

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
ÚSTAV NAUKY O DŘEVĚ

Slisovatelnost dýh pro použití ve vrstvených lepených materiálech

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
doc. Dr. Ing. Pavel Král

Vypracoval:
Michal Krejčíř

Brno 2015

Čestné prohlášení

*Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Slisovatelnost dých pro použití ve vrstvených lepených materiálech** zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje diplomová práce byla zveřejněna v souladu s §47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora MENDELU o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.*

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne:

podpis studenta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří se jakkoliv podíleli na mojí bakalářské práci. Největší díky patří vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Pavlu Královi za ochotu, rady a odborné vedení při zpracovávání práce.

Velké poděkování patří také rodině a kamarádům, kteří mě podporovali po dobu psaní práce.

Abstrakt:**Autor:** Michal Krejčíř**Název práce:** Slisovatelnost dýh pro použití ve vrstvených lepených materiálech

Tato práce se zabývá experimentálním zjišťováním fyzikálních a mechanických vlastností překližek v kombinaci různých dýh. Cílem výzkumu bylo zjistit vliv předli-sovaných bukových dýh na ohybové vlastnosti. V práci je také popsána výroba vlastních překližek a metodika měření. Vlastnosti překližek byly testovány dle EN no-rem a vyhodnoceny popisnou statistikou a analýzou rozptylu.

Klíčová slova: překližka, slisovatelnost, dýha, mez pevnosti, modul pružnosti, vlh-kost, hustota

Abstract:**Author:** Michal Krejčíř**Name of work:** Compressibility of veneer and its application

This bachelor work is based on studies of physical and mechanical properties of plywo-ods with various composition. The goal of research was to determine the influence of pre-pressed beech veneer on bending properties. There is also review of plywoods ma-nufacturing in the work. The properties of plywood were tested according to EN standards and evaluated by descriptive statistics and Analysis of variance.

Key words: plywood, compressibility, veneer, modulus of rupture, modulus of elasticity, density, moisture

Seznam obrázků

<i>Obr. č. 1: Překližky Dyas Beech (http://www.dyas.eu/)</i>	5
<i>Obr. č. 2: Blokové schéma výroby překližek</i>	7
<i>Obr. č. 3: Hydraulický lis od společnosti Strozatech®</i>	12
<i>Obr. č. 4: Nářezový plán</i>	13
<i>Obr. č. 5: Zkušební vzorky pro vlhkost a hustotu</i>	13
<i>Obr. č. 6: Místa pro měření zkušebního tělesa (ČSN EN 323)</i>	16
<i>Obr. č. 7: Průběh ohybové zkoušky</i>	18
<i>Obr. č. 8: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva buková – hustota</i>	21
<i>Obr. č. 9: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva smrková – hustota</i>	21
<i>Obr. č. 10: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva topolová – hustota</i>	22
<i>Obr. č. 11: Krabicový graf - hustota</i>	22
<i>Obr. č. 12: Graf jednofaktorové Anovy – vlhkost</i>	23
<i>Obr. č. 13: Krabicový graf - vlhkost</i>	24
<i>Obr. č. 14: Graf jednofak. Anovy – celobukové překližky – MOR podélné vzorky</i>	25
<i>Obr. č. 15: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva smrk – MOR podélné vzorky</i>	26
<i>Obr. č. 16: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva topol – MOR podélné vzorky</i>	26
<i>Obr. č. 17: Krabicový graf - MOR podél</i>	27
<i>Obr. č. 18: Graf jednofak. Anovy – celobukové překližky – MOR příčné vzorky</i>	28
<i>Obr. č. 19: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva smrk – MOR příčné vzorky</i>	28
<i>Obr. č. 20: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva topol – MOR příčné vzorky</i>	29
<i>Obr. č. 21: Krabicový graf – MOR příčně</i>	29
<i>Obr. č. 22: Závislost pevnosti v ohybu na hustotě</i>	30
<i>Obr. č. 23: Graf jednofak. Anovy – celobukové překližky – MOE podélné vzorky</i>	31
<i>Obr. č. 24: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva smrk – MOE podélné vzorky</i>	31
<i>Obr. č. 25: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva topol – MOE podélné vzorky</i>	32
<i>Obr. č. 26: Krabicový graf - MOE podélně</i>	32
<i>Obr. č. 27: Graf jednofakt. Anovy – celobukové překližky – MOE příčné vzorky</i>	34
<i>Obr. č. 28: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva smrk – MOE příčné vzorky</i>	34
<i>Obr. č. 29: Graf jednofak. Anovy – středová vrstva topol – MOE příčné vzorky</i>	35
<i>Obr. č. 30: Krabicový graf - MOE podélně</i>	35
<i>Obr. č. 31: Závislost modulu pružnosti na hustotě</i>	36

Seznam tabulek

<i>Tab. č. 1: Tloušťky bukových dřív před a po předlisování.....</i>	20
<i>Tab. č. 2: Popisná statistika - hustota ρ.....</i>	20
<i>Tab. č. 3: Popisná statistika - vlhkost.....</i>	23
<i>Tab. č. 4: Scheffeho test - vlhkost w.....</i>	24
<i>Tab. č. 5: Popisná statistika - Mez pevnosti - podélné vzorky.....</i>	24
<i>Tab. č. 6: Popisná statistika - Mez pevnosti - příčné vzorky.....</i>	27
<i>Tab. č. 7: Popisná statistika - Modul pružnosti - podélné vzorky.....</i>	30
<i>Tab. č. 8: Popisná statistika - modul pružnosti - příčné vzorky.....</i>	33

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle bakalářské práce	2
3	Literární přehled	3
4	Materiál a metodika zpracování	12
4.1	Použité materiály.....	12
4.2	Příprava zkušebních těles.....	13
4.3	Odběr vzorků a měření fyzikálních vlastností.....	13
4.3.1	Zjišťování vlhkosti podle ČSN EN 322	14
4.3.2	Zjišťování hustoty podle ČSN EN 323.....	15
4.4	Odběr vzorků a měření fyzikálních vlastností.....	16
4.4.1	Stanovení modulu pružnosti a pevnosti v ohybu	16
5	Výsledky	19
5.1	Předlisování	19
5.2	Naměřené hodnoty hustoty zkušebních těles	20
5.3	Naměřené hodnoty vlhkosti zkušebních těles.....	23
5.4	Mez pevnosti v ohybu - podélný směr	24
5.5	Mez pevnosti v ohybu - příčný směr	27
5.6	Modul pružnosti v ohybu - podélné vzorky	30
5.7	Modul pružnosti v ohybu - příčné vzorky.....	33
6	Diskuze	37
7	Závěr	40
8	Summary	41
9	Seznam použité literatury	42

1 Úvod

Dřevo ovlivnilo lidský vývoj jako žádná jiná surovina a materiál. Jeho hospodářský význam je nesporný. Jeho významnou předností oproti jiným konstrukčním materiálům je vysoká pevnost a pružnost v poměru k jeho hmotnosti. Lehce se opracovává, a jako zdroj je téměř nevyčerpatelný a obnovitelný. Proto vždy nacházelo a stále nachází široké uplatnění jako surovina, materiál vhodný pro výrobu nejrůznějších konstrukčních a nábytkových prvků, strojních součástí, náradí, užitných, dekoračních i uměleckých předmětů apod. Stále velmi aktuální je využití dřeva pro energetické účely. Opracované dřevo v různých formách stále plní všude kolem nás i důležitou estetickou funkci.

Mezi nevýhody masivního dřeva patří omezené rozměry, anizotropie, výskyt přirozených vad, které zhoršují vzhled dřeva, ale také snižují jeho pevnostní parametry. Z toho důvodu se začaly vyvíjet a stále se vyvíjejí nové materiály na bázi dřeva – aglomerované materiály, které určité nevýhody rostlého dřeva potlačují. Patří sem i materiály vyráběné lisováním souborů dřevěných dýh provrstvených vhodným lepidlem - překližované materiály.

Tento vrstvený, velkoplošný materiál eliminuje nežádoucí, anizotropní vlastnosti masivního dřeva, má oproti masivu lepší pevnostní parametry a to ve všech směrech. Výrazně snižuje sesychání a bobtnání.

S technickým pokrokem v průmyslových oborech a stavebnictví, kde se překližované materiály dlouhodobě používají, rostou i požadavky na zlepšování jejich technických parametrů.

To vede zákonitě k hledání nových možností při jejich výrobě. Rozšiřování sortimentu aglomerovaných materiálů a zlepšování jejich vlastností souvisí rostoucím významem dřeva coby obnovitelné suroviny.

2 Cíl bakalářské práce

Cílem práce je experimentálně ověřit slisovatelnost bukových dýh a jejich využitelnost pro výrobu standardně, křížem lepených překližek. Slisované bukové dýhy byly vrstveny do překližkových souborů v kombinaci s dýhami smrkovými a topolovými.

Následně byly posouzeny vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti a provedeno porovnání s překližkovými soubory stejné skladby dřevin z dýh neslisovaných.

3 Literární přehled

3.1 Charakteristika dřevin

Buk lesní – *Fagus sylvatica* L.

Dřevo nemá vylišeno jádro a běl, je narůžovělé, nahnědlé až červenohnědé (pařeně dřevo červeně zbarvené), u starých stromů častá nepravá jádra. Typické roztroušeně pórovité listnaté dřevo; letokruhy poměrně zřetelné; dřevné paprsky zřetelné na všech. Bukové dřevo je středně těžké (ρ_0 685 kg/m³, ρ_{12} 720 kg/m³) a středně tvrdé (61 MPa), méně trvanlivé a málo odolné proti biotickým činitelům (houbám, hmyzu). Dobře se impregnuje, paří, moří, hůře se suší (má sklon k tvorbě trhlin a borcení).

Bukové dřevo se pro svou načervenalou barvu a vlastnosti využívá v nábytkářství, dobře se ohýbá, čehož se pro výrobu ohybového nábytku, je důležitou surovinou pro výrobu dýh, překližek, parket, železničních pražců, pro chemické a polochemické zpracování dřeva. (Šlezingerová a Gandelová, 2012)

Smrk ztepilý – *Picea abies* L.

Dřevo smrku je po poloměru kmene jednotně zbarveno, nemá vylišeno jádro a běl, u čerstvě skáceného dříví lze makroskopicky vylišit vyzrálé dřevo. Dřevo je žlutobílé až světle žlutohnědé, letokruhy jsou zřetelné s pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem v rámci letokruhu; pryskyřičné kanálky jsou drobné, patrné pouze na podélných řezech jako svislé tmavší pásy. Dřevo slabě voní, na podélných řezech je slabě lesklé. Patří k měkkým (26 MPa) a lehkým (ρ_0 420 kg/m³, ρ_{12} 450 kg/m³) dřevům. Je méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům, dobře se opracovává, suší, hůře se impregnuje. (Šlezingerová a Gandelová, 2012)

Topol – *Populus* L.

Topolové dřevo má narozdíl od osikového rozlišeno jádro a běl, běl je bílá až nahnědlá, jádro světle hnědé, šedohnědé, zelenohnědé až tmavě hnědé. Dřevo topolů je měkké a lehké např. u topolu černého je ρ_0 390 kg/m³ a ρ_{12} 420 kg/m³, u osiky průměrná hustota cca ρ_{12} 450 kg/m³ a průměrná tvrdost 27 MPa. Dřevo topolu se rychle suší, dobře moří, opracovává, impregnuje, je málo trvanlivé. (Šlezingerová a Gandelová, 2012)

3.2 Základní pojmy

Překližovaná deska – deska, které se vyrábí slepením lichého počtu vrstev. Směr vláken sousedních vrstev je na sebe kolmý. Vrstvy jsou uspořádány symetricky podle vrstvy středové

Překližka – nejobvyklejší překližovaná deska, jejíž všechny vrstvy sestávají z dýh uspořádaných rovnoběžně s rovinou desky

Opláštěvaná překližovaná deska – překližovaná deska upravená potahovou vrstvou nebo pláštěm (jednou nebo více vrstvami, případně filmy)

Tvarovaná překližka – překližka lisovaná do určitého tvaru ve speciální formě

Jádrová deska – překližovaná deska s jednou středovou vrstvou

Laťovka – jádrová deska se středovou vrstvou z latí o šířce 7 až 30 mm. Lišty mohou nebo nemusí být vzájemně slepeny

Laťovka jádrová – deska se středovou vrstvou z latí o šířce 7 až 30 mm. Lišty mohou nebo nemusí být vzájemně slepeny

Laťovky s tyčinkovým středem (dýhovka) – jádrová deska, jejíž středová vrstva je vyrobena z dýh o tloušťce 7 mm a menší. Dýhy jsou uloženy na hranách a jsou všechny nebo jejich většina vzájemně slepeny

Složená deska – překližovaná deska, jejíž středová vrstva (nebo určité vrstvy) nejsou vyrobeny z latí nebo dýh. Středová vrstva musí být překryta nejméně dvěma na sebe kolmo uspořádanými vrstvami (Král, 2011)

3.3 Vlastnosti překližek

Jak uvádí Böhm a spol. (2012) překližky eliminují vlastnosti, které jsou u rostlého dřeva nežádoucí. Především eliminuje anizotropní vlastnosti masivního dřeva a výrazně snižuje sesychání a bobtnání. Použitím různých dřevin, tloušťkou jednotlivých dýh, volbou čtu vrstev překližky, stejně jako různých kvalit dýh, případně volbou lepidla a úpravou povrchu je možno vyrobit překližky různého vzhledu a především různých mechanických a fyzikálních vlastností. Druh použitého lepidla pak ovlivňuje odolnost proti působení vlhkosti.



Obr. č. 1: Překližky Dyas Beech (<http://www.dyas.eu/>)

Některé druhy překližek jsou určeny pro přímý styk s vlhkostí. Odolnost proti vlhkosti je možné ještě zvýšit povrchovými nátěry nebo laminováním, opatřením povrchu překližky fenolickým filmem. Tyto překližky se používají např. jako bednicí materiál při betonáži ve stavebnictví. Jiné překližky jsou naopak vzhledem k použitému lepidlu určeny jen do suchého prostředí.

Překližky se běžně vyrábějí od 2 do 40 mm tloušťky. Dobrých pevnostních parametrů je díky vrstvení tenkých dýh (min. 3 vrstvy) možno docílit i u poměrně tenkého materiálu (dna zásuvek, sedáky židlí). Další předností tohoto materiálu je omezení pracování dřeva při změně vlhkosti prostředí.

3.4 Dýhy

Dýha je výchozí polotovar pro výrobu překližek. Vyrábí se z dýhárenských výřezů krájením (krájená dýha), centrickým nebo excentrickým loupáním (loupaná dýha), dýhy větší tloušťky i řezáním. Pro výrobu je třeba pečlivě vybrat kvalitní surovinu, která musí splňovat určité požadavky.

Krájená dýha

Technologie výroby dýh krájením se historicky i dnes orientuje především na výrobu dýh určených k okrasným účelům v nábytkářské výrobě, tj. k zušlechtní povrchů velkoplošných materiálů dýhováním. Důvodem je kresba dýhových listů krájených z dýhárenských výřezů. Ta je přirozenější, srovnatelná s kresbou hoblované-

ho truhlářského řeziva. Krájené dýhové listy se pro okrasné nábytkářské využití po vysušení formátují krájením a sesazují. K dýhování nábytkových, popř. dalších interiérových prvků se dnes používají ty nejkvalitnější sortimenty široké škály komerčně využívaných tuzemských i dovozových exotických dřevin.

Loupaná dýha

Zpracováním dýhárenského výřezu na loupacím stroji vzniká dýhový pás – loupaná dýha. Ten se využívá, vzhledem ke svým parametrům, k výrobě technických vrstvených materiálů, především překližek a jejich různých alternativ (tvarové překližky, laťovky, předpružené lamely, stavební tvarované nosníky).

Dřeviny pro průmyslovou výrobu dýh a překližek

Na loupanou dýhu se obvykle používají nejdostupnější jehličnaté a listnaté dřeviny. V ČR jsou to především buk, smrk či borovice (Dyas Uherský Ostroh), smrk/borovice (Wotan Forest Solnice). Donedávna největší český výrobce překližek – Ploma Hodonín (Buk, SM/BO) ukončil činnost v r. 2013.

Jiné, v technických překližkách běžně používané dýhy z dřevin – bříza, olše, topol – se v ČR k překližkárenským účelům netěží.

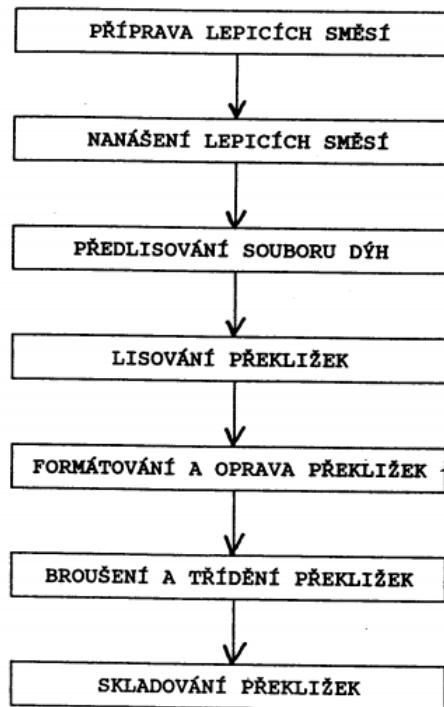
Přesto jsou březové a topolové překližky v ČR, stejně jako v celé Evropě značně rozšířené. Zeměmi původu těchto překližek jsou především Rusko, Ukrajina, Polsko, Finsko (bříza), Čína (topol).

Pro výrobu překližek se obvykle používají měkčí dřeviny s nevýraznou kresbou a dřeviny méně ceněné. Z domácích dřevin se užívá SM, BO, TP, BK, BR, OL. V minulosti se do ČR dovážela také tropická překližkárenská kulatina, především africká limba (*Terminalia superba*) a gabon – okoume (*Aucoumea klaineana*). Cennější dřeviny a nejkvalitnější sortimenty jsou používány pro výrobu krájených okrasných dýh.

(Böhm a spol, 2012)

3.5 Výroba překližek

Překližky se vyrábějí jako podélné a příčné. U podélných překližek je u povrchových vrstev průběh vláken orientován s delší stranou překližky, u příčných překližek je směr vláken shodný s kratší stranou.



Obr. č. 2: Blokové schéma výroby překližek

Příprava lepicí směsi

Lepidla musí být skladována v uzavřených obalech v krytých skladech, při teplotě +5 až +18 °C. Přípravou lepicí směsi rozumíme úpravu lepidla pro jeho aplikaci. Spočívá v rozpuštění, přidávání tvrdidel, nastavovadel, plnidel a jiných přísad. Lepidlo a roztok tužidla mají mít teplotu 20±2 °C. Nedodržení předepsané teploty má za následek změnu viskozity lepidla. (Král, 2005)

Nanášení lepicí směsi

Nejčastěji se lepicí směs aplikuje na dýhy pomocí válcových nanášeček. Mezi další rozšířené metody, které jsou však bezkontaktní, patří polévání, vytlačování a rozprašování.

Tento pracovní úsek zahrnuje složení jednotlivých listů dýh budoucí překližky dle stanovených pravidel a konstrukce. Skládání souborů se provádí ručně nebo mechanicky. (Janák a Král, 2003)

Předlisování souboru dýh

Předlisování souborů probíhá za studena a jeho hlavním úkolem je urychlit následný proces uzavírání hlavního lisu a tím i celou výrobu. Při předlisování se tloušťka souboru tlačí téměř na finální tloušťku překližky. Předlisování probíhá 10 – 15 minut za tlaku 1 – 1,4 MPa.

Provádí se kvůli: zkrácení lisovacího času, umožňuje zmenšit vzdálenost mezi lisovacími deskami, nemusí se používat lisovací plechy, zmenšuje se borcení překližek, snižuje se procento zmetků, získání samonosných předlisků, s nimiž se snadněji manipuluje a operaci lisování lze tedy automatizovat dokonalejší adheze lepidla a dřeva.

Lisování překližek

Vlastním lisováním se dosahuje styku lepených povrchů, jejich fixace do vytvrnutí lepidla a vytvoření stejnoměrné, tenké vrstvy lepidla ve spoji. Provádí se za zvýšené teploty ve vyhřívaných jednoetážových / víceetážových hydraulických lisech. Základní parametry lisování: doba vkládání do lisu, lisovací doba, lisovací teplota, lisovací tlak.

Úprava odolnosti překližek

Mezi důležité faktory ovlivňující použití překližek patří jejich odolnost vůči dřevokazným houbám, plísním a odolnost proti ohni. Úpravu můžeme provádět těmito způsoby:

- úprava vlastního konstrukčního materiálu
- úprava lepidel a povrchových fólií

(Janák a Král 2003).

Dokončovací práce

Po operaci lisování následuje klimatizace (cca 24 hodin), během které dochází k vyrovnání především teploty a vlhkosti na hodnoty umožňující další operace jako skladování či transport.

Po ukončení klimatizace se desky formátují na jmenovité rozměry a provedou se opravy vad. Malé vady např. trhliny se opraví tmelením. Velké vady jako jsou otvor po suku nebo trhlina se opraví záplatami. Vadné místo se ve vrchní dýze vyfrézuje a do otvoru se vlepejí dýhová záplata. Následuje broušení na válcových a širokopásových bruskách, kterým se spolu se zabroušením vysprávek, vybrousí celý povrch a překližky se egalizuje se tloušťka do potřebných tolerancí.

Třídění a skladování překližek

Překližované desky se třídí podle technických norem nebo podle technických podmínek, které určují pro každý druh: jakost materiálu, jakost opracování, vlhkost, rozměrové tolerance, pevnost lepené spáry, vodovzdornost apod. Třídění provádíme ručně nebo mechanicky na třídících linkách. Vytříděné a označené překližky se skladují v hraních do výšky 1,8 m až 2 m. V jedné hrani se uskladňují překližky stejné tloušťky, jakosti, rozměru a dřeviny (Janák a Král, 2003).

3.6 Rozdělení překližek

A. Podle vzhledu

1. Podle konstrukce desek:

- a) překližky – truhlářské, stavební, obalové, letecké, desky z vrstveného lisovaného dřeva apod.
- b) jádrové desky – laťovky, dýhovky
- c) složené desky – např. voštinové desky, velitové desky

2. Podle tvaru

- a) ploché
- b) tvarované

B. Podle hlavních vlastností

1. Podle životnosti

- a) po použití ve venkovním prostředí (nekryté)
- b) pro použití ve venkovním prostředí (zakryté)
- c) Pro použití ve vnitřním suchém prostředí

2. Podle mechanických vlastností

3. Podle vzhledu povrchu

4. Podle způsobu úpravy povrchu

- a) nebroušené
- b) broušené
- c) povrchově upravené
- d) opláštěvané (dekorační dýhou, folií, impregnovaným papírem apod.)

C. Podle požadavků uživatele (Král, 2011)

3.7 Lisování dřeva

Cílem modifikace dřeva je zachování stávajících pozitivních vlastností, nebo jejich zlepšení. Jednou z možností modifikace dřeva je jeho zhuštění slisováním. Jedná se o proces, při kterém na dřevo působí mechanické síly a tím vzniká jeho deformace, která je většinou trvalého rázu. V případě, že se při lisování překročí mez pevnosti dřeva, dojde k porušení buněčné struktury a tím se mechanické vlastnosti dřeva sníží.

Způsoby lisování

- **Jednoosé lisování** - síla působí na dřevo jen v jednom směru. Provádí se hydraulickým lisem a je to nejrozšířenější způsob zhušťování
- **Dvousé lisování** - síla působí v radiálním a tangenciálním směru. Takto lisované dřevo má obzvlášť vysoké mechanické vlastnosti.
- **Prostorové lisování** - síla působí na povrch dřeva ze všech stran. Toho se dosahuje lisováním v kapalině o tlaku několik desítek MPa.

Slisovatelnost dřeva je umožněna volnými mezibuněčnými prostory, které jsou vyplněny vzduchem. Vlivem působení tlaku ustupují buněčné stěny do těchto prostor. Takto změněný prostor má potom větší hustotu a větší pevnost. Působení tlaku nemusí vždy změnit jenom hustotu a pevnost, ale mění i jiné vlastnosti, spojené se změnou hustoty nepřímou. Problémem po vylisování překližovaných desek zůstává uchování zbytkových napětí ve dřevě. Ta u těchto desek způsobují dodatečný vznik nerovností plochy. (Hrázský a Král, 2005)

Při lisování dřeva tak jako při jeho ohýbání se využívá jeho schopnost měnit působením tepla, vlhkosti, případně jiného plastifikačního prostředku plastičnost a pů-

sobením vnějších sil tvar. Změněný tvar lisováním se stabilizuje snížením zvýšené teploty nebo vlhkosti. Při tváření dřeva lisováním dochází k jeho zhušťování a zvyšování fyzikálních a mechanických vlastností (Trávník, 2003).

Zhušťovat dřevo bez plastifikace lze pouze listnaté dřeviny, ale metoda je méně účinná. Lisováním plastifikovaného dřeva lze dřevo stlačit až o 20 % více, než dřevo neplastifikované bez jakéhokoliv poškození. S plastifikací taktéž klesají síly potřebné k přetvoření dřeva. Působením externího tlaku na dřevo klesá objem pórů a roste jeho hustota. Velikost změny hustoty dřeva a destrukce buněčných stěn závisí na stupni lisování (Merenda, 2009).

4 Materiál a metodika zpracování

4.1 Použité materiály

Pro praktickou část této práce byly vyrobeny pětivrstvé překližky. Překližky se lisovaly v hydraulickém lisu od společnosti Strozatech[®] (obr. č. 3). Vstupním materiálem pro výrobu byly bukové, topolové a smrkové dýhy v kvalitě B. Tloušťka smrkových a bukových dýh byla 2,5 mm; topolové dýhy měly tloušťku 1,5 mm. U 12 bukových dýh proběhlo 10 minut předlisování tlakem 2,5 MPa, čímž se snížila tloušťka dýhy.

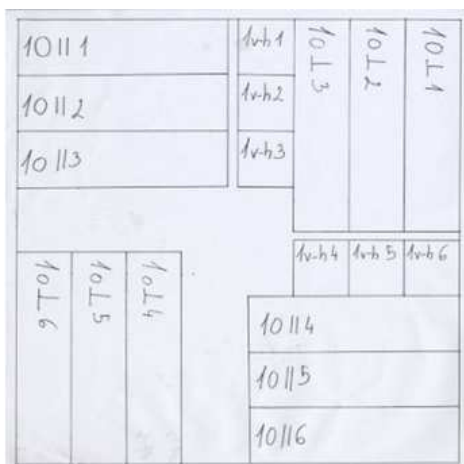
Pro lepení bylo použito polyvinil acetátové lepidlo PROTOVIL D4, které bylo na dýhy nanášeno ruční válečkovou nanášečkou po celé ploše dýh v množství 200 g/m². U všech použitých dýh byla změřena jejich tloušťka na 4 místech. Překližky se poté lisovaly 30 minut tlakem 1,8 MPa. U odlisovaných desek následně došlo k odříznutí okrajů. Poté byla změřena jejich tloušťka v bodech 1 až 4.



Obr. č. 3: Hydraulický lis od společnosti Strozatech[®]

4.2 Příprava zkušebních těles

Vzorky byly odebrány z jednotlivých desek podle nářezového plánu (obr. č. 4), který byl sestaven podle normy ČSN EN 326-1.



Obr. č. 4: Nářezový plán

4.3 Odběr vzorků a měření fyzikálních vlastností

Rozměry zkušebních těles

Tělíska pro stanovení vlhkosti musí mít stejnou tloušťku jako je tloušťka desky, minimální hmotnost 20 g a musí být očištěné od třísek a pilin.

Pro stanovení hustoty musí mít tělíska čtvercový tvar a minimální jmenovitou délku 50 mm.

Pro stanovení vlhkosti a hustoty byla použita stejné zkušební tělíska (viz. obr. č. 5).



Obr. č. 5: Zkušební vzorky pro vlhkost a hustotu

4.3.1 Zjišťování vlhkosti podle ČSN EN 322

1. Podstata zkoušky:

Podstata této zkoušky spočívá v zjištění ztráty hmotnosti zkušebního tělíska vážením mezi jeho stavem v čase odběru vzorků a po vysušení na konstantní hmotnost při teplotě 103 ± 2 °C; výpočet ztráty hmotnosti v procentech z hmotnosti zkušebního tělesa po vysušení; použití výsledků na určení vlhkosti celé desky.

2. Pomůcky a zařízení:

- **Váhy** - váhy, které umožňují zjištění hmotnosti zkušebního tělesa s přesností na 0,01g.
- **Sušárna** - větraná sušárna umožňující udržovat teplotu 103 ± 2 °C
- **Exsikátor** - se silikagelem umožňující udržet vzduch ve stavu co nejbližším absolutně suchému vzduchu

3. Pracovní postup

Každé zkušební tělísco se zváží s přesností na 0,01 g. Poté se uloží do sušárny o teplotě 103 ± 2 °C až do dosažení konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost je dosažena když se hmotnost ve dvou po sobě jdoucích měřeních v intervalu 6 hodin od sebe neliší o více než 0,1 % hmotnosti zkušebního tělíska. Naměřené hodnoty se zaznamenají do tabulky a poté se dosadí do vzorce.

4. Vztah pro vyhodnocení vlhkosti zkušebního tělíska:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%]$$

kde: m_H - hmotnost zkušebního tělesa při prvním zvážení po odběru vzorku v g
 m_0 - hmotnost absolutně suchého zkušebního tělíska v g

4.3.2 Zjišťování hustoty podle ČSN EN 323

1. Podstata:

Podstatou této zkoušky je zjištění hustoty jako poměru hmotnosti zkušebního tělesa k jeho objemu, přičemž obě měření se vykonávají při stejné vlhkosti. Tyto výsledky se používají na stanovení hustoty celé desky.

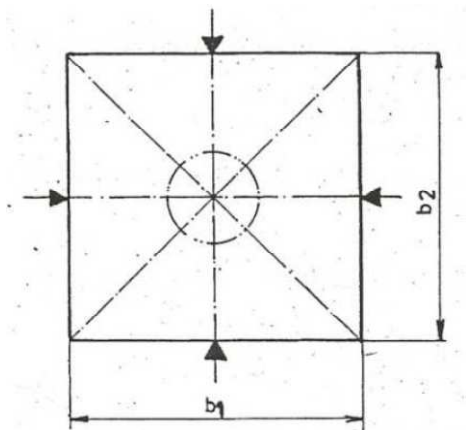
2. Pomůcky:

- **přístroj na měření tloušťky** - mikrometr nebo podobný měřicí přístroj s plochými a rovnoběžnými kruhovými měřicími plochami s průměrem 16 ± 1 mm a měřicí silou 4 ± 1 N. Dělení jednotek měření měřících přístroje musí umožňovat čtení s přesností na 0,01mm
- **přístroj na měření délky a šířky** - posuvné měřítko nebo jiný vhodný měřicí přístroj s měřicími plochami nejméně 5mm širokými a s dělením jednotek měření, které umožňují čtení s přesností na 0,01mm.
- **váhy** - váhy, které umožňují zjištění hmotnosti zkušebního tělesa s přesností na 0,01g.

3. Pracovní postup:

Každé ze zkušebních tělísek se zváží s přesností na 0,01 g. Rozměry zkušebního tělesa se zjišťují podle EN 325 takto:

- a) tloušťka t se měří v bodě průsečíku úhlopříček (viz obr. 6) s přesností na 0,05 mm (pokud se v tomto bodě nenachází nepravidelnost povrchu, která by mohla ovlivnit měření).
- b) délka b_1 a šířka b_2 se měří ve dvou bodech rovnoběžné s hranami zkušebního tělesa nad průsečík úhlopříček, jak je zobrazené na obrázku x, s přesností na 0,1 mm



Obr. č. 6: Místa pro měření zkušebního tělesa (ČSN EN 323)

4. Vztah pro vyhodnocení hustoty zkušebního tělíska:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot 10^6$$

kde: m - hmotnost tělesa v g
 t - tloušťka tělesa v mm
 b1, b2 - rozměry zkušebního tělesa v mm

Hustota desky se poté vypočítá jako aritmetický průměr hustoty všech těles odebraných ze stejné desky. Tato hodnota je vyjádřena v kg/m³ s přesností na 3 desetinná místa.

4.4 Odběr vzorků a měření fyzikálních vlastností

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

1. Podstata:

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu se stanoví zatížením zkušebního tělesa v jeho středu, uloženého na dvou podpěrách. Modul pružnosti se vypočítá z lineární části zatěžovací křivky. Vypočtená hodnota je zdánlivá, ne skutečný modul, protože zkušební metoda zahrnuje kromě ohybu také smyk. Ohybová pevnost každého zkušebního tělesa se vypočítá stanovením poměru ohybového momentu M při maximálním zatížení F_{max} k momentu jeho celého průřezu.

2. Přístroje a pomůcky:

- Měřicí přístroj podle EN 325
- Zkušební zařízení, které má následující základní části:
 - Dvě rovnoběžné, válcové podpěry o průměru $(15 \pm 0,5)$ mm, s možností volného otáčení kolem osy a délky větší než je šířka zkušební tělesa
 - Vzdálenost mezi podpěrami musí být nastavitelná.
 - Válcová zatěžovací hlava stejné délky a průměru $(30 \pm 0,5)$ mm musí být umístěna rovnoběžně s podpěrami a ve stejné vzdálenosti mezi nimi.
 - vhodné měřidlo schopné měření průhybu zkušební tělesa ve středu rozpětí s přesností na 0,1 mm
 - vhodné zatěžovací měřicí systém pro měření zatížení zkušební tělesa s přesností na 1% z naměřené hodnoty

3. Modul pružnosti je dán vzorcem:

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

- kde: l_1 - vzdálenost mezi středy podpěr v mm
 b - šířka zkušební tělesa v mm
 t - tloušťka zkušební tělesa v mm
 $F_2 - F_1$ - přírůstek zatížení v přímkové části grafu zatěžovací křivky v N. F_1 musí být přibližně 10% a F_2 přibližně 40 % z maximálního zatížení
 $a_2 - a_1$ - přírůstek průhybu ve středu délky zkušební tělesa, odpovídající přírůstku zatížení v mm

4. Pevnost v ohybu je dána vzorcem:

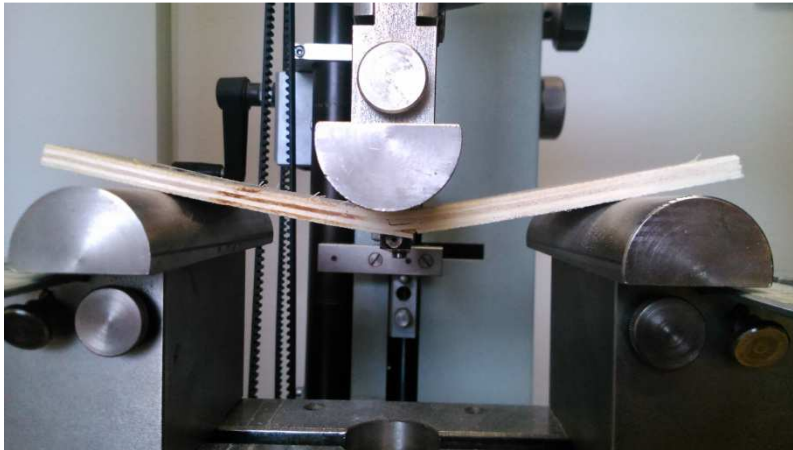
$$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2}$$

- kde: F_{max} - zatížení zkušební tělesa (v době porušení) v N

5. Rozměry zkušebních těles:

Zkušební tělesa musí být pravoúhlá, jejich šířka musí být 50 ± 1 mm. Délka musí být 20 násobek jmenovité tloušťky plus 50 mm, s největší délkou 1050 mm a minimální délkou 150 mm.

Zkušební tělesa musí být bez viditelných vad snižujících ohybovou pevnost.



Obr. č. 7: Průběh ohybové zkoušky

6. Postup zkoušky:

U každého tělíska se v polovině délky změří šířka a v průsečíku úhlopříček tloušťka. Poté se těleso zváží a všechny naměřené hodnoty se zadají do stolního počítače, na kterém se pomocí programu Test Xpert ovládá celý cyklus zkoušky. Software je napojen na zkušební stroj ZWICK Z050. Vzdálenost mezi středy podpěr se nastaví s přesností na 1 mm 20 násobku jmenovité tloušťky desky. Zkušební těleso se položí na plochu na podpěry, podélnou osou v pravém úhlu k těmto podpěrám, se středem pod zatěžovací hlavou. Zatížení se provádí při konstantní rychlosti posuvu v průběhu zkoušky. Rychlost zatěžování se upraví tak, aby maximální zatížení bylo dosaženo do 60 ± 30 s.

5 Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny výsledky měření se statisticky vyhodnocenými daty a interpretace výsledků v grafické a číselné podobě. Analýza rozptylu ANOVA, Scheffeho testy a krabicové grafy byly vytvořeny v programu Statistica. Vyhodnocená data byla dále upravena v programu MS Excel 2007.

U každé zkoumané vlastnosti je popisná statistika, které uvádí ze všech zkušebních tělísek aritmetický průměr, směrodatnou odchylku, variační koeficient, minimum, maximum a medián.

Zkratky

Z důvodu úspory místa v tabulkách a grafech byly vytvořeny zkratky pro jednotlivé překližky. Zkratky jsou odvozeny z anglického překladu jednotlivých dřevin.

- CB** compressed beech - překližka ze slisovaných bukových dých
- B** beech - překližka z neslisovaných bukových dých
- B - S** normal beech, spruce - překližka ze smrkových a neslisovaných bukových dých
- S** spruce - překližka ze smrkových dých
- CB - S** compressed beech, spruce - překližka ze smrkových a slisovaných bukových dých
- CB - P** compressed beech, poplar - překližka z topolových a slisovaných bukových dých
- B - P** normal beech, poplar - překližka z topolových a neslisovaných bukových dých
- P** poplar - překližka z topolových dých

5.1 Předlisování

V tabulce č. 1 můžeme vidět tloušťky bukových dých před a po předlisování bukových dých. Každá dýha byla lisována 10 minut tlakem 2,5 MPa, čímž se v průměru snížila tloušťka dýhy o 2,9 %.

Tab. č. 1: Tloušťky bukových dých před a po předlisování

Tloušťka bukových dých [mm]											Míra slisování [%]
	PŘED					PO					
	A	B	C	D	Průměr	A	B	C	D	Průměr	
1	2,2	2,23	2,24	2,26	2,23	2,15	2,2	2,16	2,21	2,18	2,35
2	2,63	2,78	2,69	2,6	2,68	2,57	2,75	2,63	2,52	2,62	2,15
3	2,61	2,64	2,59	2,63	2,62	2,54	2,6	2,55	2,57	2,57	2,01
4	2,73	2,73	2,68	2,66	2,70	2,71	2,61	2,61	2,61	2,64	2,41
5	2,29	2,26	2,22	2,28	2,26	2,18	2,16	2,17	2,18	2,17	3,98
6	2,3	2,39	2,3	2,25	2,31	2,24	2,28	2,2	2,16	2,22	3,90
7	2,68	2,82	2,73	2,72	2,74	2,62	2,64	2,61	2,68	2,64	3,65
8	2,64	2,61	2,59	2,62	2,62	2,54	2,57	2,52	2,55	2,55	2,68
										Průměr	2,89

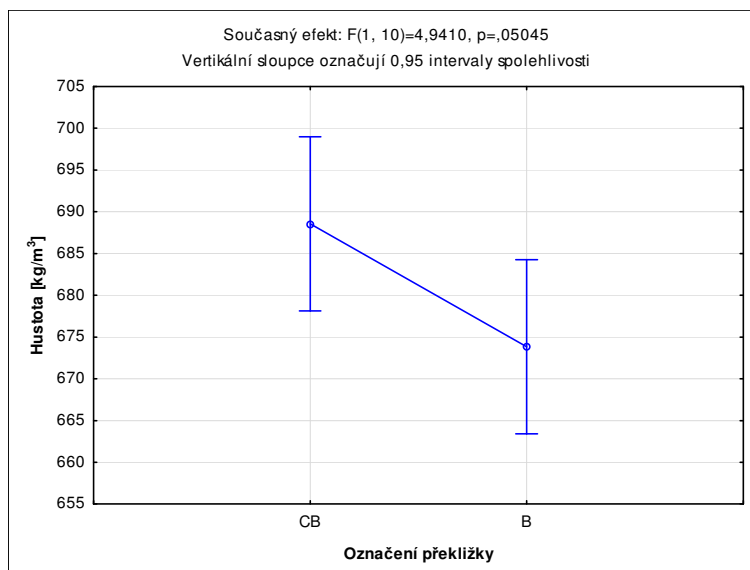
5.2 Naměřené hodnoty hustoty zkušebních těles

Tab. č. 2 - Popisná statistika - hustota

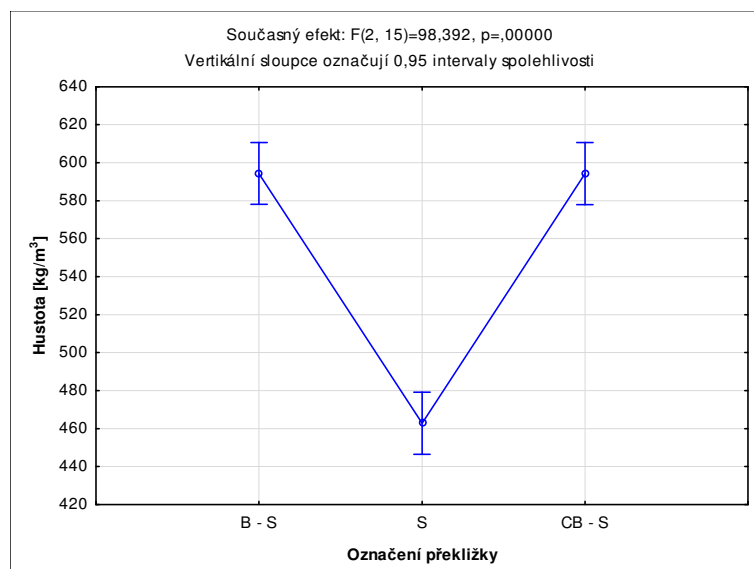
Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	ρ [kg/m ³]							
Arit. průměr	688,55	673,84	594,38	462,81	594,30	622,85	576,81	570,33
Směr. odchylka	7,33	12,85	23,76	13,78	11,17	16,13	17,38	28,68
Var. koeficient [%]	1,06	1,91	4,00	2,98	1,88	2,59	3,01	5,03
Minimum	676,45	646,65	563,30	445,69	584,68	603,34	554,78	534,43
Maximum	699,27	685,40	626,88	489,36	617,91	644,80	604,05	605,00
Medián	689,10	676,40	594,68	461,77	590,84	618,73	572,42	570,15

Dle tab. č. 2 nejvyšší průměrné hustoty 688,55 kg/m³ dosahovala překližka ze slisovaných bukových dých, nejnižší hustotu měla smrková překližka a to 462,81 kg/m³. Všechny překližky byly rozděleny do 3 skupin podle středových vrstev. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna pro celobukové překližky hodnota $p = 0,0505$, pro překližky se smrkovou středovou vrstvou $p = 0,0000$ a pro překližky s topolovou středovou vrstvou $p = 0,0285$. V případě, že je $p < \alpha$ (0,05), nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

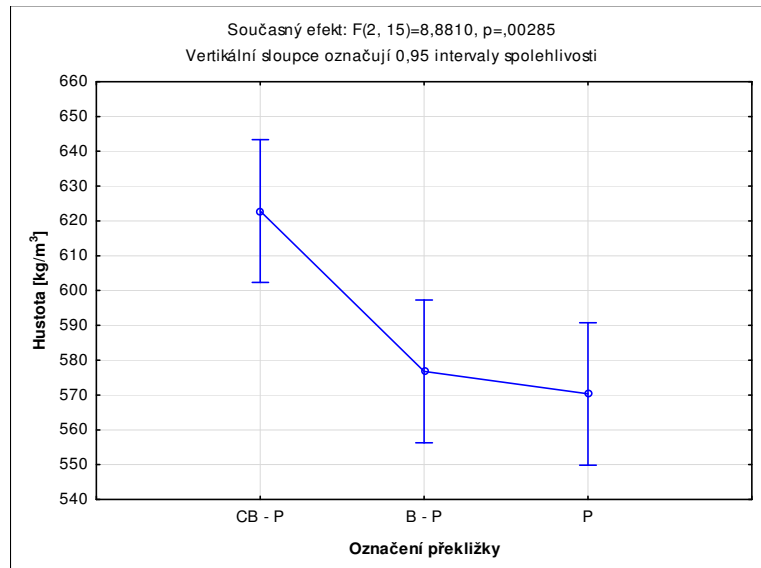
Na obrázcích č. 8, 9 a 10 vidíme grafy jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory.



Obr. č. 8: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva buková – hustota

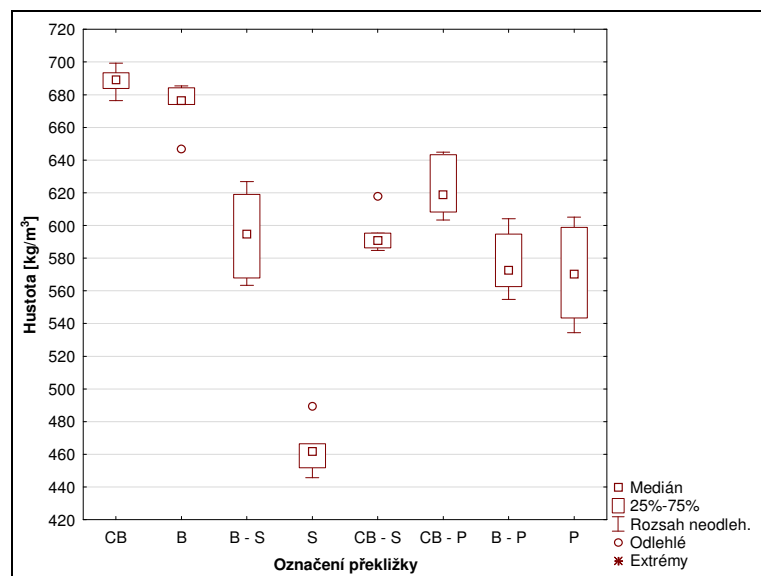


Obr. č. 9: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva smrková – hustota



Obr. č. 10: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva topolová – hustota

Na obr. č. 11 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách hustoty pro jednotlivé překližky.



Obr. č. 11: Krabicový graf - hustota

5.3 Naměřené hodnoty vlhkosti zkušebních těles

Tab. č. 3 - Popisná statistika - vlhkost

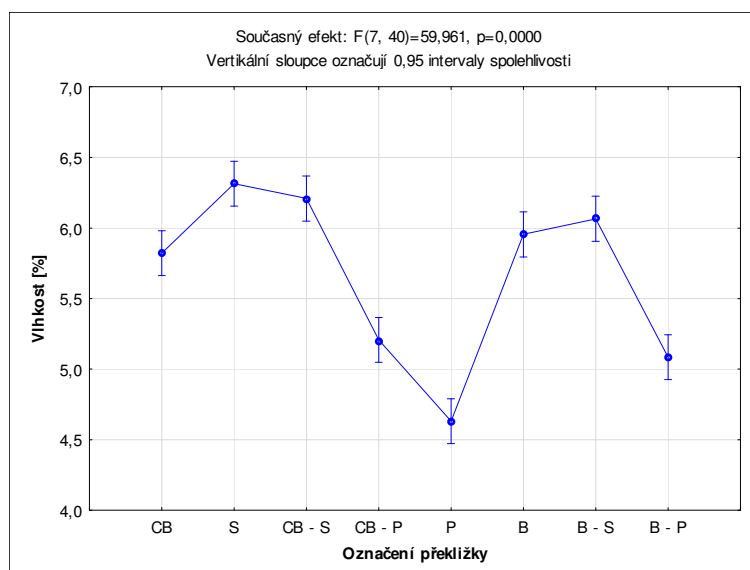
Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	w [%]							
Arit. průměr	5,82	5,95	6,07	6,31	6,21	5,21	5,08	4,63
Směr. odchylka	0,07	0,14	0,05	0,24	0,38	0,06	0,04	0,12
Var. koeficient	1,15	2,28	0,81	3,81	6,16	1,11	0,83	2,49
Minimum	5,72	5,79	6,01	6,13	5,91	5,13	5,04	4,42
Maximum	5,91	6,19	6,13	6,84	6,97	5,27	5,16	4,74
Medián	5,82	5,91	6,06	6,24	6,01	5,23	5,07	4,67

Dle tabulky č. 3 nejvyšší průměrnou vlhkost vykazuje překližka ze smrkových dých a to 6,31 %, nejnižší průměrnou vlhkost 4,63 % měla topolová překližka.

Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna hodnota $p = 0,000$. V případě, že je $p < \alpha (0,05)$, nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

Na obr. č. 12 vidíme graf jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory. Z grafu můžeme vyčíst podobnosti mezi překližkami: (1) CB, B, B-S, CB-S (2) B, B-S, CB-S, S (3) B-P a CB-P (4) překližka P se neshoduje s žádnou jinou.

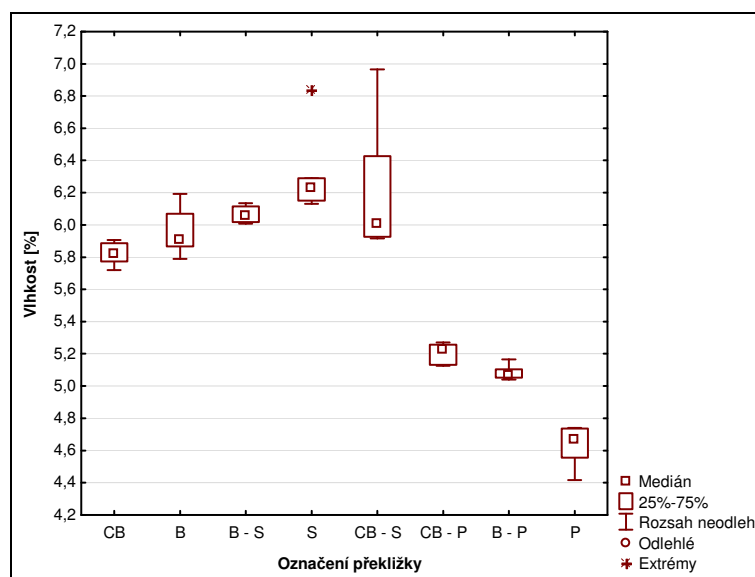
Tyto podobnosti nám následně potvrdil i Scheffeho test (tabulka č. 4).



Obr. č. 12: Graf jednofaktorové Anovy – vlhkost

Tab. č. 4 - Scheffeho test - vlhkost

Scheffeho test; proměnná Vlhkost, Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,03720, sv = 40,000						
Č. desky	Označení	Vlhkost [%]	1	2	3	4
4	P	4,6308				****
8	B - P	5,0847			****	
7	CB - P	5,2073			****	
1	CB	5,8215	****			
2	B	5,9548	****	****		
5	B - S	6,0658	****	****		
6	CB - S	6,2087	****	****		
3	S	6,3145		****		



Obr. č. 13: Krabicový graf - vlhkost

Na obr. č. 13 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách vlhkosti pro jednotlivé překližky.

5.4 Mez pevnosti v ohybu - podélný směr

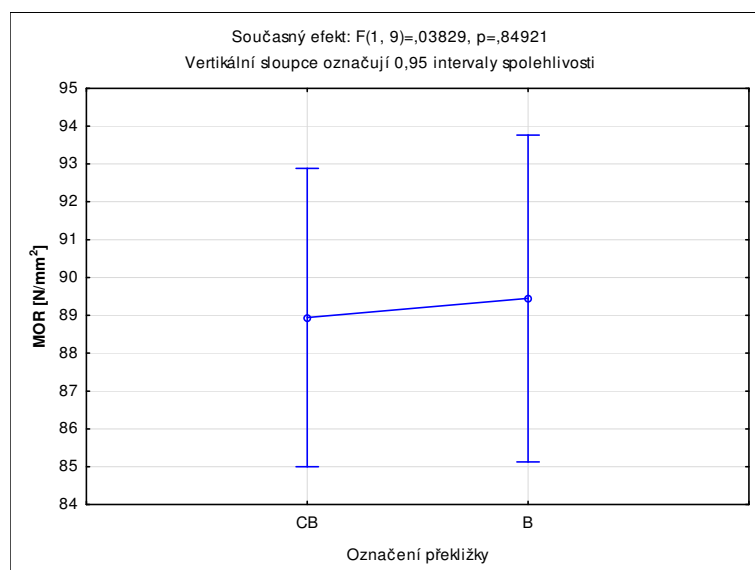
Tab.č. 5 - Popisná statistika - Mez pevnosti - podélné vzorky

Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	[N/mm ²]							
Arit. průměr	88,94	89,45	66,37	48,00	65,30	78,58	70,10	31,52
Směr. odchylka	4,94	1,90	7,16	5,12	5,04	25,81	21,86	16,27
Var. koeficient [%]	5,55	2,12	10,79	10,66	7,72	32,84	31,18	51,61
Minimum	82,90	86,57	56,52	40,01	59,29	29,84	31,81	8,97
Maximum	96,22	92,46	78,19	53,70	71,01	99,20	87,88	63,03
Medián	88,23	89,19	66,05	49,15	66,14	93,14	83,39	29,74

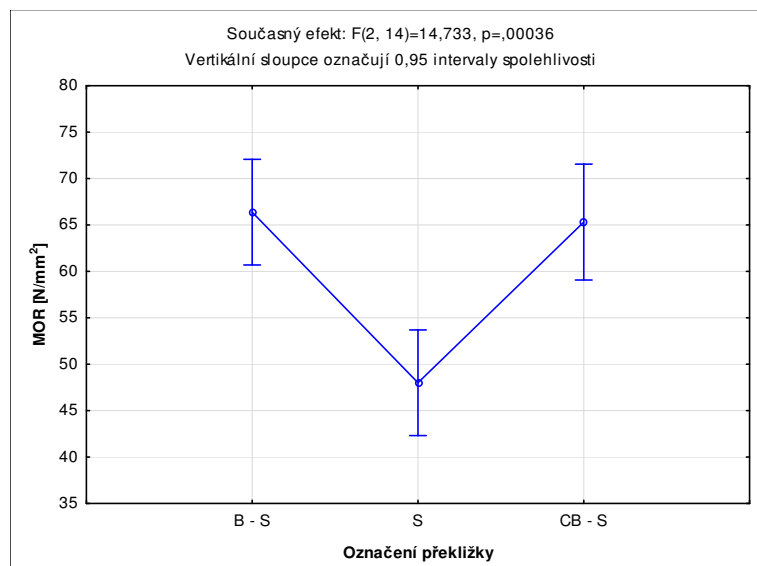
Dle tabulky č. 5 nejvyšší průměrné meze pevnosti v ohybu u vzorků s podélným směrem vláken na povrchových dýchách vykazuje překližka z neslisovaných bukových dých a to $89,45 \text{ N/mm}^2$. Ihned za ní skončila s menším rozdílem překližka ze slisovaných bukových dých, která měla průměrnou hodnotu $88,94 \text{ N/mm}^2$. Nejhůře dopadla překližka z topolových dých s průměrnou hodnotou $31,52 \text{ N/mm}^2$.

Všechny překližky byly rozděleny do 3 skupin podle středových vrstev. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna pro celobukové překližky hodnota $p = 0,8492$, pro překližky se smrkovou středovou vrstvou $p = 0,0004$ a pro překližky s topolovou středovou vrstvou $p = 0,0083$. V případě, že je $p < \alpha (0,05)$, nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

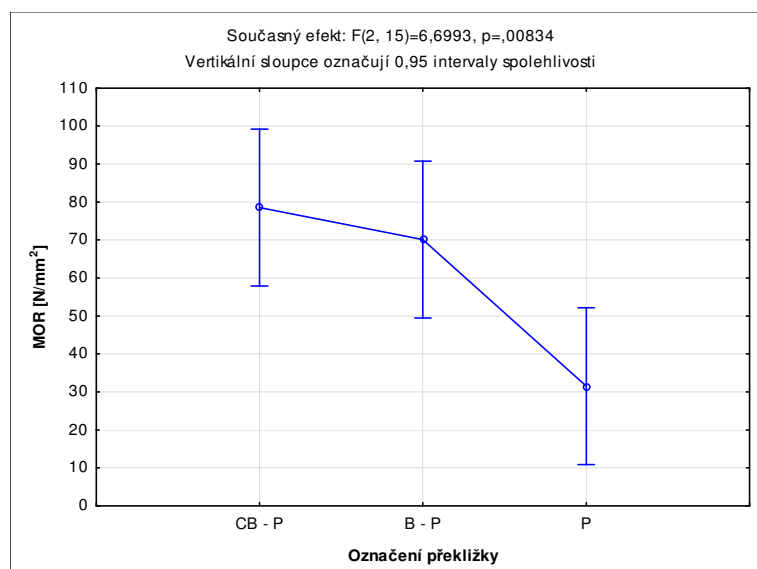
Na obrázcích č. 14, 15 a 16 vidíme grafy jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory.



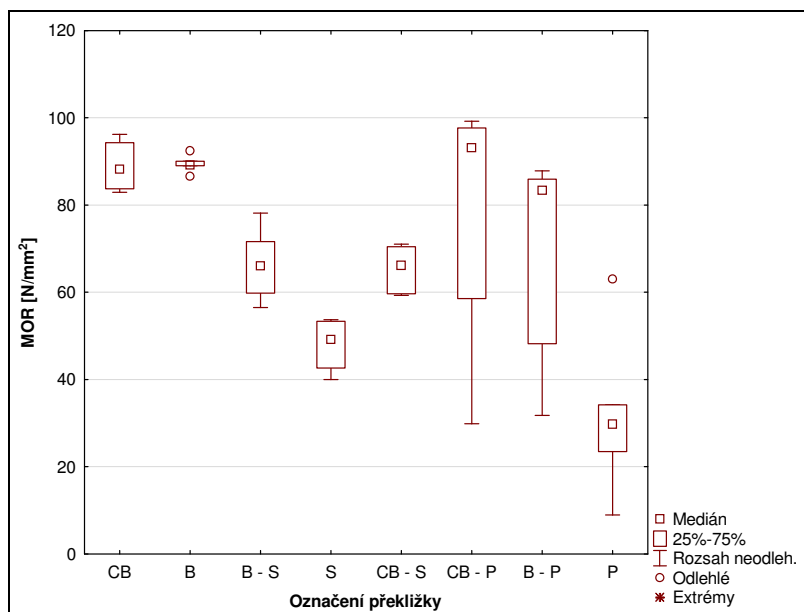
Obr. č. 14: Graf jednofaktorové Anovy – celobukové překližky – MOR podélné vzorky



Obr. č. 15: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva smrk – MOR podélné vzorky



Obr. č. 16: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva topol – MOR podélné vzorky



Obr. č. 17: Krabicový graf - MOR podél

Na obr. č. 17 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách meze pevnosti pro jednotlivé překližky.

5.5 Mez pevnosti v ohybu - příčný směr

Tab. č. 6 - Popisná statistika - Mez pevnosti - příčné vzorky

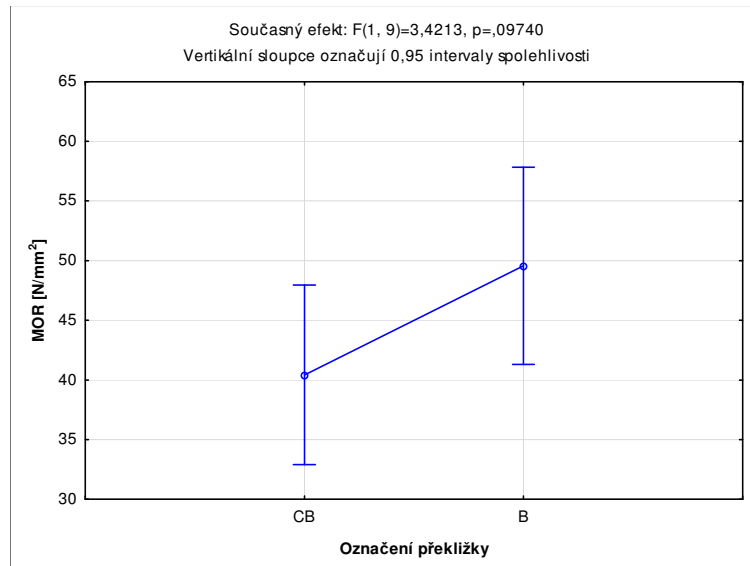
Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	[N/mm ²]							
Arit. průměr	40,43	49,57	25,77	25,95	24,02	13,91	13,55	12,48
Směr. odchylka	9,89	1,54	4,72	2,85	1,53	3,61	5,61	2,25
Var. koeficient [%]	24,47	3,10	18,32	10,99	6,36	25,97	41,42	18,06
Minimum	22,25	46,78	18,77	20,57	21,71	9,09	5,60	8,67
Maximum	50,70	51,11	32,86	29,04	26,31	18,98	22,05	14,29
Medián	44,78	50,31	25,05	26,49	23,73	14,15	15,19	13,78

Dle tabulky č. 6 nejvyšší průměrnou mez pevnosti v ohybu v příčném směru měla překližka z bukových dých 49,57 N/mm², nejnižší pevnost v ohybu měla překližka z topolových dých a to 12,48 N/mm².

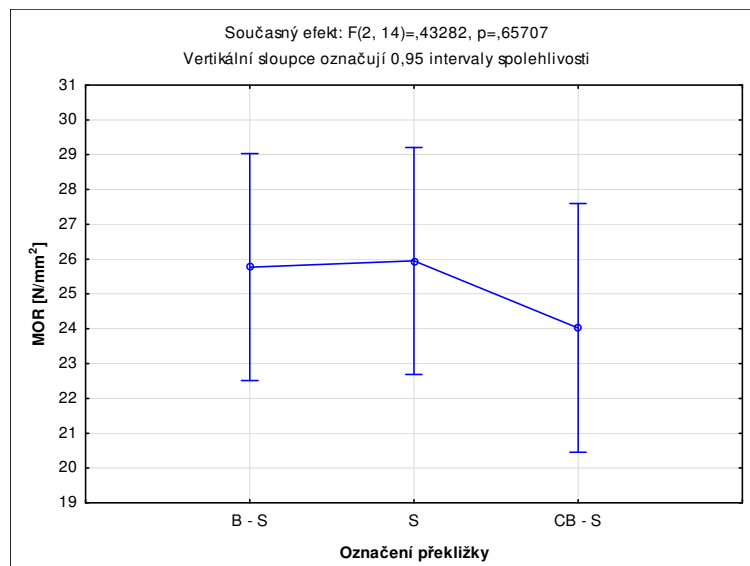
Všechny překližky byly rozděleny do 3 skupin podle středových vrstev. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna pro celobukové překližky hodnota $p = 0,0974$, pro překližky se smrkovou středovou vrstvou $p = 0,6571$ a pro překližky s topolovou středovou vrstvou $p = 0,8574$. V případě, že je $p < \alpha (0,05)$, nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

Na obrázcích č. 18, 19 a 20 vidíme grafy jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory.

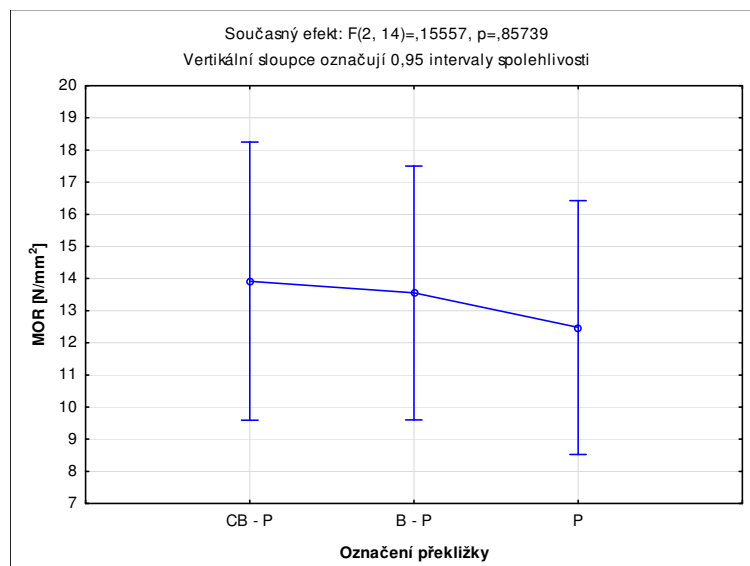
Dále pak můžeme z obr. 16 vyčíst, že pevnost v ohybu jak v příčném, tak v podélném směru roste se zvyšující hustotou.



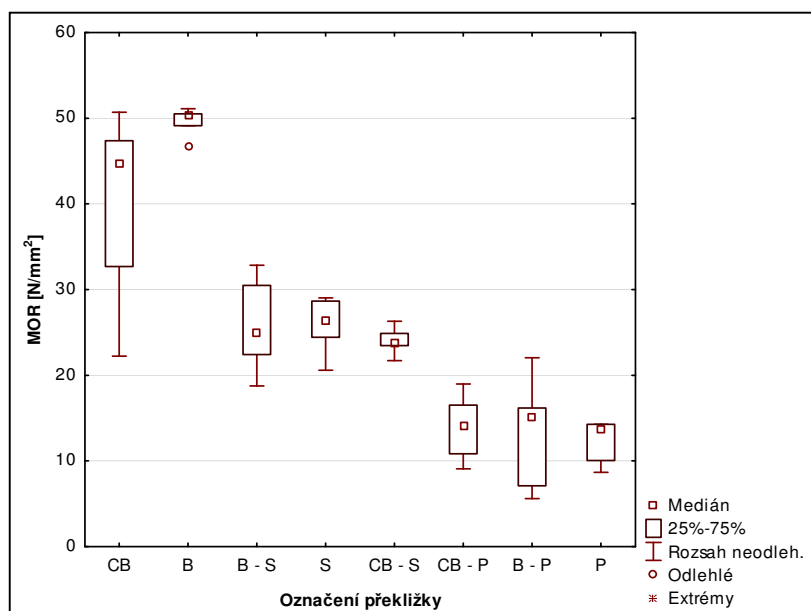
Obr. č. 18: Graf jednofaktorové Anovy – celobukové překližky – MOR příčné vzorky



Obr. č. 19: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva smrk – MOR příčné vzorky

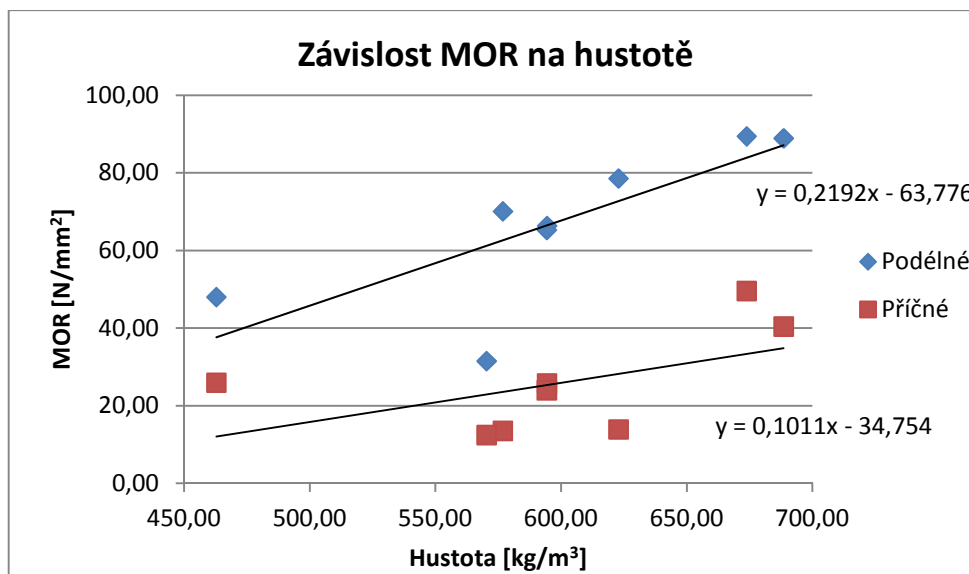


Obr. č. 20: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva topol – MOR příčné vzorky



Obr. č. 21: Krabicový graf – MOR příčně

Na obr. č. 21 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách meze pevnosti pro jednotlivé překližky. Obr. č. 22 nám ukazuje závislost meze pevnosti na hustotě. Z průmek můžeme vyčíst, že jak u podélných, tak u příčných vzorků pevnost roste se zvyšující hustotou.



Obr. č. 22: Závislost pevnosti v ohybu na hustotě

5.6 Modul pružnosti v ohybu - podélné vzorky

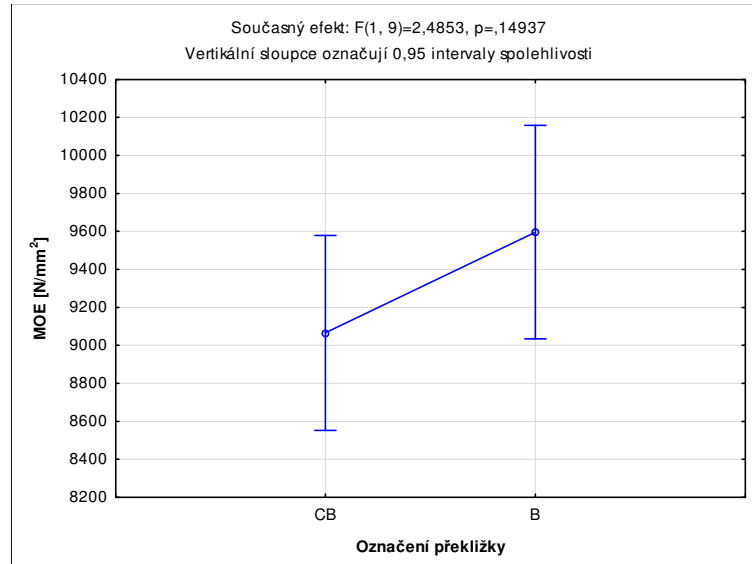
Tab. č. 7 - Popisná statistika - Modul pružnosti - podélné vzorky

Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	[N/mm ²]							
Arit. průměr	9066	9596	7386	6138	7685	10488	9057	5458
Sm. odchylka	585	381	255	832	298	816	314	1968
Var. koeficient [%]	6,46	3,97	3,45	13,55	3,88	7,78	3,46	36,06
Minimum	7986	9286	7151	4751	7309	9232	8438	1696
Maximum	9769	10346	7858	7002	8208	11751	9379	7323
Medián	9192	9432	7284	6526	7681	10623	9130	6241

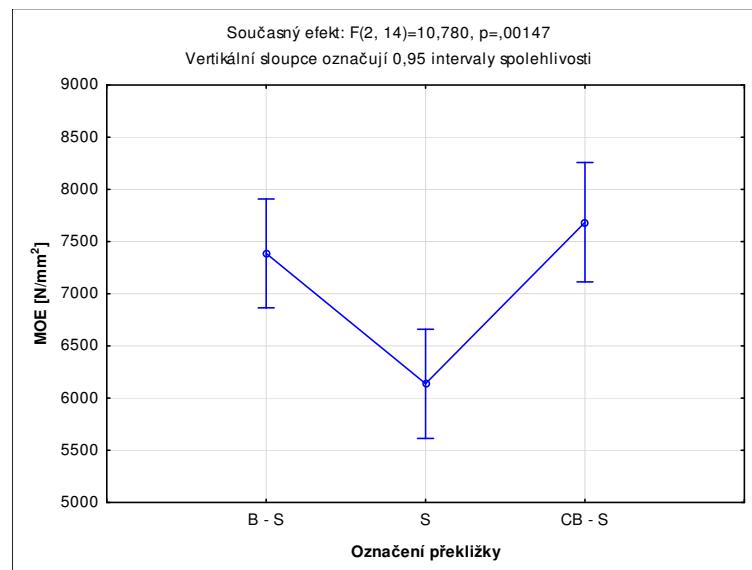
Dle tabulky č. 7 nejvyššího průměrného modulu pružnosti 10 488 N/mm² dosahovala překližka ze slisovaných bukových dých, nejnižší modul pružnosti měla topolová překližka a to 5 458 N/mm².

Všechny překližky byly rozděleny do 3 skupin podle středových vrstev. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna pro celobukové překližky hodnota $p = 0,1494$, pro překližky se smrkovou středovou vrstvou $p = 0,0015$ a pro překližky s topolovou středovou vrstvou $p = 0,0000$. V případě, že je $p < \alpha (0,05)$, nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

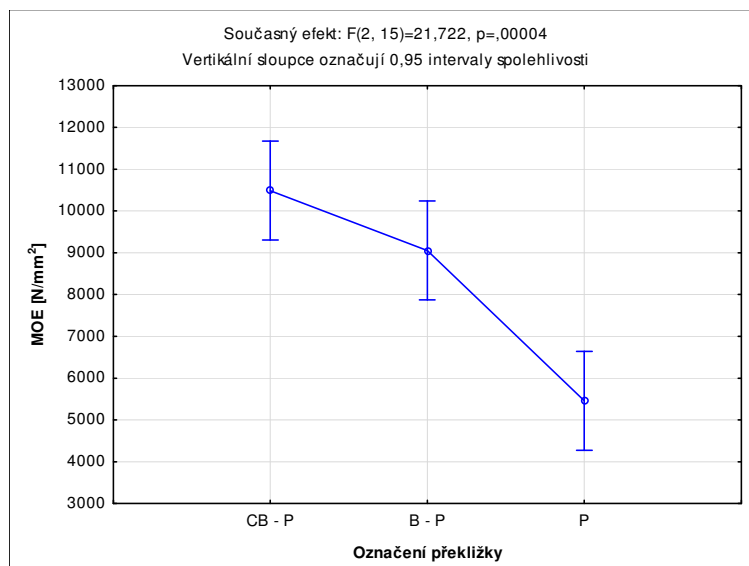
Na obrázcích č. 23, 24 a 25 vidíme grafy jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory.



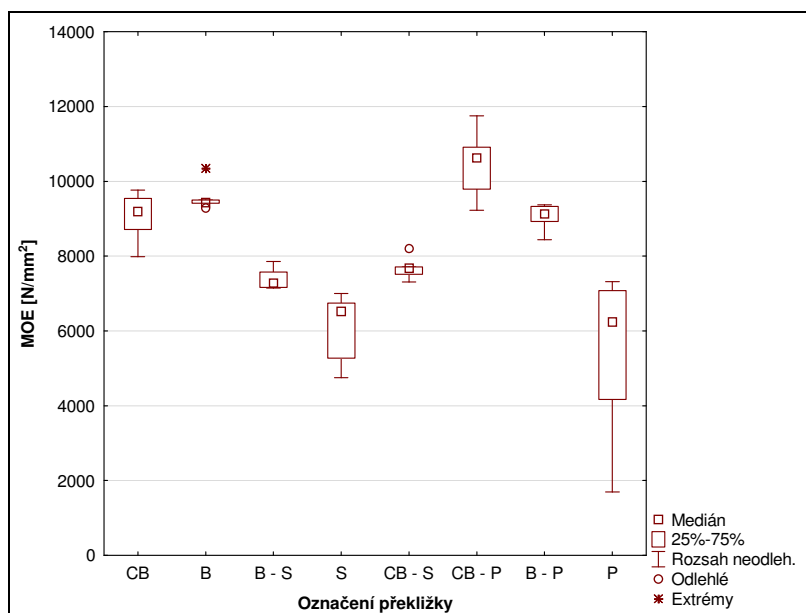
Obr. č. 23: Graf jednofaktorové Anovy – celobukové překližky – MOE podélné vzorky



Obr. č. 24: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva smrk – MOE podélné vzorky



Obr. č. 25: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva topol – MOE podélné vzorky



Obr. č. 26: Krabicový graf - MOE podélně

Na obr. č. 26 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách modulu pružnosti pro jednotlivé překližky.

5.7 Modul pružnosti v ohybu - příčné vzorky

Tabulka 8 - Popisná statistika - modul pružnosti - příčné vzorky

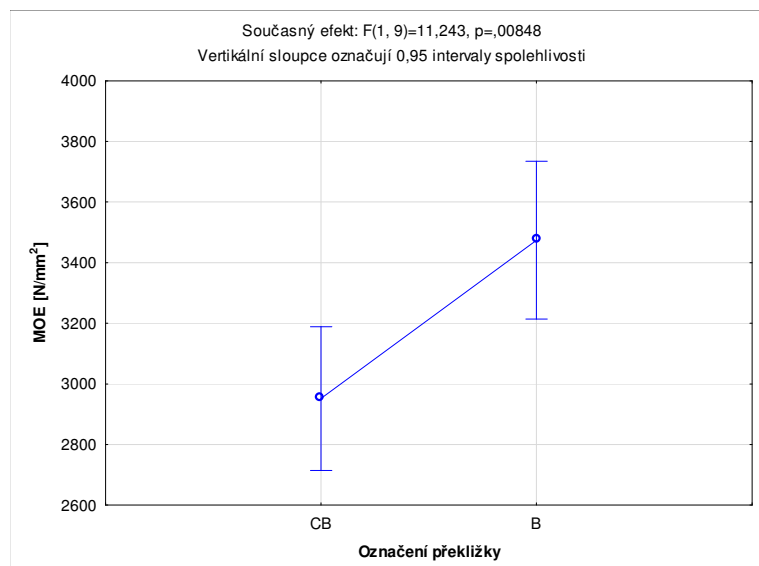
Charakter	CB	B	B - S	S	CB - S	CB - P	B - P	P
	[N/mm ²]							
Arit. průměr	2951	3474	1984	2069	1864	848	1937	2216
Směr. odchylka	285	149	328	66	171	29	180	238
Var. koeficient [%]	9,65	4,27	16,55	3,20	9,19	3,44	9,27	10,72
Minimum	2466	3221	1515	1955	1531	816	1632	1778
Maximum	3286	3687	2329	2158	2017	896	2138	2547
Medián	3038	3490	2080	2066	1925	832	2014	2247

Dle tab. č. 8 nejvyššího průměrného modulu pružnosti 3 474 N/mm² dosahovala překližka z bukových dýh, nejnižší modul pružnosti měla překližka z předdisovaných bukových dýh a to 848 N/mm².

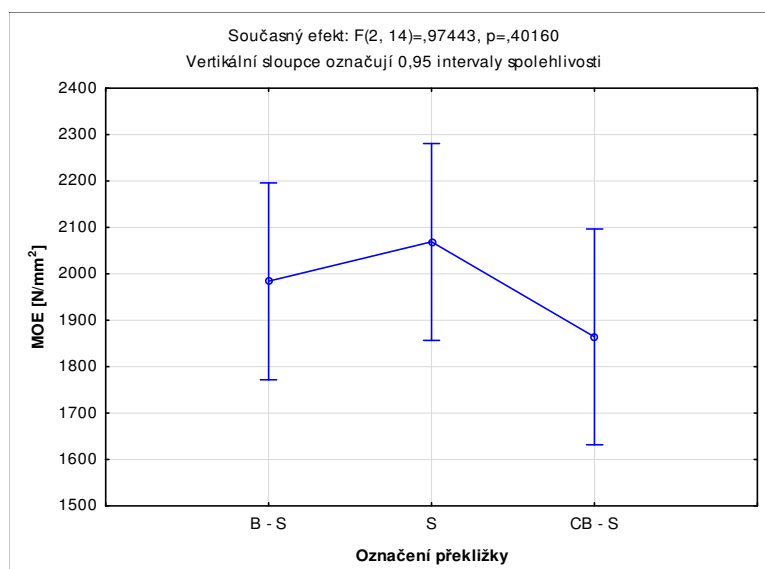
Všechny překližky byly rozděleny do 3 skupin podle středových vrstev. Pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) byla zjištěna pro celobukové překližky hodnota $p = 0,0085$, pro překližky se smrkovou středovou vrstvou $p = 0,4016$ a pro překližky s topolovou středovou vrstvou $p = 0,0000$. V případě, že je $p < \alpha (0,05)$, nulová hypotéza o shodě středních hodnot se zamítá. Z toho plyne, že alespoň jedna střední hodnota se staticky odlišuje od ostatních.

Na obrázcích č. 8, 9 a 10 vidíme grafy jednofaktorové Anovy. V případě, že se v horizontálním směru překrývají vertikální sloupce, které označují 0,95 intervaly spolehlivosti, značí to podobnost mezi těmito soubory.

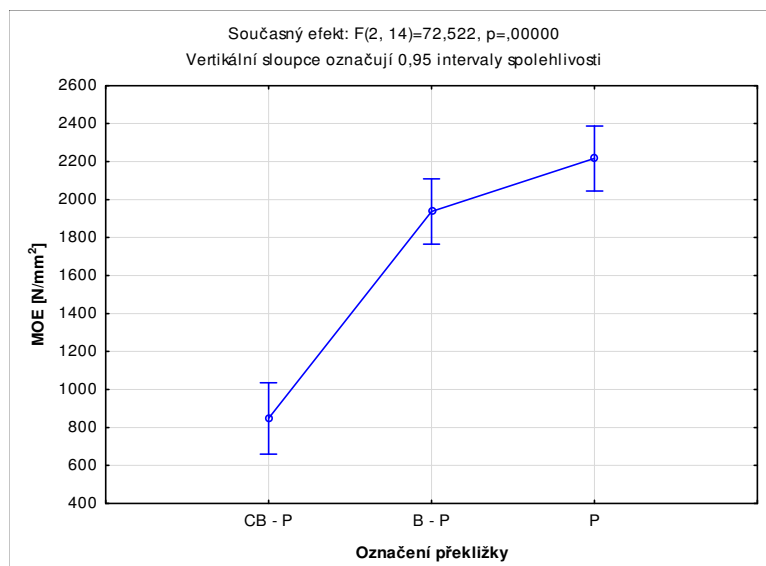
Dále pak můžeme z obr. 16 vyčíst, že modul pružnosti v příčném i podélném směru roste se zvyšující hustotou.



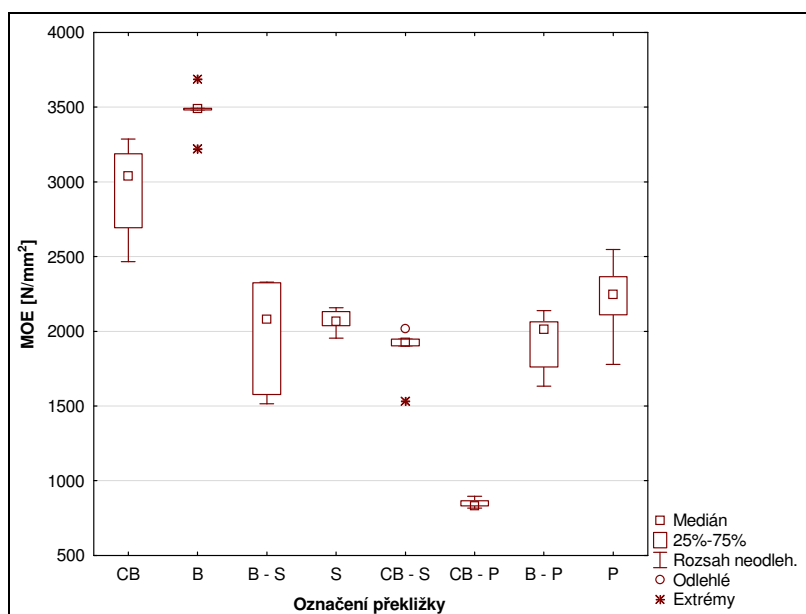
Obr. č. 27: Graf jednofaktorové Anovy – celobukové překližky – MOE příčné vzorky



Obr. č. 28: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva smrk – MOE příčné vzorky

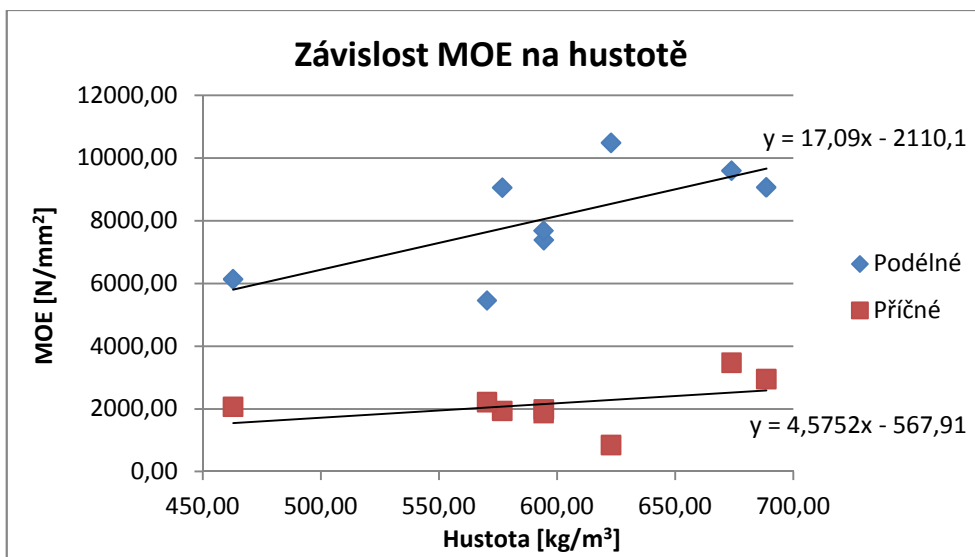


Obr. č. 29: Graf jednofaktorové Anovy – středová vrstva topol – MOE příčné vzorky



Obr. č. 30: Krabicový graf - MOE podélně

Na obr. č. 30 můžeme vidět krabicový graf, který nám dává lepší přehled o naměřených hodnotách modulu pružnosti pro jednotlivé překližky. Obr. č. 31 nám ukazuje závislost modulu pružnosti na hustotě. Z přímek můžeme vyčíst, že jak u podélných, tak u příčných vzorků pevnost roste se zvyšující hustotou.



Obr. č. 31: Závislost modulu pružnosti na hustotě

6 Diskuze

Je třeba zdůraznit, že v daném případě laboratorního experimentu nebyla prováděna žádná z dostupných metod plastifikace dých před jejich lisováním. Dalo se proto předpokládat a prováděnými měřeními se o i potvrdilo, že slisováním bukových dých sice dojde ke zvýšení hustoty dýhy, na zlepšení pevnostních parametrů překližkových souborů se ale tento způsob předlisování výrazně neprojeví.

Lisování suché, neplastifikované dýhy může naopak způsobit větší, či menší destrukci v dýze (narušení celistvosti - praskliny, zborcení buněčné stavby) a tím zhoršení pevnostních parametrů.

To se může projevit následně i v pevnosti slepených překližkových souborů.

Hustota

Jelikož námi vyrobené překližky se skládají pouze z dých a lepidla, které bylo nanášeno u všech ve stejném nánose, je zřejmé, že hustota se bude odvíjet hlavně podle použité dřeviny. Z použitých dřevin má jako masivní sušené dřevo (vlhkost 12%) nejvyšší hustotu buk – uvádí se 720 kg/m^3 . Mezi topolem a smrkem není příliš velký rozdíl v hustotě, smrk má 450 kg/m^3 a topol 420 kg/m^3 .

Nejvyšší hustoty z námi vyrobených překližek dosáhla překližka z předlisovaných bukových dých, které měla hustota $688,55 \text{ kg/m}^3$. O něco menší hustotu měla překližka z bukových dých, které nebyly předlisovány. Zde tedy můžeme vidět efekt předlisování dých. V našem případě se předlisováním povedlo zmenšit tloušťku dých zhruba o 3%. Z výsledků tedy můžeme vyčíst, že použití předlisovaných dých mělo ve všech případech za následek zvýšení hustoty překližky. Mezi překližkami B-S a CB-S však není téměř žádný rozdíl, může to být způsobeno větším množstvím naneseného lepidla, které se nenanášelo žádným automatickým strojem ale ruční válečkovou metodou. Překližky se středovou topolovou vrstvou měly vyšší hustotu než ty s vrstvou smrkovou i když dle hustoty dřeviny by měla mít vyšší hustotu právě smrková překližky. Způsobeno to může být tloušťkou použitých dých, kdy smrkové měly zhruba 2,5 mm a topolové 1,5 mm. To při stejném nánosu lepidla, které má vyšší hustotu (1100 kg/m^3) než obě dřeviny, může hrát velkou roli z důvodu poměru hmotnosti dých ku hmotnosti lepidla.

Pevnost v ohybu

Z obrázku č. 22 můžeme vyčíst, že pevnost v ohybu jak u podélných, tak u příčných vzorků roste se zvyšující se hustotou. Abychom zjistili efekt předlisovaných dých, musíme rozdělit překližky do 3 skupin podle stejných středových vrstev. Celobukové překližky, které měly nejvyšší hustotu, mají i nejvyšší pevnost v ohybu. Vyšší hodnoty dosáhla překližka z nepředlisovaných bukových dých ($89,45 \text{ N/mm}^2$), pouze však o $0,5 \text{ N/mm}^2$. Mezi překližkami se smrkovými dýhami ve středních vrstvách opět dosáhla vyšší hodnoty překližka s povrchovou nepředlisovanou dýhou, i když opět s nepatrným rozdílem oproti předlisované. Obě měly pevnost v ohybu kolem 66 N/mm^2 . Celosmrková překližka pak měla v průměru 48 N/mm^2 . U topolových překližek dosáhla nejvyšší hodnoty překližka s předlisovanými bukovými dýhami a to $78,58 \text{ N/mm}^2$, s nepředlisovanými $70,10 \text{ N/mm}^2$ a topolová $31,52 \text{ N/mm}^2$.

V příčném směru vycházely hodnoty zhruba o polovinu nižší než ve směru podélném. Toto je logické u překližek s malým počtem vrstev, to znamená i u námi vyrobených vzorků. S rostoucím počtem vrstev se hodnoty pevnostních parametrů mezi podélnými a příčnými překližkami přibližují. Zpravidla vycházely v příčném směru vyšší hodnoty u souborů s nepředlisovanými bukovými dýhami než u souborů s předlisovanými.

Modul pružnosti

Mezi námi určenými soubory dosahovaly nejvyšší hodnoty překližky s předlisovanými bukovými dýhami na povrchu. Není tomu jedině v případě celobukových dých, pravděpodobně z důvodu 2 příčných dých v překližce, na něž mělo předlisování horší dopad, než na ty podélné.

V příčném směru se potvrdilo zhoršení vlastností u překližek z předlisovaných dých. Nejvíce to bylo poznat u topolových překližek, kde hodnota byla poloviční oproti překližce s povrchovou nepředlisovanou dýhou.

Z těchto výsledků můžeme vyvodit, že nedošlo k modifikaci dých z důvodu jejich nízké vlhkosti, která se pohybovala okolo 5% a z důvodu, že předlisování dých se neprovádělo za tepla. Sice se u takových dých zvýšila hustota, pravděpodobně však došlo k porušení struktury dřeva a tím se mohly zhoršit jejich ohybové vlastnosti. Při působení tlaku na dýhy lze předpokládat, že se budou vytvářet trhliny spíše v podélném směru vláken, což má pak za následek snížení pevnosti v příčném směru. Povrchová úprava

předlisovanými dýhami tedy měla v podélném směru lehce pozitivní nebo žádný efekt, v příčném směru však můžeme vidět spíše negativní výsledky.

Podobného závěru docílili Král a Klímek (2014), kdy se při výzkumu ohybové vlastnosti v podélném směru zlepšily, v příčném směru však porušení struktury dřeva v povrchové vrstvě zapříčinilo snížení mechanických vlastností.

7 Závěr

Hlavním úkolem této práce bylo experimentálně zjistit fyzikální a mechanické vlastnosti překližek. Zjišťoval se efekt předlisování bukových dýh, které byly následně použity jako povrchová vrstva u pětivrstvých překližek vlastní výroby.

Moje práce ale pozitivní efekt takto slisovaných bukových dýh na pevnostní parametry překližek, kde byly použity, neprokázala.

Předlisování neplastifikovaných dýh - za studena, při nízké vlhkosti - mělo za následek pouze zvýšení hustoty. Teoretický předpoklad, že pevnostní parametry dřeva se s rostoucí hustotou zlepšují, se ale za podmínek lisování v laboratoři, popsáných v předchozích kapitolách, nepotvrdil.

V podélném směru se ohybové vlastnosti mírně zlepšily nebo byly stejné. Příčné vzorky s předlisovanou bukovou dýhou vykazují dokonce horší pevnostní parametry než vzorky z dýh nepředlisovaných.

Využití předlisovaných bukových dýh bez jejich plastifikace v průmyslové výrobě (za podmínek odpovídajících našim laboratorním podmínkám) by se na zlepšení pevnostních parametrů vyrobených překližek neprojeвило, nebo by se projevilo minimálně

Průběh a výsledky práce směřují k závěru, že nutným předpokladem je při zhušťování dřeva (bukové dýhy) za účelem zlepšení jeho pevnostních parametrů plastifikace.

V podmínkách průmyslové výroby překližek by použití dýh modifikovaných slisováním znamenalo do výrobního procesu zařadit další investičně, technicky, energeticky náročnou operaci plastifikace a kontinuálního lisování. To by způsobilo snížení kapacity výroby a zvýšení ceny překližky.

8 Summary

The main goal of this bachelor work was to experimentally determine the physical and mechanical properties of plywood. The effect of pre-pressing beech veneers was investigated. The beech veneers were used as a surface layer to five-layer plywood with its own production.

The positive effect of such compressed beech veneer on the mechanical properties wasn't proved.

Pre-pressing non-plasticized veneers – cold, in low moisture - resulted only with increasing density. Theoretical assumption, that the strength properties of wood with increasing density will improve, wasn't confirmed. It was tested under conditions of pressing in the laboratory, as it described in the previous chapters.

In the longitudinal direction the flexural properties were slightly improved or they stayed the same. Transverse samples with pre-pressing beech veneer showed even worse strength characteristics than the non-pressed veneers.

The progress and results point to the conclusion that the prerequisite is need of plasticizing the plywood in terms of densification of wood (beech veneer) to improve his strength parameters.

In terms of industrial manufacture of plywood with using veneers modified by compressing a process would mean to include additional investment, technically and energy-intensive operation for plasticizing and continuous pressing. This would cause a reduction in production capacity and increase prices of plywood.

9 Seznam použité literatury

1. BöhM, M., Reisner, J., Bomba, J. (2012) Materiály na bázi dřeva. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2251-6.
2. HRÁZSKÝ, J. -- KRÁL, P. Effects of the thickness of rotary-cut veneers on properties of plywood sheets. Part 1. Compressibility of plywood materials. *Journal of Forest Science*. 2005. sv. 51, č. 9, s. 403--411. ISSN 1212-4834.
3. JANÁK, K., KRÁL, P. Technologie I: pro studijní obor Nábytkářství. 1. Vydání. Praha: Informatorium, 2003. 204 s. ISBN 80-7333-003-2.
4. KRÁL, P. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.
5. KRÁL, P.; KLÍMEK P., Utilization of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) wood in plywood production using different processing pressures. *Journal of Forest Science*. 2014. sv. 60, č. 12, s. 495--499. ISSN 1212-4834. URL: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/138087.pdf>
6. MERENDA, Lukáš. Lisování smrkového dřeva v transverzálním směru a modifikace jeho materiálových vlastností pomocí dielektrického ohřevu a vysoké teploty. Brno, 2009. 129 s. Diplomová práce. MZLU Brno.
7. ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva: (cvičení)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7375-168-5.
8. TRÁVNÍK, Arnošt. Výroba dřevěného nábytku - část 3.. Brno : Ediční středisko MZLU v Brně, 2003. 200 s. ISBN 80-7157-653-0

Normy:

ČSN EN 326-1: Desky ze dřeva – Odběr vzorků, nařezání a kontrola – Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky

ČSN EN 322: Desky ze dřeva. Zjišťování vlhkosti.

ČSN EN 323: Desky ze dřeva. Zjišťování hustoty.

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

Přílohy

Příloha č. 1: Měření ohybových vlastností pro překližku CB

Označení vzorku	F_{max}	$\epsilon - F_{max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
1P1	1737,87	9,48	697	96,22	9543,21
1P2	1754,57	8,37	694	94,3	9768,51
1P3	1592,29	9,17	672	83,77	7985,94
1P4	1636,53	8,29	671	82,9	8713,34
1P5	1792,6	7,36	676	87,91	9266,02
1K1	930,49	24,28	697	50,7	3187,06
1K2	866,13	15,11	698	47,37	3286,31
1K3	881,09	22,97	677	46,41	3057,72
1K4	646,15	8,96	678	32,69	2692,36
1K5	439,54	12,36	666	22,25	2466,02

Příloha č. 2: Měření ohybových vlastností pro překližku B

Označení vzorku	F_{max}	$\epsilon - F_{max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
2P1	1868,41	12,13	674	90,03	9431,68
2P2	1800,38	10,26	684	86,57	9420,61
2P3	1847,77	9,49	687	89,19	10345,68
2P4	1886,24	10,57	674	92,46	9285,63
2K1	1024,65	17,35	681	50,31	3490,19
2K2	951,56	14,05	685	46,78	3492
2K3	1076,07	16,84	685	51,11	3687,05
2K4	1059,54	18,46	674	50,52	3480,13

Příloha č. 3: Měření ohybových vlastností pro překližku B-S

Označení vzorku	F_{max}	$\epsilon - F_{max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
3P1	1109,29	5,56	574	59,81	7857,69
3P2	1032,7	8,47	560	56,52	7151,07
3P3	1231,44	7,67	555	66,23	7243,56
3P4	1273,06	11,07	593	71,61	7160,36
3P5	1367,23	12,84	608	78,19	7579,86
3K1	482,03	12,14	548	24,9	2144,04
3K2	572,09	10,38	570	30,48	2328,68
3K3	594,21	13,58	572	32,86	2324,15
3K4	418,47	10,78	587	22,43	1514,53
3K5	324,47	8,27	600	18,77	1577,17

Příloha č. 4: Měření ohybových vlastností pro překližku S

Označení vzorku	F_{\max}	$\epsilon - F_{\max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
4P1	836,93	8,76	483	49,73	6747,19
4P2	814,02	6,37	426	40,01	4750,64
4P3	802,57	6,28	460	42,64	5275,03
4P4	906,97	6	486	53,35	7001,47
4P5	929	8,03	474	53,7	6704,74
4K1	359,88	7,46	466	20,57	2037
4K2	446,36	12,69	461	24,43	1954,49
4K3	536,07	12,1	466	28,66	2130,88
4K4	520,85	11,73	464	29,04	2157,78
4K5	495,93	11,55	441	26,64	2050,23

Příloha č. 5: Měření ohybových vlastností pro překližku CB-S

Označení vzorku	F_{\max}	$\epsilon - F_{\max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
5P1	1113,14	8,44	576	59,67	7309,34
5P2	999,21	9,2	617	59,29	7681,04
5P3	1238,78	10,28	604	70,41	8207,96
5P4	1314,07	10,39	584	71,01	7512,9
5K1	393,46	15,38	567	21,71	1530,49
5K2	441,72	8,97	584	24,87	2016,74
5K3	410,86	9,09	591	23,73	1925,09
5K4	453,88	10,92	591	26,31	1947,28

Příloha č. 6: Měření ohybových vlastností pro překližku CB-P

Označení vzorku	F_{\max}	$\epsilon - F_{\max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
6P1	1402,46	7,06	612	99,2	10869
6P2	1323,68	6,56	594	91,31	10376,89
6P3	443,56	1,78	588	29,84	9789,18
6P4	826,96	4,02	605	58,53	9231,79
6P5	1368,98	6,68	614	97,64	10910,95
6P6	1370,2	5,83	616	94,96	11751,4
6K1	257,58	21,97	629	18,98	866,13
6K2	149,6	7,44	618	10,83	896,3
6K3	236,16	14,06	613	16,52	816,07
6K4	134,74	9,24	593	9,09	831,49

Příloha č. 7: Měření ohybových vlastností pro překližku B-P

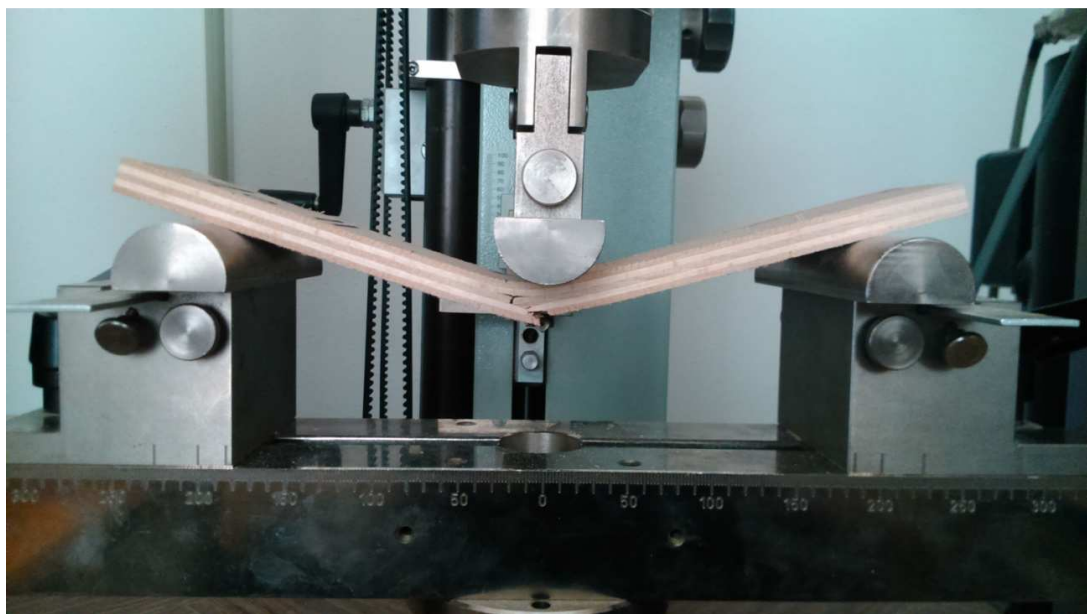
Označení vzorku	F_{\max}	$\epsilon - F_{\max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
7P1	371,95	1,7	579	31,81	8438,01
7P2	902,16	5,33	597	84,61	8931,91
7P3	597,71	2,29	554	48,22	9378,67
7P4	924,72	5,64	594	85,92	9331,42
7P5	929,18	5,98	596	87,88	9164,73
7K1	182,74	4,95	567	15,27	2043,77
7K2	83,68	1,94	568	7,12	1761,89
7K3	60,94	3,29	590	5,6	1632,1
7K4	161,41	3,64	600	15,11	2062,4
7K5	223,48	5,31	618	22,05	2138,32

Příloha č. 8: Měření ohybových vlastností pro překližku P

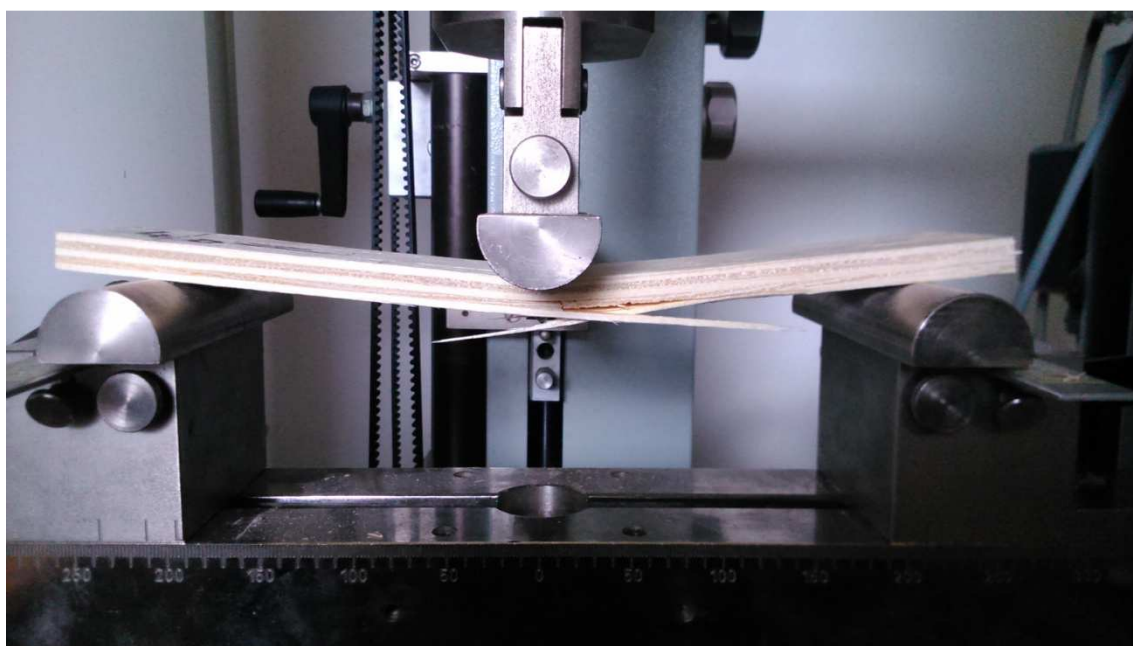
Označení vzorku	F_{\max}	$\epsilon - F_{\max}$	Hustota	MOR	MOE
Jednotka	N	mm	kg/m ³	N/mm ²	
8P1	335,93	6,59	522	31,77	1696,19
8P2	278,22	2,07	510	27,7	6018,8
8P3	86,82	0,86	515	8,97	4170,16
8P4	329,98	2,23	525	34,19	6462,31
8P5	224,18	1,62	534	23,47	7322,85
8P6	627,96	4,81	524	63,03	7078,97
8K1	132,06	8,15	553	34,29	2546,64
8K2	126,35	9,05	547	33,68	2366,41
8K3	90,5	5,82	550	24,12	2110,85
8K4	133,52	6,94	537	32,47	2278,26
8K5	97,85	4,87	489	20,8	1777,84
8K6	127,65	8,96	548	34,29	2216,34

Příloha č. 9: Rozměry tělísek pro ohybové zkoušky

Překližka	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	Průměr	Délka vzorku [mm]	Šířka [mm]
CB	10,88	10,21	10,62	10,01	10,43	258,6	50
B	11,95	11,94	12,35	12,04	12,07	291,4	50
B-S	10,36	9,81	10,28	10,55	10,25	255	50
S	9,93	10,67	10,4	10,99	10,50	259,95	50
CB-S	10,03	9,86	9,71	9,92	9,88	247,6	50
CB-P	8,56	8,79	7,91	8,64	8,48	219,5	50
B-P	6,61	6,62	7,5	7,2	6,98	189,65	50
P	6,2	6,26	6,34	6,23	6,26	175,15	50



Příloha č. 10: Porušení zkušebního tělíska na ohyb v příčném směru



Příloha č. 11: Porušení zkušebního tělíska na ohyb v podélném směru