbky po 24 h vo vodnej emulzii

50%	Napúčanie				80%	Napúčanie			
	z	m	z 24 h	Gt [%]		z	m	z 24 h	Gt [%]
1	12,35	16,64	16,08	30,2024	1	12	18,05	15,79	31,5833
2	11,84	18,26	16,17	36,5709	2	11,97	20	15,94	33,1662
3	12,03	19,75	16,35	35,9102	3	11,93	19,23	15,69	31,5172
4	11,88	18,87	16,15	35,9428	4	11,99	16,99	15,28	27,4395
5	11,8	18,6	16,04	35,9322	5	12,18	19,12	15,09	23,8916
6	12,3	20,47	17,18	39,6748	6	12,14	17,3	16	31,7957
7	12,12	17,72	16,02	32,1782	7	12,13	19,81	15,86	30,7502
8	12,14	17,52	16,28	34,1021	8	11,87	18,31	15,45	30,1601
9	11,7	18,07	15,86	35,5556	9	12,13	19,11	15,52	27,9472
10	12,07	18,15	16,09	33,3057	10	12,09	17,84	15,86	31,1828
11	12,03	18,66	16,51	37,2402	11	11,78	18,14	15,24	29,3718
12	12,15	19,79	16,16	33,0041	12	11,95	16,87	15,07	26,1088
13	11,91	19,84	16,17	35,7683	13	11,96	19,45	15,43	29,0134
14	12,03	18,51	16,61	38,0715	14	12,08	20,14	16,07	33,0298
15	12,36	19,53	16,67	34,8706	15	11,81	19,41	16,05	35,9018
16	11,83	18,3	16,03	35,503	16	12,03	18,7	15,78	31,1721
17	12,27	18,72	16,56	34,9633	17	11,88	17,76	15,25	28,367
18	11,79	18,52	15,97	35,4538	18	12,2	16,66	15,6	27,8689
19	11,99	19,19	16,5	37,6147	19	12,12	17,68	15,85	30,7756
20	11,75	17,96	16,53	40,6809	20	12	18,51	15,51	29,25

Príloha 15: Tabuľkový výstup z programu *testXpert*, kde sú zaznamenané rozmery, hmotnosť a výsledky testovacích skupín z testovania ohybovej pevnosti a modulu pružnosti

Nr	Vyska prurezu vzorku	Sirka prurezu vzorku	Delka vzorku	Fmax	$\epsilon$ -F max	MOR	MOE	F-High	F-Low	Density	Weight	Číslo vzorku
	mm	mm	mm	N	mm	MPa	MPa	N	N	kg/m <sup>3</sup>	g	
1	12,5	50,6	295	141,2	6,5	6,49	1132,56	56,49	14,12	632	117,384	K tries.
2	12,5	50,6	295	145,8	6,3	6,28	1046,99	58,31	14,58	624	116,207	K tries.
3	12,9	50,4	295	69,7	4,9	3,01	649,5	27,88	6,97	570	108,962	K tries.
4	12,6	50,4	295	140,4	6,3	6,31	1048,9	56,14	14,04	615	115,162	K tries.
5	12,5	50,3	295	106,7	5,6	4,76	920,04	42,67	10,67	603	111,993	K tries.
6	12,6	50,6	295	151,2	6,8	6,79	1080,85	60,48	15,12	617	115,812	K tries.
7	12,8	50,6	295	64,45	4,4	2,79	674,82	25,78	6,44	574	109,73	K tries.
8	12,6	50,6	295	97,51	6,3	4,39	827	39	9,75	604	113,43	K tries.
9	12,5	50,4	295	139,3	7	6,33	1145,83	55,72	13,93	625	116,62	K tries.
10	12,6	50,4	295	121,8	6,5	5,52	950,47	48,73	12,18	589	109,985	K tries.
11	12,6	50,3	295	80,28	5	3,62	803,72	32,11	8,03	577	107,998	K tries.
12	12,7	50,4	295	119,5	6,7	5,32	852,63	47,82	11,95	569	107,166	K tries.
13	12,4	50,4	295	81,33	4,6	3,79	894,6	32,53	8,13	576	106,103	K tries.
14	12,5	50,5	295	107,2	6	4,94	917,85	42,88	10,72	617	114,239	K tries.
15	12,7	50,5	295	109,3	6,1	4,83	863,26	43,72	10,93	599	113,27	K tries.
16	12,4	50,6	295	111	5,3	5,13	1060,8	44,39	11,1	626	115,911	K tries.
17	12,5	50,6	295	91,65	4,4	4,12	936,66	36,66	9,16	605	112,477	K tries.
18	12,6	50,5	295	111,3	6,8	5,01	884,35	44,53	11,13	604	113,156	K tries.
19	12,5	50,5	295	137,6	5,6	6,31	1190,04	55,02	13,76	643	119,469	K tries.
20	12,6	50,4	295	101,8	6,4	4,62	864,02	40,72	10,18	611	113,981	K tries.

	Vyska prurezu vzorku	Sirka prurezu vzorku	Delka vzorku	Fmax	$\epsilon$ -F max	MOR	MOE	F-High	F-Low	Density	Weight	Cislo vzorku
Nr	mm	mm	mm	N	mm	MPa	MPa	N	N	kg/m <sup>3</sup>	g	
21	12,3	50,5	295	110,5	8,8	5,24	683,62	44,21	11,05	622	113,688	0,00%
22	11,9	50,5	295	65,85	7,7	3,3	545,14	26,34	6,58	637	113,209	0,00%
23	12	50,5	295	82,2	6,5	3,85	629,86	32,88	8,22	629	112,492	0,00%
24	12,1	50,6	295	63,92	8	3,13	440,73	25,57	6,39	612	110,07	0,00%
25	12	50,5	295	78,62	6,8	3,92	651,93	31,45	7,86	631	112,391	0,00%
26	12	50,4	295	81,68	8	4,03	591,11	32,67	8,17	609	109,051	0,00%
27	11,9	50,5	295	61,74	6,1	3,11	578,72	24,7	6,17	655	116,207	0,00%
28	12	50,5	295	78,18	7,2	3,9	626,56	31,27	7,82	610	108,548	0,00%
29	12,1	50,5	295	133,1	7,2	6,45	985,82	53,24	13,31	670	120,92	0,00%
30	12	50,6	295	62,18	6,2	3,06	509,27	24,87	6,22	592	106,184	0,00%
31	12,6	50,5	295	134,5	6,6	6,08	945,16	53,8	13,45	666	124,416	0,00%
32	12,1	50,5	295	62,09	7	3,02	565,31	24,84	6,21	631	113,972	0,00%
33	11,9	50,5	295	68,21	6,6	3,43	571,5	27,28	6,82	609	108,157	0,00%
34	12,1	50,4	295	26,93	5,2	1,31	288,03	10,77	2,69	557	100,559	0,00%
35	12,4	50,6	295	24,57	7,2	1,15	187,72	9,83	2,46	498	91,795	0,00%
36	11,9	50,5	295	101,1	7,8	5,12	803,24	40,44	10,11	680	120,196	0,00%
37	11,9	50,6	295	115,3	8,7	5,76	834,89	46,14	11,53	695	123,86	0,00%
38	12,1	50,5	295	43,81	6,2	2,14	403,23	17,52	4,38	590	106,18	0,00%
39	11,8	50,6	295	90,95	8,3	4,63	711,21	36,38	9,09	642	113,286	0,00%
40	12	50,6	295	46,7	8,4	2,31	322,22	18,68	4,67	566	101,391	20,00%
41	12,1	50,6	295	43,46	6,6	2,11	376,04	17,38	4,35	595	107,539	20,00%
42	12,1	50,5	295	99,43	6,3	4,84	856,85	39,77	9,94	643	115,931	20,00%
43	12,1	50,7	295	39,44	8,8	1,92	284,63	15,78	3,94	554	99,857	20,00%
44	12,3	50,5	295	49,76	5,1	2,35	514,97	19,9	4,98	595	109,01	20,00%
45	12,2	50,6	295	46,52	7,3	2,23	337,85	18,61	4,65	574	104,421	20,00%
46	12,2	50,6	295	74,59	5	3,6	745,5	29,84	7,46	621	112,481	20,00%
47	12,3	50,6	295	67,77	6,7	3,21	553,76	27,11	6,78	618	113,095	20,00%
48	12,3	50,6	295	42,59	5,5	2,01	401,39	17,03	4,26	610	111,766	20,00%
49	12,1	50,5	295	56,05	4,9	2,72	588,67	22,42	5,61	576	104,055	20,00%
50	12,4	50,6	295	52,38	6,4	2,44	409,44	20,95	5,24	623	114,9	20,00%
51	12,1	50,5	295	75,21	5,7	3,66	732,14	30,08	7,52	613	110,674	20,00%
52	12,2	50,6	295	113,3	6,8	5,4	857,75	45,3	11,32	622	113,497	20,00%
53	12,3	50,6	295	75,12	6,3	3,54	601,31	30,05	7,51	618	113,417	20,00%
54	12,2	50,5	295	87,54	6,7	4,21	696,8	35,01	8,75	646	117,175	20,00%
55	12,2	50,5	295	76,26	6	3,66	622,07	30,5	7,63	626	113,695	20,00%
56	12,2	50,6	295	53,17	5,9	2,54	505,29	21,27	5,32	608	110,755	20,00%
57	12,4	50,5	295	97,59	6,4	4,54	744,23	39,04	9,76	622	114,73	20,00%
58	12	50,5	295	73,02	6	3,62	638,98	29,21	7,3	649	115,984	20,00%
59	12,3	50,5	295	82,29	6,6	3,87	709,13	32,92	8,23	650	119,172	20,00%

Nr	Vyska prurezu vzorku mm	Sirka prurezu vzorku mm	Delka vzorku mm	Fmax N	$\epsilon$ -F max mm	MOR MPa	MOE MPa	F-High N	F-Low N	Density kg/m <sup>3</sup>	Weight g	Cislo vzorku
60	12	50,6	295	62,96	6	3,13	581,78	25,19	6,3	621	110,93	50,00%
61	12,2	50,4	295	61,74	7,1	2,95	501,94	24,7	6,17	611	110,964	50,00%
62	12,2	50,6	295	44,16	5,5	2,1	425,21	17,66	4,42	582	106,261	50,00%
63	12,1	50,5	295	73,19	6,2	3,55	638,52	29,28	7,32	644	116,278	50,00%
64	12,5	50,6	295	82,73	6,2	3,78	720,58	33,09	8,27	628	116,908	50,00%
65	12,3	50,7	295	94,18	7,7	4,46	714,01	37,67	9,42	649	118,84	50,00%
66	12,4	50,4	295	47,4	4,8	2,21	484,72	18,96	4,74	613	112,567	50,00%
67	12,1	50,6	295	77,13	7,7	3,76	621,54	30,85	7,71	629	113,478	50,00%
68	12,4	50,2	295	91,12	7,6	4,23	663,95	36,45	9,11	621	114,279	50,00%
69	12,2	50,5	295	73,54	6,1	3,55	673	29,42	7,35	623	112,761	50,00%
70	11,9	50,5	295	59,47	8,2	3,01	453,49	23,79	5,95	616	108,943	50,00%
71	12,2	50,5	295	49,67	7,1	2,39	450,03	19,87	4,97	582	105,534	50,00%
72	12,1	50,4	295	76,52	7,2	3,72	627,41	30,61	7,65	642	115,757	50,00%
73	12,1	50,5	295	70,05	6,8	3,41	603,07	28,02	7	656	118,26	50,00%
74	12	50,5	295	68,65	5,6	3,42	676,2	27,46	6,86	642	114,381	50,00%
75	12,2	50,6	295	47,4	5,4	2,27	465,27	18,96	4,74	563	102,366	50,00%
76	12,8	50,4	295	37,69	4,9	1,64	331,61	15,08	3,77	557	106,223	50,00%
77	12,3	50,6	295	24,66	4,8	1,17	289,11	9,86	2,47	574	105,017	50,00%
78	12,2	50,5	295	46,26	4,9	2,2	491,77	18,5	4,63	615	112,12	50,00%
79	12,3	50,5	295	43,2	5,7	2,03	385,47	17,28	4,32	586	107,523	50,00%
80	12	50,6	295	84,39	6,8	4,16	812,48	33,76	8,44	638	114,345	80,00%
81	12	50,6	295	66,72	5,7	3,31	675,43	26,69	6,67	626	111,899	80,00%
82	12	50,6	295	78,7	4,6	3,86	895,11	31,48	7,87	637	114,424	80,00%
83	12,1	50,4	295	76,69	6,7	3,75	701,26	30,68	7,67	625	112,395	80,00%
84	12,2	50,7	295	104,9	6,1	4,97	983,71	41,98	10,49	639	116,992	80,00%
85	12,3	50,5	295	97,77	4,4	4,64	1077,68	39,11	9,78	662	120,863	80,00%
86	12,3	50,5	295	101,9	5,9	4,81	935,61	40,75	10,19	668	122,261	80,00%
87	12,3	50,5	295	90,68	6,7	4,28	804,9	36,27	9,07	652	119,353	80,00%
88	12	50,5	295	61,56	5	3,05	707,79	24,63	6,16	634	113,258	80,00%
89	12	50,6	295	57,45	4,6	2,86	669,68	22,98	5,75	597	106,55	80,00%
90	12	50,4	295	62,26	6,2	3,1	617,45	24,91	6,23	601	107,078	80,00%
91	11,9	50,4	295	80,19	6,9	4,03	759,87	32,08	8,02	641	113,56	80,00%
92	12	50,4	295	59,99	5,3	2,96	632,89	24	6	619	110,703	80,00%
93	12	50,4	295	84,21	5,4	4,22	864,66	33,69	8,42	649	115,202	80,00%
94	12	50,3	295	42,41	4,4	2,09	518,32	16,97	4,24	620	110,767	80,00%
95	11,9	50,3	295	60,25	5,4	3,03	650,79	24,1	6,03	646	114,225	80,00%
96	12,1	50,3	295	65,32	7,5	3,2	560,17	26,13	6,53	619	111,156	80,00%
97	12,2	50,4	295	64,8	5,2	3,11	704,12	25,92	6,48	615	111,534	80,00%
98	12,2	50,8	295	41,8	5,1	2	489,63	16,72	4,18	577	105,04	80,00%
99	12,3	50,5	295	65,06	5,1	3,08	659,36	26,02	6,51	588	107,531	80,00%



Nr	Vyska prurezu vzorku	Sirka prurezu vzorku	Delka vzorku	Fmax	$\epsilon$ -F max	MOR	MOE	F-High	F-Low	Density	Weight	Cislo vzorku
	mm	mm	mm	N	mm	MPa	MPa	N	N	kg/m <sup>3</sup>	g	
100	11,9	50,3	290	256,3	4,1	13	2990,05	102,5	25,63	667	115,587	K brús.
101	11,9	50,3	290	264,4	4	13,4	3093,4	105,8	26,44	672	116,595	K brús.
102	11,9	50,3	290	246,3	3,7	12,4	3112,37	98,53	24,63	675	117,16	K brús.
103	11,9	50,6	290	291,5	4,1	14,6	3303,78	116,6	29,15	693	121,16	K brús.
104	11,9	50,3	290	278,1	4,2	14,1	3127,24	111,3	27,81	653	113,269	K brús.
105	11,9	50,3	290	273,8	3,9	13,9	3313,93	109,5	27,38	666	115,54	K brús.
106	11,9	50,4	290	276,3	3,9	14,1	3292,76	110,5	27,63	669	115,763	K brús.
107	11,9	50,4	290	258,8	3,6	13,2	3277,28	103,5	25,88	669	115,774	K brús.
108	11,9	50,4	290	281,1	4,2	14,2	3046,18	112,5	28,11	644	111,774	K brús.
109	11,9	50,3	290	202,9	4,2	10,3	2251,59	81,15	20,29	649	112,51	K brús.
110	11,9	50,4	290	226,5	4,6	11,4	2319,87	90,59	22,65	647	112,571	K brús.
111	12	50,4	290	203,1	4,5	10,1	2058,76	81,26	20,31	634	111,193	K brús.
112	11,9	50,3	290	208,7	4,5	10,5	2145,51	83,49	20,87	634	110,176	K brús.
113	11,9	50,3	290	188,1	4,2	9,5	2092,43	75,24	18,81	636	110,529	K brús.
114	12	50,3	290	173,5	3,8	8,7	2099,91	69,4	17,35	642	111,79	K brús.
115	11,9	50,4	290	193,5	4,2	9,77	2134,84	77,41	19,35	638	110,992	K brús.
116	11,9	50,3	290	221,5	4,9	11,2	2106,27	88,6	22,15	637	110,717	K brús.
117	12	50,2	290	188,6	4,3	9,47	2012,56	75,45	18,86	640	111,35	K brús.
118	12,2	50,4	290	323,2	5,1	15,5	2781,74	129,3	32,32	684	122,139	Knebrús.
119	12,2	50,4	290	300,3	5,2	14,4	2558,47	120,1	30,03	671	119,591	Knebrús.
120	12,2	50,3	290	227,7	4,2	10,9	2312,84	91,08	22,77	664	118,508	Knebrús.
121	12,3	50,3	290	287,1	4,9	13,6	2515,51	114,8	28,71	681	122,034	Knebrús.
122	12,2	50,3	290	240,5	4,3	11,6	2352,69	96,19	24,05	655	116,7	Knebrús.
123	12,2	50,4	290	238,1	4,3	11,5	2370,82	95,24	23,81	660	117,371	Knebrús.
124	12,2	50,3	290	267,6	4,4	12,9	2614,83	107	26,76	685	121,585	Knebrús.
125	12,3	50,4	290	290,4	4,9	13,7	2510,84	116,2	29,04	677	122,013	Knebrús.
126	12,2	50,4	290	257,9	4,5	12,4	2452,66	103,1	25,79	672	119,595	Knebrús.
127	12,1	50,5	290	364,8	4,4	17,7	3569,55	145,9	36,48	688	122,047	Knebrús.
128	12,1	50,4	290	351,8	4,4	17,1	3478,96	140,7	35,18	678	120,057	Knebrús.
129	12,1	50,5	290	339,6	4,5	16,5	3302,07	135,8	33,96	674	119,321	Knebrús.
130	12,2	50,5	290	272,3	3,9	13,1	3061,13	108,9	27,23	665	118,472	Knebrús.
131	12,2	50,4	290	267,1	3,9	12,8	2933,4	106,9	26,71	651	116,258	Knebrús.
132	12,1	50,5	290	331,2	4,5	16	3205,28	132,5	33,12	658	117,012	Knebrús.
133	12,2	50,4	290	236,4	3,5	11,3	2881,03	94,54	23,64	651	116,06	Knebrús.
134	12,3	50,5	290	296,5	3,9	14,1	3242,38	118,6	29,65	683	122,533	Knebrús.
135	12,4	50,5	290	301	3,7	13,9	3266,17	120,4	30,1	701	127,435	Knebrús.

Príloha 16: Tabuľkový výstup z programu *testXpert*, kde sú zaznamenané rozmery, a výsledky testovacích skupín z testovania rozlúčivosti

Číslo	Vyska smyk plochy	Sirka smyk plochy	Fmax	ft	S0	Poznamka
	mm	mm	N	MPa	mm <sup>2</sup>	
1	50	50	1027,74	0,411096	2500	KRO. tries
2	50	50	968,49	0,387396	2500	KRO. tries
3	50	50	941,92	0,376768	2500	KRO. tries
4	50	50	516,14	0,206456	2500	KRO. tries
5	50	50	1583,82	0,633528	2500	KRO. tries
6	50	50	651,43	0,260572	2500	KRO. tries
7	50	50	279,57	0,111828	2500	KRO. tries
8	50	50	1253,51	0,501404	2500	KRO. tries
9	50	50	1208,07	0,483228	2500	KRO. tries
10	50	50	1673,05	0,66922	2500	KRO. tries
11	50	50	1576,66	0,630664	2500	0%
12	50	50	799,21	0,319684	2500	0%
13	50	50	1066,28	0,426512	2500	0%
14	50	50	1842,25	0,7369	2500	0%
15	50	50	1466,63	0,586652	2500	0%
16	50	50	804,1	0,32164	2500	0%
17	50	50	1641,59	0,656636	2500	0%
18	50	50	1470,37	0,588148	2500	0%
19	50	50	2205,07	0,882028	2500	0%
20	50	50	2245,62	0,898248	2500	0%
21	50	50	679,92	0,271968	2500	20%
22	50	50	1092,94	0,437176	2500	20%
23	50	50	840,02	0,336008	2500	20%
24	50	50	1744,89	0,697956	2500	20%
25	50	50	1169,67	0,467868	2500	20%
26	50	50	1430,45	0,57218	2500	20%
27	50	50	1656,09	0,662436	2500	20%
28	50	50	1354,56	0,541824	2500	20%
29	50	50	1594,56	0,637824	2500	20%
30	50	50	1809,14	0,723656	2500	20%

Číslo	Vyska smyk plochy	Sirka smyk plochy	Fmax	ft	S0	Poznamka
	mm	mm	N	MPa	mm <sup>2</sup>	
31	50	50	839,93	0,335972	2500	50%
32	50	50	1257,59	0,503036	2500	50%
33	50	50	855,05	0,34202	2500	50%
34	50	50	1033,42	0,413368	2500	50%
35	50	50	1103,77	0,441508	2500	50%
36	50	50	881,1	0,35244	2500	50%
37	50	50	1148,34	0,459336	2500	50%
38	50	50	1284,2	0,51368	2500	50%
39	50	50	1396,51	0,558604	2500	50%
40	50	50	1188,06	0,475224	2500	50%
41	50	50	1132,96	0,453184	2500	80%
42	50	50	585,01	0,234004	2500	80%
43	50	50	1237,92	0,495168	2500	80%
44	50	50	935,8	0,37432	2500	80%
45	50	50	1312,38	0,524952	2500	80%
46	50	50	662,09	0,264836	2500	80%
47	50	50	682,53	0,273012	2500	80%
48	50	50	1736,33	0,694532	2500	80%
49	50	50	1376,23	0,550492	2500	80%
50	50	50	1858,43	0,743372	2500	80%
51	50	50	1404,52	0,561808	2500	KRO. nebrús
52	50	50	956,62	0,382648	2500	KRO. nebrús
53	50	50	322,1	0,12884	2500	KRO. nebrús
54	50	50	1155,98	0,462392	2500	KRO. nebrús
55	50	50	1693,69	0,677476	2500	KRO. nebrús
56	50	50	1501,23	0,600492	2500	KRO. nebrús
57	50	50	1419,55	0,56782	2500	KRO. nebrús
58	50	50	1506,56	0,602624	2500	KRO. nebrús
59	50	50	1881,17	0,752468	2500	KRO. nebrús
60	50	50	1214,07	0,485628	2500	KRO. nebrús
61	50	50	1558,99	0,623596	2500	KRO. brús
62	50	50	1826,24	0,730496	2500	KRO. brús
63	50	50	1203,89	0,481556	2500	KRO. brús
64	50	50	1930,33	0,772132	2500	KRO. brús
65	50	50	1812,44	0,724976	2500	KRO. brús
66	50	50	1898,35	0,75934	2500	KRO. brús
67	50	50	1720,67	0,688268	2500	KRO. brús
68	50	50	1722,24	0,688896	2500	KRO. brús
69	50	50	2075,76	0,830304	2500	KRO. brús
70	50	50	1336,56	0,534624	2500	KRO. brús