

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA**

Ústav nauky o dřevě



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

**Návrh, výroba a charakterizace překližované  
desky s využitím skelného vlákna v povrchových  
vrstvách**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

doc. Dr. Ing. Pavel Král

Vypracoval:

Svatoň Kryštof

Brno 2015



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Návrh, výroba a charakterizace překližované desky s využitímskelného vlákna v povrchových vrstvách** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce panu doc. Dr. Ing. Pavlu Královi za čas, ochotu a cenné rady, které mi věnoval v průběhu vypracování této práce. Dále bych také rád poděkoval panu Ing. Petru Klímkovy a panu Ing. Davidu Děckému za jejich čas při výrobě a testování zkušebních vzorků a za jejich cenné rady při zpracování teoretické i praktické části mojí bakalářské práce.

## **Abstrakt**

**Autor:** Kryštof Svatoň

**Název bakalářské práce:** Návrh, výroba a charakterizace překližované desky s využitím skelného vlákna v povrchových vrstvách

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou a možností vyztužení překližovaných materiálů pomocí sklených vláken, za účelem zlepšení mechanických vlastností.

První část práce se zabývá vlastnostmi překližek, přípravou suroviny a samotnou výrobou překližek. Dále používanými materiály na výrobu, možnostmi výztuže a dnes vyráběným překližkám s výztužnými materiály.

V druhé části je zmíněny použité postup výroby a způsob testování vzorků na hustotu, bobtnání, ohyb a smykovou pevnost středové dýhy a lepené spáry. Následuje samotné statické vyhodnocení výsledku

**Klíčová slova:** Překližka, skelná vlákna, buk, smyková pevnost, modul pružnosti, pevnost v ohybu

## **Abstract**

**Author:** Kryštof Svatoň

**Name od bachelor thesis:** Design, production and charecterization of plywood reinforced with fiber-glass in outer layers

Bachelor thesis is dealing with manufacturing of plywood with fiberglass reinforcement. Therein fiberglass is propose to increase mechanical properties.

Firstly short review of plywood production, common plywood properties characterization and plywood board properties is of interest. Furthermore the focus was on current possibilities of plywood board reinforcement considering plywood.

Secondly the own plywood composition is designed and full method of production, sample preparation and panel testing is described. Density, swelling, bending properties and shear strength of central ply and bonding strength was specified according to EN standards. In the end the results are statistically evaluated, summarized and discussed.

**Key word:** Plywood, fiber-glass, beech, shear strength, modulus of elasticity, modulus of rupture

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| 1. Úvod .....  | 9  |
| 2. Cíl práce.....  | 10 |
| 3. Literární přehled .....                                       | 11 |
| 3.1. Co jsou to překližované desky .....                         | 11 |
| 3.2. Postup výroby překližovaných desek.....                     | 12 |
| 3.2.1. Příprava suroviny .....                                   | 12 |
| 3.2.2. Výroba dýh .....  | 14 |
| 3.3. Výroba překližek.....                                       | 15 |
| 3.3.1. Příprava a nanášení lepicí směsi .....                    | 15 |
| 3.3.2. Skládání souborů.....                                     | 16 |
| 3.3.3. Předlisování .....  | 16 |
| 3.3.4. Lisování .....  | 17 |
| 3.3.5. Dokončovací práce .....                                   | 17 |
| 3.4. Používané materiály pro výrobu překližovaných desek.....    | 18 |
| 3.5. Vliv složení překližovaných desek na vlastnosti .....       | 20 |
| 3.6. Možné výztuže překližovaných desek .....                    | 22 |
| 3.6.1. Skelná vlákna.....  | 22 |
| 3.6.2. Uhlíková vlákna.....                                      | 23 |
| 3.7. Současné překližované desky s vyztužujícími materiály ..... | 25 |
| 4. Metodika.....   | 26 |
| 4.1. Vstupní materiály .....                                     | 26 |
| 4.2. Laboratorní výroba překližovaných desek .....               | 26 |
| 4.3. Stanovení mechanických vlastností .....                     | 28 |
| 4.3.1. Ohyb (EN 310).....  | 28 |
| 4.3.2. Smyková pevnost lepení (EN 314-1).....                    | 30 |
| 4.3.3. Hustota (EN 323) .....                                    | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.4. Bobtnání (EN 317).....  | 32 |
| 5. Vyhodnocení výsledků .....  | 33 |
| 5.1. Naměřené hodnoty hustoty zkušebních těles dle ČSN 323 .....                                   | 33 |
| 5.2. Naměřené hodnoty bobtnání zkušebních těles dle ČSN 317 .....                                  | 34 |
| 5.3. Naměřené hodnoty modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu dle ČSN 310<br>37                |    |
| 5.4. Naměřené hodnoty smykové pevnosti dýhy a smykové pevnosti lepené spáry<br>dle ČSN 314-1 ..... | 44 |
| 6. Diskuze .....   | 49 |
| 7. Závěr.....  | 52 |
| 8. Summary.....  | 53 |
| 9. Literatura .....  | 54 |
| Seznam obrázků.....  | 57 |
| Seznam tabulek .....   | 60 |
| Seznam vzorců.....   | 62 |
| Seznam schémat.....  | 62 |
| Přílohy.....   | 63 |



# 1. Úvod

Dřevo jako materiál se používá již od nepaměti. Ať už se bavíme o prvních nástrojích použitých k lovu zvěře, prvních pluzích použitých k obdělávání půdy nebo prvních obydlích, do kterých se mohli naši předci schovat před nepřízní počasí. Nic z toho by nebylo možné nebýt dřeva. Je zřejmé, že role dřeva pro naše přežití byla z historického hlediska naprosto klíčová a nebude tomu jinak ani v budoucnosti. V dnešní době si každý velmi dobře uvědomuje, že zásoby neobnovitelných surovin se tenčí každým dnem a právě proto budoucnost bude patřit materiálům, které jsou z obnovitelných zdrojů, mezi které patří právě dřevo. Ovšem každá karta má dvě strany. Dřevo má i své neduhy a vlastnosti, kterým je třeba věnovat pozornost při dalším efektivním zpracování.

Dřevo je anizotropní a nehomogenní materiál, což jsou vlastnosti, které mají velmi výrazný vliv na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Velmi zjednodušeně to znamená, že každý kousek dřeva, byť ze stejného kmene, se může chovat naprosto odlišně. Další nepříjemnou vlastností je rozdílné chování dřeva při různých vlhkostech a aby toho nebylo málo, surová kulatina má velmi omezené možnosti i co se rozměrů týče. Bohužel toto jsou všechno vlastnosti, které nahrávají konkurenčním materiálům a právě proto, je potřeba se zajímat o způsoby a cesty jak vytvořit materiály na bázi dřeva, které jsou schopny minimalizovat tyto negativní vlastnosti a zároveň co nejlépe využít vlastnosti pozitivní.

Jednou z mnoha možností jsou překližované materiály, kterými se budu v této práci zabývat. Vyrábí se pomocí slepení několika dýhových listů tak, že dřevní vlákna sousedních dýh jsou na sebe kolmá a svírají úhel  $90^\circ$ . Počet dýhových listů bývá zpravidla lichý, jelikož jednotlivé vrstvy musí být vzhledem ke střední symetricky uspořádány. Tím nám vznikne materiál na bázi dřeva, který má velmi dobré mechanické vlastnosti. Vlivem na sebe kolmému kladení dýhových listů se vyruší anizotropní chování a navíc velkou výhodou je, že se tyto kompozitní materiály dají vyrábět i ve velkoplošných rozměrech. V kombinaci s dalšími materiály, jakými mohou být například mnou použita skelná vlákna, je možné tyto překližované desky vyztuzit a tím ještě dále výrazně zlepšit mechanické vlastnosti.

## 2. Cíl práce

Cílem této práce je experimentální vývoj bukové překližky vyztužené skelnou textili v povrchových vrstvách z důvodu maximální funkce výztuže s ohledem na zlepšení ohybových vlastností.

Teoretická část této práce bude věnována samotným vlastnostem překližovaných materiálů, technologii výroby, dnes používaným možnostem vyztužení překližovaných materiálů a jejich zástupcům.

V praktické části už bude probíhat stanovení mechanických vlastností této překližky a to především ohybových vlastností. Kromě ohybových vlastností bude zjištěna také hustota, bobtnání a stanovena smyková pevnost střední dýhy a krajní lepené spáry. Výsledky budou následně statisticky vyhodnoceny a srovnány s literaturou a dalšími dnes používanými velkoplošnými materiály.

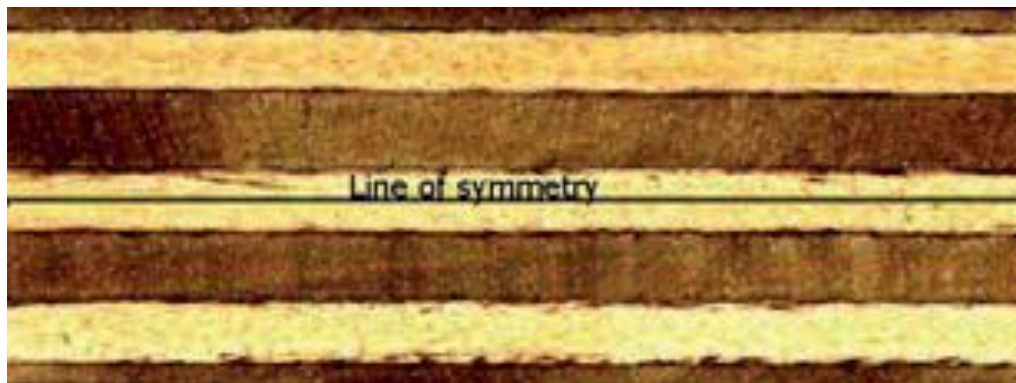
### 3. Literární přehled

Cílem literárního přehledu je seznámit čtenáře s tím, co to překližované desky jsou, proč se vlastně vyrábí a jaké mají výhody proti surovému dřevu. Dále je zde popsána samotná výroba těchto desek a co jednotlivé kroky zahrnují v běžném průmyslovém procesu, z jakých materiálů se vyrábí a jaké od nich můžeme očekávat vlastnosti. Část je také zaměřena na možnosti vyztužení překližovaných desek a jejich současný stav na trhu.

#### 3.1. Co jsou to překližované desky

Překližky se řadí mezi vrstvené materiály a jsou vyrobeny slepením několika dýhových listů na sebe, tak aby směr dřevních vláken sousedících dýh svíral úhel  $90^\circ$  a zároveň je u nich dodrženo pravidlo symetrie, které zahrnuje následující požadavky:

1. Na každou stranu od centrální osy symetrie překližky musí být stejný počet vrstev dýh. Osa symetrie těchto dýh musí mít stejnou vzdálenost od centrální osy symetrie.
2. Osa středové vrstvy musí být totožná s centrální osou symetrie. Počet vrstev v překližce musí být tedy lichý.
3. Vrstvy dýh, které jsou uloženy ve stejné vzdálenosti od centrální osy symetrie, musí být ze stejného druhu dřeviny a musí mít stejnou tloušťku.
4. Symetricky uložené dýhy musí být vyrobeny stejným způsobem. Musí mít stejný průběh vláken a stejné fyzikální a mechanické vlastnosti. (Král, 2005)



**Obrázek 1:** Osa symetrie uprostřed překližky (Thoemen 2000)

Důvod pro to je ten, že dřevo je anizotropní, nehomogenní materiál a má rozdílné vlastnosti ve třech základních anatomických směrech: podélném, příčném a tangenciálním. Pokud dřevo například vysušíme a necháme ho opět nasáknout vodou, tak začne bobtnat, ale nezmění svoje rozměry rovnoměrně, nejvíce nabobtná ve směru tangenciálním, méně ve směru radálním a nejméně ve směru podélném (nejčastěji se pro bobtnání uvádí poměr 20:12:1 - T:R:L). Značné rozdíly dřevo vykazuje i při mechanickém zatížení v různých směrech (Thoemen 2000). Při dodržení pravidla symetrie a kolmého kladení dýhových listů tedy docílíme částečného vyrušení anizotropního chování dřeva, což znamená stejnoměrnější mechanické vlastnosti a větší odolnost vůči vnějším vlivům. Vlastnosti překližek se dají velmi dobře regulovat použitím různých dřevin, volbou počtu vrstev a tloušťky jednotlivých dýh, případně volbou lepidla. Dále je zde celá škála použitelných povrchových úprav, které kromě estetického hlediska mohou mít opět kladný vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti (Böhm 2012).

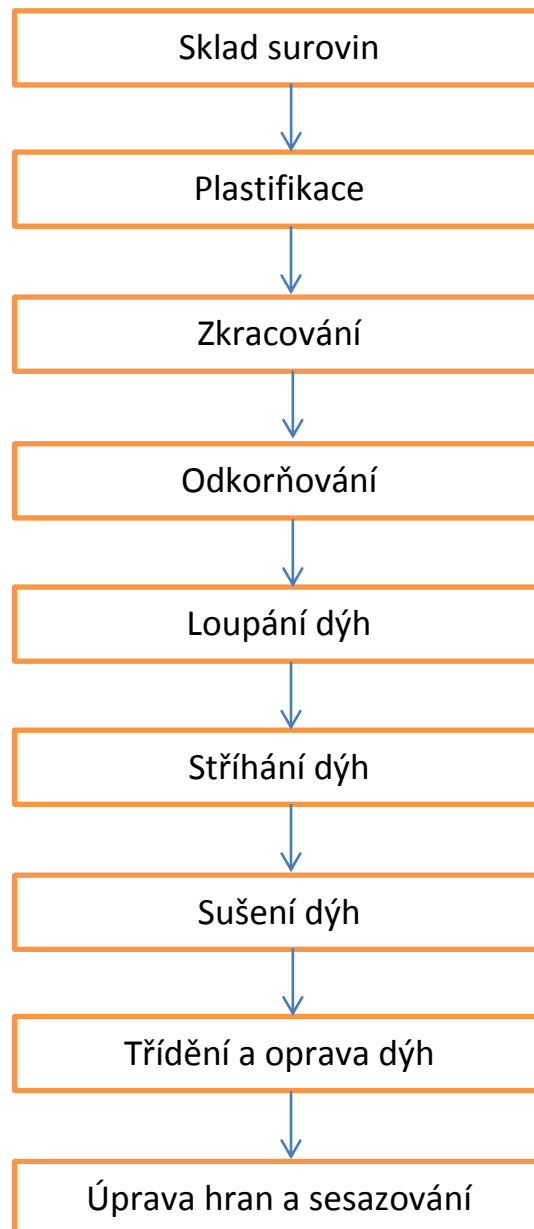
## **3.2. Postup výroby překližovaných desek**

### **3.2.1. Příprava suroviny**

Prvním krokem při výrobě překližek je už samotná příprava suroviny jelikož kvalita překližky je značně závislá na kvalitě dýh, ze kterých je vyrobena (Thoemen 2000).

Tudíž celá výroba začíná kácením kulatiny a převozem na sklad. Surovou kulatinu je třeba skladovat ve vhodných podmínkách tak, aby nedocházelo k výsušným trhlinám, zbarvení dřeva, napadení houbami a dalším velmi častým vadám, které znehodnocují nebo přímo znemožňují následnou výrobu dýhy. Před tím než můžeme začít se samotnou výrobou dýhy je třeba kulatinu připravit aby byl výsledek co nejlepší a povrch dýhy byl hladký a rovný. Z toho důvodu se provádí tzv. plastifikace, tedy proces při němž vystavíme kulatinu po určitou dobu teple a vlhkosti, většinou se jedná o páru (Plastifikace není u měkkých dřevin bezpodmínečně nutná, ale pro zvýšení kvality se doporučuje). Díky tomu dřevo změkne, stává se „plastické“ čímž zajistíme, že se dýha po odříznutí nevrátí do původní polohy, ale zůstane rovná (Kráal, 2005). Po plastifikaci následuje zkracování, které se nejčastěji provádí mobilní nebo stacionární řetězovou pilou (Böhm 2012).

Vzhledem k tomu, že se dýha krájí nebo loupe pomocí ostrých nožů, které mohou být velmi snadno poškozeny tvrdými objekty jako jsou kamínky, špína, hřebíky atd. posledním z přípravných kroků před samotným loupáním dýhy je odkorňování (Thoemen 2000).



**Schéma 1:** Schéma výroby dýh (Král 2005)

### 3.2.2. Výroba dých

Existují tři základní způsoby výroby dýhy: loupání, krájení a řezání. Při výrobě dých krájením se jednotlivé dýhy z výřezu oddělují jedna za druhou pomocí krájecího nože a nevzniká žádný odpad ve formě pilin, nevýhodou je, že formáty krájených dých odpovídají rozměrům výřezu použitého k výrobě, je to velmi málo používaný způsob. Řezání je prováděno pomocí tenkých pilových listů, je to zastaralá metoda a dnes už se používá jen výjimečně a to pro speciální typy výrobků. (Böhm 2012). Nejpoužívanějším způsobem výroby je loupání. Loupáním rozumíme dělení dřeva v rovině rovnoběžné s vlákny – probíhající ve spirále. Loupání dosáhneme otáčením výřezu, upnutého na dvou čelních plochách mezi čelisti, kolem vlastní osy. Dýha je loupána z výřezu ve formě nekonečného pásu. Délka pásu závisí na průměru loupáného výřezu a tloušťce dýhy.

Po výrobě dýhy následuje stříhání. Stříhání provádíme ve směru vláken a jeho účel je získání požadovaného formátu a vyloučení míst s vadami. Většinou je prováděno v mokřem stavu, ale může být prováděno i v suchém. Tudiž ve většině případů je dalším krokem po nastříhání dýhy sušení. Dýhy se suší na konečnou vlhkost pod 10% (až 4% pro použití do voděvzdorných překližek) což znamená, že není možné používat přirozené sušení, ale je třeba používat umělé sušení. Po vysušení je třeba dýhy roztřídit podle rozměrů, druhu dřeviny a jakosti. Následně se provádí úprava hran a sesazování, což jsou poslední dva kroky před umístěním dýhy na sklad. Hrany se upravují nejčastěji frézováním, abychom je mohli sesadit. Samotné sesazování je spojování dých do větších formátů pomocí slepení jejich hran. Po sesazení jsou dýhy převezeny na sklad dých a připraveny na samotnou výrobu překližky (Král 2005).



**Obrázek 2:** Loupání dýhy (Thoemen 2000)

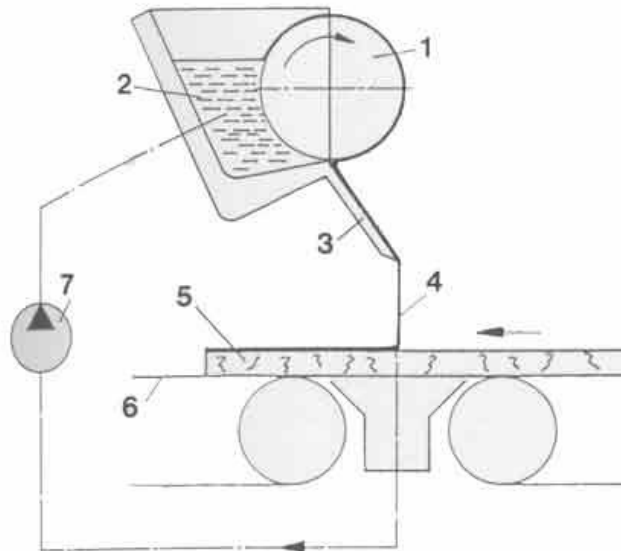
### 3.3. Výroba překližek

#### 3.3.1. Příprava a nanášení lepicí směsi

První krok při výrobě samotné překližky je příprava/výběr lepicí směsi a její nanášení na povrch dýhy. Aplikace lepidel na povrch dýhy v průběhu výroby je jeden z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících vlastnosti překližky. Interakce mezi lepidlem a povrchem dýhy závisí na typu lepidla a kvalitě povrchu dýhy. Drsnost povrchu dýhy také hraje důležitou roli v hloubce penetrace lepidla do dýhy, rovnoměrném rozvrstvení lepidla a síle spoje mezi dýhami. Zlepšení povrchové drsnosti dýhy zlepšuje vazbu lepidla v průběhu lisování. Přijatelných pevnostních vlastností překližek nemůže být docíleno pokud nejsou dýhy obroušeny aby měly hladký povrch. (Bekhta, 2008). Dále je velmi důležité dodržet maximální vlhkost dýhy a teplotu lisování pro daný typ použitého lepidla. Při správném lepení by mělo samotné lepidlo převyšovat smykovou pevnost lepeného dřeva. Kvalitu lepeného spoje ovlivňují dva hlavní faktory:

**Koheze** – Působení přitažlivých mezimolekulárních sil na rozhraní mezi lepidlem a povrchem lepeného materiálu

**Adheze** – Vnitřní soudržnost stejnorodých molekul, tj. vnitřní soudržnost lepidla. (Král, 1993)



**Obrázek 3:** - Polévací nanášečka: 1 - nanášecí válec, 2 - zásobník lepidla, 3 - nanášecí hrana, 4 - lepicí směs, 5 - dýha s naneseným lepidlem, 6 - unášecí pás, 7 – čerpadlo

(<http://fld.czu.cz/~bohmm/preklizky.htm>)

Typy lepidel, které se nejčastěji se používají jsou na bázi formaldehydu a to sice močovinoformaldehydová lepidla (UF), fenolformaldehydová (PF) a melaninoformaldehydová (MF). Obecně je u těchto lepidel velký problém s emisemi, tudíž se v dnešní době stále častěji experimentuje s lepidly, které jsou na přírodní bázi. Například na bázi sójového proteinu, které byly dříve velmi používané, ale později začaly být nahrazovány syntetickými pryskyřicemi. Poslední dobou se s nimi opět experimentuje jako s šetrnější alternativou pro životní prostředí. (Lei 2014).

Jsou čtyři nejběžnější způsoby nanášení lepidla: nanášení lepicí směsi válcovými nanašečkami (jedná se o nejpoužívanější způsob), nanášení lepicí směsi poléváním, nanášení lepicí směsi vytlačováním a nanášení lepicí směsi rozprašováním. Spotřeba lepidla při výrobě závisí na druhu lepidla a dřeviny. Pro kvalitní lepení postačuje velikost nánosu  $70 \text{ g.m}^{-2}$ . Spotřeba močovinoformaldehydových lepidel se pohybuje v mezích 150 až  $240 \text{ g.m}^{-2}$ . Spodní hranice se používá pro tenké dýhy a listnaté dřeviny a o něco vyšší nánosy se uplatňují pro jehličnaté dýhy. Pro fenolformaldehydová lepidla platí stejné zásady, přičemž velikost nánosu lepidla by se měla pohybovat v rozmezí 130 až  $180 \text{ g.m}^{-2}$  (Král, 2005).

### **3.3.2. Skládání souborů**

Po nanesení lepicí směsi na dýhy přichází na řadu skládání souborů. V zásadě jsou pouze dva způsoby skládání souborů a to sice skládání ruční a skládání mechanické. Při skládání je třeba dbát na dodržení pravidla symetrie, které je popsáno výše.

### **3.3.3. Předlisování**

Předlisováním překližek za studena rozumíme stlačení dýhových souborů téměř na konečnou tloušťku bez toho, že dojde ke konečnému vytvrzení lepidla. Pro předlisování Král (2005) uvádí tyto důvody:

- se získanými předlisky je snazší manipulace
- umožňuje zmenšení vzdálenosti mezi sousedními lisovacími deskami
- nemusí se používat lisovací plechy, zmenšuje se borcení překližek
- zkracuje se lisovací čas, adheze lepidla a dřeva je dokonalejší



### 3.3.4. Lisování

Po předlisování následuje samotné lisování. Pomocí lisování docílíme dočasné fixace složených souborů, aby mohlo lepidlo vytvrdnout. Jsou čtyři základní parametry lisování, které ovlivňují výslednou kvalitu vyráběné překližky:

**Doba vkládání do lisu (otevřená doba)** – je doba, která uplyne od vložení prvního souboru do lisu po vyvození lisovacího tlaku. Je třeba ji minimalizovat, protože lepidlo začne po určité době kondenzovat. Většinou se pohybuje v řádu desítek minut .

**Lisovací čas** – je doba, během které je překližovaný materiál uzavřen v lisu pod účinkem tlaku a teploty. Většinou se pohybuje v řádu minut pro termoreaktivní lepidla, popř. až v řádu hodin pro lisování za studena. Čas je kromě typu lepidla ovlivněn i tloušťkou lisované překližky z důvodu dostatečného prohřátí, velikostí nánosu , teplotou lisovacích desek a velikostí lisovacího tlaku.

**Lisovací teplota** – dosažení správné teploty v lepené spáře je klíčové ke správnému vytvrzení lepidla, moc nízká teplota může způsobit nedostatečné vytvrzení, stejně tak jako moc vysoká může vést až k rozkladu lepidel a poškození desek. Teploty se většinou pohybují v rozmezí 100 až 150 C° dle druhu lepidla, ale s některými lepidly je možné lisovat i za studena.

**Lisovací tlak** – je tlak, který je potřeba vyvinout k tomu, aby k sobě byly dýhy dostatečně ztlačeny a vznikla tak pevná vrstva lepidla. Opět záleží na typu lepidla a druhu dřeviny, kterou lisujeme. Při lisování za studena se používají tlaky od 0,7 do 1,4 MPa. Při lisování za tepla se např. pro bukové překližky používá tlak od 1,8 do 2,0 MPa oproti tomu pro jehličnaté překližky 1,0 až 1,3 MPa. (Král, 1993)

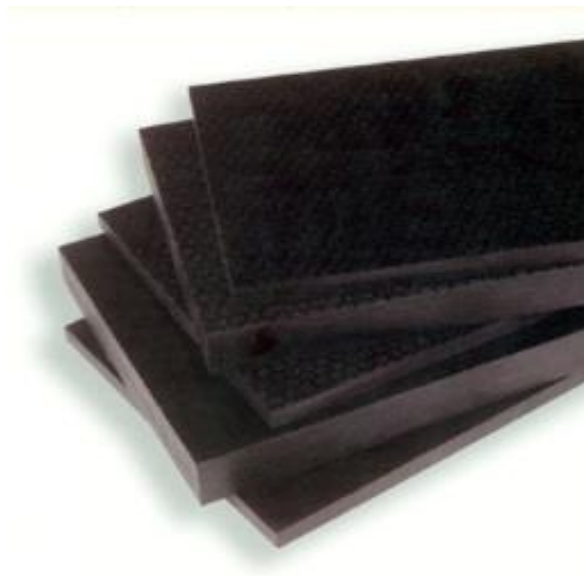
### 3.3.5. Dokončovací práce

Po vytažení z lisu jsou desky ořezány tak, aby měly rovné hrany a pravoúhlé rohy. Často bývají desky ještě broušeny z důvodu kalibrace rozměrů (Thoemen 2000). Při výrobě mohou vznikat také vady, které je potřeba opravit. Může se jednat například o drobné trhlinky, které se pouze zatmelují nebo o větší vady jako jsou například otvory po sucích, kde je potřeba použít záplatu a desku znovu zalisovat. Poté už následuje pouze třídění podle kvality, rozměrů popř. druhu překližky a skladování (Král 2005) .

### 3.4. Používané materiály pro výrobu překližovaných desek

Obecně je třeba na výrobu překližovaných desek používat materiály a především dýhy o vysoké jakosti. U nás se z listnatých dřevin nejčastěji používá buk, bříza, olše a topol. Z jehličnatých dřevin to je zejména smrk, jedle a borovice (Král, 2005). Vzhledem k tomu, že poslední dobou začíná být v dřevozpracujícím průmyslu nedostatek dříví velký problém a spousta firem má problémy s dodávkou surové kulatiny, začínají se stále více používat i alternativní materiály jako je například biomasa z palmy (Khalil 2009). V dnešní době se samozřejmě tyto desky kombinují i s velkou řadou dalších nedřevěných materiálů, což vede k zlepšení některých jejich vlastností a právě od vlastností, které chceme zlepšit se výrazně odvíjí použité materiály. Mezi vlastnosti, které chceme nejčastěji zlepšit patří:

**Voděodolnost** – používají se plastové, laminátové popř. další voděodolné fólie do povrchových vrstev. Další možností jsou voděodolné nátěry, které se často s fóliemi kombinují.



**Obrázek 4:** Dyas film - překližovaná voděvzdorná deska lepená fenol-formaldehydovým lepidlem. Z obou stran je chráněna proti působení vody fenolickou folií o gramáži 150g/m<sup>2</sup> a hrany jsou opatřeny ochranným vodovzdorným nátěrem. (Dyas.cz)

**Antivibrační a zvukoizolační vlastnosti** – nejčastěji se používá pryž popř. další dřeviny a průžné materiály s vysokou hustotou.



**Obrázek 5:** Dyas absorption celobukova překližovaná deska, která obsahuje speciální vrstvu technické pryže o tloušťce cca 3mm (Dyas.cz)

**Zlepšení mechanických vlastností** – lze nejlépe ovlivnit vhodným výběrem dřeviny, velmi často se používá např. buk. Z dalších materiálů se nejčastěji se používá laminát do povrchových vrstev. Další možnosti jsou uhlíková vlákna, keramická vlákna, kevlar nebo skelná vlákna jako v mém případě.



**Obrázek 6:** Dyas multiplex – Mnohvrstvé překližované desky složené z bukových dýh (Dyas.cz)

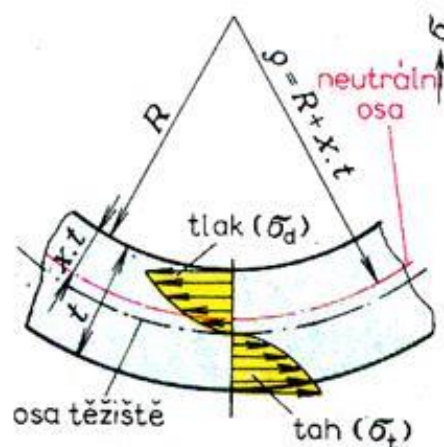
**Snížení hustoty** – zpravidla se do středových vrstev používají lehké pórovité materiály jako je například korek popř. voština, která se používá jako výplň do dvěří.

**Zlepšení dalších vlastností** – ke zlepšení dalších vlastností jako může být například odolnost proti kyselinám, odolnost proti vysokým teplotám popř. protiskluzová odolnost a mnoho dalších se používají speciální materiály a nátěry k tomu určené.

### 3.5. Vliv složení překližovaných desek na vlastnosti

Překližky se skládají ze dvou až tří základních složek a to sice z lepidla, samotné dýhy popř. dalších materiálů jako například výše zmíněné voděodolné fólie. Výsledné vlastnosti se vždy velmi výrazně odvíjí od použité dřeviny a pořadí v jakém jsou v překližované desce poskládány.

Při zatížení tělesa ohybem vzniká v jeho horní části napětí v tlaku a ve spodní části napětí v tahu. Nedeformovatelná část bez normálového napětí se označuje jako neutrální osa (Horáček 2008). Z toho důvodu je důležité, aby dýhy a popř. výztužné materiály s dobrými mechanickými vlastnostmi, byly vždy v povrchových vrstvách. Ovšem stejně tak to znamená i to, že je možné do středových vrstev umístit materiál s horšími mechanickými vlastnostmi. Například Král (2014) dokázal, že překližovaná deska s korkovým jádrem má lepší mechanické vlastnosti při nižších hustotách než běžně vyráběné překližky.



**Obrázek 7:** Rozložení a velikost napětí v materiálu při namáhání ohybem (<http://www.ksp.tul.cz>).

Co se týče namáhání ve smyku, stejně jako u ohybu většinou spolupůsobí další napětí (Matovič 1993). Při zkoušení překližovaných materiálů jsou tělíska speciálně nařezána upravena tak, aby byla zkoušena lepená spára v různých částech překližky. Tudíž zde už velmi záleží na tom jakou část překližky zkoušíme.

**Tabulka 1:** Pevnost v ohybu kolmo na rovinu desky ve směru vláken povrchové dýhy a kolmo na vlákna povrchové dýhy různých typů překližek (Matovič 1993).

| Druh překližky                                 | Pevnost v ohybu kolmo na rovinu desky |                                |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|
|  | s vlákny povrchové dýhy (MPa)         | ⊥ s vlákny povrchové dýhy(MPa) |
| Buková - h = 6mm (5- ti vrstvá)                | 116,3                                 | 61,3                           |
| Buková - h = 8mm (7 vrstvá)                    | 116,3                                 | 72,0                           |
| Jehličnatá - h = 8mm (7 vrstvá)                | 54,8                                  | 18,0                           |
| Kombinovaná, buk - smrk - h = 9mm (5ti vrstvá) | 80,5                                  | 46,8                           |

**Tabulka 2:** Pevnost v horizontálním smyku u různých typů překližek. (Regináč 1990 in Matovič 1993)

| Druh překližky                  | Pevnost v horizontálním smyku (MPa) |        |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------|
|                                 | min.                                | průměr |
| Smrk - h = 5mm (3 vrstvá)       | 6,8                                 | 9,4    |
| Smrk - h = 9mm (5 vrstvá)       | 8,2                                 | 10,4   |
| Smrk - buk - h = 8mm (5 vrstvá) | 10,3                                | 12,2   |
| Gabun - h = 4mm ( vrstvá)       | 11,9                                | 14,1   |

### 3.6. Možné výztuže překližovaných desek

Nejlepší formou výztuže překližovaných desek jsou výztužná vlákna, ať už se jedná o uhlíková vlákna, keramická vlákna nebo skelná vlákna. Všechny tyto materiály vynikají výbornými mechanickými vlastnostmi při velmi nízké hmotnosti. Tyto materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Jejich vlastnosti začnou být zajímavé teprve v kompaktní formě kompozitních materiálů, jak je v tomu například v překližkách (Gottfried 2006).

#### 3.6.1. Skelná vlákna

Skelná textilní vlákna se nejčastěji vyrábí metodou sol/gel to znamená že z disperze (solu) se těkáním rozpouštědla tvoří gel. Tato kapalina je tak viskózní, že se chová jako pevná látka. Tepelným zpracováním za současného dloužení se vytváří kompaktní struktura, což je skleněné vlákno. Další zpracování se nazývá zvlákňování a provádí se přes trysky foukáním, tažením tyčemi a modifikovaným tažením, což je velmi náročný a složitý proces při, kterém se dosahuje vysokých teplot. (Kießling 1996 in Pokorný 2010).



**Obrázek 8:** Skelná textilie (shreeramminerals.com)

Vlastnosti skelného vlákna se zásadně odvíjejí od jeho chem. složení. Existují tři základní druhy. Prvním z nich je E-sklovina (elektrická), která je nejrozšířenější a jak z názvu vyplývá, je výborný elektrický izolant. Další je tzv. C-sklovina (corrosion), která se vyznačuje velkou odolností proti kyselinám a chem. látkám. Poslední a pro nás nejzajímavější je tzv. R-sklovina (Resistance) popř. S-sklovina (Strength). Má vyšší obsah křemičitého písku ( $\text{SiO}_2$ ), oxidu hořečnatého (MgO) a dalších chemických látek díky nimž se vyznačuje nejlepšími mechanickými vlastnostmi. Přestože složení má na vlastnosti zásadní vliv, jsou vlastnosti, které se vyznačují u všech druhů. Skelná vlákna jsou izotropní nehořlavá a ani dlouhodobé vystavení teplotám do  $250\text{ C}^\circ$  nesnižuje mechanické vlastnosti (Gottfried 2006).

**Tabulka 3:** Průměrné vlastnosti neupravených skelných vláken, po zpracování na polotovary se můžou některé vlastnosti výrazně zhoršit (Gottfried 2006).

| Sklovina                    | E     | R/S   | C     |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Hustota ( $\text{kg/m}^3$ ) | 2600  | 2530  | 2520  |
| Mez pevnosti v tahu (MPa)   | 3400  | 4400  | 2400  |
| Modul pružnosti (MPa)       | 73000 | 86000 | 70000 |

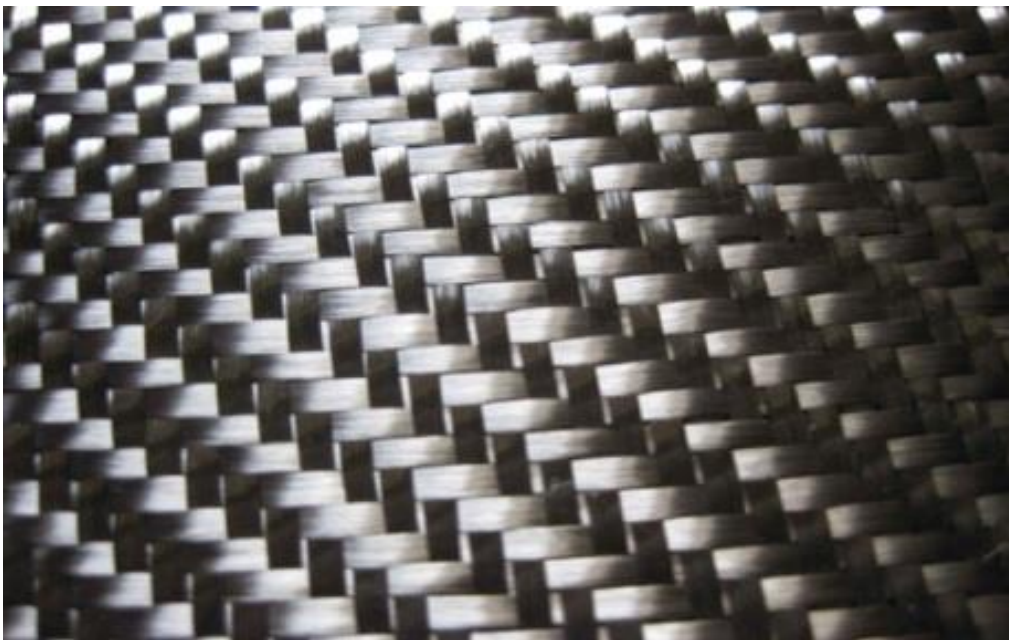
### 3.6.2. Uhlíková vlákna

Jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou a tím se zvyšující grafítizací se zlepšují mechanické vlastnosti. Při teplotě nad  $1800\text{ C}^\circ$  je tvorba grafitové struktury ukončena i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu. Uhlíková vlákna jsou na rozdíl od skelných vláken anizotropní, tudíž mají odlišné vlastnosti v podélném a příčném směru a jsou hořlavá (rychlost hoření je velmi pomalá). Mají velmi vysokou pevnost i modul pružnosti a to až do teploty  $500\text{ C}^\circ$ . Vysokou odolnost vůči kyselinám a korozi, dobrou elektrickou a tepelnou vodivost (Gottfried 2006).



**Tabulka 4:** Průměrné vlastnosti neupravených uhlíkových vláken (Gottfried 2006)

| Karbonová vlákna            |         |
|-----------------------------|---------|
| Hustota ( $\text{kg/m}^3$ ) | 2000    |
| Mez pevnosti v tahu (GPa)   | 1,5-3,5 |
| Modul pružnosti (Gpa)       | 180-500 |



**Obrázek 9:** Karbonová textilie (<http://i.kinja-img.com>)



### 3.7. Současné překližované desky s vyztužujícími materiály

Dnes lze poměrně běžně koupit překližky vyztužené laminátem. Problémem je, že vrstevnatě uspořádané plasty jsou obecně označovány jako laminát a mohou mít různý počet vrstev, složený z různých materiálů, tudíž i velmi odlišné vlastnosti a chování (Gottfried 2006). Překližky vyztužené skelnými vlákny se používají v konstrukci lodí a dále se vyrábí překližky nesoucí obchodní název FRP (fiber reinforced plastic/plywood). Jedná se o překližované desky, které jsou v povrchových vrstvách vyztuženy skelnými vlákny. Vyrábí se v podstatě jako nekonečné pásy a používají se například jako boxy k nákladním automobilům. (<http://www.morgancorp.com>).



**Obrázek 10:** FRP- pětivrstvá překližka vyztužena skelnými vlákny slepenými polyuretanovou pryskyřicí (<http://www.morgancorp.com>)

Překližky vyztužené uhlíkovými vlákny se vyrábí zřídka což je pravděpodobně způsobené velmi vysokou cenou. Ovšem dají se nalézt výjimky, například firma Dragon plate<sup>®</sup> vyrábí překližky laminované uhlíkovými vlákny. Množství vrstev v jádru překližky a dřevina, ze kterého je vyrobena se mění v závislosti na požadované tloušťce. Povrchová úprava je na straně lesklá a na druhé straně broušená, aby bylo možné nalepit překližku na jiný povrch. Obecně se karbonové překližky používají spíše výjimečně na speciální výrobky a výrobci si je vyrábí sami.

## 4. Metodika

### 4.1. Vstupní materiály

Na výrobu překližek byly použity bukové loupané dýhy o rozměrech 500x500 mm a skelná textilie o plošné hmotnosti 200g/m<sup>2</sup>. Dohromady byly vyrobeny 2 překližky. Jedna kontrolní pětivrstvá buková překližka a jedna pětivrstvá buková překližka se skelnými vlákny pod povrchovými vrstvami.

### 4.2. Laboratorní výroba překližovaných desek

K slepení jednotlivých dých bylo použito PVAC lepidlo (Protovil D4), které je odolné vůči vodě a je schopno odolat i nepříznivým povětrnostním podmínkám. Nános 200g/m<sup>2</sup> byl nanesen ruční válcovou nanášečkou Virutex EM25D. Na jednu vrstvu bylo tedy nanášeno 50 g lepidla.

**Tabulka 5:** Technický list použitého lepidla Protovil D4 (<http://www.webareal.cz>)

| <b>Chemicko-fyzikální vlastnosti a optimální podmínky pro používání:</b> |  |
|--|--|
| Základ:  | PVAC ve vodní disperzi   |
| Barva:   | bílá   |
| Teplota pro vytvoření filmu:   | +4°C (teoretický údaj)   |
| Viskozita při 20°C, dle RVT Brookfielda:                                 | 6.000 ± 2.000 mPas   |
| Specifická hmotnost při 20°C:  | 1,1g/ m <sup>2</sup> ± 1   |
| Doporučený nános:  | 180 - 250 gr/m <sup>2</sup> dle druhu dřeva  |
| Teplota prostředí a materiálu:   | 18 – 20°C  |
| Vlhkost dřeva:   | 8 – 12%  |
| Relativní vlhkost:   | od 50% do 70%  |
| Otevřená doba při 20°C:  | 10min.   |
| Doba slepení na 55% konečné pevnosti spoje:                              | 30min.   |
| Doba úplné pevnosti spoje:   | 24 hodin   |
| Způsob aplikace:   | pouze na jednu stranu  |
| Zařízení pro aplikaci:   | válečkem, štětcem, nanášečkou lepidla  |
| Způsob čištění:  | horkou vodou   |
| Skladování a životnost výrobku:  | min.8 měsíců v suché a chladné místnosti   |
| Stupeň nebezpečnosti:  | žádný, není třeba nijak označovat  |
| Ředění:  | lepidlo se dodává připravené k použití. Ředění vodou snižuje přilnavost a mění konečnou kvalitu slepu. |
| Tlak při lepení:   | 3-5 kg/ cm <sup>2</sup>  |

Dýhové listy byly skládány tak aby sousední dýhy měly na sebe kolmý směr dřevních vláken. Následně byly složené soubory vloženy na sebe do lisu. Překližky byly lisovány pod tlakem 1,5 MPa při teplotě 24 °C po dobu 30 min. a dalších 24 hodin ponechány v běžných podmínkách – aby došlo k úplnému vytvrzení lepidla.



**Obrázek 11:** Skládání souboru při výrobě překližek v budově T



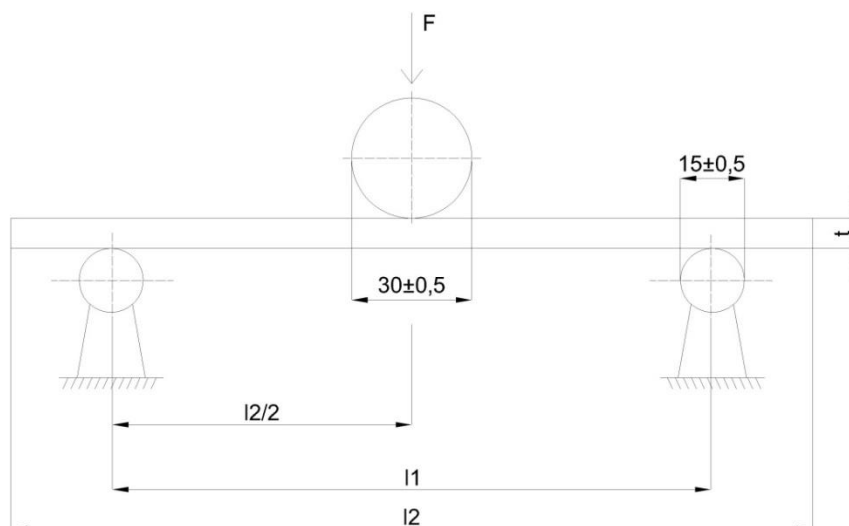
**Obrázek 12:** Lisování překližek na školním lisu v budově T

### 4.3. Stanovení mechanických vlastností

Stanoveny byly mechanické vlastnosti v ohybu dle normy ČSN 310, smyková pevnost lepení dle ČSN 314-1, bobtnání dle ČSN 321 a hustota dle ČSN 323. Zkušební tělesa na všechny zkoušky mechanických vlastností byla odebrána dle zásad popsaných v normě ČSN EN 326.

#### 4.3.1. Ohyb (EN 310)

Na zkoušku v ohybu dle ČSN EN 310 bylo dohromady odebráno 16 zkušebních těles o rozměrech 230x50mm. Tělesa byla klimatizována v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 65% a teplotou 20 °C. Ke zkoušce byly použity tyto pomůcky: měřicí přístroj ,zkušební zařízení viz. Obr č.15, dvě válcové podpěry o průměru 15 mm, válcová zatěžovací hlava stejné délky a průměru 30mm, měřidlo průhybu s přesností na 0,1 mm, měřicí systém pro měření zatížení zkušebního tělesa s přesností na 1%. Dále byly splněny tyto podmínky: (1) válcové podpěry byly rovnoběžné, měly větší šířku než zkoušená tělíska a byly volně otočné kolem své osy. (2) Válcová zatěžovací hlava byla umístěna rovnoběžně s podpěrami a ve stejné vzdálenosti mezi nimi. (3) Zkoušky byly provedeny na dvou skupinkách zkušebních těles v podélném a příčném směru. V každé skupince byla vyzkoušena polovina lícovou stranou a polovina rubovou stranou.



**Obrázek 13:** *l* - zkušební těleso; *F* – Zatížení; *t* - tloušťka zkušebního tělesa;  $l_1=20*t$ ;  $l_2=l_1\pm 50$

Byly změřeny dvě hodnoty: tloušťka v průřezu úhlopříček, šířka v polovině délky. Vzdálenosti podpěr byly nastaveny na 20ti násobek jmenovité tloušťky desky. Zkušební tělesa byla položena na plochu na podpěry, podélnou osou v pravém úhlu k podpěrám, se středem pod zatěžovací hlavou. Zatížení bylo prováděno konstantní rychlostí posuvu tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo přibližně po 60 sec. Následně bylo zaznamenáno maximální zatížení s přesností na 1%. Přístroj byl připojen na počítač a celá zkouška byla ovládána a automaticky vyhodnocována pomocí programu t-Expert. Modul pružnosti  $E_m$  zkušební tělesa v newtonech na milimetr čtvereční ( $N/mm^2$ ) se stanoví podle rovnice č.1.

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

**Rovnice 1:** Stanovení modulu pružnosti  $E_m$ ,  $l_l$  - vzdálenost mezi středy podpěr [mm];  $b$  - šířka zkušební tělesa [mm];  $t$  - tloušťka zkušební tělesa [mm];  $(F_2 - F_1)$  přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky, [N].  $(a_2 - a_1)$  - přírůstek průhybu ve středu délky zkušební tělesa

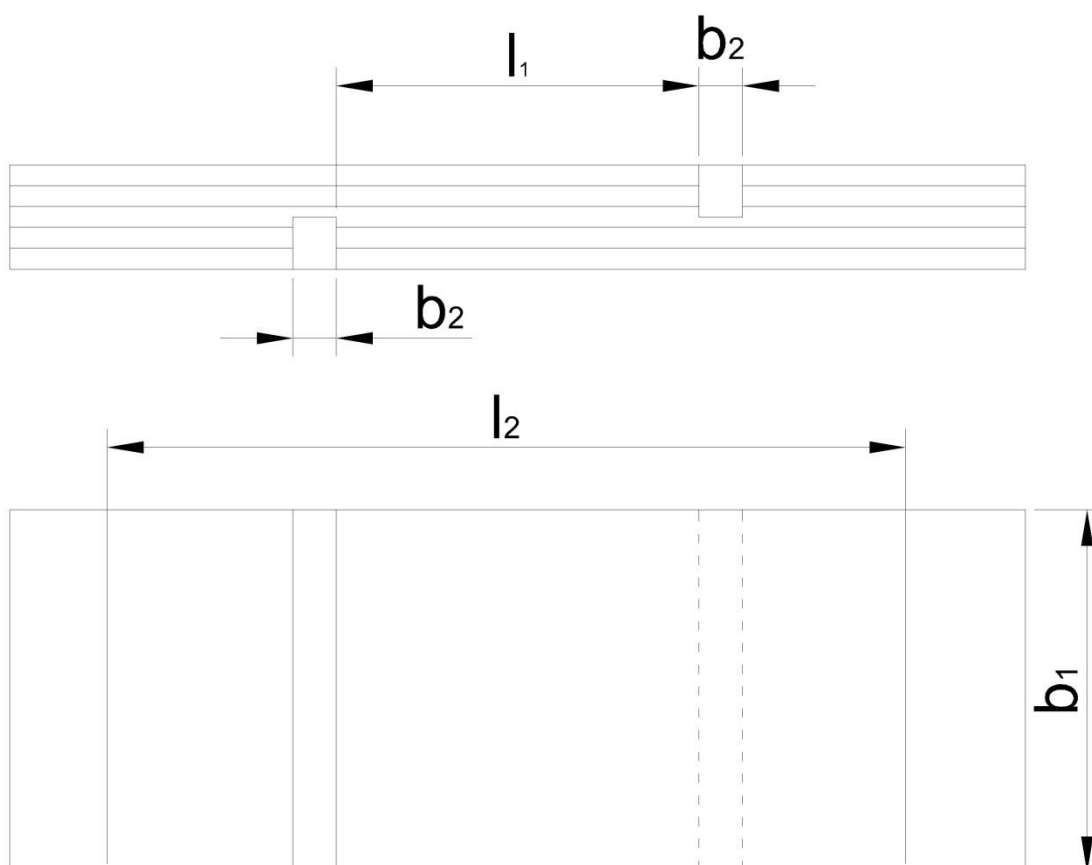
Pevnost v ohybu  $f_m$  zkušební tělesa v newtonech na milimetr čtvereční ( $N/mm^2$ ) se stanoví podle rovnice č.2.

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

**Rovnice 2:** Stanovení pevnosti v ohybu  $f_m$ ,  $l_1$  - vzdálenost mezi středy podpěr [mm];  $b$  - šířka zkušební tělesa [mm];  $t$  - tloušťka zkušební tělesa [mm];  $F_{max}$  - velikost maximálního naměřeného zatížení [N]

### 4.3.2. Smyková pevnost lepení (EN 314-1)

Na zkoušku ve smykové pevnosti lepení dle ČSN EN 314-1 bylo odebráno 29 zušebních tělísek o rozměrech 150x25 mm z každé překližky přičemž vzorky byly klimatizovány v podmínkách 20°C a 65 % relativní vlhkosti. Tělíska byla odebrána z desky tak, aby bylo možné testovat střední dýhu i krajní lepenou spáru. Dle normy byly splněny následující podmínky: (1) boky testovacích těles nebyly opálené nebo jinak poškozené a byly kolmé k rovině desky. (2) V zóně zkoušení se nevyskytovaly žádné výrobní ani růstové vady. (3) Každé zkušební tělísko bylo nařezáno tak, aby směr vláken vrstvy mezi dvěma zkoušenými lepenými spárami byl kolmý k podélné ose zkušebního tělesa. (5) Zkušební tělíska byla vyráběna spolu se zářezy pilou a vedeny tak, aby byly zkoušeny kraní lepené spárky desky a středová dýha. (6) Test byl proveden tak aby byly zkoušeny střední vrstvy překližované desky a krajní lepené spáry.



**Obrázek 14:** Použitá testovací tělíska pro zkoušku smykové pevnosti středí dýhy. Prořez pily  $b_2$  – 2,5 – 4 mm; Délka smykové plochy  $l_1$  – 25+ 0,5 mm; Vzdálenost čelistí  $l_2$  – min. 50 mm



**Obrázek 15:** Použitá testovací tělíska pro zkoušku smykové pevnosti krajní lepené spáry.

Tělíska byla vložena do samosvorných sklíčidel testovacího přístroje a byla ovládána na počítači pomocí programu t-Expert, který celou zkoušku automaticky vyhodnocoval a řídil. Posuvná rychlost byla nastavena tak aby bylo maximálního zatížení dosaženo přibližně po 60sec. Smyková pevnost  $f_v$  každého zkušebního tělesa v newtonech na milimetr čtvereční ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) se vypočítá podle vzorce č.3. Průměrná smyková pevnost byla specifikována s přesností na  $0,01 \text{ N}/\text{mm}^2$ .

$$f_v = \frac{F}{l * b}$$

**Rovnice č.3:** Stanovení smykové pevnosti, kde  $F$  – síla při porušení zkušebního tělesa [ $\text{N}$ ];  $l$  – délka smykové plochy [ $\text{mm}$ ];  $b$  – šířka smykové plochy [ $\text{mm}$ ]

Další charakteristikou bylo kvantitativní stanovení porušení ve dřevě. Toto by mělo zpravidla nastat ve dřevě nebo v lepené spáře smykové plochy, tj. mezi zářezy pilou. Pokud vzniklo porušení mimo tuto oblast nebo vzniká-li porušení víc než z 50% plochy přetržením lícové dýhy, vyloučí se tyto výsledky a zkouška se opakuje s délkou smykové plochy 25 mm. Použije se postup pro překližky s tenkými lícovými dýhami. Podíl porušení ve dřevě se stanoví srovnáním s obrázkem v normě a stanoví se rozmezí 0 až 100% v intervalu 5%.

### 4.3.3. Hustota (EN 323)

Na zkoušku hustoty dle ČSN EN 323 bylo odebráno 16 zkušebních těles o rozměrech 50x50mm. Stanovení hustoty zkušebních těles probíhalo dle normy ČSN EN 323. Hustota představuje hodnotu dané veličiny k jednotkovému objemu (rovnice X.). Měření probíhalo u všech vzorků při stejné vlhkosti a teplotě. Bylo hodnoceno 16 testovacích tělese o rozměrech 50x50 mm. Při charakterizaci byly použity následující pomůcky: Posuvné měřidlo na měření délky, šířky a tloušťky šířky s přesností na 0,1mm, laboratorní váha s přesností na 0,1 g. Tloušťka zkušebního tělesa je měřena v průřezu úhlopříček s přesností na 0,05 mm. V případě, že by se nacházela v místě průřezu nerovnost zvolíme jiný postup. Délka a šířka  $b_1$  a  $b_2$  se měří uprostřed hrany s přesností 0,1 mm. Změřené veličiny by použity pro stanovení objemové hmotnosti podle vzorce č.4.

$$\rho = \frac{m}{l \cdot b \cdot t} \cdot 10^6$$

**Rovnice 4:** Stanovení objemové hmotnosti, kde  $m$  - Hmotnost zkušebního tělesa [g];  $l$  – Délka zkušebního tělesa [mm];  $b$  – Šířka zkušebního tělesa [mm];  $t$  - Tloušťka zkušebního tělesa [mm]

### 4.3.4. Bobtnání (EN 317)

Zkouška byla prováděna dle ČSN EN 317. Pro tuto zkoušku bylo odebráno 16 zkušebních těles o rozměrech 50 x 50mm. . Při charakterizaci byly použity následující pomůcky: posuvné měřidlo na měření délky, šířky a tloušťky šířky s přesností na 0,01mm, laboratorní váha s přesností na 0,1 g. U všech vzorků byla posuvným měřidlem změřena tloušťka s přesností na 0,01 mm. Vzorky byly následně ponořeny do vody o teplotě 20 C° a zatíženy tak, aby byly celým svým objemem ponořeny ve vodě. Zkušební vzorky byly ve vodě ponechány 24 hod. a změny jejich rozměrů byly měřeny po 2, 6 a 24 hod. Hodnoty byly zapsány a následně výsledky vypočítány a vyjádřeny v procentech pomocí vzorce č.5.

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

**Rovnice č.5:** Stanovení bobtnání kde,  $t_1$  – Tloušťka vzorku před ponořením [mm];  $t_2$  – Tloušťka vzorku po ponoření [mm]



## 5. Vyhodnocení výsledků

Parametry prostředí, ve kterých zkoušky probíhaly:

Teplota: 25 °C

Vzdušná vlhkost: 65%

### 5.1. Naměřené hodnoty hustoty zkušebních těles dle ČSN 323

Po zvážení a změření rozměrů byla pomocí vzorce vypočítána hustota pro jednotlivá tělíka. Výsledná hodnota hustoty byla určena jako jejich aritmetický průměr.

V následujících tabulkách č.6 a č.7 jsou uvedeny výsledky.

Průměrná hustota překližky se sklenými vlákny je o 8,8 kg/m<sup>3</sup> nižší než u kontrolní bukové překližky. Jedná se o velmi malý rozdíl.

**Tabulka 6:** Hustota Kontrolní bukové překližky

| č. Vzorku | $\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------|------------------------------|
| 1         | 733,17                       |
| 2         | 726,83                       |
| 3         | 735,80                       |
| 4         | 731,77                       |
| 5         | 717,33                       |
| 6         | 725,33                       |
| 7         | 738,06                       |
| 8         | 750,10                       |
| $\bar{X}$ | <b>732,30</b>                |

**Tabulka 7:** Hustota Bukové překližky se skelnými vlákny

| č. Vzorku | $\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------|------------------------------|
| 1         | 730,54                       |
| 2         | 719,68                       |
| 3         | 724,98                       |
| 4         | 713,73                       |
| 5         | 733,85                       |
| 6         | 718,53                       |
| 7         | 723,81                       |
| 8         | 722,89                       |
| $\bar{X}$ | <b>723,50</b>                |

## 5.2. Naměřené hodnoty bobtnání zkušebních těles dle ČSN 317

Z Naměřených hodnot tloušťkové změny po 2, 6 a 24 hod. uložení ve vodě pro vzorky z kontrolní bukové překližky a překližky se skelnými vlákny bylo vypočítáno bobtnání v procentech. V následujících grafech a tabulkách jsou uvedeny výsledky.

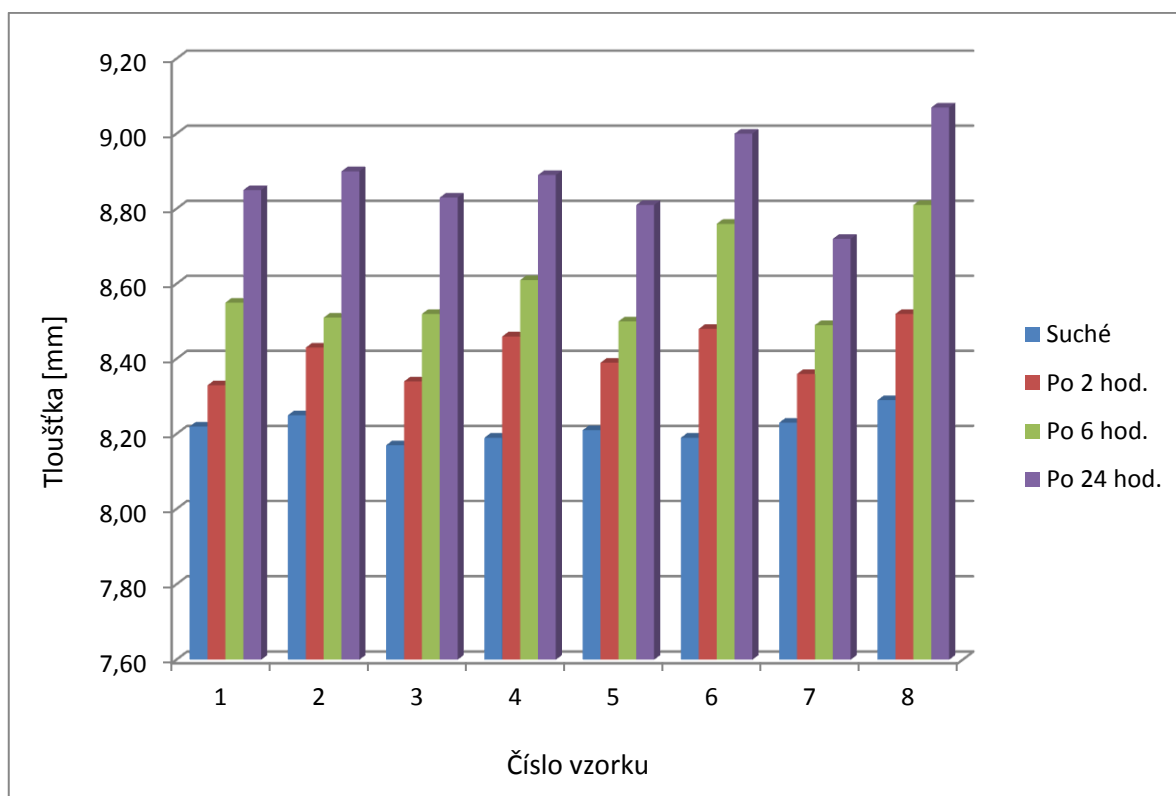
Z výsledků je zřejmé, že celkové bobtnání (po 24 hod.) bylo u kontrolní překližky o 1,27 % vyšší než u překližky se skelnými vlákny. U kontrolní překližky došlo k největším rozměrovým změnám mezi 6 a 24 hodinami uložení ve vodě. U překližky se skelnými vlákny tomu tak bylo po prvních dvou hodinách.



**Obrázek 16:** Testovací tělísko použité na měření hustoty a následně na zkoušku bobtnání po 24 hod. uložení ve vodě. Na tělísku je mimo jiné velmi dobře vidět rozdílné velikosti bobtnání v různých anatomických směrech

**Tabulka 8:** Velikost bobtnání kontrolní bukové překližky

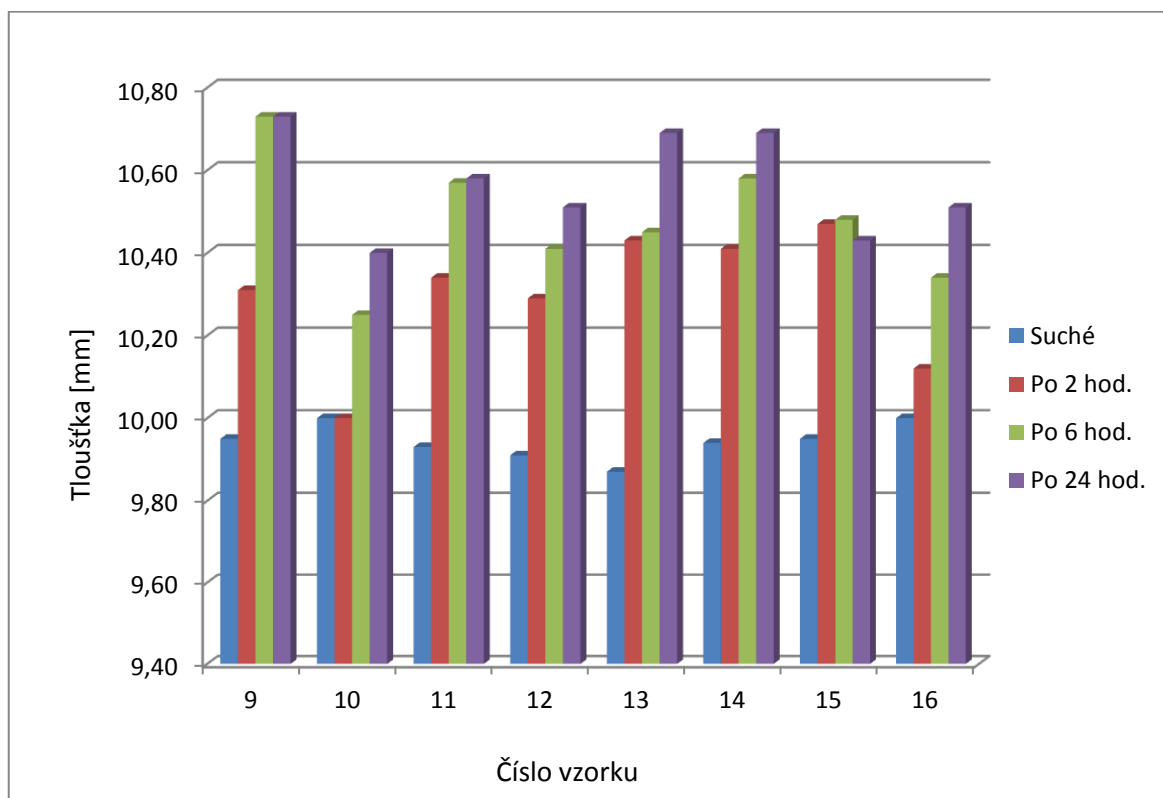
| č. Vzorku | Suché | Po 2 hod.   | Po 6 hod.   | Po 24 hod.  |
|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1         | 8,22  | 8,33        | 8,55        | 8,85        |
| 2         | 8,25  | 8,43        | 8,51        | 8,90        |
| 3         | 8,17  | 8,34        | 8,52        | 8,83        |
| 4         | 8,19  | 8,46        | 8,61        | 8,89        |
| 5         | 8,21  | 8,39        | 8,50        | 8,81        |
| 6         | 8,19  | 8,48        | 8,76        | 9,00        |
| 7         | 8,23  | 8,36        | 8,49        | 8,72        |
| 8         | 8,29  | 8,52        | 8,81        | 9,07        |
| $\bar{X}$ | 8,22  | 8,41        | 8,59        | 8,88        |
| $t_a$ (%) | x     | <b>2,37</b> | <b>4,56</b> | <b>8,09</b> |



**Obrázek 17:** Graf srovnání velikosti bobtnání kontrolní bukové překližky

**Tabulka 9:** Velikost bobtnání překližky se skelnými vlákny

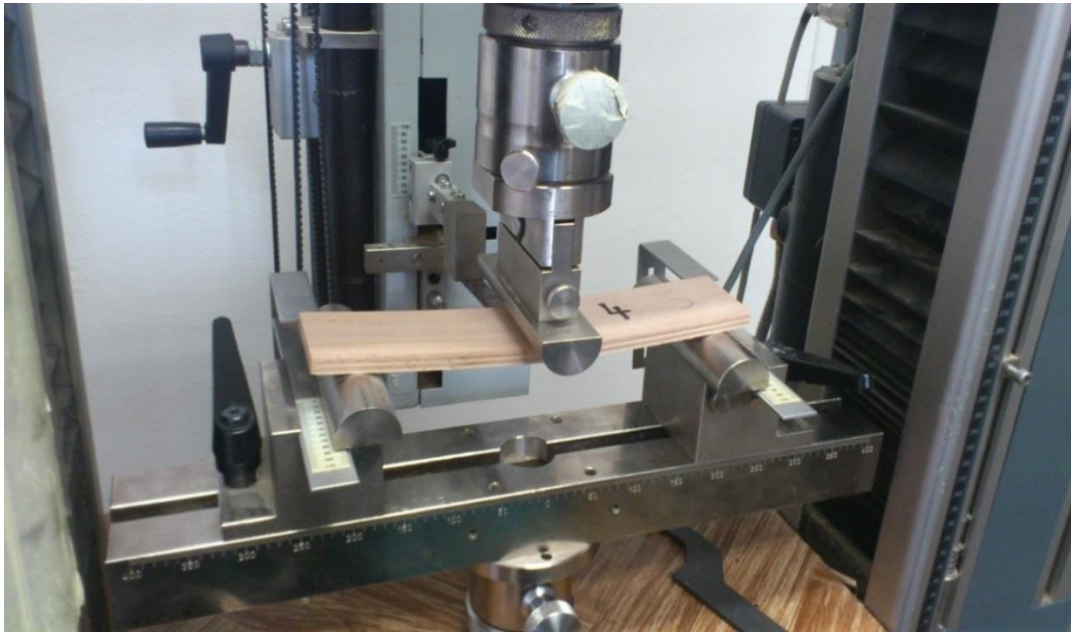
| č. Vzorku | Suché | Po 2 hod.   | Po 6 hod.   | Po 24 hod.  |
|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 9         | 9,95  | 10,31       | 10,73       | 10,73       |
| 10        | 10,00 | 10,00       | 10,25       | 10,40       |
| 11        | 9,93  | 10,34       | 10,57       | 10,58       |
| 12        | 9,91  | 10,29       | 10,41       | 10,51       |
| 13        | 9,87  | 10,43       | 10,45       | 10,69       |
| 14        | 9,94  | 10,41       | 10,58       | 10,69       |
| 15        | 9,95  | 10,47       | 10,48       | 10,43       |
| 16        | 10,00 | 10,12       | 10,34       | 10,51       |
| $\bar{X}$ | 9,94  | 10,30       | 10,48       | 10,57       |
| $t_a$ (%) | x     | <b>3,54</b> | <b>5,36</b> | <b>6,27</b> |



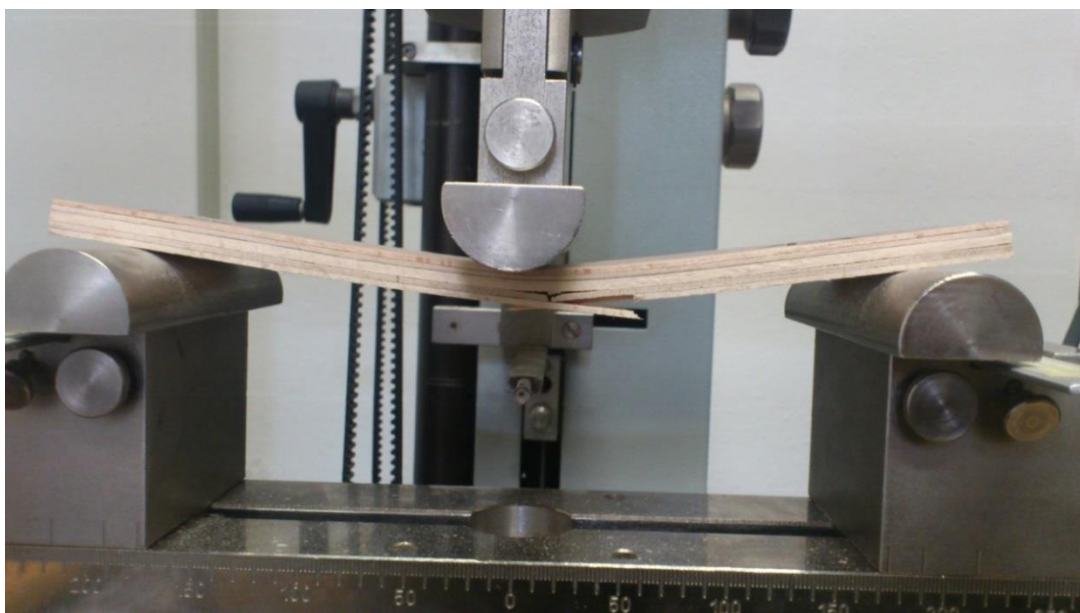
**Obrázek 18:** Graf srovnání velikosti bobtnání překližky se skelnými vlákny

### 5.3. Naměřené hodnoty modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu dle ČSN 310

Zkouška byla prováděna na školním přístroji značky Zwick/Roell. U každého zkoušeného tělesa byly zaznamenávány hodnoty zatížení a velikost průhybu v každém bodě. Na základě těchto měření byla následně stanovena hodnota modulu pružnosti (MOE) a pevnosti v ohybu (MOR) zkoušených vzorků.



**Obrázek 19:** Ohybová zkouška v Útěchové na školní zkušební stroji značky Zwick/Roell



**Obrázek 20:** Ukázka porušeného testovacího tělíska z kontrolního vzorku.

Rozdíl mezi jednotlivými překližkami v průměrné pevnosti v ohybu podél vláken je  $21,48 \text{ N/mm}^2$  a rozdíl v průměrné modulu pružnosti je  $1670,46 \text{ N/mm}^2$ . V obou případech maximální hodnoty překližky se sklenými vlákny nedosáhli ani minimálních hodnot překližky kontrolní. Ze směrodatné odchylky a variačního koeficientu lze usoudit, že zatímco u pevnosti v ohybu byla v obou případech variabilita testovaného souboru srovnatelná, při modulu pružnosti byla u překližky se skelnými vlákny o něco vyšší. Z naměřených hodnot je dále zřejmé, že kontrolní buková překližka měla lepší vlastnosti jak v modulu pružnosti, tak v pevnosti v ohybu.

V následujících tabulkách č.10 a č.11 jsou uvedeny vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti podél vláken pro naše vzorky.

**Tabulka 10:** Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti podél vláken pro kontrolní bukovou překližku.

|           | MOR [ $\text{N/mm}^2$ ] | MOE [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 84,53                   | 8362,13                 |
| S         | 5,24                    | 258,00                  |
| v         | 6,20                    | 3,08                    |
| max.      | 89,80                   | 8618,36                 |
| min.      | 79,23                   | 8006,35                 |

**Tabulka 11:** Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti podél vláken pro bukovou překližku se skelnými vlákny.

|           | MOR [ $\text{N/mm}^2$ ] | MOE [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 63,05                   | 6691,67                 |
| S         | 4,77                    | 547,69                  |
| v         | 7,57                    | 8,18                    |
| max.      | 68,40                   | 7309,22                 |
| min.      | 58,81                   | 6163,80                 |

Rozdíl mezi jednotlivými překližkami v průměrné pevnosti v ohybu napříč vlákna je  $8,04 \text{ N/mm}^2$  a rozdíl v průměrné modulu pružnosti je  $1340,46 \text{ N/mm}^2$ . Tentokrát v obou případech maximální hodnoty překližky kontrolní nedosáhli ani minimálních hodnot překližky se skelnými vlákny. Ze směrodatné odchylky a variačního koeficientu lze usoudit, že zatímco u pevnosti v ohybu byla v obou případech variabilita testovaného souboru srovnatelná, při modulu pružnosti byla u překližky se skelnými vlákny o něco vyšší, ale ve všech případech se jedná o velmi nízké hodnoty. Z naměřených hodnot je zřejmé, že buková překližka se skelnými vlákny měla lepší vlastnosti jak v modulu pružnosti, tak v pevnosti v ohybu.

V tabulkách č.12 a č.13 jsou uvedeny vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti napříč vlákna pro naše vzorky.

**Tabulka 12:** Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti napříč vlákna pro kontrolní bukovou překližku.

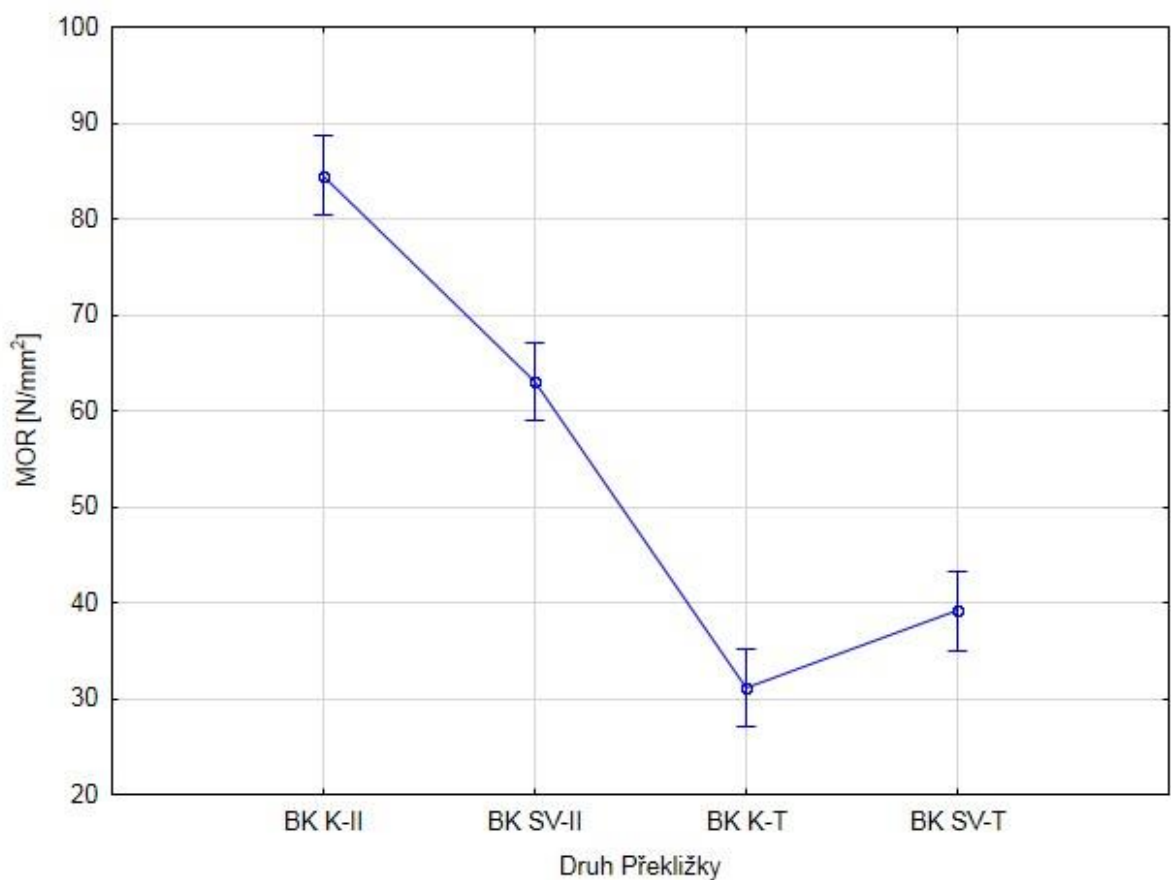
|           | MOR [ $\text{N/mm}^2$ ] | MOE [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 31,10                   | 2749,26                 |
| S         | 1,58                    | 69,56                   |
| max.      | 33,25                   | 2841,96                 |
| min.      | 29,79                   | 2676,64                 |

**Tabulka 13:** Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti napříč vlákna pro bukovou překližku se skelnými vlákny.

|           | MOR [ $\text{N/mm}^2$ ] | MOE [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 39,14                   | 4089,72                 |
| S         | 1,88                    | 170,03                  |
| max.      | 41,00                   | 4282,34                 |
| min.      | 36,57                   | 3928,77                 |



Z jednofaktorové ANOVY je zřejmé, že hodnoty pro pevnost v podélném ohybu byly statisticky velmi rozdílné a nemají naprosto žádné společné hodnoty, oproti tomu hodnoty pro pevnost v příčném ohybu se částečně překrývají, tudíž jejich rozdíl je statisticky méně významný. Znamená to, že vliv přidání sklených vláken do překližek byl v podélném směru velmi vysoký, v příčném směru o něco nižší, ale stále velmi dobře čitelný. V pevnosti ohybu podélně na vlákna se nám mechanické vlastnosti zhoršili, zatímco při příčném ohybu se pevnost zvýšila. Statistickou podobnost v příčném ohybu a statisticky významnou rozdílnost v podélném ohybu nám potvrzuje i scheffeho test.



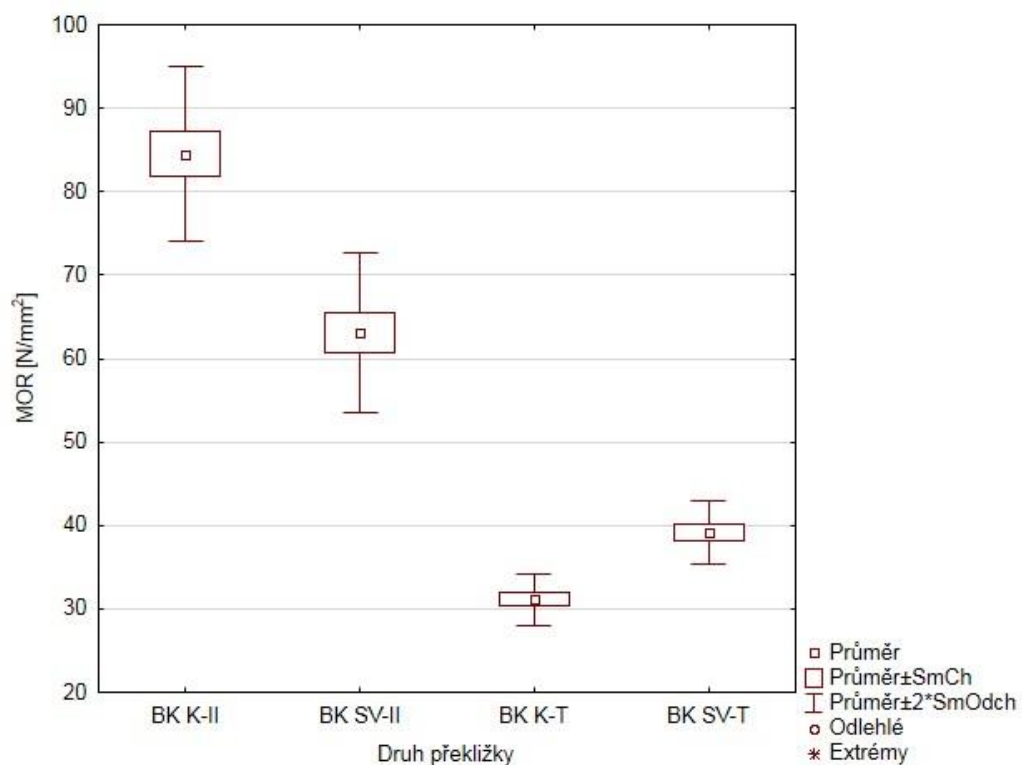
**Obrázek 21:** Jednofaktorová ANOVA pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny



| Scheffeho test; proměnná MOR[N/mm <sup>2</sup> ] (Ohyb) |                                   |      |      |      |
|---|-----------------------------------|------|------|------|
| Homogenní skupiny, alfa = ,05000                        |                                   |      |      |      |
| Chyba: meziskup. PČ = 14,067, sv = 12,000               |                                   |      |      |      |
| Prom1   | MOR[N/mm <sup>2</sup> ]<br>Průměr | 1    | 2    | 3    |
| BK SV-T   | 31,10250                          | **** |      |      |
| BK K-T  | 39,13750                          | **** |      |      |
| BK SV-II  | 63,04750                          |      | **** |      |
| BK K-II   | 84,52500                          |      |      | **** |

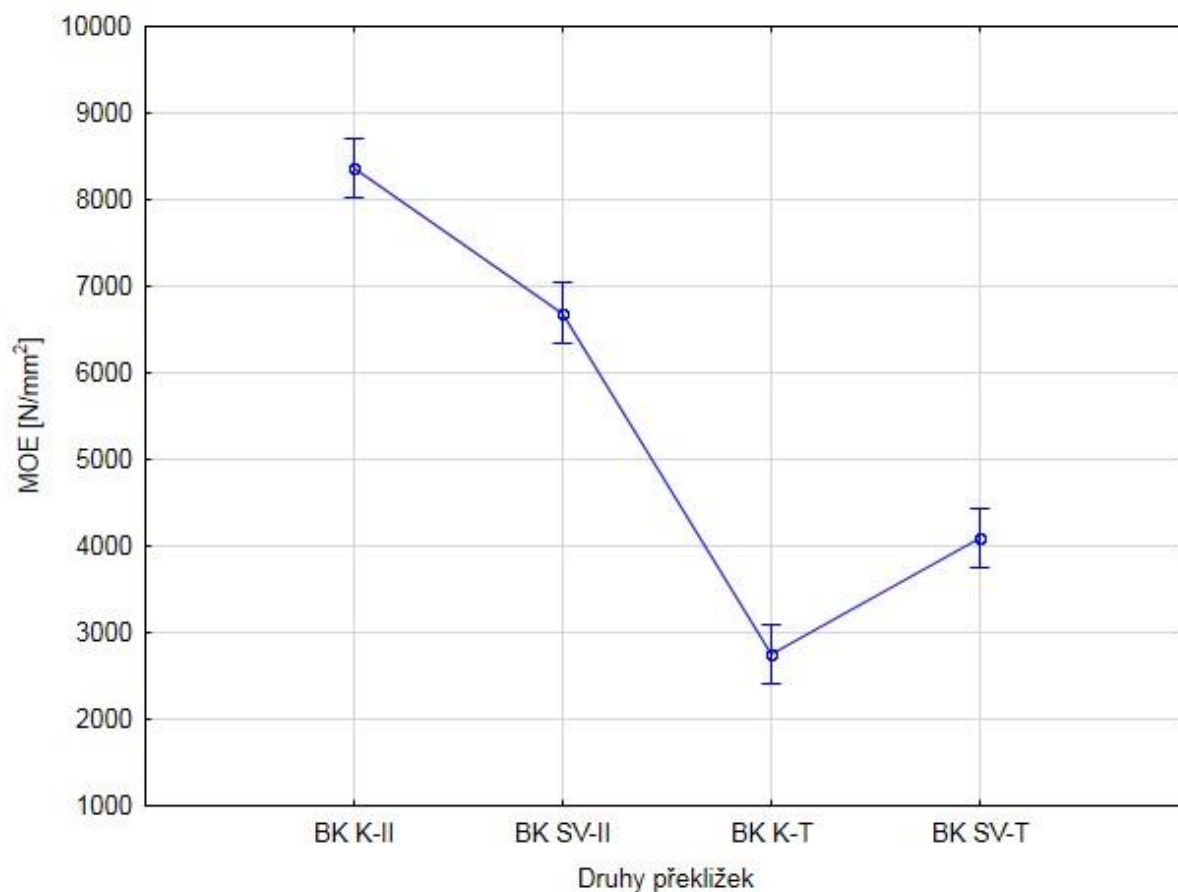
**Obrázek 22:** Scheffeho test pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny

Z krabicového grafu lze vyčíst, že všechny testovací soubory měly velmi rovnoměrné rozdělení hodnot a neobsahují žádné odlehlé ani extrémní hodnoty.



**Obrázek 23:** Krabicový graf pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny

Z jednofaktorové ANOVY je zřejmé, že pro modul pružnosti byly rozdíly mezi jednotlivými testovanými soubory statisticky velmi výrazné. Znamená to, že vliv přidání skelných vláken byl v obou směrech velmi vysoký. Modul pružnosti v ohybu podélně na vlákna se vlivem sklených vláken snížil, zatímco v příčném pohybu tomu bylo naopak. Statisticky vyznámnou rozdílnost mezi jednotlivými testovanými soubory nám potvrzuje i scheffeho test.

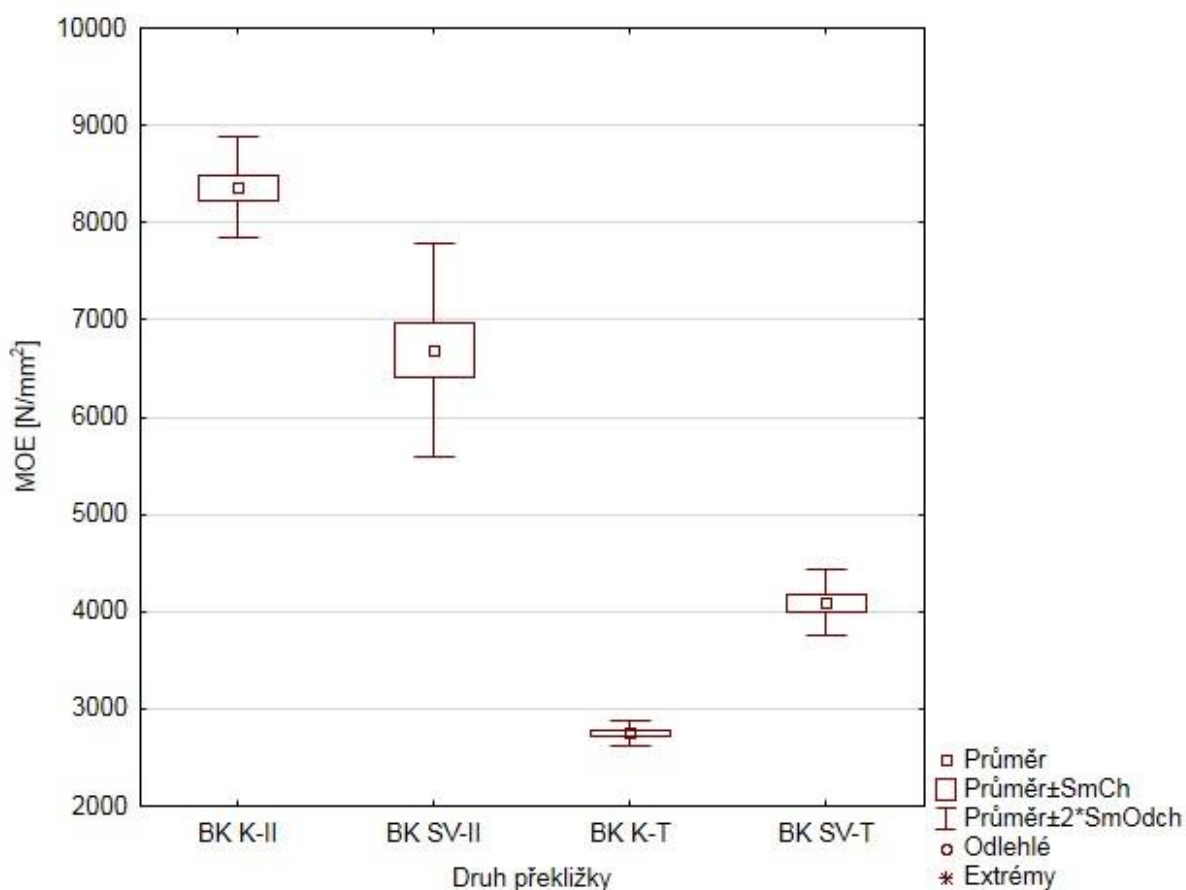


**Obrázek 24:** Jednofaktorová ANOVA pro modul pružnosti v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny

| Scheffeho test; proměnná MOE [N/mm <sup>2</sup> ] (Ohyb) |                                    |      |      |      |      |
|--|------------------------------------|------|------|------|------|
| Homogenní skupiny, alfa = ,05000                         |                                    |      |      |      |      |
| Chyba: meziskup. PČ = 1001E2, sv = 12,000                |                                    |      |      |      |      |
| Prom1  | MOE [N/mm <sup>2</sup> ]<br>Průměr | 1    | 2    | 3    | 4    |
| BK SV-T  | 2749,258                           | **** |      |      |      |
| BK K-T   | 4089,715                           |      | **** |      |      |
| BK SV-II   | 6691,668                           |      |      | **** |      |
| BK K-II  | 8362,125                           |      |      |      | **** |

**Obrázek 25:** Scheffeho test pro modul pružnosti v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny

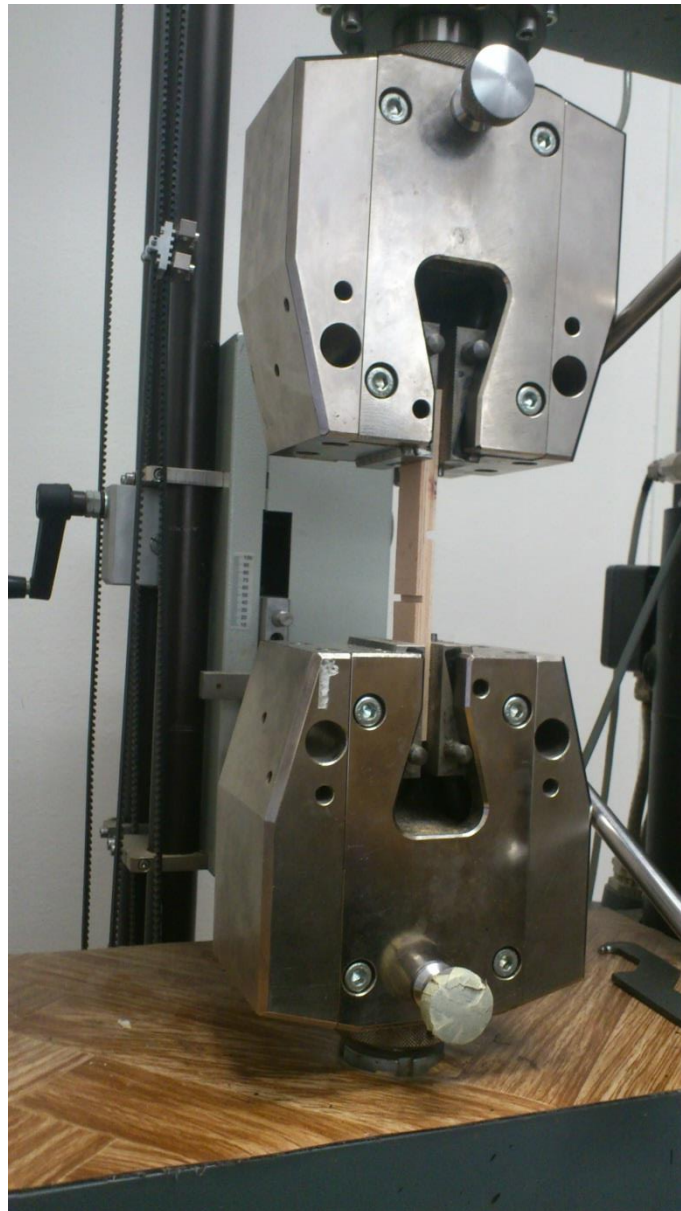
Stejně jako u pevnosti v ohybu lze z krabicového grafu lze vyčíst, že všechny testovací soubory měly velmi rovnoměrné rozdělení hodnot a neobsahují žádné odlehlé ani extrémní hodnoty.



**Obrázek 26:** Krabicový graf pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny

#### 5.4. Naměřené hodnoty smykové pevnosti dýhy a smykové pevnosti lepené spáry dle ČSN 314-1

Stejně jako u ohybu byla zkouška byla prováděna na školním přístroji značky Zwick/Roell a u každého zkoušeného tělesa byla zaznamenávána velikost namáhání v každém bodě. Na základě těchto měření byla následně stanovena smyková pevnost.



**Obrázek 27:** Smyková zkouška středové dýhy v Útěchové na školní zkušební stroji značky Zwick/Roell

Rozdíl mezi jednotlivými překližkami v průměrné smykové pevnosti je 6,56 N/mm<sup>2</sup>. Maximální hodnoty překližky se skelnými vlákny nedosáhly ani minimálních hodnot překližky kontrolní. Ze směrodatné odchylky a variačního koeficientu lze usoudit, že variabilita testovaného souboru je srovnatelná. Z naměřených hodnot je zřejmé, že buková překližka se skelnými vlákny měla horší vlastnosti než kontrolní buková překližka.

V tabulkách č. 14 a 15 jsou uvedeny vypočítané hodnoty smykové pevnosti středové dýhy pro vzorky z kontrolní bukové překližky a z bukové překližky se skelnými vlákny.

**Tabulka 14:** Vypočítané hodnoty smykové pevnosti středové dýhy pro kontrolní bukovou překližku.

|           | RM [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-----------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 21,44                   |
| S         | 2,45                    |
| v         | 11,41                   |
| max.      | 24,97                   |
| min.      | 18,18                   |

**Tabulka 15:** Vypočítané hodnoty smykové pevnosti středové dýhy pro bukovou překližku se skelnými vlákny.

|           | RM [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-----------|-------------------------|
| $\bar{X}$ | 14,88                   |
| S         | 1,21                    |
| v         | 8,10                    |
| max.      | 16,19                   |
| min.      | 13,13                   |

Rozdíl mezi jednotlivými překližkami v průměrné smykové pevnosti lepené spáry je  $1,47 \text{ N/mm}^2$ . Z maximální a minimální hodnoty u obou překližek lze usoudit, že naměřené hodnoty byly velmi podobné a přesto, že překližka se skelnými vlákny má lepší průměrné hodnoty, kontrolní překližka má nejvyšší naměřenou hodnotu. Variabilita byla ve srovnání s jakýmkoliv z předchozích měření velmi vysoká.

V tabulkách č. 16 a 17 jsou uvedeny vypočítané hodnoty smykové pevnosti krajní lepené spáry pro vzorky z kontrolní bukové překližky a z bukové překližky se skelnými vlákny.

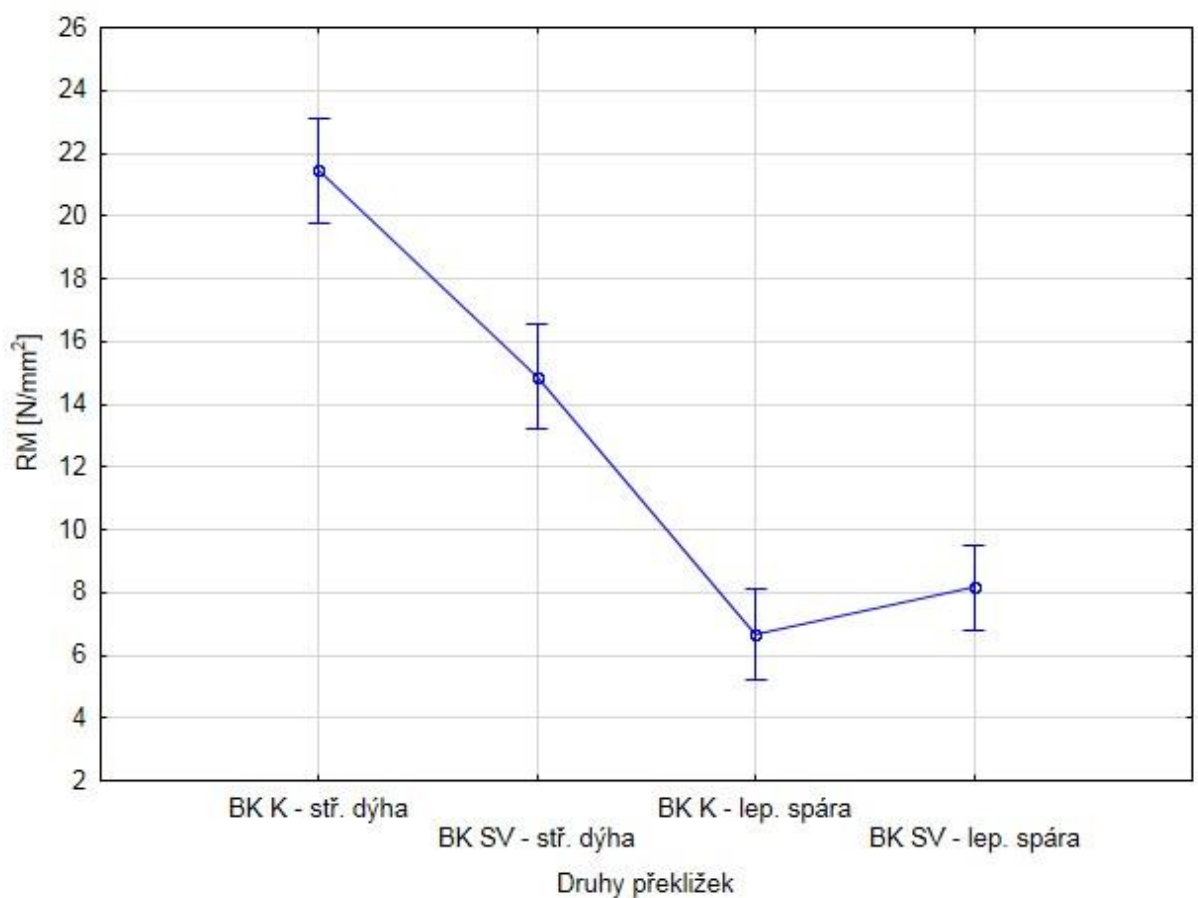
**Tabulka 16:** Vypočítané hodnoty smykové pevnosti krajní lepené spáry pro kontrolní bukovou překližku.

|           | RM [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|------------------------|
| $\bar{X}$ | 6,67                   |
| S         | 2,70                   |
| v         | 40,44                  |
| max.      | 11,08                  |
| min.      | 3,27                   |

**Tabulka 17:** Vypočítané hodnoty smykové pevnosti krajní lepené spáry pro překližku se skelnými vlákny.

|           | RM [ $\text{N/mm}^2$ ] |
|-----------|------------------------|
| $\bar{X}$ | 8,16                   |
| S         | 1,22                   |
| v         | 15,01                  |
| max.      | 10,20                  |
| min.      | 6,54                   |

Z jednofaktorové ANOVY lze vyčíst, že rozdíly mezi vzorky testovanými na pevnost ve smyku středové dýhy byly statisticky významné rozdíly. Rozdíl mezi vzorky testovanými na smykovou pevnost lepené spáry nebyly statisticky významné. Znamená to, že přidání skelných vláken mělo velký vliv na smykovou pevnost středové dýhy, na smykovou pevnost lepené spáry už vlákna takový vliv neměla. Skelná vlákna zhoršila smykovou pevnost u středové dýhy, ale zlepšily jí v lepeném spoji. Statisticky významný rozdíl mezi vzorky testovanými na smykovou pevnost, stejně jako statisticky nevýznamný rozdíl mezi vzorky u kterých byla testována lepená spára nám potvrzuje i scheffeho test.

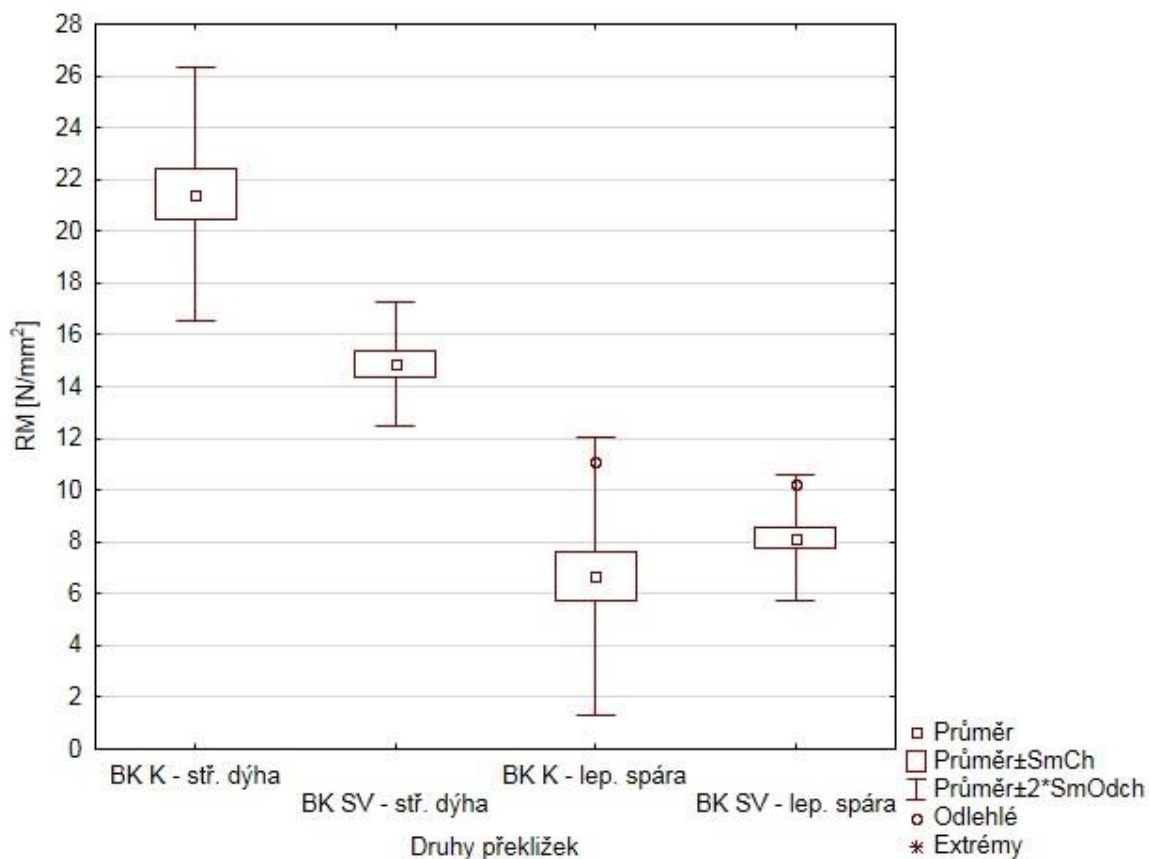


**Obrázek 28:** Jednofaktorová ANOVA pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny

| Scheffeho test; proměnná RM [N/mm <sup>2</sup> ] (Smyk) |                                   |      |      |      |
|---|-----------------------------------|------|------|------|
| Homogenní skupiny, alfa = ,05000                        |                                   |      |      |      |
| Chyba: meziskup. PČ = 4,0029, sv = 25,000               |                                   |      |      |      |
| Prom1   | RM [N/mm <sup>2</sup> ]<br>Průměr | 1    | 2    | 3    |
| BK K-lep. spára   | 6,66875                           | **** |      |      |
| BK SV-lep. spára  | 8,15556                           | **** |      |      |
| BK SV-stř. dýha   | 14,87500                          |      | **** |      |
| BK K-stř. dýha  | 21,43667                          |      |      | **** |

**Obrázek 29:** Scheffeho test pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny

Z krabicového grafu lze vyčíst, že hodnoty pro smykovou pevnost středové dýhy byly rozděleny poměrně rovnoměrně. U vozrku testovaných na pevnost lepené spáry je to o něco horší, především u kontrolního buku je velmi vysoká varibalita celého testovaného souboru a oba druhy překližek obsahují odlehlé hodnoty.



**Obrázek 30:** Krabicový graf pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny



## 6. Diskuze

Po změření a následném vypočítání hustoty všech zkušebních tělísek jsme zjistili, že vyrobená kontrolní buková překližka má průměrnou hustotu  $732,3 \text{ kg/m}^3$  a buková překližka se skelnými vlákny  $723,5 \text{ kg/m}^3$ . Je to hodnota, která je o něco vyšší než průměrná hodnota pro masivní buk jakou udává Požgaj (1993) a dala by se zařadit na pomezí dřevin se střední až vysokou hustotou. Toto zvýšení hustoty je kromě samotné hustoty použité dýhy, která mohla být vyšší než jakou udávají tabulky, nejvíce ovlivněno lisováním a použitým lisovacím tlakem. Vzhledem k možnostem lisu byl v našem případě použit lisovací tlak  $1,5 \text{ Mpa}$ . Král (1995) udává lisovací tlak pro bukové překližky  $1,8 \text{ Mpa}$ , což by pravděpodobně vedlo k mírnému navýšení hustoty, která by ovšem u bukových překližek neměla překročit  $800 \text{ kg/m}^3$ . Vlivem přidání skelných vláken se nám hustota o něco málo snížila, což hodnotím jako pozitivní skutečnost. Vzhledem k tomu, že v příčném směru se nám mechanické vlastnosti zlepšily.

K bobtnání dochází vlivem toho, že se voda váže na vodíkové můstky celulosy, hemicelulosy a ligninu. Dřevo tudíž bobtná pouze do doby, dokud přijímá vodu váznou, což znamená do meze hygroskopicity. V našem případě jsme naměřili, že celkové bobtnání kontrolní bukové překližky po 24 hod. uložení ve vodě bylo  $8,09\%$  a bobtnání překližky se skelnými vlákny  $6,27\%$ . Matovič (1993) uvádí, že bobtnání překližek přibližně odpovídá bobtnání masivního dřeva v jeho radiálním směru což podle hodnot, které uvádí Požgaj (1993) odpovídá. Theomen (2010) uvádí maximální hodnotu bobtnání pro masivní buk  $6,3\%$  v radiálním směru a podotýká, že se zvyšující hustotou se zvyšuje i bobtnání. Rozdíl v celkovém bobtnání mezi kontrolní překližkou a překližkou se skelnými vlákny bude pravděpodobně způsobem tím, že dýhy které sousedí se skelnými vlákny mají díky struktuře skelné tkaniny více prostoru pro zvětšování svého objemu.

Obecně u materiálů na bázi dřeva je pevnost v ohybu jedna z nejdůležitějších mechnických vlastností. Je důležité upozornit na to, že u dřeva vylišujeme dva způsoby pevnosti a to sice ve směru podél vláken a ve směru napříč vláken. Výhodou překližovaných desek je, že se zvyšujícím množstvím vrstev se nám tyto rozdíly snižují, ale jak je z naměřených výsledků zřejmé. U pětivrstvých překližek jsou tyto rozdíly stále dosti značné, což je nevýhodou oproti dřevotřískovým, dřevovláknitým,

dřevocementovým deskám a dalším velkoplošným aglomerovaným materiálům, které mají ve většině případů vlastnosti rovnoměrné ve všech směrech. Na druhou stranu i v příčném směru povrchových dých většinou překližky dosahují mnohem vyšších hodnot než většina aglomerovaných materiálů.

Nejdříve je potřeba zmínit, že Horáček (2009) uvádí podélnou pevnost v ohybu pro masivní bukové dřevo  $109 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $13100 \text{ N/mm}^2$ . V našem případě jsem pro kontrolní pětivrstvou bukovou překližku naměřili v podélném směru průměrnou hodnotu pevnosti v ohybu  $84,53 \text{ N/mm}^2$  a hodnotu modulu pružnosti  $8362,13 \text{ N/mm}^2$ . Je to hodnota, která odpovídá hodnotě ve většině literatury. Například Bal (2014) ve svém experimentu v němž zkoumal rozdíly mezi různými typy lepidel naměřil podélnou pevnost v ohybu pro bukovou překližku, která byla lepena močovinoformaldehydovým lepidlem  $84,1 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $8231 \text{ N/mm}^2$ . Matovič (1993) uvádí výrazně vyšší hodnotu pro pevnost v ohybu a to sice  $116,3 \text{ N/mm}^2$ . Tento rozdíl bude pravděpodobně způsobem již zmíněným rozdílem v lisovacím tlaku a tudíž zvýšenou hustotou uváděných překližek. Pro pětivrstvou bukovou překližku vyztuženou v povrchových vrstvách skelnými vlákny nám průměrná pevnost v ohybu vyšla  $63,05 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $6691,67 \text{ N/mm}^2$ . Tudíž hodnoty v ohybu vyšly výrazně nižší než pro nevyztuženou bukovou překližku. Byl to výsledek, který jsem neočekávali, ale již při testování bylo zřejmé, že muselo dojít k chybám při samotné výrobě. Dřív než mohlo dojít k samotné deformaci, došlo k odtržení vrstev, mezi kterými byla sklená textilie umístěna. Vlivem toho testovací program zaznamenal výrazný pokles v odporu, který materiál klade a test byl ukončen. Jednou z možných příčin byl nedostatečný lisovací tlak popř. nedostatečný nános lepidla a vrstvy, ve kterých byly umístěny skelná vlákna nebyly řádně slepeny.

V příčném ohybu nám pevnost v ohybu pro kontrolní překližku vyšla  $31,1 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $2749,26 \text{ N/mm}^2$ . Bal (2014) pro bukovou překližku v příčném směru lepenou močovinoformaldehydovým lepidlem uvádí hodnotu pevnosti v ohybu  $36,1 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $2671 \text{ N/mm}^2$ . Matovič (1993) uvádí pevnost v ohybu pro bukovou překližku  $61,3 \text{ N/mm}^2$ , což je stejně jako v přechodím případě výrazně vyšší hodnota. U překližky vyztužené sklenou textilií v povrchových vrstvách pevnost v ohybu vyšla  $39,14 \text{ N/mm}^2$  a modul pružnosti  $4089,72 \text{ N/mm}^2$ . Tentokrát už nám výsledky vyšly tak jak jsme předpokládali. V porovnání s kontrolní překližkou se díky sklené textilii výrazně zvýšila pevnost v ohybu, ale především velmi výrazně modul pružnosti.

Co se týče porovnání s ostatními materiály, které se používají na stejné účely. Matovič (1993) uvádí pro většinu dřevotřískových desek pevnost v ohybu kolem  $20 \text{ N/mm}^2$ . Dřevovláknité desky jsou na tom o něco lépe, pro polotvrdé dřevovláknité desky uvádí pevnost v ohybu  $37,6 \text{ N/mm}^2$ . Co se týče OSB desek, tak např. firma Dekwood® uvádí maximální pevnost v ohybu  $30 \text{ N/mm}^2$ . Obdobné hodnoty pevnosti v ohybu uvádí i Ross (2006), pro MDF desky  $35,8 \text{ N/mm}^2$ , pro OSB desky  $22,1-34,2 \text{ N/mm}^2$  dále např. pro dřevotřískové desky  $15,2-24,1 \text{ N/mm}^2$ . Z těchto hodnot je zřejmé, že buková překližka se skelnými vlákny, kterou jsme vyrobily má jednoznačně nejlepší pevnost v ohybu a jak již jsem zmiňoval výše, ani polotvrdé vláknité desky nedosahují takových hodnot jako naše překližka v příčném ohybu.

Jako poslední byla měřena smyková pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry. Pro smykovou pevnost středové dýhy jsme u kontrolní bukové překližky naměřily hodnotu  $21,44 \text{ N/mm}^2$  a pro překližku se skelnými vlákny  $14,88 \text{ N/mm}^2$ . Je zřejmé, že vlivem skelných vláken se poměrně výrazně smyková pevnost snížila. Stejně jako v předchozím případě zde může hrát roli nedostatečný nános lepidla popř. nízký lisovací tlak. Přesto nám hodnoty vyšly poměrně vysoké. Matovič (1993) uvádí smykovou pevnost pro pětivrstvou bukovo-smrkovou překližku  $10,3 \text{ N/mm}^2$ . Například pro dřevovláknitou desku isorel uvádí hodnotu  $22,9 \text{ N/mm}^2$ . Co se týče krajní lepené spáry tak pro kontrolní bukovou překližku byla naměřena hodnota  $6,67 \text{ N/mm}^2$  a pro překližku se skelnými vlákny  $8,16 \text{ N/mm}^2$ . Tentokrát hodnota překližky se skelnými vlákny vyšla o něco lepší, ale bohužel při tomto testu byla v obou případech velmi vysoká variabilita testovaných souborů a bylo by ukvapené na základě těchto výsledků dělat závěry.

## 7. Závěr

Velkoplošné materiály na bázi dřeva, mezi které patří i překližované desky, jsou dnes již neodmyslitelnou součástí pro stavby ze dřeva. Těchto materiálů na bázi dřeva, které se používají především k opláštění je na trhu velké množství. Od OSB desek přes dřevotřískové desky, cementotřískové po dřevovláknité desky a další. Samozřejmě každý z těchto materiálů má rozdílné vlastnosti a hodí se pro jiný druh staveb popř. další specifické použití. Ale jak ukázal náš experiment, co se mechanických vlastností týče, tak překližky patří jednoznačně mezi ty nejlepší a tyto vlastnosti je ještě dále možno vylepšit velmi jednoduchým a na výrobu technicky nenáročným způsobem.

Přesto, že náš experiment nevyšel ve všech ohledech tak jak jsme předpokládaly, což bylo způsobeno chybami při výrobě. Je zřejmé, že vylepšit především ohybové vlastnosti pomocí skelných vláken je opravdu možné a to poměrně výrazně. Dalším možným způsobem by bylo například aplikovat skelná vlákna přímo na povrch překližky. Tímto způsobem se vyztuží například surfy, snowboardy a skateboardy. Pravděpodobně by to vedlo ještě k lepším výsledkům, ale jedná se o mnohem náročnější a tím pádem samozřejmě dražší proces.

Obecně se dnes překližky na opláštění staveb nepoužívají tak často jako např. OSB desky, které jsou momentálně pravděpodobně nejpoužívanější a je to způsobené především výrazně vyšší cenou, která by vlivem použití skelných vláken byla samozřejmě ještě vyšší než u standardních překližek. Tudíž překližku, kterou jsme vyrobily by bylo možné použít do speciálních staveb a konstrukcí, u kterých dochází k výrazně vyššímu mechanickému namáhání než je tomu u běžných dřevostaveb. Popřípadě pro další užití, kde je potřeba pokrýt velkou plochu materiálem, kterým je poměrně lehký a má dobré mechanické vlastnosti.

## 8. Summary

The aim of the thesis was to prepare and characterize beech plywood reinforced with fiber-glass reinforcement in outer layer. The panel was successfully designed and produced. In experimental part of the thesis density, swelling, bending properties (MOR, MOE), shear strength and bonding strength were tested. Results were statistically evaluated.

Beech plywood produced by us (control) in laboratory indicated density around  $730 \text{ kg/m}^3$  which was similar to one with fiber reinforcement (ply-reinf). Swelling value after 24 hours was 8,09 % for control and 6,27 % for ply-reinf. MOR tested parallel to the grain was  $84,53 \text{ N/mm}^2$  for control and  $63 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf. On the other hand perpendicular to the grain the values were  $31 \text{ N/mm}^2$  for control and  $39 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf. MOE of samples tested parallel to the grain was  $8362 \text{ N/mm}^2$  for control and  $6691 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf. Samples tested perpendicular to the grain has shown  $2749 \text{ N/mm}^2$  for control and  $4090 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf. The shear strength was  $21,44 \text{ N/mm}^2$  for control and  $14,88 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf. Bonding strength was  $6,67 \text{ N/mm}^2$  for control and  $8,16 \text{ N/mm}^2$  for ply-reinf.

The bending properties parallel to the grain indicated opposite results than is expected and also mentioned in literature. It may be due to a defect during the manufacturing. The manufacturing should be in the future further optimized. However the fiber-glass reinforcement was found to contribute MOE in perpendicular direction as well as to bonding strength. Although research and design itself contributed to the plywood board development, the topic remained challenging. In the future research, different composition designed, underutilized species of low density wood species should be of interest.

## 9. Literatura

KRÁL, P.; HRÁZSKÝ J. *Kompozitní materiály na bázi dřeva část 2: Dýhy a vrstvené masivní materiály*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005, 206 s. ISBN 80-7157-878-9.

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

KRÁL, P.; HRÁZSKÝ, J. *Technologie výroby dých a překližovaných desek: návody do cvičení*. 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1995, 133 s. ISBN 80-7157-152-0.

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

POŽGAJ, A.. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1.vyd. /. Bratislava: Príroda, 1993, 485 s. ISBN 80-07-00600-1.

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

GOTTFRIED, W.; EHRENSTEIN. *Polymerní kompozitní materiály*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.

ČERNOCH, B. *Analýza vlastností nového kompozitního materiálu na bázi dřeva se skelným vláknem*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2010, Diplomová Práce

ROSS, R.J.; CAI, Z. *Mechanical properties of wood-based composite materials*. U.S. department of agriculture, Forest service, Forest products laboratory, Madison, 2010, 12s. ,12-1-12-12

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERENEK, M.. *Wood-based panels – An introduction for specialists*. Brunel University Press, 2010, 270 s. ISBN-13: 978-1902316826

BŮHM, M.; REISNER, J.; BOMBA, J. *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

BEKHTA, P.; HIZIROGLU, S.; SHEPELYUK, O.. *a Properties of plywood manufactured from compressed veneer as building material*. National University of Forestry and Wood Technology of Ukraine, Department of Wood-Based Composites, Ukraine; Oklahoma State University, Department of Natural Resource Ecology and Management, USA, 2008, 7s. 74078-6013

LEI, H. ;DU, G.;WU, Z.; XI, X.; DONG, X. *Cross-linked soy-based wood adhesives for plywood* ;Materials and Engineering College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, PRChina, 2014, 5 s. 0143-7496

BAL, B.; BEKTAS, I. *Some mechanical properties of plywood produced from eucalyptus, beech, and poplar veneer*. Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Kahramanmaraş, TURKEY, 2012, 10 s. 99-108

KHALIL, A.; FAZITA, N.; BHAT, A.H.;JAWAID, M.; FUAD, N. *Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass*. School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia, 2009, 8 s. 0261-3069

KRÁL, P.; KLÍMEK, P.; MISHRA, P.K.; RADEMACHER, P.; WIMMER, R. *Preparation and characterization of cork layered composite plywood board*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2014, 9 s. 1977-1985

## Normy

ČSN EN 310. *Desky ze dřeva – Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu.* Český normalizační institut, Praha, 1995, 8 s. 49-0147

ČSN EN 314-1. *Překlížované desky – Kvalita lepení.* Český normalizační institut, Praha, 2005, 20 s. 49-0173

ČSN EN 323. *Desky ze dřeva – Stanovení hustoty.* Český normalizační institut, Praha, 1994, 8 s. 49-0142

ČSN EN 317. *Třískové a vláknité desky - Stanovení bobtnání po uložení ve vodě.* Český normalizační institut, Praha, 1995, 8 s. 49-0166

ČSN EN 326-1. *Desky ze dřeva - Odběr vzorků, nařezávání a kontrola - Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky.* Český normalizační institut, Praha, 1997, 12 s. 49-0184

## Internetové zdroje

<<http://fld.czu.cz/~bohmi/preklizky.htm>>

<<http://www.Dyas.cz>>

<<http://www.ksp.tul.cz>>

<<http://www.shreeramminerals.com>>

<<http://i.kinja-img.com>>

<<http://www.webareal.cz>>



## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| <b>Obrázek 1:</b> Osa symetrie uprostřed překližky (Thoemen 2000) .....  | 11 |
| <b>Obrázek 2:</b> Loupání dýhy (Thoemen 2000) .....  | 14 |
| <b>Obrázek 3:</b> - Polévací nanášeka: 1 - nanášecí válec, 2 - zásobník lepidla, 3 - nanášecí hrana, 4 - lepicí směs, 5 - dýha s naneseným lepidlem, 6 - unášecí pás, 7 – čerpadlo ( <a href="http://fld.czu.cz/~bohmm/prekizky.htm">http://fld.czu.cz/~bohmm/prekizky.htm</a> ) ..... | 15 |
| <b>Obrázek 4:</b> Dyas film - překližovaná voděvzdorná deska lepená fenol-formaldehydovým lepidlem. Z obou stran je chráněna proti působení vody fenolickou folií o gramáži 150g/m <sup>2</sup> a hrany jsou opatřeny ochranným vodovzdorným nátěrem. (Dyas.cz) .....                  | 18 |
| <b>Obrázek 5:</b> Dyas absorption celobukova překližovaná deska, která obsahuje speciální vrstvu technické pryže o tloušťce cca 3mm (Dyas.cz) .....  | 19 |
| <b>Obrázek 6:</b> Dyas multiplex – Mnohvrstvé překližované desky složené z bukových dýh (Dyas.cz) .....  | 19 |
| <b>Obrázek 7:</b> Rozložení a velikost napětí v materiálu při namáhání ohybem ( <a href="http://www.ksp.tul.cz">http://www.ksp.tul.cz</a> ). .....   | 20 |
| <b>Obrázek 8:</b> Skelná textilie (shreeramminerals.com) .....   | 22 |
| <b>Obrázek 9:</b> Karbonová textilie ( <a href="http://i.kinja-img.com">http://i.kinja-img.com</a> ) .....   | 24 |
| <b>Obrázek 10:</b> FRP- pětivrstvá překližka vyztužena sklenými vlákny slepenými polyestereovou pryskyřicí ( <a href="http://www.morgancorp.com">http://www.morgancorp.com</a> ) .....   | 25 |
| <b>Obrázek 11:</b> Skládání souboru při výrobě překližek v budově T .....  | 27 |
| <b>Obrázek 12:</b> Lisování překližek na školním lisu v budově T .....   | 27 |
| <b>Obrázek 13:</b> <i>l</i> - zkušební těleso; <i>F</i> – Zatížení; <i>t</i> - tloušťka zkušebního tělesa; $l_1=20*t; l_2=l_1\pm 50$ .....   | 28 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Obrázek 14:</b> Použitá testovací tělíska pro zkoušku smykové pevnosti středí dýhy.<br><i>Prořez pily <math>b_2 - 2,5 - 4 \text{ mm}</math>; Délka smykové plochy <math>l_1 - 25 + 0,5 \text{ mm}</math>; Vzdálenost čelistí <math>l_2 - \text{min. } 50 \text{ mm}</math>.....</i> | 30 |
| <b>Obrázek 15:</b> Použitá testovací tělíska pro zkoušku smykové pevnosti krajní lepené spáry.....   | 31 |
| <b>Obrázek 16:</b> Testovací tělísko použité na měření hustoty a následně na zkoušku bobtnání po 24 hod. uložení ve vodě. Na tělísku je mimo jiné velmi dobře vidět rozdílné velikosti bobtnání v různých anatomických směrech.....  | 34 |
| <b>Obrázek 17:</b> Graf srovnání velikosti bobtnání kontrolní bukové překližky.....  | 35 |
| <b>Obrázek 18:</b> Graf srovnání velikosti bobtnání překližky se skelnými vlákny.....  | 36 |
| <b>Obrázek 19:</b> Ohybová zkouška v Útěchové na školní zkušební stroji značky Zwick/Roell.....  | 37 |
| <b>Obrázek 20:</b> Ukázka porušeného testovacího tělíska z kontrolního vzorku.....   | 37 |
| <b>Obrázek 21:</b> Jednofaktorová ANOVA pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 40 |
| <b>Obrázek 22:</b> Scheffeho test pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 41 |
| <b>Obrázek 23:</b> Krabicový graf pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 41 |
| <b>Obrázek 24:</b> Jednofaktorová ANOVA pro modul pružnosti v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 42 |
| <b>Obrázek 25:</b> Scheffeho test pro modul pružnosti v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 43 |
| <b>Obrázek 26:</b> Krabicový graf pro pevnost v ohybu v příčném i podélném směru pro kontrolní bukové překližka a pro překližky se skelnými vlákny.....  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Obrázek 27:</b> Smyková zkouška středové dýhy v Útěchové na školní zkušebním stroji značky Zwick/Roell .....  | 44 |
| <b>Obrázek 28:</b> Jednofaktorová ANOVA pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny ..... | 47 |
| <b>Obrázek 29:</b> Scheffeho test pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny .....       | 48 |
| <b>Obrázek 30:</b> Krabicový graf pro smykovou pevnost středové dýhy a krajní lepené spáry pro kontrolní bukové překližky a pro překližky se skelnými vlákny.....        | 48 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabulka 1:</b> Pevnost v ohybu kolmo na rovinu desky ve směru vláken povrchové dýhy a kolmo na vlákna povrchové dýhy různých typů překližek (Matovič 1993). ..... | 21 |
| <b>Tabulka 2:</b> Pevnost v horizontálním smyku u různých typů překližek. (Regináč 1990 in Matovič 1993).....  | 21 |
| <b>Tabulka 3:</b> Průměrné vlastnosti neupravených skelných vláken, po zpracování na polotovary se můžou některé vlastnosti výrazně zhoršit (Gottfried 2006). .....  | 23 |
| <b>Tabulka 4:</b> Průměrné vlastnosti neupravených uhlíkových vláken (Gottfried 2006).....   | 24 |
| <b>Tabulka 5:</b> Technický list použitého lepidla Protovil D4 ( <a href="http://www.webareal.cz">http://www.webareal.cz</a> ).....                                  | 26 |
| <b>Tabulka 6:</b> Hustota Kontrolní bukové překližky.....  | 33 |
| <b>Tabulka 7:</b> Hustota Bukové překližky se skelnými vlákny.....   | 33 |
| <b>Tabulka 8:</b> Velikost bobtnání kontrolní bukové překližky.....  | 35 |
| <b>Tabulka 9:</b> Velikost bobtnání překližky se skelnými vlákny .....   | 36 |
| <b>Tabulka 10:</b> Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti podél vláken pro kontrolní bukovou překližku. ....   | 38 |
| <b>Tabulka 11:</b> Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti podél vláken pro bukovou překližku se skelnými vlákny. ....                                | 38 |
| <b>Tabulka 12:</b> Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti napříč vlákna pro kontrolní bukovou překližku. ....  | 39 |
| <b>Tabulka 13:</b> Vypočítané hodnoty pevnosti v ohybu a modulu pružnosti napříč vlákna pro bukovou překližku se skelnými vlákny. ....                               | 39 |
| <b>Tabulka 14:</b> Vypočítané hodnoty smykové pevnosti středové dýhy pro kontrolní bukovou překližku. ....   | 45 |
| <b>Tabulka 15:</b> Vypočítané hodnoty smykové pevnosti středové dýhy pro bukovou překližku se skelnými vlákny. ....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabulka 16:</b> Vypočítané hodnoty smykové pevnosti krajní lepené spáry pro kontrolní bukovou překližku ..... | 46 |
| <b>Tabulka 17:</b> Vypočítané hodnoty smykové pevnosti krajní lepené spáry pro překližku se skelnými vlákny..... | 46 |
| <b>Tabulka 18:</b> Naměřené hodnoty hustoty .....  | 63 |
| <b>Tabulka 19:</b> Naměřené hodnoty bobtnání pro kontrolní bukovou překližku .....                               | 63 |
| <b>Tabulka 20:</b> Naměřené hodnoty bobtnání pro bukovou překližku se skelnými vlákny.....                       | 64 |
| <b>Tabulka 21:</b> Naměřené hodnoty ohybové zkoušky .....  | 64 |
| <b>Tabulka 22:</b> Naměřené hodnoty smykové zkoušky .....  | 65 |

## Seznam vzorců

**Rovnice 1:** Stanovení modulu pružnosti  $E_m$ ,  $l_1$  - vzdálenost mezi středy podpěr [mm];  $b$  - šířka zkušebního tělesa [mm];  $t$  - tloušťka zkušebního tělesa [mm];  $(F_2 - F_1)$  přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky, [N].  $(a_2 - a_1)$  - přírůstek průhybu ve středu délky zkušebního tělesa.....28

**Rovnice 2:** Stanovení pevnosti v ohybu  $f_m$ ,  $l_1$  - vzdálenost mezi středy podpěr [mm];  $b$  - šířka zkušebního tělesa [mm];  $t$  - tloušťka zkušebního tělesa [mm];  $F_{max}$  - velikost maximálního naměřeného zatížení [N].....28

**Rovnice 3:** Stanovení smykové pevnosti, kde  $F$  - síla při porušení zkušebního tělesa [N];  $l$  - délka smykové plochy [mm];  $b$  - šířka smykové plochy [mm].....30

**Rovnice 4:** Stanovení objemové hmotnosti, kde  $m$  - Hmotnost zkušebního tělesa [g];  $l$  - Délka zkušebního tělesa [mm];  $b$  - Šířka zkušebního tělesa v [mm];  $t$  - Tkoušťka zkušebního tělesa [mm].....31

**Rovnice 5:** Stanovení bobtnání kde,  $t_1$  - Tloušťka vzorku před ponořením [mm];  $t_2$  - Tloušťka vzorku po ponořením [mm].....31

## Seznam schémat

**Schéma 1:** Schéma výroby dých (Král 2005).....13

## Přílohy

**Tabulka 18:** Naměřené hodnoty hustoty

| Č. vzorku | Váha [g] | d [mm] | s [mm] | v [mm] | $\rho$<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | pozn    |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------------------------------|---------|
| 1         | 17,9     | 50     | 49,5   | 9,95   | 726,87                         | Sk. VI. |
| 2         | 18,10    | 50,30  | 50,00  | 10,00  | 719,68                         | Sk. VI. |
| 3         | 17,80    | 49,90  | 49,70  | 9,93   | 722,79                         | Sk. VI. |
| 4         | 17,70    | 50,20  | 49,90  | 9,91   | 713,01                         | Sk. VI. |
| 5         | 17,80    | 49,70  | 49,80  | 9,87   | 728,65                         | Sk. VI. |
| 6         | 17,50    | 49,40  | 49,80  | 9,94   | 715,64                         | Sk. VI. |
| 7         | 17,70    | 49,60  | 49,80  | 9,95   | 720,18                         | Sk. VI. |
| 8         | 18,00    | 49,90  | 49,90  | 10,00  | 722,89                         | Sk. VI. |
| 9         | 15,00    | 49,90  | 50,00  | 8,22   | 731,39                         | kontr.  |
| 10        | 14,90    | 49,90  | 50,10  | 8,25   | 722,43                         | kontr.  |
| 11        | 14,90    | 50,00  | 50,00  | 8,17   | 729,50                         | kontr.  |
| 12        | 14,70    | 49,80  | 49,80  | 8,19   | 723,73                         | kontr.  |
| 13        | 14,50    | 49,70  | 49,60  | 8,21   | 716,45                         | kontr.  |
| 14        | 14,60    | 49,80  | 49,90  | 8,19   | 717,36                         | kontr.  |
| 15        | 15,10    | 49,90  | 50,00  | 8,23   | 735,37                         | kontr.  |
| 16        | 15,50    | 50,40  | 50,00  | 8,29   | 741,95                         | kontr.  |

**Tabulka 19:** Naměřené hodnoty bobtnání pro kontrolní bukovou překližku

| č.<br>Vzorku   | Suché | Po 2<br>hod. | Po 6<br>hod. | Po 24<br>hod. |
|----------------|-------|--------------|--------------|---------------|
| 1              | 8,22  | 8,33         | 8,55         | 8,85          |
| 2              | 8,25  | 8,43         | 8,51         | 8,90          |
| 3              | 8,17  | 8,34         | 8,52         | 8,83          |
| 4              | 8,19  | 8,46         | 8,61         | 8,89          |
| 5              | 8,21  | 8,39         | 8,50         | 8,81          |
| 6              | 8,19  | 8,48         | 8,76         | 9,00          |
| 7              | 8,23  | 8,36         | 8,49         | 8,72          |
| 8              | 8,29  | 8,52         | 8,81         | 9,07          |
| $\bar{X}$      | 8,22  | 8,41         | 8,59         | 8,88          |
| $t_\alpha$ (%) | x     | 2,37         | 4,56         | 8,09          |

**Tabulka 20:** Naměřené hodnoty bobtnání pro bukovou překližku se skelnými vlákny

| č. Vzorku | Suché | Po 2 hod. | Po 6 hod. | Po 24 hod. |
|-----------|-------|-----------|-----------|------------|
| 9         | 9,95  | 10,31     | 10,73     | 10,73      |
| 10        | 10,00 | 10,00     | 10,25     | 10,40      |
| 11        | 9,93  | 10,34     | 10,57     | 10,58      |
| 12        | 9,91  | 10,29     | 10,41     | 10,51      |
| 13        | 9,87  | 10,43     | 10,45     | 10,69      |
| 14        | 9,94  | 10,41     | 10,58     | 10,69      |
| 15        | 9,95  | 10,47     | 10,48     | 10,43      |
| 16        | 10,00 | 10,12     | 10,34     | 10,51      |
| $\bar{X}$ | 9,94  | 10,30     | 10,48     | 10,57      |
| $t_a$ (%) | x     | 3,54      | 5,36      | 6,27       |

**Tabulka 21:** Naměřené hodnoty ohybové zkoušky

| č. Vzorku | MOR [N/mm <sup>2</sup> ] | MOE [N/mm <sup>2</sup> ] | Poznámka                   |
|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1         | 30,06                    | 2724,23                  | Kontrolní příčný           |
| 2         | 31,31                    | 2841,96                  | Kontrolní příčný           |
| 3         | 29,79                    | 2754,2                   | Kontrolní příčný           |
| 4         | 33,25                    | 2676,64                  | Kontrolní příčný           |
| 5         | 39,14                    | 3966,13                  | Příčný se skelnými vlákny  |
| 6         | 36,57                    | 3928,77                  | Příčný se skelnými vlákny  |
| 7         | 39,84                    | 4282,34                  | Příčný se skelnými vlákny  |
| 8         | 41                       | 4181,62                  | Příčný se skelnými vlákny  |
| 9         | 89,8                     | 8618,36                  | Kontrolní podélný          |
| 10        | 79,23                    | 8447,33                  | Kontrolní podélný          |
| 11        | 80,89                    | 8006,35                  | Kontrolní podélný          |
| 12        | 88,18                    | 8376,46                  | Kontrolní podélný          |
| 13        | 59,24                    | 6303,43                  | Podélný se skelnými vlákny |
| 14        | 65,74                    | 7309,22                  | Podélný se skelnými vlákny |
| 15        | 68,4                     | 6990,22                  | Podélný se skelnými vlákny |
| 16        | 58,81                    | 6163,8                   | Podélný se skelnými vlákny |



**Tabulka 22:** Naměřené hodnoty smykové zkoušky

| č. Vzorku | Výška smykové plochy [mm] | Šířka smykové plochy [mm] | Rm [N/mm <sup>2</sup> ] | Poznámka               |
|-----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1         | 26,03                     | 8,45                      | 20,75                   | Kontrolní středová     |
| 2         | 26,19                     | 8,56                      | 23,29                   | Kontrolní středová     |
| 3         | 26,16                     | 8,4                       | 21,68                   | Kontrolní středová     |
| 4         | 25,76                     | 8,39                      | 24,97                   | Kontrolní středová     |
| 5         | 26,08                     | 8,52                      | 19,75                   | Kontrolní středová     |
| 6         | 25,8                      | 8,36                      | 18,18                   | Kontrolní středová     |
| 7         | 27,28                     | 9,84                      | 16,07                   | Středová s vlákny      |
| 8         | 27,26                     | 9,85                      | 13,89                   | Středová s vlákny      |
| 9         | 27,19                     | 9,94                      | 16,19                   | Středová s vlákny      |
| 10        | 27,12                     | 9,98                      | 15,17                   | Středová s vlákny      |
| 11        | 27,02                     | 9,87                      | 14,8                    | Středová s vlákny      |
| 12        | 27                        | 9,92                      | 13,13                   | Středová s vlákny      |
| 13        | 26,68                     | 8,45                      | 11,08                   | kontrolní lepená spáry |
| 14        | 26,68                     | 8,36                      | 8,17                    | kontrolní lepená spáry |
| 15        | 26,41                     | 8,45                      | 6,11                    | kontrolní lepená spáry |
| 16        | 26,57                     | 8,32                      | 4,91                    | kontrolní lepená spáry |
| 17        | 26,56                     | 8,34                      | 6,48                    | kontrolní lepená spáry |
| 18        | 26,54                     | 8,55                      | 3,27                    | kontrolní lepená spáry |
| 19        | 26,44                     | 8,37                      | 4                       | kontrolní lepená spáry |
| 20        | 26,68                     | 8,34                      | 9,33                    | kontrolní lepená spáry |
| 21        | 25,61                     | 10,04                     | 8,68                    | Lepená spára s vlákny  |
| 22        | 25,46                     | 10,08                     | 9,33                    | Lepená spára s vlákny  |
| 23        | 25,34                     | 10,14                     | 8,97                    | Lepená spára s vlákny  |
| 24        | 25,44                     | 10,09                     | 10,2                    | Lepená spára s vlákny  |
| 25        | 26,02                     | 10,07                     | 8,13                    | Lepená spára s vlákny  |
| 26        | 25,83                     | 9,94                      | 7,37                    | Lepená spára s vlákny  |
| 27        | 25,7                      | 9,95                      | 7,1                     | Lepená spára s vlákny  |
| 28        | 25,65                     | 9,97                      | 7,08                    | Lepená spára s vlákny  |
| 29        | 25,83                     | 9,93                      | 6,54                    | Lepená spára s vlákny  |