

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA

ÚSTAV NAUKY O DŘEVĚ



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

**Návrh materiálu na bázi dřeva s požární
odolností**

Bakalářská práce

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Návrh materiálu na bázi dřeva s požární odolností zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Brně, dne:

.....

Lucie Jeřábková

Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce panu doc. Dr. Ing. Pavlu Královi za cenné rady a připomínky, které mi pomohly při tvorbě této bakalářské práce. Velký dík také patří panu Ing. Samuelu Kramárovi za jeho čas strávený se mnou, ve kterém mi pomohl při výrobě a testování zkušebních vzorků a dále za jeho cenné rady.

Abstrakt

Autor: Lucie Jeřábková

Název bakalářské práce: Návrh materiálu na bázi dřeva s požární odolností

Bakalářská práce porovnává vlastnosti kompozitních materiálů, které ve své skladbě obsahují čedičové nebo skelné vlákno. Hlavním cílem je porovnat vybrané mechanické vlastnosti týkající se především požární odolnosti. Konkrétně se tato bakalářská práce bude zabývat ohybovými vlastnostmi kompozitního materiálu s čedičovým vláknem. Ty budou porovnávány s ohybovými vlastnostmi kompozitního materiálu se skelným vláknem a se samostatnou překližkou. Následně bude zjištěna ohnivzdornost kompozitního materiálu s čedičovým vláknem a bude porovnávána s ohnivzdorností samotné překližky a s kompozitem se skelným vláknem. V poslední řadě bude provedena zkouška odolnosti povrchu proti padající kuličce.

Klíčová slova: čedičové vlákno, skelné vlákno, překližka, buk, ohyb, protipožární odolnost.

Abstract

Author: Lucie Jeřábková

Title of thesis: Design wood-based material with fire resistance

Bachelor thesis compares the properties of composite materials with basalt fiber or with glass fiber. The main objective is comparison of the mechanical properties, which include fire resistance. Concretely, thesis will deal with bending properties of composite material with basalt fiber. These properties of composite material with basalt fiber will be compared with the bending properties of the composite material with glass fiber and plywood. The second part will deal with fire resistance of composite material with basalt fiber and will compare with the fire resistance plywood and composite material with glass fiber. Finally will be made a test of the surface resistant against falling bullet.

Key words: basalt fiber, glass fiber, plywood, beech, bending, fire resistance.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce.....	11
3	Literární přehled	12
3.1	Vlákna v kompozitu	12
3.2	Čedičové vlákno.....	12
3.2.1	Vznik a chemické složení čediče	12
3.2.2	Historie objevu.....	13
3.2.3	Výroba čedičového vlákna.....	14
3.2.4	Vlastnosti čedičového vlákna	15
3.3	Skelné vlákno	17
3.3.1	Sklo	17
3.3.2	Vznik a chemické složení	17
3.3.3	Historie objevu.....	18
3.3.4	Výroba skelného vlákna.....	19
3.3.5	Typy sklovláknitých a čedičovvláknitých výztuží.....	21
3.4	Překližka.....	23
3.4.1	Vlastnosti překližek	23
3.4.2	Historie objevu.....	24
3.4.3	Výroba překližek.....	25
4	Materiál a metodika	29
4.1	Výroba zkušebních vzorků.....	29
4.2	Statická zkouška tříbodovým ohybem	31
4.2.1	Postup zkoušky podle ČSN EN 310 (49 0147).....	33
4.2.2	Vyjádření výsledků podle ČSN EN 310 (49 0147)	34
4.2.3	Vlastní průběh zkoušky	35

4.3	Statická zkouška třibodovým ohybem s využitím metody korelace digitálního obrazu.....	36
4.4	Stanovení stupně hořlavosti	36
4.4.1	Postup zkoušky podle ČSN 73 0862.....	37
4.4.2	Vyhodnocení zkoušky.....	37
4.5	Zkouška odolnosti proti padající kuličce	39
5	Výsledky	41
5.1	Výsledky zkoušky třibodovým ohybem.....	41
5.1.1	Podélný směr.....	41
5.1.2	Příčný směr	43
5.1.3	Statistické vyhodnocení výsledků pomocí jednofaktorové ANOVY	45
5.2	Výsledky zkoušky stanovení stupně hořlavosti	48
5.3	Výsledky zkoušky odolnosti proti padající kuličce	50
6	Diskuse.....	51
7	Závěr	54
8	Summary	55
9	Literární zdroje	56
	Internetové zdroje	57
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek	61
	Příloha.....	62
	Podélný směr.....	62
	Příčný směr	66

1 Úvod

Lidé už od nepaměti používají na stavbu svého obydlí dřevo. To pro ně bylo velmi dostupným materiálem s dobrými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi.

Nejprve si stavěli chýše, později to byly primitivní domy a nakonec roubenky. Současně také zjistili, že dřevo může velmi snadno hořet. To byla na jedné straně výhoda, protože se mohli ohřát a také si tepelně upravit potravu. Ale na druhé straně tu byla jistá nevýhoda a to taková, že jejich dřevěná obydlí mohla velmi snadno začít hořet. To bylo v dávných dobách na denním pořádku. Ať už se jednalo o nepozornost, nebo docházelo k vypalování obydlí cizími nepřáteli.

Jak se člověk vyvíjel, tak se také jeho obydlí začalo zdokonalovat. Z primitivních chýší se staly nejprve osady, ze kterých vznikaly vesnice a některé se rozrostly až do měst. Tím, jak se tato města rozšiřovala, měl i požár čím dál katastrofálnější následky. Pokud se podíváme do historie jakéhokoli města, tak alespoň jednou za ta staletí město vyhořelo. Proto byla snahou panovníků vytvořit opatření, která by průběh požáru alespoň zmírnila. Například každý dům musel mít připraveno vědro s vodou, kdyby došlo k požáru, aby mohli okamžitě hasit a tím snižovali následky požáru. Dále vznikla profese hlásného, který mimo jiné měl informovat i o vzniku požáru.

Revoluční změny přichází s nástupem Marie Terezie na trůn. Ona za své vlády vytvořila mnoho osvícenských nařízení, ke kterým patřil i zákaz stavění roubenek. Místo toho se začaly stavět domy zděné. Tímto nařízením omezila množství požárů. V tomtéž dále pokračoval i její syn Josef II.

V dnešní době se znovu vrací tradice dřevěných domů neboli staveb na bázi dřeva. Ať už se jedná o sruby, novodobé roubenky nebo sendvičové rodinné domy na bázi dřeva. A tím, jak se člověk vyvíjí, tak se i jeho nároky zvyšují. Kvůli tomu se dnes vyrábějí kompozitní materiály na bázi dřeva, které se snaží odbourat některé negativní vlastnosti masivního dřeva a zlepšit jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.

Na trhu existuje mnoho retardérů hoření. Mohou to být například různé nátěrové hmoty s přídavkem halových prvků, nebo se vytvářejí tzv. sendvičové desky

s vermikulitem. Tato bakalářská práce se snaží jít ekologičtější cestou, která je pro dnešní dobu stále důležitější. Jsou na ní kladeny čím dál větší nároky. Proto se budeme snažit vyrobit vrstevnatý materiál na bázi dřeva s vrstvou čedičového a skelného vlákna, u kterého otestujeme některé jeho fyzikální a mechanické vlastnosti.

2 Cíl práce

Cílem této práce je vytvoření dvou typů vrstevnatých masivních materiálů na bázi dřeva, kde poslední vrstvu bude tvořit tkanina vyrobená z čedičového nebo skelného vlákna. U těchto vzorků vrstevnatých masivních materiálů na bázi dřeva budou zkoumány některé vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti.

První část bakalářské práce teoreticky objasní technologii výroby čedičového a skelného vlákna, jejich výhody a nevýhody, vznik a historii výroby. Dále jemně nastíní výrobu samostatné překližky, její výhody a použití.

Druhá část bakalářské práce bude zaměřena na samostatné zhotovení vrstevnatého masivního materiálu na bázi dřeva s čedičovým nebo skelným vláknem a následně bude proveden výzkum mechanických vlastností vrstevnatého masivního materiálu na bázi dřeva s čedičovým a skleným vláknem. Konkrétně se budeme zabývat ohybovými vlastnostmi kompozitního materiálu s čedičovým vláknem a to budeme následně porovnávat s ohybovými vlastnostmi kompozitního materiálu se skelným vláknem a se samotnou překližkou. Po této zkoušce budeme testovat ohnivzdornost kompozitního materiálu s čedičovým vláknem a to budeme porovnávat s obyčejnou překližkou. Jako poslední bude provedena zkouška odolnosti proti padající kuličce. Výsledky výzkumu budou staticky vyhodnoceny a srovnány s literaturou.

3 Literární přehled

3.1 Vlákna v kompozitu

Ve stavebním průmyslu existuje velké množství kompozitních materiálů, které mají vynikající protipožární vlastnosti (Ehrenstein, 2009).

Co to vlastně je kompozit? Kompozitní materiály jsou složeny alespoň ze dvou odlišných materiálů, z nichž alespoň jeden musí být tuhý. Kompozitní materiály jsou vyráběny proto, aby byly zlepšeny vlastnosti materiálů původních (Vnouček, 2009).

3.2 Čedičové vlákno

3.2.1 Vznik a chemické složení čediče

Čedičové vlákno vzniká z horniny čediče neboli bazaltu. Tato hornina vznikla v období třetihor vulkanickou činností, a proto se řadí mezi horniny výlevné. Čedič po vulkanické činnosti chladl velmi dlouho a v té době na něj působily velké tlaky jednotlivých vrstev zemské kůry, vodní páry a další činitelé.

Barva čediče je většinou tmavě šedá až černá. Někdy může obsahovat hnědé nebo červené odstíny. Svoji skladbou je čedič jemnozrný a někdy může mít také pórovitou (vezikulární) strukturu, to v důsledku uzavření plynů při vulkanické činnosti. Tyto póry mohou vyplnit zeolity, kalcity nebo křemeny (Vávra, 2009).

Čedič má perfektní vlastnosti. Je pevný, trvanlivý a odolává vysokým teplotám. Zemská kůra je tvořena z 90 % čedičovými horninami. Dále je také zjištěno, že se vyskytuje na Měsíci a patrně i na dalších planetách sluneční soustavy (Petránek, 2007). Čedič je z velké části složený z plagioklasu (což je živec) a pyroxenu. Tyto dva nerosty tvoří až 90 % z celkového obsahu čediče. Zbýlých 10 – 20 % tvoří ostatní minerály, jako je: olivín, amfibol, biolit a dále pak oxidy železa a titanu (Vávra, 2009).



Obr. 1 Vzorek čediče neboli bazaltu.

3.2.2 Historie objevu

S úplně prvním pokusem roztavit čedič přišel D. Arcet v roce 1777 ve Francii. D. Arcet se snažil čedič roztavit v peci určené pro tavení porcelánu. Jeho pokus bohužel nedopadl dobře, protože mu vznikla tavenina, která byla velmi černá a podobně křehká jako sklo. O další tavení se pokoušeli i Němci. Němci se vydali rozdílnou cestou a čedič tavili pomocí plynu. Ani zde nedošlo k výsledkům, které by byly uspokojivé a které by vedly k revoluci ve využívání čediče v průmyslu.

Začátkem 20. století se úspěšně povedlo tavit čedič francouzskému vědci Dr. François Ribbé. Díky němu byla zahájena průmyslová výroba taveného čediče. V této době se z čediče vyrábí převážně izolátory.

V Německu se po první světové válce výroba zaměřila především na využití odolnosti taveného čediče proti obroušení a chemickým vlivům.

Dále se tato revoluční novinka dostala do tehdejšího Sovětského svazu.

V Československu se též začala hledat surovina, která by předčila vlastnosti kovů, a tak se v roce 1949 začal čedič tavit ve sklářských hutích. Tento objev, tavení čediče, se k nám dostává z tehdejšího Sovětského svazu. V roce 1949 se u nás vytvořil tým odborníků ve Výzkumném ústavu sklářském v Hradci Králové, který měl za úkol odstranit dosavadní provozní potíže, které provázely proces tavení čediče. Byla tedy vyrobená speciální tavící pec na tavení čediče a bylo zdokonaleno jeho formování a slévání a také konečné tunutí a ochlazování odlitků z taveného čediče.

Velkou výhodou čediče je to, že ve světě existují rozsáhlá čedičová ložiska, která do doby objevu tavení čediče nebyla využívána. Další podstatnou výhodou, pro kterou se čedič začal používat, je jeho odolnost vůči otěru a nepodléhá povětrnostním vlivům. Nevýhodou přírodního nepřetaveného čediče je jeho nemožnost opracování, protože je velmi křehký a má lasturovitý lom.

V Československu bylo objeveno mnoho nalezišť přírodního čediče. Tvoří jak souvislá pohoří, jako např. České středohoří, Doupovské vrchy, Jeseníky nebo pohoří u Šťavnic a Filakova, tak i osamělé vrchy, jako Říp, Kunětická hora, Slánská hora, Vlčí hora, Vinařická hora, Komorní Hůrka a sopky Venušina sopka, Uhlířská sopka, Velký a Malý Roudný. Poblíž těchto nalezišť byly vytvořeny lomy pro těžbu čediče.



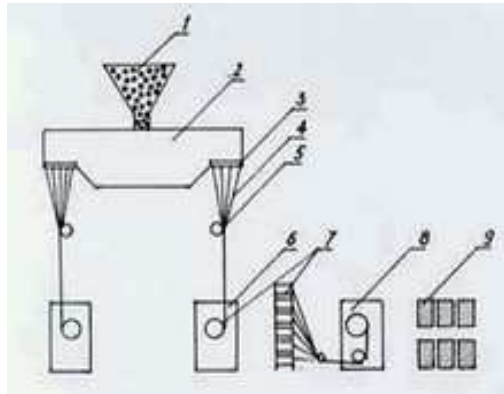
Obr. 2 Přírodní památka Panská skála.

První tendence o výrobu čedičových vláken se objevily v roce 1923 v Americe. Mohl za to především rozvoj techniky a průmyslu v té době. Tento objev měl nejprve sloužit pouze pro vojenské účely. Díky svým tepelným vlastnostem a relativně nízké hmotnosti se čedič používal především v leteckém průmyslu. Během druhé světové války došlo ke zlepšení technologické výroby a také se čedičové vlákno rozšiřuje z Ameriky do Evropy a do tehdejšího Sovětského svazu. Od té doby se čedičová vlákna dostávají do dalších oblastí průmyslového dění ve světě (Dhand et al., 2014).

3.2.3 Výroba čedičového vlákna

Nejprve musí dojít k těžbě čediče. Ten je dopraven do závodu, který zpracovává čedičové horniny. Zde dochází k rozdrčení horniny na frakci 5 až 20 mm. Následně musí dojít k čištění rozemletého čediče, aby nedošlo k roztavení nečistot, které by mohly narušit chod kontinuální výroby. Rozdrčená surovina putuje pomocí nakladače do tavicí pece. Během procesu tavení dosahuje hornina teploty asi kolem 1400 až 1600 °C. Následně je tavenina dopravována k platinovým tryskám. Trysky jsou z platiny,

protože platina má vyšší bod tání než čedič a díky tomu nedojde k deformaci trysek vysokou teplotou. Tryska má průměr 9 až 15 μm a musí být neustále promazávána, aby nedošlo k jejímu ucpání. Z trysek tedy vychází vlákno, které už je pomalu ochlazováno a následně je navíjeno na cívky. Z těchto cívek se potom může vytvářet různé tkaniny, rohože, atd. (neuvedeno, 2005).



Obr. 3 Schématický obrázek popisu výroby čedičového vlákna.

1. drcení čediče, 2. transport do tavící pece, 3. platinové trysky,
4. čedičová vlákna, 5. splétací stroj, 6. navíjení na cívku,
7. 8. 9. výroba konkrétního typu výrobku



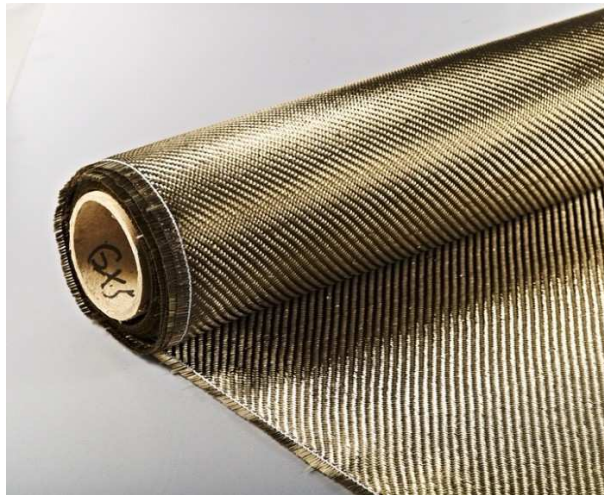
Obr. 4 Čedičové vlákno.

3.2.4 Vlastnosti čedičového vlákna

- vysoká pevnost a modul pružnosti
- ohebnost vláken
- vysoká tepelná odolnost a použitelnost v širokém rozsahu teplot
- vynikající izolační vlastnosti
- chemická odolnost proti:

- vodě
- většině silných zásad
- organickým a anorganickým kyselinám
- organickým rozpouštědlům
- vysoký elektrický odpor a schopnost stínění elektromagnetického zařízení
- odolnost proti kontaminaci radioaktivním zářením
- nehořlavost a nízký obsah spalin
- odolný vůči otěru a mechanickému namáhání
- lehce tavitelný
- v důsledku rekrystalizace je možné měnit jeho vlastnosti
- vyšší životnost než např. kovové komponenty
- akustické vlastnosti
- ekologický a zdravotně nezávadný
- tvarová a rozměrová stálost
- odolnost proti plísním a jiným mikroorganismům

(Basaltex a.s.), (Svitap J. H. J. s. r. o.), (neuveďeno, 1967), (Darte, 2016)



Obr. 5 Tkanina z čedičového vlákna.

3.3 Skelné vlákno

3.3.1 Sklo

Sklo je naší nedílnou součástí už několik století. Má široké uplatnění v průmyslu, stavebnictví, architektuře i umění. Ve stavebnictví má hlavní uplatnění jako výplň okenních a dveřních otvorů.

Je to amorfní pevná látka, která vznikla ztuhnutím taveniny.

Základní surovinou pro výrobu skla je sklářský písek. Hlavní složkou sklářského písku je především křemen, dále obsahuje podíl živců, slíd a minerálů. Jako pojivo se používají jílové písky. Pokud je potřeba získat nějaký jiný odstín skla, používají se barvicí oxidy. Nejčastěji se používají oxidy nebo soli kovu. Mezi známá barviva patří například mangan, který barví sklo do fialova. Kobalt barví sklo do modra. Měď do červena, ale také do tyrkysové barvy. Zlato vytváří rubínově červenou barvu a stříbro žlutou až oranžovou barvu. Dále se přidávají látky zvané čeřiva. Přidávají se v malém množství, aby se ve skle netvořily bublinky, a zároveň také odstraňují nečistoty, které se ve směsi mohou objevit. Čeřiva tedy slouží k homogenizaci materiálu. Jako čeřiva se používají sírany nebo dusičnany. Poslední a nedílnou součástí při výrobě skla je drcené odpadní sklo. Přidává se ze dvou důvodů, za prvé se recykluje sklářský odpad a za druhé zrychluje proces tavení skla.

Hlavními technologickými operacemi na výrobu skla je nejprve příprava vsázky a její dávkování do tavící pece. Vsázka je promísená směs surovin, která se bude dávkovat do pece. Dále dochází k samotnému tavení skla v tavících pecích. Další operací je tvarování skla. Poslední operací je ochlazování skla. Díky tomu se odstraňují nepřípustná mechanická napětí (Hlaváč, 1988).

3.3.2 Vznik a chemické složení

Skelné vlákno vzniká nejčastěji ze skla označeného, jako typ E. Tento typ obsahuje bezalkalické skloviny. Označení E znamená elektrická skelná vlákna. Tento typ vláken se používá v 90 % výroby produktů ze skelných vláken. Dále také existuje skelné vlákno typu S (podle anglického názvu pro pevnost – strength), které má oproti E – typu vyšší pevnost. Další typ skelného vlákna má označení C. Toto vlákno je bezborité, pevné a chemicky velmi odolné hlavně vůči agresivním kyselinám (Ehrenstein, 2009).

Tab. 1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ SKELNÝCH VLÁKEN

Typ skelného vlákna	E	S	C
Složení			
SiO ₂	54 %	60 %	60 – 65 %
Al ₂ O ₃	14 – 15 %	25 %	2 – 6 %
CaO	-	14 %	14 %
MgO	20 – 24 %	3 %	1 – 3 %
B ₂ O ₃	6 – 9 %	< 1 %	2 – 7 %
K ₂ O	< 1 %	< 1 %	8 %
Na ₂ O	-	-	-

Hlaváč ve své literatuře uvádí složení E-skla takto: SiO₂ 52,9 %, B₂O₃ 9,2 %, Al₂O₃ 14,5 %, Fe₂O₃ 0,3 %, MgO 4,4 %, CaO 17,4 %, K₂O 1,0 %.

3.3.3 Historie objevu

Sklo poprvé vzniklo v Mezopotámii tři tisíce let před naším letopočtem. V tomto období sloužilo především jako bižuterie (korálky). Nejstarší nalezená skleněná perla pochází z Théb a její stáří se odhaduje na 5000 let. Do českých zemí se sklo dostává díky výměnnému obchodu ze Sýrie a Egypta. První nález skla na našem území je datován do druhého tisíciletí před naším letopočtem. Šlo o modrozelené perly, které byly nalezeny v hrobech tehdejších bojovníků.

První písemná zmínka o skle na našem území pochází z roku 1162. Sklářny na našem území vznikly v druhé polovině 13. století. Tyto sklárny se nacházely v příhraničních horských oblastech a na Moravě. V příhraničních oblastech byly budovány hlavně proto, že zde bylo dostatečné množství dřeva, vody a křemičitého písku, které jsou důležité při výrobě skla.

Ve středověku už patřily České země k významným producentům sklářských výrobků. Za vlády Karla IV. vznikaly vysoké číše se zdobením. Výška byla pro gotiku jedním z hlavních znaků architektury. Skláři v této době už dokázali přibarvovat sklo do jakékoli barvy. V období gotiky se začaly vytvářet různobarevné vitráže.

V 17. století je objeven tzv. český křišťál v Müllerově sklárně na Šumavě. V 17. a 18. století jsou čeští skláři na špičce ve světové produkci skla. Předčili i benátské sklo. Čeští skláři obohatili svět i o několik vynálezů ve sklářském odvětví. Například v 19. století bylo vyrobeno první sklo, které odolávalo chemickým látkám. Začátkem 20. století

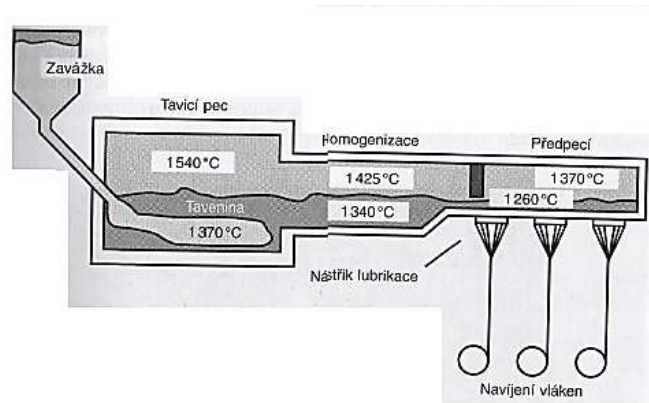
vzniká automatická linka na výrobu láhví a také se podařili vyřešit způsob strojní výroby plochého skla. Ve 20. a 30. letech se začal používat nový výrobek a to skleněné tvárnice. Ty byly hojně využívány v moderní funkcionalistické architektuře.

V 50. a 60. letech se rozvíjel především sklářský vývoj a výzkum. Výsledkem tohoto snažení bylo praktické využití nových technologií při výrobě taveného křemene a čediče, nekonečného skelného vlákna, pěnového skla, optických skel a chemicky a tepelně odolného skla SIMAX. V roce 1969 byla zahájena výroba plaveného skla Float v Řetenicích (Vondruška, 2002).

3.3.4 Výroba skelného vlákna

Skleněné vlákno se vyrábí ve sklářské peci. Vnitřní část této pece tvoří žáruvzdorná keramika, která musí odolávat teplotě vyšší než 1400 °C. Při této teplotě se totiž taví potřebné suroviny na výrobu E – skla. Konkrétně to jsou: křemičitý písek (SiO_2), vápenec (CaCO_3), kaolín ($\text{Al}_4 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CaO}_3)_2$), kyselina boritá ($\text{B}(\text{OH})_3$) a kazivec (CaF_2). Tyto suroviny se několik dní čirí, neboli se odstraňují nečistoty. Po tomto procesu je roztáté sklo vedeno předpecí do spřádacích trysek (tzv. bushings). Trysky musejí být vyrobeny z platinové slitiny, stejně jako u čediče a to proto, aby nedošlo k jejich roztavení. Ve spodní straně předpece se nachází 200 až 400 (může být dokonce i 1600) trysek, kterými sklo pomalu vytéká a zároveň musí rychle tuhnout do správného tvaru vláken. Skelná vlákna mají na výstupní straně trysky průměr asi 1 mm. Proto musí dojít k dloužení vysoce viskózních vláken na velmi rychlém rotujícím a zároveň navíjecím zařízení. Zde vznikají vlákna, která mají požadovaný průměr a ten musí být kalibrován. Nejčastěji se používá průměr 10 nebo 14 μm . Současně se toto milimetrové vlákno prodlouží až na čtyřicetinasobek své délky. Odtahová rychlost vláken je až 50 m/s což je v přepočtu asi 180 km/h. Sdružením těchto tenkých vláken vzniká spřádací vlákno. V průběhu tažení skelných vláken se musí používat vodní emulze tzv. šlichta, která slouží jako lubrikant. Úkolem této šlichty je spojit jednotlivá vlákna do spřádacího vlákna, se kterým se dá již manipulovat. Dále chrání citlivý povrch vlákna, přizpůsobuje stávající vlákna dalšímu zpracování a zlepšuje vazby mezi organickou pryskyřicí a anorganickým vláknem. Lubrikace obsahuje čtyři základní složky. Za prvé je to složka filmotvorná. Obsahuje vinylacetáty polymerizované do určitého stupně, dále polyestery a další pryskyřice. Tyto složky mají za úkol chránit elementární vlákna. Za druhé jsou to maziva. Poskytují vláknu potřebné

kluzné vlastnosti. Za třetí je to apretace, která je obvykle na silonové bázi. Apretace je konečná úprava vláken, kdy je nasnadě dosaženo lepšího vzhledu tkaniny a také se zamezí pomačkání. Za čtvrté je to složka antistatická. Většinou se používají anorganické soli, které odvádějí elektrostatický náboj (Ehrenstein, 2009).



Obr. 6 Schématický obrázek popisu výroby skelného vlákna.



Obr. 7 Sekané skelné vlákno.



Obr. 8 Pramenec (roving) ze skelného vlákna.



Obr. 9 Tkanina ze skelného vlákna.

Skleněná vlákna se podle způsobu výroby rozdělují do čtyř skupin

- **nekonečná vlákna** – jejich průměr se pohybuje v rozmezí 3 až 13 μm . Používají se především na výrobu textilních vláken, dále jako elektroizolační tkaniny nebo jako výztuž syntetických pryskyřic tzv. sklolamináty.
- **stříž** – jejich průměr je asi 5 až 12 μm . Používá se na výrobu filtračních tkanin. Pokud mají průměr 12 až 30 μm , používají se na výrobu chemicky pojených rohoží, které mají uplatnění ve stavebnictví.
- **vata** – její průměr je asi 20 až 30 μm a je určena především jako tepelná a zvuková izolace v průmyslové výrobě a ve stavebnictví.
- **mikrovlákna** – jejich průměr je 1 – 3 μm . Používají se pro speciální filtrační a izolační účely. Proto, aby měli tak malý průměr, musí se vyrábět dvojnásobným tažením (Hlaváč, 1988).

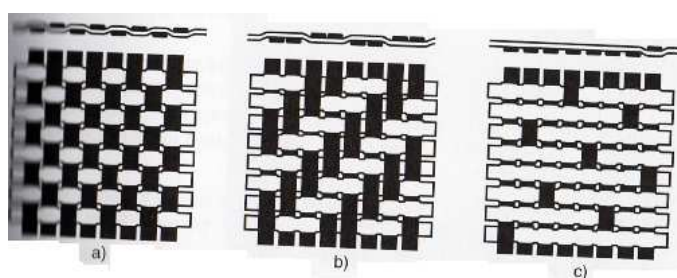
3.3.5 Typy sklovláknitých a čedičovláknitých výztuží

- **Příze** – vyrábí se spřádáním z vláken a dále se z ní vyrábějí tkaniny, pásy a pletené výrobky.
- **Nítě (skaná příze)** – mohou být buď jednostupňové, nebo vícestupňové. Skládají se z jedné nebo více přízí, které jsou spředeny dohromady.
- **Roving (pramenec)** – skládá se z 20 až 60 konců, sdružených z rovnoběžně uložených nestočených vláken nebo tažených přímo z taveniny (6 až 12000 elementárních vláken). Zpracovává se především sekáním nebo tkaním a následně navíjením nebo tažením nekonečného pramence.
- **Spředený roving** – vyrábí se z vláken, která jsou stočená kolem podélné osy.

- **Rohože ze sekaných pramenců** – jsou to netkané plošné výrobky. Jejich hmotnost se pohybuje v rozmezí 300 až 900 g/m². Vyrábějí se z 25 nebo 50 mm dlouhých sekaných vláken. Ty jsou na ploše nepravidelně uloženy do jednotlivých vrstev. Na tyto vrstvy je nanášeno pojivo. Po vysušení v sušárně vzniká rohož, která je podobná plsti. Ta se navíjí do rolí.
- **Rohože z kontinuálních vláken** – vyrábějí se z nekonečných skleněných vláken. Tato vlákna jsou uložena nepravidelně bez jakékoli orientace ve smyčkách v několika vrstvách a jsou spojeny pojivem.
- **Povrchové (závojové) rohože** – netkané plošné výrobky. Jejich hmotnost je v rozmezí 20 až 50 g/m². Pokládají se do povrchové vrstvy laminátu s vysokým obsahem pryskyřice.
- **Krátká vlákna** – jsou mletá a rozptýlená na jednotlivá elementární vlákna o různých délkách (0,1 až 5 mm). Používají se pro vyztužení termoplastů.
- **Tkaniny** – plošné výrobky z vláken nebo pramenců. Ty jsou uloženy pravouhle v útku a osnově, které působí jako vyztuže ve dvou směrech. Každá tkanina obsahuje podélnou a příčnou soustavu. Podélná soustava se nazývá osnova, která udává tkanině její délku. Příčná soustava se nazývá útek, ten tkanině udává její šířku. Osnova a útek se mezi sebou proplétají a vytvářejí vazbu tkaniny. Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají různé typy křížení vláken. Ty se nazývají vazby. Hmotnost vláken lze měnit v obou směrech.
- **Jednosměrné pásy** – skládají se z jedné nebo více rovnoběžně uložených vrstev přímých, nezvlňených netkaných vláken. Ty jsou spojeny příčně tenkou vrstvou lepicí rohože nebo útkovými vlákny, které jsou uloženy ve větším odstupu. Pásy se mohou ukládat pod libovolným úhlem.
- **Úplety** – vyrábějí se pletením z jednoho nebo více druhů vláken. Umožňují vytvoření různých geometrických tvarů.
- **Trojrozměrné tkaniny** – jsou to textilní plošné výrobky, které jsou vyrobeny z jednoho nebo více vláknitých systémů. Existují dva druhy. Buď jsou to řasitelné úplety, nebo tvarované a málo řasitelné pleteniny a úplety.
- **Pleteniny** – jsou přizpůsobeny tvaru a způsobu namáhání. Díky tomu lze zabudovat jednosměrné pásy v různých směrech. Stabilizace je zajištěna prošitím pleteniny. Řasitelnost struktury je malá. Pevnost a tuhost je vysoká.

3.3.5.1 Druhy vazeb u tkaniny

- **Plátňová vazba** – základní druh vazby. Tkanina je jednoduše zpracována. Má dobrou rozměrovou stálost a dochází jen k nepatrnému otřepu.
- **Keprová vazba** – oproti plátňové vazbě má vyšší tuhost a pevnost, tím dochází k menšímu zvlnění tkaniny. Také je ohebnější a tím pádem se více využívá při výrobě tvarových prvků.
- **Atlasová (saténová) vazba** – je velmi dobře řasitelná a proto je velmi vhodná na výrobu prostorově složitých prvků. Vychýlení vláken je menší než u vazby keprové. Atlasové tkaniny mají velmi hladký povrch (Ehrenstein, 2009).



Obr. 10 Druhy vazeb u tkanin.

a.) plátňová vazba, b.) keprová vazba, c.) atlasová vazba

3.4 Překližka

3.4.1 Vlastnosti překližek

Překližka je kompozitní materiál na bázi dřeva. Je vyrobena z několika vrstev dýh, které mají většinou lichý počet vrstev. Jednotlivé vrstvy dýh jsou na sebe lepeny kolmo. Tím se eliminuje anizotropní charakter masivního dřeva. A také se zajišťuje vyšší pevnost ve všech směrech materiálu. Další výhodou oproti masivnímu dřevu je zlepšení tvarové stálosti při změně vlhkosti. Vlhkostní stálosti se může pomoci například vhodně zvoleným lepidlem a také povrchovými nátěry nebo laminací speciálních folií zalitých pryskyřicí. Dá se opracovávat stejnými dřevoobráběcími nástroji jako masivní dřevo. Také tloušťka jednotlivých vrstev se může lišit. Pro zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností se mohou přidávat i kompozity z jiného materiálu. Například kov, sklo, kámen, atd. Výhodou překližky je to, že se dá tvarovat, ohýbat a laminovat. Naopak její nevýhodou je potřeba kvalitní suroviny na výrobu. I samotná výroba je celkem pracná a časově náročná. Z toho tedy plyne i vyšší cena (neuvedeno, 2002).

Na překližce se mohou vytvářet i zvláštní provedení, jako je například okrasná vrchní strana. Dále se dá vytvořit na vrchní straně jakýkoli potisk. Také je běžná úprava lakováním se syntetickou pryskyřicí. Existují překližky, které mohou mít povrchovou úpravu s nalisovanou textilií nebo desky s kovovou vložkou. Tyto překližky mají využití především ve výrobě nábytku a dalších designových prvků (Nutsch, 2003).



Obr. 11 Buková překližka.

3.4.2 Historie objevu

Výroba dýh vzniká už ve starověkém Egyptě roku 1500 před naším letopočtem. Bohatí Egypťané si nechávali vyrábět nábytek ze vzácných druhů dřev. Mezi tato vzácná dřeva patřilo například dřevo akáciové, sykomorové, cedrové a ebenové (Skalická et al., 2012). Ale tyto druhy dřeva byly velmi drahé a bylo jich omezené množství, a proto se nábytek začal vyrábět z dostupnějších druhů dřev a povrchová vrstva se odýhovala vzácným dřevem. Protože Egypťané ještě nedokázali vytvořit velké kusy dýhy, většinou se povrchová vrstva nábytku tvořila z mozaiky. Také se vytvářel nábytek, kde se mezi jednotlivé destičky dýh vkládaly kousky slonoviny. Pro lepení jednotlivých dýh se používal klíč a to buď rostlinného, nebo živočišného původu.

Z Egypta se tato technologie dostává dále do Evropy. Římané byli první, kteří využili křížení jednotlivých vrstev dýh a tím došli ke zlepšení mechanických vlastností. Jsou to tedy první průkopníci výroby překližek.

V devatenáctém století, kdy ve světě propuká průmyslová revoluce, vzniká i větší nárok na strojařskou technologii v dřevařském průmyslu. Proto vzniká patent na loupací stroj roku 1819, který se používá na loupání dýhy. První závod na výrobu překližek vznikl v Talinu v roce 1885. V této době se používají překližky především na výrobu sedacího

nábytku a stolových desek. Dýhy jsou používány především na odýhování hudebních nástrojů.

Do dění výroby překližek se významně zapsala první světová válka. V této době se překližka využívá především na výrobu letadel a vzducholodí. A to hlavně proto, že se dá snadno tvarovat a ohýbat.

S druhou světovou válkou přichází objev synteticky vyráběných lepidel, který přináší nové vlastnosti překližek. Tato lepidla jsou připravena z polykondenzačních látek, která jsou vyrobena z fenolu a formaldehydu. Například jsou vodoodpudivá (Král, 2011). Překližované materiály se v této době hojně používaly především ve stavebnictví, zemědělství, jako obaly na různé zboží, v dopravním průmyslu na výrobu lodí, letadel, vagónů.

Po druhé světové válce dochází ke značnému poklesu výroby překližek. Může za to především objev nových dostupných materiálů, jako jsou velkoplošné aglomerované materiály na bázi dřeva (Jančík, 2006).

3.4.3 Výroba překližek

3.4.3.1 Výroba dýhy pro samostatnou výrobu překližky

Dýha je vyrobena z kusu kulatiny a to buď centrickým nebo excentrickým loupáním, krájením nebo řezáním. Je to tedy tenký list dřeva, který může mít tloušťku od 1 až do 18 mm. V minulosti se vyráběly tloušťky 2 až 7mm. Jako surovina se nejčastěji používá dřevo buku, ořechu, javoru, dubu, jasanu, jilmu, třešně, olše, topolu, lípy, břízy, smrku, jedle, borovice a další. Dále z exotických dřev se používá mahagon, ovangol, koto, kosipo, limba, obeche, okoumé, atd. (Böhm et al., 2012).

Před samostatnou výrobou dýhy je potřeba vybrat správnou kulatinu. Ta nesmí být zapařená, protože potom by mohla být napadena hnilobou nebo hmyzem, nesmí být zabarvená a nesmí dojít ke vzniku trhlin. Proto je třeba kulatinu chránit a to nejčastěji pomocí postřiku. Dále mohou být ještě pro lepší ochranu použity nátěry čel.

Ze skladu je kulatina přepravována do pařící jámy, kde dochází k hydrotermické úpravě, neboli k plastifikaci materiálu. Hlavním účelem plastifikace je zvýšení deformovatelnosti dřeva až o 30 %. Dále dočasné snížení tlakové pevnosti v příčném

směru, eliminace vnitřních růstových pnutí. Dalšími výhodami je to, že je dýha rovnoměrně zbarvená, má rovnoměrnou tloušťku a dochází ke sterilizaci dřeva.

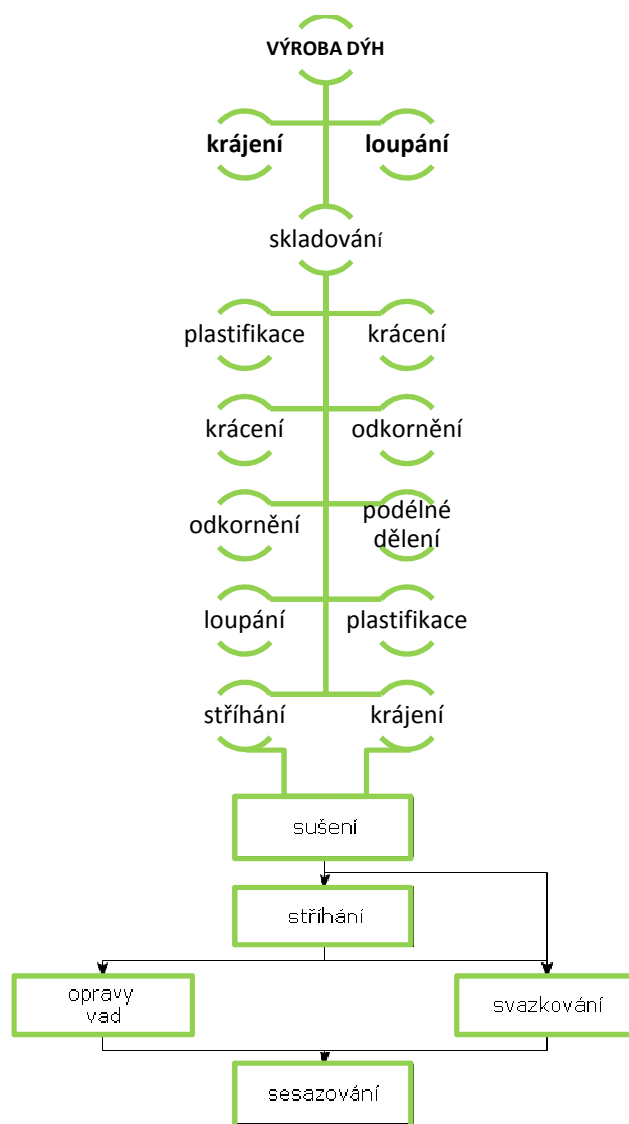
Režim plastifikace má tři části. Za prvé musí dojít k ohřevné fázi. Nejprve se ohřeje celé zařízení, následně se ohřeje i okolní prostředí a naposledy se ohřeje voda, ve které bude kulatina ponořena (teplota média má obvykle 80 – 95 °C), z toho lze tedy říci, že kulatina se bude plastifikovat pomocí vodní páry. Druhou fází bude vlastní hydrotermická úprava. V této části je dřevo ohříváno na teplotu 80 – 98 °C. V poslední fázi dochází k egalizačnímu dopařování a následnému ochlazování dřeva.

Po plastifikaci přichází odkorňování a zkracování kulatiny. Odkorňování je výhodnější zařadit před samotnou plastifikaci, protože tím nedochází ke znečištění pařící jámy. U zkracování se nechává určitá nadmíra, kvůli upnutí materiálu do loupacího stroje a také na sesychání materiálu.

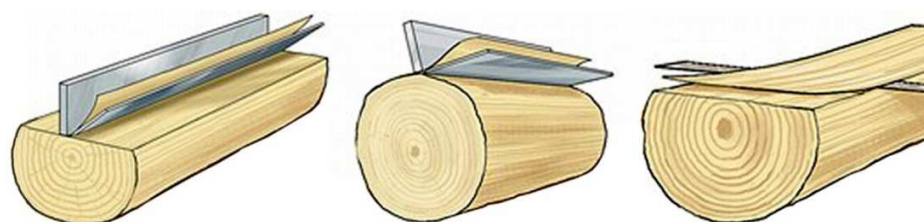
Nyní přichází nejdůležitější část výroby dýhy a to samostatné loupání dýhy, popřípadě to může být krájení nebo řezání. Při loupání dýhy musí nejprve dojít k centrování výřezu. Díky tomu je zaručeno optimální umístění výřezu a tím dochází k vysoké výtěžnosti. Výřez je na jedné straně upnut pomocí unášecí rozety a na druhé straně je upnut pomocí upínacího trnu. Po upnutí výřez začíná rotovat a zařízení s nožem s přítlačnou lištou se pod určitým úhlem přibližuje směrem ke středu. Nakonec zbyde pouze malý váleček, který má průměr asi 80 – 120 mm. Loupáním výřezu vzniká několikametrový pás, který je následně zkracován na určité rozměry. Zkracování se provádí pomocí stříhacích nůžek.

Dýhy už mají svoje rozměry, ale musí se nechat určité nadbytky, kvůli sesychání. Surové dýhy mohou mít vlhkost od 30 do 100 %. Proto, abychom je mohli použít pro výrobu překližek, je důležité snížit jejich vlhkost na 8 až 10 %. Tu snížíme pomocí sušení. Sušení probíhá v kontinuálních sušárnách. Teplota sušícího prostředí bývá v rozmezí 80 až 100 °C. Doba sušení se odvíjí od tloušťky dýhy. V poslední části dochází k posledním úpravám jako třeba k žehlení, k frézování a opravám dýh (Král, 2011).

Pro výrobu překližky se používá tzv. spodní dýha. Ta má tloušťku asi 1,2 až 3,6 mm. Jejím úkolem je zabraňovat bobtnání a sesychání v překližce (Nutsch, 2003).



Obr. 12 Schématický obrázek popisu výroby dýhy.



Obr. 13 Způsoby výroby dýhy.

a.) krájená dýha, b.) loupaná dýha, c.) řezaná dýha

3.4.3.2 Samostatná výroba překližek

Nyní máme vyrobenou dýhu, na kterou budeme nanášet lepidlo pomocí oboustranné válcové nanášečky. Nejvíce se používají fenolformaldehydová a močovinoformaldehydová lepidla. Rychlost nanášení lepidla se pochybuje v rozmezí 10 až 60 m/min. Lepidlo se nanáší na každou sudou vrstvu. Po nánosu lepidla se skládají jednotlivé listy překližky buď ručně, nebo mechanicky, ale vždy do kříže. To znamená, že každá další vrstva se musí o 90 °otočit, tím se omezí anizotropní charakter masivního dřeva. Následně je překližka předlisována. To znamená, že je stlačena za studena na požadovanou tloušťku, ale v této fázi nedochází k vytvrnutí lepidla. Předlisování provádíme, abychom snížili dobu samotného lisování, a také se snižuje riziko borcení překližek při manipulaci. Po fázi předlisování dochází k samotnému lisování. Zde díky vyvinutému teplu z lisovacích desek dochází k vytvrzování lepidla. Lisovací čas se odvíjí od finální tloušťky překližky. Lisovací teplota je závislá na typu použitého lepidla. U močovinoformaldehydových lepidel je teplota určena na 105 až 130 °C. U formaldehydových lepidel musí být teplota o něco vyšší, pohybuje se v rozmezí 130 až 150 °C. Tlak lisování závisí na hustotě dřeva, na velikosti překližky a na její tloušťce. U celobukové překližky se používá tlak v rozmezí 1,8 až 2,0 N/mm². Po lisování musejí být provedeny finální úpravy překližky (Král, 2011). Nejprve je překližka formátována. To znamená, že je zkrácena na konečné rozměry. Formátování se provádí na dvoustranných kotoučových formátovacích pilách. Také musí dojít k opravám vad, které mohly vzniknout při špatné manipulaci v procesu výroby. Pokud jsou vady malé, dochází pouze k zatmelení. Pokud má vada větší rozměr, nejprve je vyfrézována a následně je na toto místo vsazena takzvaná záplata. Po těchto opravách může dojít k finálnímu broušení povrchu překližky. Broušení se provádí na válcových a širokopásových bruskách. Nyní se určí jakost překližek, podle počtu vad a podle kvality opracování povrchu překližky (Nutsch, 2003). Po určení jakosti jsou překližky skladovány podle jakosti v jednotlivých hraních. Musí se skladovat ve vodorovné poloze. Není přípustné, aby se skladovaly opřené o svoji hranu, protože by mohlo dojít k prohnutí desky a také k znehodnocení hran (Král, 2011).

4 Materiál a metodika

4.1 Výroba zkušebních vzorků

K vytvoření experimentu byly použity bukové překližky firmy Dyas o rozměrech 1m x 1m. Tyto překližky se skládají z 5 vrstev bukových dýh. Jednotlivé vrstvy musejí být lepeny tak, že sousední vlákna na sebe musejí být kolmé. Díky tomu dochází ke zlepšení některých mechanických a fyzikálních vlastností. Jednotlivé vrstvy jsou lepeny pomocí melamin formaldehydového lepidla.

Dalším kompozitem, který je potřeba pro výrobu kompozitního materiálu na bázi dřeva s požární odolností, je tkanina z čedičového vlákna. My jsme používali gramáž 170g/m², 210g/m² a 340g/m². Tato tkanina byla v metráži, a proto bylo naším prvním úkolem zkrátit tkaninu na požadovanou velikost. Tedy na velikost 1m x 1m. S tkaninou je třeba pracovat velmi opatrně, protože může velmi lehce dojít k poškození její pravidelnosti. Tkanina se dá velmi snadno stříhat nůžkami, ale pro rovnější řez je lepší používat odlamovací nůž.

Po nařezání tkaniny jsme odměřili potřebné množství pryskyřice. My jsme používali epoxidovou pryskyřici s označením LH 385 od společnosti Havel Composites CZ s. r. o., která se vyznačuje nízkou viskozitou a kvalitní aplikací na povrch. Společně s epoxidovou pryskyřicí se musí použít tužidlo. My jsme použili tužidlo H 146 též od společnosti Havel Composites CZ s. r. o. Toto tužidlo se přidává kvůli vytvrzení epoxidové pryskyřice a míchá se v poměru 100 : 30. Je důležité, aby se směs důkladně promíchala, proto mícháme asi 5 minut. Tato směs může tuhnout při pokojové teplotě, ale doporučuje se teplota 30 °C a více. Doba zpracovatelnosti je 50 – 60 minut. Z toho tedy vyplývá, že jsme měli dostatečné množství času na zpracování směsi epoxidové pryskyřice a tužidla.



Obr. 14 Překližka s čedičovou tkaninou v přípravné fázi.



Obr. 15 Překližka po nanesení směsi epoxidové pryskyřice a s čedičovou vrstvou.



Obr. 16 Překližka po vylisování.

Nejprve jsme lisovali tři zkušební desky. Zde jsme si určili, že budeme dávat 1 kg epoxidové směsi. Před samotným nanesením směsi, jsme nejprve na překližku položili čedičovou tkaninu. Tu jsme pořádně vyrovnali, aby nevznikaly nerovnosti. Po následujícím překontrolování jsme nalili asi dvě třetiny epoxidové směsi na překližku s textilií. Pomocí dřevěné stěrky jsme směs rovnoměrně rozetřeli na celou plochu překližky. První vrstva se téměř celá nasákla do překližky. Nyní jsme nalili zbylou směs a znovu jsme pomocí stěrky rovnoměrně rozetřeli. Bohužel jsme zjistili,

že se nám pod čedičovou textilií objevují vzduchové bubliny. Nicméně jsme pokračovali dále a na povrch jsme dali speciální nepřilnavý papír. Ten slouží k tomu, abychom mohli dát překližku do lisu a nepřilepila se nám k ostatním překližkám nebo k deskám lisu. Takto jsme postupovali u zbylých dvou desek. Během lepení jsme si také předehřáli lis. Čas lisování byl určen na 240 min. Lisovali jsme při teplotě 60 °C a tlak lisu jsme nastavili na 0,3 MPa. Oproti lisování samostatných překližek, které se lisují při tlaku asi 1 – 2 MPa, není potřeba takového tlaku. Po předehřátí lisu jsme si nejprve na spodní desku lisu umístili nepřilnavý papír a to tak, aby nám tento papír přečnival asi o 15 cm z každé strany. To je důležité, protože jsme předpokládali, že nám může přebytečná epoxidová směs vytéct na lis a znečistit ho. Nyní jsme už mohli vkládat jednotlivé desky. Před samotným lisováním jsme přečnívající konce nepřilnavého papíru ohnuli směrem nahoru a vytvořili tak jakýsi balíček, aby nám nemohla vytéct směs na lis. Následně jsme zavřeli lis a začali se samotným lisováním.

Druhá sada obsahovala šest desek. U ní jsme změnilí postup výroby. Protože z předchozí várky jsme zjistili, že epoxidové směsi vyteklo celkem zbytečné množství, rozhodli jsme se, že budeme dávat pouze 0,75 kg. A také jsme změnilí postup nanášení směsi. Kvůli místům v první várce, kde jsme měli vzduchové bubliny a tím pádem se nezacelil povrch epoxidové směsi. Na základě toho jsme jednu třetinu epoxidové směsi nalili na překližku bez čedičové tkaniny. Směs jsme dobře rozetřeli a až následně jsme ji překryli čedičovou tkaninou. Tu jsme dobře vyrovnali a uhladili stěrkou tak, aby nevznikaly vzduchové bublinky. A až nyní jsme přidali zbylou část epoxidové směsi. Pořádně jsme vše stěrkou uhladili a překryli nepřilnavým papírem. I zde jsme si dávali pozor, aby se na povrchu netvořily vzduchové bublinky.

Po vylisování desek jsme podle požadovaného schématu nařezali jednotlivé vzorky. Vzorky, které budeme testovat na ohyb, jsme si nařezali na hrubé rozměry asi 21×50×455 mm. Takovýchto vzorků budeme mít 90 kusů. Jednotlivé vzorky se nyní musí klimatizovat. Klimatizovány budou po dobu čtyř dnů, při teplotě 20 °C a relativní vzdušné vlhkosti 65 %. V tomto prostředí by měli vzorky dosáhnout a udržet si vlhkost 12 %.

4.2 Statická zkouška tříbodovým ohybem

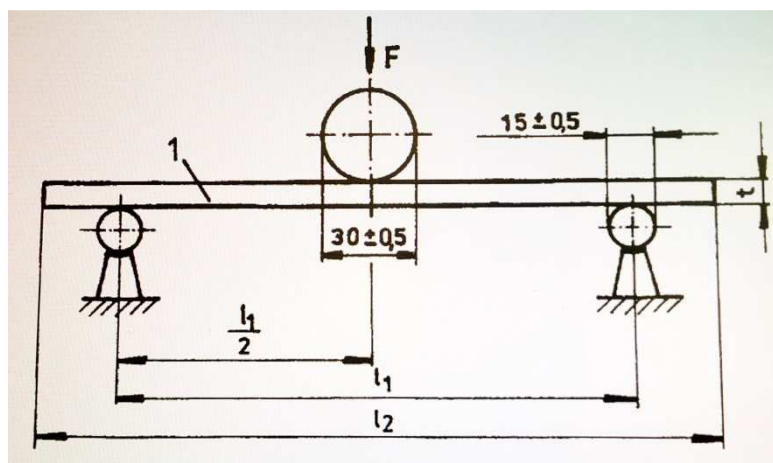
Tuto zkoušku budeme provádět podle normy ČSN EN 310 (49 0147) „Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu“. Zkouškou zjistíme modul

pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, kde bude zkušební tělísko zatíženo v jeho středu a bude uloženo na dvou podpěrách. Modul pružnosti bude vypočítán z lineární části zatěžovací křivky. Vypočtená hodnota nebude skutečný modul, protože zkouška zahrnuje také smyk. Ohybová pevnost tělíska se vypočítá stanovením poměru ohybového momentu M při maximálním zatížení F_{\max} k momentu jeho celého průřezu.

Ke zkoušce budeme potřebovat měřicí stroj, který je v souladu s EN 325. V našem případě je to stroj Zwick Z050. Součástí zkušebního stroje bude zařízení, které bude obsahovat dvě rovnoběžné, válcové podpěry o průměru $15 \pm 0,5$ mm, s možností volného otáčení kolem osy a délky větší než je šířka zkušebního stroje. Vzdálenost mezi jednotlivými podporami musí být nastavitelná. Vrchní válcovitá hlava bude stejné délky a průměru, což je $30 \pm 0,5$ mm. Musí být umístěna taktéž rovnoměrně s podpěrami a ve stejné vzdálenosti mezi nimi. Také budeme potřebovat měřidlo schopné měření průhybu zkušebního tělíska ve středu rozpětí s přesností na 0,1 mm. A jako poslední budeme potřebovat vhodný zatěžovací měřicí systém pro měření zatížení zkušebního tělíska s přesností na 1 % z naměřené hodnoty. Odběr vzorků se provádí podle normy EN 326-1.

Zkušební tělíska musí být nařezaná jak v podélném tak i v příčném směru. Zkušební tělíska musí být nařezána tak, aby byl všude dodržen pravý úhel. Šířka tělíska musí být 50 ± 1 mm. Délka l_2 musí být 20 násobkem jmenovité tloušťky a navíc musí ještě mít 50 mm. Největší délka může být 1050 mm a nejmenší 150 mm. Zkušební tělíska z překližovaných desek musí být bez viditelných vad, které by mohly snížit ohybovou pevnost.

Tělíska musí být klimatizována do konstantní hmotnosti v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 65 ± 5 % a teplotou 20 ± 2 °C. Za konstantní hmotnost se považuje, pokud se u dvou po sobě jdoucích tělísek neliší tato hmotnost o 0,1 %. Tyto dvě po sobě jdoucí tělíska musejí být zjištěné v intervalu 24 hodin.



Obr. 17 Schématický obrázek statické zkoušky tříbodovým ohybem.

1...zkušební těleso, F...zatížení, t...tloušťka zkušebního tělesa, $l_1 \dots 20t$, $l_2 = l_1 \pm 50$

4.2.1 Postup zkoušky podle ČSN EN 310 (49 0147)

Nejprve si budeme muset změřit šířku a tloušťku každého zkušebního tělíska podle EN 325. Tloušťka se musí měřit v průřezu úhlopříček a šířka v polovině délky. Vzdálenost mezi středy podpěr se nastaví s přesností na 1 mm 20 násobku jmenovité tloušťky desky, ale nejméně na 100 mm a nejvíce na 1000 mm. Následně se změní vzdálenost mezi středy podpěr a zaokrouhlí se na 0,5 mm. Zkušební tělíska se položí na podpěry a to tak, aby ležely na podpěrách plochou stranou. Svoji podélnou osu musejí mít v pravém úhlu k podpěrám a střed musí být pod zatěžovací hlavou. Zatížení se bude provádět při konstantní rychlosti posuvu hlavy. Rychlost se upraví tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo do 60 ± 30 s. Uprostřed zkušebního tělíska se bude měřit průhyb s přesností na 0,1 mm. Tato hodnota se zakreslí do grafu s odpovídajícím zatížením naměřeným s přesností na 1 % z naměřené hodnoty. Je-li průhyb stanoven rostoucím odečtem, použije se minimálně 6 párů hodnot. Zaznamenává se maximální zatížení s přesností na 1 % z naměřené hodnoty. Zkouška se bude provádět jak na tělískách, které byly nařezány podélně tak i na tělískách řezaných příčně. V každé skupině se vyzkouší polovina tělísek lícovou stranou nahoru a polovina rubovou stranou nahoru.

4.2.2 Vyjádření výsledků podle ČSN EN 310 (49 0147)

Modul pružnosti je vyjádřen vztahem

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

kde je:

l_1 vzdálenost mezi středy podpěr v mm

b šířka zkušebního tělíska v mm

t tloušťka zkušebního tělíska v mm

$F_2 - F_1$ přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky v N. F_1 musí být přibližně 10 % a F_2 přibližně 40 % z maximálního zatížení.

$a_2 - a_1$ přírůstek průhybu ve středu délky tělíska (odpovídající $F_2 - F_1$).

Modul pružnosti pro každou skupinu tělísek odebraných z jedné desky je aritmetický průměr modulu pružnosti odpovídajících zkušebních těles, vyjádřených na tři platné číslice.

Pevnost v ohybu f_m (v N/mm^2) je vyjádřeno vztahem

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

kde je:

F_{max} maximální zatížení v N

l_1 vzdálenost mezi středy podpěr v mm

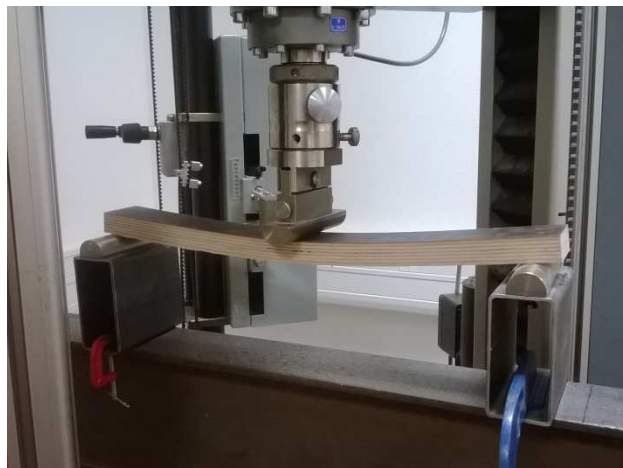
b šířka zkušebního tělíska v mm

t tloušťka zkušebního tělíska v mm

Pevnost v ohybu pro každou skupinu tělísek odebraných z jedné desky je aritmetický průměr modulu pružnosti odpovídajících zkušebních těles, vyjádřených na tři platné číslice.

4.2.3 Vlastní průběh zkoušky

Po čtyřech dnech byly vzorky vyjmuty z klimatizačního zařízení a byla provedena statická zkouška vzorků tříbodovým ohybem. Pro naše účely jsme vyrobili 60 vzorků řezaných podélně a 60 řezaných příčně. Zkouška probíhala na zkušebním stroji Zwick Z050. Nejprve jsme si museli všechny vzorky označit a změřit pomocí digitálního posuvného měřidla. Zkušební stroj i posuvné měřidlo je napojeno na počítač a je zapnut program Test Expert. Pro započetí zkoušky se do programu zadají rozměry vzorků, (jejich šířka, tloušťka a délka). Nyní se může vzorek upnout do přístroje. Délka rozpěr byla nastavena na vzdálenost 420 mm. Vzorek se musí upnout do přístroje tak, aby byl nasměrován kolmo na hlavu přístroje. Po zkontrolování všech nutností můžeme zapnout přístroj. Rychlost posunu hlavy byla zadána 20 mm/min. Hlava přístroje zaznamenává sílu, extensometr zaznamenává posun. Průběh zatěžovací zkoušky byl vykreslován na monitoru počítače ve formě pracovního diagramu a výstupem se stala data, která budeme dále v této bakalářské práci zpracovávat a vyhodnocovat. V naší první části jsme vkládali vzorky do stroje čedičovou vrstvou směrem dolů. Potom nás zajímalo, jak moc se změní výsledky, jestliže je budeme vkládat čedičovou vrstvou směrem nahoru. To stejné budeme zkoumat i u překližek se skelným vláknem a u samostatných překližek.



Obr. 18 Statická zkouška tříbodovým ohybem.



Obr. 19 Překonání hranice meze úměrnosti.

4.3 Statická zkouška tříbodovým ohybem s využitím metody korelace digitálního obrazu

Zbýlých 30 vzorků jsme zkoušeli na ohyb pomocí metody korelace digitálního obrazu (Digital image correlation – DIC). Nejprve je potřeba nanést na vzorky bílou barvu a následně se vytvoří na povrchu černé skvrny. Bylo velice důležité, aby byla barva na celé ploše vzorku a aby se netvořily kapky o velkém průměru, protože potom by se v důsledku deformace mohla barva odloupnout. Následně jsme barvu na vzorku nechali zaschnout a přešli jsme ke zkušebnímu stroji. Zkušební stroj se vzorkem snímaly dvě digitální kamery, které byly propojeny se softwarem. Výstupem tohoto softwaru byly snímky, které ukazovaly průběh zatěžkávací zkoušky. I ty budeme dále statisticky vyhodnocovat.

4.4 Stanovení stupně hořlavosti

Tuto zkoušku budeme provádět podle normy ČSN 73 0862 „Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot“. Zkouška se bude provádět pomocí plamene plynového kahanu, kterým budeme na vzorky působit po dobu 10 min. Po uplynutí této doby budeme zkoumat, jaký bude hmotnostní úbytek vzorku v procentech.

K provedení zkoušky budeme potřebovat laboratorní kahan na plynné palivo, laboratorní průtokoměr, kterým budeme zjišťovat množství plynu, který je přiváděn do kahanu. Dále budeme potřebovat kovový rám, kam uchytíme vzorek, který musí být natočen pod úhlem 45° k vodorovné ose. Posledními pomůckami bude posuvné měřidlo, stopky a laboratorní váhy.

Ke zkoušce jsme si vytvořili 15 vzorků. 9 vzorků bude obsahovat ve své skladbě čedičové vlákno, 3 vzorky budou obsahovat skelné vlákno a 3 budou pouze překližky. Rozměry vzorků budou 200×100 mm. Tloušťka se bude měřit posuvným měřidlem u každého vzorku zvlášť a bude se zaznamenávat do tabulky.

Vzorky musejí být klimatizovány při teplotě 20 ± 5 °C a relativní vlhkosti vzduchu 60 ± 5 %. Vzorky se mohou zkoušet, pokud rozdíl hmotnosti mezi dvěma váženými následujícími vzorky není větší než 2 %. To vše se musí dít v intervalu 24 hodin.

4.4.1 Postup zkoušky podle ČSN 73 0862

Zkušební zařízení se nesmí nacházet v místě, kde by mohlo dojít k průvanu. Pokud se zkouška bude provádět v uzavřeném prostoru, musí být tento prostor dokonale odvětráván po dobu celé zkoušky. Zkušební prostředí musí mít teplotu 20 ± 5 °C a relativní vzdušnou vlhkost 60 ± 5 %.

Nejprve se vzorky zváží s přesností na 0,1 g. Posuvným měřidlem se zjistí jeho tloušťka. Následně se vzorek upevní do rámečku hodnocenou stranou směrem dolů. Sklon rámečku od vodorovné podložky je 45 °. Následně se nastaví průtok topného plynu tak, aby výkon hořáku dosáhl hodnoty 550 ± 5 W, a plamen se seřídí na výšku 100 mm. Kahan se postaví pod střed rámečku tak, aby vzdálenost přední plochy od středu kahanu byla 90 mm. Plamen se na vzorek nechá působit po dobu 10 min. Po odstavení kahanu se měří čas samovolného hoření, žhnutí nebo uhelnatění.

4.4.2 Vyhodnocení zkoušky

Z výsledku této zkoušky budeme schopni zařadit naše vzorky do tří klasifikačních tříd a to na základě úbytku hmotnosti.

Úbytek hmotnosti vzorku se vypočítá podle vzorce

$$m = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100 (\%)$$

kde je:

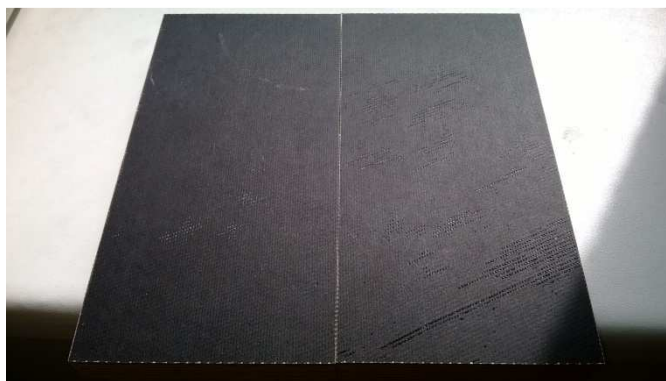
m úbytek hmotnosti v g

m₀ původní hmotnost vzorku v g

m₁ hmotnost vzorku po zkoušce v g.

Tab. 2 STUPEŇ HOŘLAVOSTI STAVEBNÍCH HMOT

Stupeň hořlavosti stavebních hmot	Chování stavebních hmot při zkoušce hořlavosti	Doba žhnutí nebo uhelnatění v minutách	Úbytek hmotnosti v %
A nehořlavé	nehoří, nežhnou, ani neuhelnatí	0	≤ 2
B nesnadno hořlavé	převážně žhnou nebo uhelnatí	≤ 3	≤ 5
C1 těžce hořlavé	zapálí se a pozvolna hoří; po odstavení kahanu samovolně uhasnou do 2 minut	≤ 10	≤ 10
C2 středně hořlavé	hoří; po odstavení kahanu samovolně uhasnou do 5 minut	≤ 20	≤ 50
C3 lehce hořlavé	rychle hoří, zpravidla zcela shoří před uplynutím zkušebních 10 minut; po odstavení kahanu samovolně hoří déle než 5 minut	> 20	> 50



Obr. 20 Ukázka vzorku před samotnou zkouškou.



Obr. 21 Průběh zkoušky stanovení stupně hořlavosti.

4.5 Zkouška odolnosti proti padající kuličce

Zkouška bude provedena podle BS 3962: část 6:1980. Princip zkoušky je založen na dopadu ocelové kuličky z určité výšky na povrch testované překližky. Hodnotí se poškození povrchu po dopadu kuličky. Pro testování nábytkových ploch se používá ocelová kulička o průměru 19,1 mm. Pro testování podlah se používá ocelová kulička o průměru 40 mm. U testování nábytkových ploch je kulička puštěná z výšky 2 m. U testovaných podlah je kulička puštěná z výšky 1 m.



Obr. 22 Zkušební ocelové kuličky o průměru 19,1 mm a 40 mm.

Nejprve odebereme 5 zkušebních vzorků od každé varianty zkušebních desek. Zkouška kuličkou o průměru 19,1 mm byla provedena na vzorcích o velikosti 150×150 mm. Zkouška ocelovou kuličkou o průměru 40 mm byla provedena na vzorcích, které měly rozměr 300×300 mm.

Tab. 3 STUPEŇ POŠKOZENÍ POVRCHU POMOCÍ DOPADAJÍCÍ KULIČKY

Popis poškození	Číselný stupeň
Povrch nepopraskán a nepoškozen	5
Povrch nepatrně popraskán, jeden nebo dva kruhy na konci plochy vtlačeny	4
Místa nebo několik prasklin umístěných v oblasti vtlačení	3
Popraskání sahající ven z měřené oblasti vtlačení anebo nepatrné odlupování vrchního filmu	2
Více než 25% vrchního filmu je odstraněno z vyhodnocované oblasti	1

5 Výsledky

5.1 Výsledky zkoušky tříbodovým ohybem

U zkoušky tříbodovým ohybem nás nejvíce zajímala pevnost v ohybu jednotlivých kompozitních materiálů a jejich modul pružnosti. Zkouška se prováděla, jak v podélném, tak i v příčném směru. Dále jsme zohledňovali polohu čedičového nebo skelného vlákna. Všechny výsledky byly zaznamenávány do tabulek (viz příloha) a následně byla vytvořena popisná statistika jednotlivých skupin vzorků. V následujících tabulkách (tab. 4 až tab. 7) jsou zaznamenány průměrné hodnoty jednotlivých skupin vzorků. Mezi tyto hodnoty patří maximální zatížení v N a jeho rozptyl, maximální průhyb v mm a jeho rozptyl, mez pevnosti v MPa a jeho rozptyl a jako poslední modul pružnosti v MPa a jeho rozptyl. Obr. 23 a obr. 24 zobrazuje postupný průběh zatížení jednotlivých skupin vzorků.

Jednotlivé vzorky jsou označeny následovně:

- L1...kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem dolů, gramáž čedičové tkaniny je 170 g/cm^3
- 1...kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem nahoru, gramáž čedičové tkaniny je 170 g/cm^3
- L2... kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem dolů, gramáž čedičové tkaniny je 210 g/cm^3
- 2...kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem nahoru, gramáž čedičové tkaniny je 210 g/cm^3
- L3... kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem dolů, gramáž čedičové tkaniny je 340 g/cm^3
- 3... kompozitní materiál s čedičovým vláknem otočeným směrem nahoru, gramáž čedičové tkaniny je 340 g/cm^3
- LS...kompozitní materiál se skelným vláknem otočeným směrem dolů
- S...kompozitní materiál se skelným vláknem otočeným směrem nahoru
- P...překližka

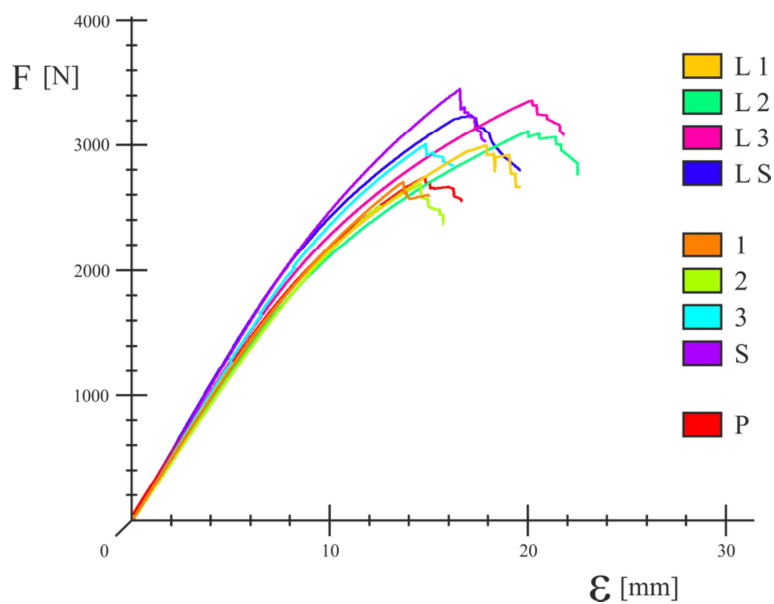
5.1.1 Podélný směr

Tab. 4 Průměrné hodnoty kompozitních materiálů s čedičovým vláknem gramáží 170 g/cm^3 , 210 g/cm^3 , 340 g/cm^3 , se skelným vláknem a samostatná překližka.

Skupina	F_{\max} [N]		ϵ_{\max} [mm]		σ [MPa]		E [MPa]	
	\bar{F}	s_F^2	$\bar{\epsilon}$	s_{ϵ}^2	$\bar{\sigma}$	s_{σ}^2	\bar{E}	s_E^2
L 1	3 218	16 269	20,8	11,87	50,8	3,99	1 682	5 060
1	2 992	103 370	16,3	2,61	47,1	21,61	1 672	5 736
L 2	3 255	19 775	22,2	2,16	51,4	4,87	1 644	990
2	2 834	41 686	13,5	24,87	44,9	8,78	1 628	20 338
L 3	3 505	133 213	22,5	3,93	55,1	30,19	1 756	5 695
3	3 235	72 966	17,7	6,54	50,8	14,74	1 743	7 547
L S	3 419	41 048	18,8	4,11	53,2	8,19	1 827	1 312
S	3 549	15 324	17,5	0,64	55,6	3,12	1 852	2 459
P	2 959	21 040	17,2	3,58	47,5	6,80	1 730	10 291

Tab. 5 Průměrné hodnoty pro čedičové vlákno.

Skupina	F_{\max} [N]		ϵ_{\max} [mm]		σ [MPa]		E [MPa]	
	F	s_F^2	$\bar{\epsilon}$	s_{ϵ}^2	$\bar{\sigma}$	s_{σ}^2	E	s_E^2
1	2 992	103 370	16,3	2,61	47,1	21,61	1 672	5 736
2	2 834	41 686	13,5	24,87	44,9	8,78	1 628	20 338
3	3 235	72 966	17,7	6,54	50,8	14,74	1 743	7 547
L 1	3 218	16 269	20,8	11,87	50,8	3,99	1 682	5 060
L 2	3 255	19 775	22,2	2,16	51,4	4,87	1 644	990
L 3	3 505	133 213	22,5	3,93	55,1	30,19	1 756	5 695



Obr. 23 Graf zatížení jednotlivých kompozitních materiálů při tříbodovém zatížení v podélném směru.

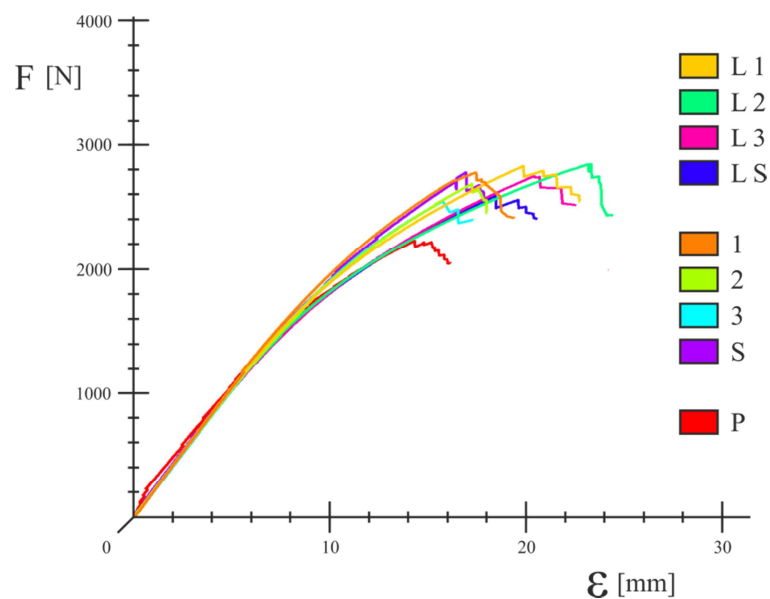
5.1.2 Příčný směr

Tab. 6 Průměrné hodnoty kompozitních materiálů s čedičovým vláknem gramáži 170 g/cm³, 210 g/cm³, 340 g/cm³, se skelným vláknem a samostatná překližka.

Skupina	F _{max} [N]		ε _{max} [mm]		σ [MPa]		E [MPa]	
	F̄	s _F ²	ε̄	s _ε ²	σ̄	s _σ ²	Ē	s _E ²
L 1	2 986	29 152	22,6	2,88	47,2	5,98	1 456	3 553
1	2 904	37 893	18,7	2,34	46,3	8,49	1 491	2 578
L 2	2 897	11 975	24,8	3,11	45,9	3,35	1 427	2 542
2	2 863	19 814	19,9	5,42	45,5	4,46	1 462	3 279
L 3	2 922	28 977	24,0	7,19	45,7	6,71	1 377	1 933
3	2 785	39 908	18,9	3,32	43,8	11,45	1 439	2 047
L S	2 804	28 635	22,4	6,40	44,2	7,14	1 376	2 766
S	2 837	26 394	18,6	0,94	44,7	6,67	1 423	3 187
P	2 383	10 851	18,3	1,31	38,4	2,64	1 341	1 681

Tab. 7 Průměrné hodnoty pro čedičové vlákno.

Skupina	F _{max} [N]		ε _{max} [mm]		σ [MPa]		E [MPa]	
	F̄	s _F ²	ε̄	s _ε ²	σ̄	s _σ ²	Ē	s _E ²
1	2 904	37 893	18,7	2,34	46,3	8,49	1 491	2 578
2	2 863	19 814	19,9	5,42	45,5	4,46	1 462	3 279
3	2 785	39 908	18,9	3,32	43,8	11,45	1 439	2 047
L 1	2 986	29 152	22,6	2,88	47,2	5,98	1 456	3 553
L 2	2 897	11 975	24,8	3,11	45,9	3,35	1 427	2 542
L 3	2 922	28 977	24,0	7,19	45,7	6,71	1 377	1 933



Obr. 24 Graf zatížení jednotlivých kompozitních materiálů při tříbodovém zatížení v příčném směru.



Obr. 25 Ukázka zlomu při zkoušce třibodovým ohybem u kompozitního materiálu s čedičovou vrstvou směrem dolů. V horní části je gramáž čediče 210 g/cm^3 a v dolní části je gramáž 340 g/cm^3 .



Obr. 26 Porovnání zkoušky třibodovým ohybem u kompozitního materiálu se skelným vláknem a čedičovým vláknem směrem dolů.



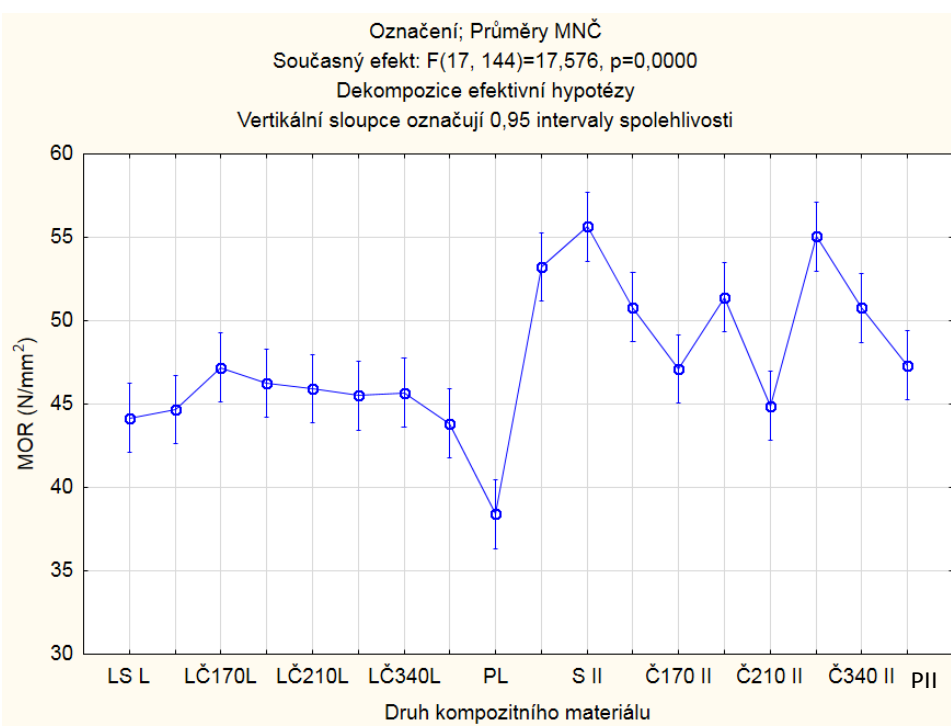
Obr. 27 Zkouška trojbodového ohybu u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem směrem nahoru.



Obr. 28 Zkouška trojbodovým ohybem u překližky.

5.1.3 Statistické vyhodnocení výsledků pomocí jednofaktorové ANOVY

Z výsledků jednofaktorové ANOVY je zřejmé, že kompozitní materiály s čedičovým vláknem mají v příčném směru velmi podobnou pevnost v ohybu. Z toho tedy vyplývá, že na gramáži čedičového vlákna v tomto ohledu moc nezáleží. Nejhorších výsledků dosáhla překližka v příčném směru. V podélném směru jsou kompozitní materiály dosti rozličné a nejlepších výsledků dosahuje kompozitní materiál se skelným vláknem. Naopak nejhorších výsledků dosáhl kompozitní materiál s čedičovým vláknem o gramáži 210 g/cm³. Statistickou podobnost nám ukazuje i Scheffeho test.



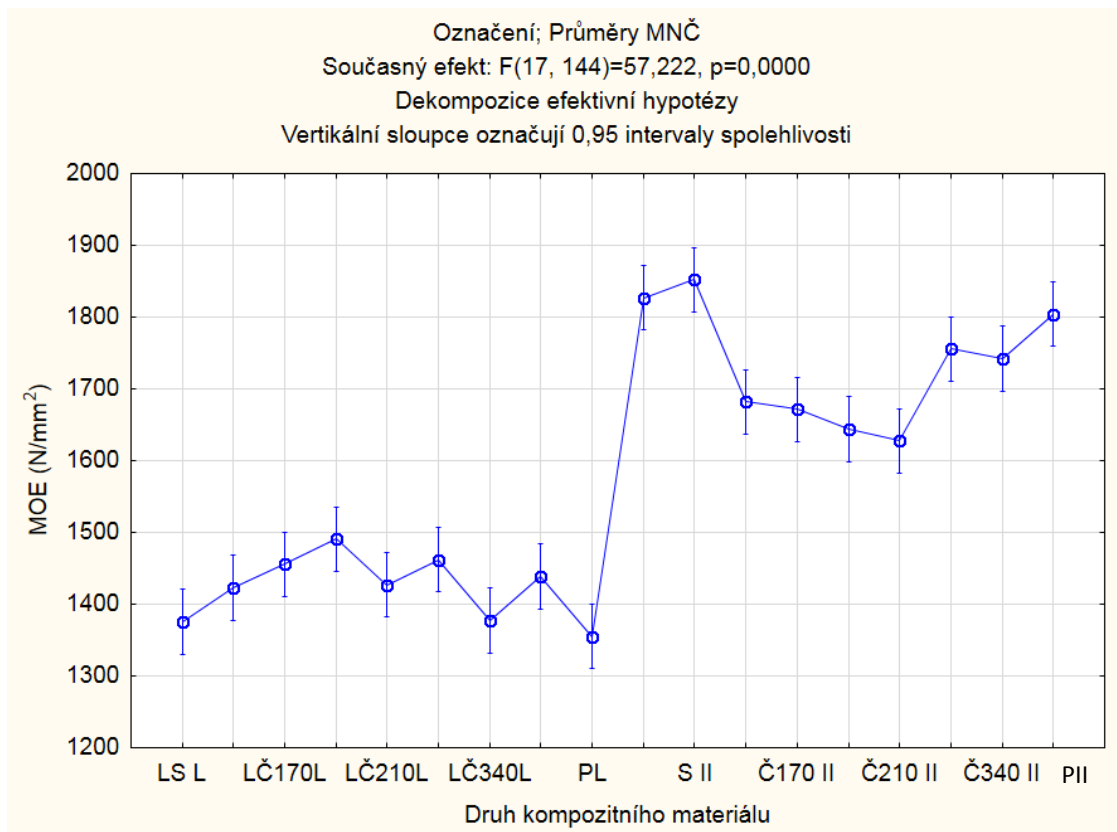
Obr. 29 Graf jednofaktorové ANOVY, kde je znázorněna pevnost v ohybu jednotlivých kompozitních materiálů (s čedičovým vláknem, se skelným vláknem, samostatná překližka). Statisticky byly vyhodnoceny vzorky, jak v příčném, tak i v podélném směru. Dále byly ještě rozlišovány materiály s tkaninou nahoru nebo dolů.

Označení: LS_I kompozitní materiál se skelným vláknem, testován v příčném směru. LČ_{170L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 170 g/cm³), testován v příčném směru. LČ_{210L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 210 g/cm³), testován v příčném směru. LČ_{340L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 340 g/cm³), testován v příčném směru. P_I překližka testována v příčném směru. S_{II} kompozitní materiál se skelným vláknem, testován v podélném směru. Č_{170II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 170 g/cm³), testován v podélném směru. Č_{210II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 210 g/cm³), testován v podélném směru. Č_{340II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 340 g/cm³), testován v podélném směru. P_{II} překližka testována v podélném směru.

Č. buňky	Označení	MOR (N/mm ²)	1	2	3	4	5
9	PL	38,41778	****				
8	Č340L	43,84667	****	****			
1	LS L	44,18333	****	****			
2	SL	44,67889	****	****			
15	Č210 II	44,88889	****	****			
6	Č210L	45,52333	****	****	****		
7	LČ340L	45,69111	****	****	****		
5	LČ210L	45,92111	****	****	****		
4	Č170L	46,25556	****	****	****		
13	Č170 II	47,11889		****	****		
3	LČ170L	47,20111		****	****	****	
18	P II	47,32778		****	****	****	
17	Č340 II	50,77667		****	****	****	****
12	LČ170 II	50,81778		****	****	****	****
14	LČ210 II	51,40667		****	****	****	****
10	LS II	53,23333			****	****	****
16	LČ340 II	55,05667				****	****
11	S II	55,64778					****

Obr. 30 Scheffeho test pevnosti v ohybu pro všechny hodnocené kompozitní materiály v příčném i podélném směru.

Dále jsme pomocí jednofaktorové ANOVY zkoumali modul pružnosti jednotlivých skupin materiálu. Také jsme rozlišovali podélný a příčný směr. Z grafu je zřejmé, že vyšší modul pružnosti mají kompozitní materiály, které byly testovány v podélném směru. Nejlepších hodnot dosahoval kompozitní materiál se skelným vláknem v podélném směru. Naopak, nejhorší modul pružnosti měla samostatná překližka v příčném směru. Statistickou podobnost nám ukazuje i Scheffeho test.



Obr. 31 Graf jednofaktorové ANOVY, kde je znázorněn modul pružnosti jednotlivých kompozitních materiálů (s čedičovým vláknem, se skelným vláknem, samostatná překližka). Statisticky byly vyhodnoceny vzorky, jak v příčném, tak i v podélném směru. Dále byly ještě porovnávány materiály s vrstvou nahoru nebo dolů.

Označení: LS \perp kompozitní materiál se skelným vláknem, testován v příčném směru. LČ_{170L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 170 g/cm³), testován v příčném směru. LČ_{210L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 210 g/cm³), testován v příčném směru. LČ_{340L} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 340 g/cm³), testován v příčném směru. P \perp překližka testována v příčném směru. S_{II} kompozitní materiál se skelným vláknem, testován v podélném směru. Č_{170II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 170 g/cm³), testován v podélném směru. Č_{210II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 210 g/cm³), testován v podélném směru. Č_{340II} kompozitní materiál s čedičovým vláknem (gramáž 340 g/cm³), testován v podélném směru. P_{II} překližka testována v podélném směru.

Č. buňky	Označení	MOE (N/mm ²)	1	2	3	4	5	6	7
9	PL	1355,092	****						
1	LS L	1375,599	****						
7	LČ340L	1377,096	****						
2	SL	1423,378	****						
5	LČ210L	1426,837	****						
8	Č340L	1438,500	****						
3	LČ170L	1455,792	****	****					
6	Č210L	1462,241	****	****					
4	Č170L	1490,860	****	****	****				
15	Č210 II	1627,547		****	****	****			
14	LČ210 II	1644,172			****	****	****		
13	Č170 II	1671,609				****	****	****	
12	LČ170 II	1681,850				****	****	****	****
17	Č340 II	1742,699				****	****	****	****
16	LČ340 II	1755,988				****	****	****	****
18	P II	1804,190					****	****	****
10	LS II	1826,936						****	****
11	S II	1852,283							****

Obr. 32 Scheffeho test modulu pružnosti pro všechny hodnocené kompozitní materiály v příčném i podélném směru.

5.2 Výsledky zkoušky stanovení stupně hořlavosti

Následující tabulky (tab. 8 až tab. 12) znázorňují jednotlivé kompozitní materiály, u kterých byla nejprve zjištěna hmotnost před samotnou zkouškou (m_0). M_1 označuje hmotnost vzorku po zkoušce hořlavosti. V dalším sloupci je úbytek hmotnosti (m) v gramech a následně i v procentech. Zvýrazněné číslo nám uvádí průměrnou hodnotu procentuálního úbytku hmotnosti. V posledním sloupci je pro zajímavost zobrazena tloušťka jednotlivých vzorků.

Tab. 8 Stanovení hmotnosti vzorku překližky před a po zkoušce hořlavosti.

Skupina	Vzorek	m_0 [g]	m_1 [g]	m [g]	m [%]	m_x [%]	h [mm]
P	1	355,03	339,47	15,56	4,38	4,33	20,89
	2	356,16	342,26	13,90	3,90		21,22
	3	353,43	336,83	16,60	4,70		20,98

Tab. 9 Stanovení hmotnosti vzorku překližky se skelným vláknem před a po zkoušce hořlavosti.

Skupina	Vzorek	m_0 [g]	m_1 [g]	m [g]	m [%]	m_x [%]	h [mm]
S	1	373,20	358,86	14,34	3,84	3,48	21,48
	2	373,85	362,56	11,29	3,02		21,49
	3	373,42	360,01	13,41	3,59		21,42

Tab. 10 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 170g/m^2 před a po zkoušce hořlavosti.

Skupina	Vzorek	m_0 [g]	m_1 [g]	m [g]	m [%]	m_x [%]	h [mm]
1	1	356,80	341,72	15,08	4,23	3,90	21,24
	2	368,71	357,53	11,18	3,03		21,41
	3	364,64	348,40	16,24	4,45		21,49

Tab. 11 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 210g/m² před a po zkoušce hořlavosti.

Skupina	Vzorek	m ₀ [g]	m ₁ [g]	m [g]	m [%]	m _x [%]	h [mm]
2	1	360,43	346,56	13,87	3,85	4,11	21,40
	2	362,20	345,77	16,43	4,54		21,36
	3	354,86	340,86	14,00	3,95		21,31

Tab. 12 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 340g/m² před a po zkoušce hořlavosti.

Skupina	Vzorek	m ₀ [g]	m ₁ [g]	m [g]	m [%]	m _x [%]	h [mm]
3	1	359,16	343,90	15,26	4,25	4,34	21,33
	2	358,59	344,00	14,59	4,07		21,20
	3	354,02	337,42	16,60	4,69		21,25



Obr. 33 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u kompozitního materiálu se skelným vláknem.



Obr. 34 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u překližky.



Obr. 35 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem.

5.3 Výsledky zkoušky odolnosti proti padající kuličce

Tab. 13 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 19,1 mm z výšky 2 m.

Vzorek – povrch buková překližka	Stupeň poškození
č. 1 – 5	4

Tab. 14 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 19,1 mm z výšky 2 m.

Vzorek – povrch čedičové vlákno	Stupeň poškození
č. 1 – 5	5

Tab. 15 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 40 mm z výšky 1 m.

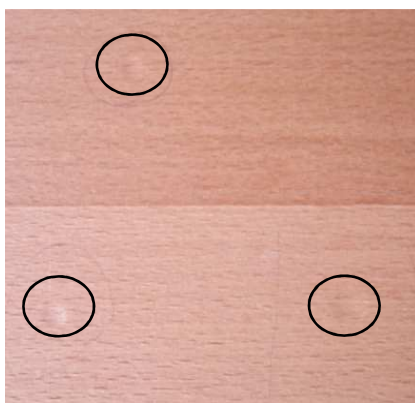
Vzorek – povrch buková překližka	Stupeň poškození
č. 1 – 5	4

Tab. 16 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 40 mm z výšky 1m.

Vzorek – povrch čedičové vlákno	Stupeň poškození
č. 1 – 5	5

Tab. 17 Vliv poškození na povrch vzorků.

	Vzorky – buková dýha	
průměr kuličky [mm]	19,1	40
velikost poškození [mm]	5	8



Obr. 36 Vliv poškození na povrch vzorků bukové překližky.

6 Diskuse

V první části této bakalářské práce jsme podrobili zkušební tělíska trojbodové ohybové zkoušce. Tělíska byla ohýbána v příčném i podélné směru. Také jsme rozlišovali uložení čedičového a skelného vlákna buď směrem dolů nebo nahoru.

V podélném směru nám vyšla průměrná pevnost v ohybu u všech typů kompozitních materiálů v rozmezí 44 až 55 MPa. Zajímavostí je, že u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem nám vyšla vyšší pevnost u těch tělísek, které byly otočené čedičovým vláknem dolů. Podle mého názoru za to může čedičová tkanina, která společně s epoxidovou směsí celý kompozitní materiál „podrží“. Je to dáno tím, že nejprve dojde k lomu na straně tažených vláken. Tím, že tuto stranu zpevníme čedičovým vláknem, jsou námi naměřené hodnoty vyšší. Dále musíme zohlednit gramáž jednotlivých čedičových tkanin. Čím vyšší byla gramáž čedičového vlákna, tím jsme dosáhli lepší pevnosti v ohybu. Literatura udává pevnost v ohybu pro masivní buk 123 MPa při vlhkosti 12 % (Johánek, Spurná, 1970), u překližované desky se skelným vláknem (11 vrstev a tloušťka 16 mm) vyšla pevnost v ohybu 112,34 MPa (Hrázský, Král, 2007). Další literatura udává pevnost v ohybu u celobukové překližky (7 vrstev a tloušťka 10 mm) 95,23 MPa (Hrázský, Král, 2005). Díky porovnání s literaturou se dá říci, že naše vzorky mají relativně dobrou pevnost v ohybu. Musíme brát v úvahu, že námi použitá překližka byla vyrobená pouze z 5 vrstev.

Modul pružnosti v podélném směru nám vyšel v rozmezí 1600 až 1800 MPa. Literatura udává, že hodnota modulu pružnosti v podélném směru masivního buku vychází asi 1600 MPa (Johánek, Spurná, 1970), u překližované desky se skelným vláknem (11 vrstvá a tloušťka 16 mm) vyšel modul pružnosti 11406,5 MPa (Hrázský, Král, 2007). Další literatura udává modul pružnosti u celobukové překližky, která se skládá ze 7 vrstev a její tloušťka je 10 mm, 21856,08 MPa (Hrázský, Král, 2005). U modulu pružnosti jsme získali mnohem lepší výsledky. Naše překližka obsahovala pouze 5 vrstev a její modul pružnosti je daleko vyšší než u překližky skládající se z 11 vrstev se skelným vláknem.

V příčném směru nám vyšla průměrná pevnost v ohybu v rozmezí 38 až 47 MPa. Nejvyšší hodnota byla naměřena u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem s gramáží 170 g/cm³ a čedičem směrem dolů. Oproti tomu, nejmenší pevnost v ohybu nastala u samostatné překližky. Literatura udává pevnost v ohybu v příčném směru u překližované desky se skelným vláknem (11 vrstev a tloušťka 16 mm) 83,82 MPa (Hrázský, Král, 2007). Druhá literatura udává, že u překližky se 7 vrstvami a tloušťkou 10 mm, je pevnost v ohybu 77,50 MPa (Hrázský, Král, 2005).

Modul pružnosti v příčném směru se pohyboval v rozmezí 1341 až 1491 MPa. Literatura udává u překližky se skelným vláknem (11 vrstev a tloušťkou 16 mm) modul pružnosti 7955,75 MPa (Hrázský, Král, 2007). V druhém případě, literatura udává hodnotu 12493,68 MPa u překližky se 7 vrstvami a tloušťkou 10 mm (Hrázský, Král, 2005).

Při zkoušce stanovení stupně hořlavosti jsme testovali celkem 15 vzorků. Tři vzorky z kompozitního materiálu se skelným vláknem, tři vzorky samostatné překližky bez jakékoliv úpravy a devět vzorků kompozitního materiálu s čedičovým vláknem. U vzorků kompozitního materiálu s čedičovým vláknem jsme dále ještě rozlišovali gramáž jednotlivých tkanin čedičového vlákna. Došli jsme k závěru, že všechny námi zkoušené kompozitní materiály měly podobný procentuální úbytek hmotnosti po zkoušce. Díky tabulce č. 2 „Stupeň hořlavosti stavebních hmot“ jsme mohli určit, že všechny námi odzkoušené materiály budou zařazeny do kategorie B nesnadno hořlavé. Úbytek hmotnosti se totiž u žádného materiálu nedostal přes 5%. Domnívali jsme se, že námi vyrobené kompozitní materiály s čedičovým a skelným vláknem budou mít rozdílnější hodnoty než překližka. Tato shoda je dána především nanesením

tenké vrstvy epoxidové směsi a také se nám při nanášení směsi vytvořily vzduchové bublinky. To vše mělo za následek vytvoření míst, kde nebyla žádná vrstva epoxidu, který by uzavřel čedičovou tkaninu. Ta má sama o sobě mezírky, kterými se dostal oheň až na překližku. Proto by bylo dobré v praxi vyzkoušet jinou formu nanášení epoxidové směsi. Také by se mohl vyzkoušet jiný typ lepicí směsi. Další možností zlepšení protipožárních vlastností by mohla být předvýroba čedičové fólie, která by byla kompaktní, a tak by se zamezilo přístupu vzduchu na povrch překližky. Náš pokus byl také ztížený tím, že v dnešní době jsou jednotlivé dýhy překližky impregnovány roztoky, které plní funkci retardéru hoření, a tak se tyto překližky dostávají z třídy C2 až do třídy B (Hujňák, 1996). Například firma Dyas má ve své nabídce celobukovou překližku DYAS PYROPLEX, která má zvýšenou odolnost proti hoření (Neuvedeno, 2016).

V poslední části této práce jsme řešili odolnost našich kompozitních materiálů s čedičovým vláknem proti padající kuličce a porovnávali jsme je s odolností povrchu samostatné překližky. U vzorků, které by měly v budoucnu sloužit jako podlahové dílce, jsme používali kuličku o průměru 40 mm a pouštěli jsme ji na povrch z výšky 1 m. U vzorků, ze kterých by mohl být vyroben nábytek, jsme používali kuličku o průměru 19,1 mm. Tu jsme pouštěli z výšky 2 m. Podle tabulky č. 3 „Stupeň poškození povrchu pomocí dopadající kuličky“ jsme zjistili, že u nábytkových dílců z překližky je stupeň poškození č. 4. Tedy překližka je mírně popraskaná a může obsahovat maximálně dva kruhy. Stejně výsledky vyšly i u podlahových dílců. Velikost poškození povrchu překližky vyšla u kuličky o průměru 40mm asi 8 mm a u kuličky 19,1 mm asi 5 mm. Což se shoduje s literaturou, kde se udává, že průměrná šířka otisku padající kuličky o průměru 40 mm, je 8,1 mm. Šířka otisku padající kuličky o průměru 19,1mm vyšla 5,7 mm (Grus, 2012). Kompozitní materiál s čedičovým vláknem má stupeň poškození č. 5. Neboli povrch není popraskan ani nijak poškozen. Z výsledků je tedy zřejmé, že kompozitní materiál s čedičovým vláknem je odolnější. Může za to především vrchní epoxidová vrstva, která na povrchu vytvoří velice odolný povrch. I samotné čedičové vlákno má výbornou odolnost proti oděru, což se dá od nerostné suroviny očekávat. Podle mého názoru by bylo tedy efektivnější používat čedičovou tkaninu jako povrchovou úpravu. Samozřejmostí je průmyslová výroba, kde by bylo docíleno souvislé vrstvy epoxidové směsi. Čedičová tkanina by také mohla vytvářet designovou záležitost, například jako netradiční podlahové dílce.

7 Závěr

V dnešní době jsou na stavby kladeny čím dál větší nároky na požární odolnost. U dřevostaveb to platí ještě více. Proto je důležité zlepšovat protipožární vlastnosti. My jsme se o to pokusili při našem výzkumu, kdy jsme vytvořili kompozitní materiál s čedičovým vláknem a porovnávali jsme ho s kompozitním materiálem se skelným vláknem a se samotnou překližkou.

Bohužel, náš pokus nedopadl úplně tak, jak jsme si představovali. Pokud by se tento materiál měl průmyslově vyrábět, potřebovali bychom zlepšit samotné nanášení epoxidové směsi nebo navrhnout čedičovou fólii, která by neobsahovala žádné vzduchové místo. Tím by se mohly zlepšit protipožární vlastnosti kompozitního materiálu.

V bakalářské práci jsme se rozhodli použít jako základ pro návrh kompozitního materiálu s čedičovým vláknem bukovou překližku. Rozhodli jsme se pro ni především kvůli budoucí skladbě lesů v ČR. Předpokládá se, že v budoucnu bude mít buk vyšší zastoupení a tak se pro něj již dnes hledá uplatnění. Překližku jsme si vybrali proto, že je dnes na ústupu. Hlavním stavebním materiálem u dřevostaveb, vedle masivního dřeva nebo lepených prvků, je aglomerovaný materiál. Svou oblibu má především kvůli ceně. Aglomerované materiály jsou totiž jednodušší na výrobu, a proto je jejich cena nižší. Také se při jejich výrobě používá méně kvalitní dřevo. Je samozřejmostí, že tato tkanina by se dala použít i pro výše zmíněné aglomerované materiály.

8 Summary

This thesis examined a design board with basalt fiber. This board had a fire resistance. Our first task was to produce a composite material. This composite material consisted of beech plywood, basalt or glass cloth and epoxy mixture. We compressed the composite material of 0,3 MPa for 240 minutes and 60°C. We cut pressed composite materials and we created individual samples.

These samples were tested in bending. These samples were compared to a composite material with glass fibre and plywood. The result was found of 44 MPa to 55 MPa of a bending test in the longitudinal direction. The result was found of 38 MPa to 47 MPa of a bending test in the transverse direction.

The second part dealt with fire resistance of composite material with basalt fiber. This composite material was compared with a composite material of glass fiber and plywood. All materials belonged to group B.

The last part was test to finishes for wooden furniture. We compared the composite material with basalt fiber and plywood. The composite material with basalt fiber had a higher resistance than plywood.

We had to improve the application of basalt fiber for industrial production. But basalt could be material for the future.

9 Literární zdroje

- Anon., 1967. *Informace o taveném čediči*. Praha: Rio – ČTK. 10 s.
- BS 3962: část 6:1980: *Methods of test for finishes for wooden furniture. Assessment of resistance to mechanical damage*, 1980.
- ČSN 73 0862: *Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot*, 1991.
- ČSN EN 310 (49 0147): *Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu*, 1995.
- DHAND, V., MITTAL, G., RHEE, K. Y., PARK, S., HUI, D., 2014. *A short review on basalt fiber reinforced polymer composires*. Science Direct, Composites: Part B 73 (2015) 166 – 180.
- EHRENSTEIN, G. W., 2009. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 351s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- GRUS, L., 2012. *Posouzení možnosti vyhřívání vrstevnatých materiálů odporovým ohřevem*.
- HLAVÁČ, J., 1988. *Základy technologie silikátů: celostátní vysokoškolská příručka pro studenty oboru 27 – 06 – 8 Technologie silikátů*. V ČR 2. upr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 516 s.
- HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P., 2005. *Posouzení pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu vodovzdorných foliovaných překližek v závislosti na jejich konstrukci*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 41 s.
- HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P., 2007. *Příspěvek k vlastnostem kombinovaných překližovaných materiálů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 11 s.
- HUIJŇÁK, J., 1996. *Dřevěné konstrukce II. Návrhy a konstrukce*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 218 s. ISBN 80-7157-237-3.
- JANČÍK, M., 2006. *Vývojové trendy překližovaných materiálů*.
- JOHÁNEK, A., SPURNÁ, M., 1970. *Dřevařská technická příručka*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 743 s.
- KOUKAL, F., 1956. *Tavený čedič a jeho praktické využití*. V ČR 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 177 s.
- KRÁL, P., 2011. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.

- NUTSCH, W., 2003. *Konstrukce nábytku: nábytek a zabudované skříně*. V ČR 1. vyd. Praha: Grada, 398 s. ISBN 80-247-0220-7.
- VONDRUŠKA, V., 2002. *Sklářství*. V ČR 1. vyd. Praha: Grada, 273 s. ISBN 80-247-0261-4.

Internetové zdroje

- < http://www.basaltex.cz/cedic/cedic_charakteristika_cz.htm>
- < <http://www.darte.cz/tepelne-izolace/cedicova-vata>>
- < <http://www.svitap.cz/kompozitni-tkaniny/>>
- BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J., 2012. *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, fakulta lesnická a dřevařská. [online] citováno 31. 3. 2016. Dostupné na <http://fld.czu.cz/~bohmm/materialy_na_bazi_dreva.pdf>
- Neuvedeno, 2002. *Překližka: materiál pro třetí tisíciletí*. Dům a byt. [online] citováno 23. 3. 2016. Dostupné na <http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/preklizka-material-pro-treti-tisicileti_14681.html>
- Neuvedeno, 2005. *Basalt fiber and composite materials technology development*. [online] citováno 13. 2. 2016. Dostupné na <<http://basaltfm.com/eng/fiber/technology.html>>
- Neuvedeno, 2016. *Dyas Pyroplex – překližky se sníženou hořlavostí*. [online] citováno 29. 4. 2016. Dostupné na <<http://www.dyas.eu/produkty/dyas-pyroplex>>
- PETRÁNEK, J., 2007. *Geologická encyklopedie*. [online] citováno 11. 2. 2016. Dostupné na <<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?bazalt>>
- SKALICKÁ, P., HALABALA, J., BRUNECKÝ, Z., 2012. *Dějiny umění – Egypt*. Ownhome. [online] citováno 15. 3. 2016. Dostupné na <<http://www.ownhome.cz/novinky/ostatni/953-dejiny-bydleni-egypt>>
- VÁVRA, V., 2009. *Multimediální atlas hornin jako interaktivní pomůcka při výuce*. [online] citováno 8. 2. 2016. Dostupné na <<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps08/horniny/web/magmaticke/bazalt.html>>

- VNOUČEK, M., 2009. *Kompozitní materiály*. [online] citováno 4. 2. 2016.
Dostupné na <http://www.ateam.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1 Vzorek čediče neboli bazaltu.....	13
Obr. 2 Přírodní památka Panská skála.	14
Obr. 3 Schématický obrázek popisu výroby čedičového vlákna.	15
Obr. 4 Čedičové vlákno.	15
Obr. 5 Tkanina z čedičového vlákna.	16
Obr. 6 Schématický obrázek popisu výroby skelného vlákna.	20
Obr. 7 Sekané skelné vlákno.....	20
Obr. 8 Pramenec (roving) ze skelného vlákna.	20
Obr. 9 Tkanina ze skelného vlákna.....	21
Obr. 10 Druhy vazeb u tkanin.....	23
Obr. 11 Buková překližka.	24
Obr. 12 Schématický obrázek popisu výroby dýhy.....	27
Obr. 13 Způsoby výroby dýhy.	27
Obr. 14 Překližka s čedičovou tkaninou v přípravné fázi.....	30
Obr. 15 Překližka po nanesení směsi epoxidové pryskyřice a s čedičovou vrstvou.....	30
Obr. 16 Překližka po vylisování.	30
Obr. 17 Schématický obrázek statické zkoušky třibodovým ohybem.....	33
Obr. 18 Statická zkouška třibodovým ohybem.....	35
Obr. 19 Překonání hranice meze úměrnosti.....	36
Obr. 20 Ukázka vzorku před samotnou zkouškou.....	38
Obr. 21 Průběh zkoušky stanovení stupně hořlavosti.....	39
Obr. 22 Zkušební ocelové kuličky o průměru 19,1 mm a 40 mm.	39
Obr. 23 Graf zatížení jednotlivých kompozitních materiálů při třibodovém zatížení v podélném směru.....	42
Obr. 24 Graf zatížení jednotlivých kompozitních materiálů při třibodovém zatížení v příčném směru.....	43
Obr. 25 Ukázka zlomu při zkoušce třibodovým ohybem u kompozitního materiálu s čedičovou vrstvou směrem dolů. V horní části je gramáž čediče 210 g/cm^3 a v dolní části je gramáž 340 g/cm^3	44
Obr. 26 Porovnání zkoušky třibodovým ohybem u kompozitního materiálu se skelným vlákem a čedičovým vláknem směrem dolu.....	44

Obr. 27 Zkouška trojbodového ohybu u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem směrem nahoru.....	44
Obr. 28 Zkouška trojbodovým ohybem u překližky.....	45
Obr. 29 Graf jednofaktorové ANOVY, kde je znázorněna pevnost v ohybu jednotlivých kompozitních materiálů (s čedičovým vláknem, se skelným vláknem, samostatná překližka). Statisticky byly vyhodnoceny vzorky, jak v příčném, tak i v podélném směru. Dále byly ještě rozlišovány materiály s tkaninou nahoru nebo dolu.	46
Obr. 30 Scheffeho test pevnosti v ohybu pro všechny hodnocené kompozitní materiály v příčném i podélném směru.....	46
Obr. 31 Graf jednofaktorové ANOVY, kde je znázorněn modul pružnosti jednotlivých kompozitních materiálů (s čedičovým vláknem, se skelným vláknem, samostatná překližka). Statisticky byly vyhodnoceny vzorky, jak v příčném, tak i v podélném směru. Dále byly ještě porovnány materiály s vrstvou nahoru nebo dolu.....	47
Obr. 32 Scheffeho test modulu pružnosti pro všechny hodnocené kompozitní materiály v příčném i podélném směru.....	48
Obr. 33 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u kompozitního materiálu se skleným vláknem.....	49
Obr. 34 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u překližky.	49
Obr. 35 Výsledek zkoušky stupně hořlavosti u kompozitního materiálu s čedičovým vláknem.....	50
Obr. 36 Vliv poškození na povrch vzorků bukové překližky.....	51

Seznam tabulek

Tab. 1 Chemické složení jednotlivých typů skelných vláken.....	18
Tab. 2 Stupeň hořlavosti stavebních hmot.....	38
Tab. 3. Stupeň poškození povrchu pomocí padající kuličky.....	40
Tab. 4 Průměrné hodnoty kompozitních materiálů s čedičovým vláknem gramáží 170 g/cm ³ , 210 g/cm ³ , 340 g/cm ³ , se skelným vláknem a samostatná překližka.....	42
Tab. 5 Průměrné hodnoty pro čedičové vlákno.....	42
Tab. 6 Průměrné hodnoty kompozitních materiálů s čedičovým vláknem gramáží 170 g/cm ³ , 210 g/cm ³ , 340 g/cm ³ , se skelným vláknem a samostatná překližka.....	43
Tab. 7 Průměrné hodnoty pro čedičové vlákno.....	43
Tab. 8 Stanovení hmotnosti vzorku překližky před a po zkoušce hořlavosti.....	48
Tab. 9 Stanovení hmotnosti vzorku překližky se skelným vláknem před a po zkoušce hořlavosti.....	48
Tab. 10 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 170g/m ² před a po zkoušce hořlavosti.....	48
Tab. 11 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 210g/m ² před a po zkoušce hořlavosti.....	49
Tab. 12 Stanovení hmotnosti vzorku překližky s čedičovým vláknem o gramáži 340g/m ² před a po zkoušce hořlavosti.....	49
Tab. 13 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 19,1 mm z výšky 2 m.....	50
Tab. 14 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 19,1 mm z výšky 2 m.....	50
Tab. 15 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 40 mm z výšky 1 m.....	50
Tab. 16 Odolnost proti nárazu kuličkou o průměru 40 mm z výšky 1m.....	50
Tab. 17 Vliv poškození na povrch vzorků.....	50

Příloha

Podélný směr

Tab. 18 Naměřené hodnoty pro skelné vlákno směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{\max} N	ϵ_{\max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,36	50,12	455	3298,81	16,6	51,93	1881,15
21,24	49,8	455	3504,19	21,59	56,15	1742,52
21,76	50,21	455	3954,49	22,55	59,88	1827,65
21,59	50,21	455	3242,93	16,23	49,88	1849,59
21,52	49,89	455	3394,29	18,21	52,89	1843,49
21,69	49,94	455	3324,42	17,74	50,94	1802,01
21,49	49,44	455	3313,15	17,98	52,24	1836,45
21,45	50,08	455	3323,2	18,1	51,92	1840,47
21,5	49,89	455	3412,65	19,83	53,27	1819,09
Aritmetický průměr			3418,68	18,7589	53,2333	1826,94
Minimum			3242,93	16,23	49,88	1742,52
Maximum			3954,49	22,55	59,88	1881,15
Směrodatná odchylna			202,603	2,0268	2,86199	36,2239
Variační koeficient v %			5,92634	10,8045	5,37631	1,98277

Tab. 19 Naměřené hodnoty pro skelné vlákno směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{\max} N	ϵ_{\max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,19	50,32	455	3382,4	16,45	53,89	1897,65
21,59	50,21	455	3508,83	16,69	53,97	1852,25
21,21	50,5	455	3472,72	17,08	55,03	1851,02
21,29	50,45	455	3483,21	16,9	54,84	1829,03
21,5	49,88	455	3669,54	17,21	57,29	1937,64
21,49	50,21	455	3556,22	17,37	55,21	1814,85
21,48	49,88	455	3828,76	19,01	59,89	1906,67
21,27	50,16	455	3475,34	18,13	55,13	1803,05
21,5	49,89	455	3560,24	18,35	55,58	1778,39
Aritmetický průměr			3548,58	17,4656	55,6478	1852,28
Minimum			3382,4	16,45	53,89	1778,39
Maximum			3828,76	19,01	59,89	1937,64
Směrodatná odchylna			123,789	0,80172	1,76687	49,5866
Variační koeficient v %			3,48842	4,5903	3,1751	2,67706

Tab. 20 Naměřené hodnoty pro překližku.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{\max} N	ϵ_{\max} mm	σ Mpa	E Mpa
20,91	49,91	455	3055,83	17,6	50,41	1842,41
21,19	49,88	455	3136,17	16,1	50,41	1913,96
21,16	50,43	455	2936,21	15,36	46,81	1850,68
21,06	50,17	455	2957,02	17,17	47,84	1727,92
20,97	50,21	455	2817,21	15,14	45,93	1778,51
21,14	50,35	455	2984,73	17,8	47,75	1736,01
21,25	50,09	455	2819,74	14,9	44,88	1770,3
21,25	49,92	455	3018,57	16,32	48,21	1837,44
20,98	50,27	455	2686,57	14,05	43,71	1780,48
21,03	50,21	455	2963,75	19,71	48,05	1595,67
21,02	50,18	455	2890,65	16,83	46,94	1746,74
21,02	50,18	455	2900,09	16,6	47,09	1783,77
21,17	50,12	455	3248,53	20,14	52,06	1743,13
21,15	49,95	455	3059,58	19,52	49,3	1651,58
21,33	49,96	455	3146,75	19,84	49,84	1603,98
21,21	49,85	455	3014,2	19,31	48,39	1587,11
21,33	50,36	455	2951,86	18,05	46,38	1633,96
21,76	50,21	455	2677,83	14,74	40,55	1548,25
Aritmetický průměr			2959,18	17,1767	47,475	1729,55
Minimum			2677,83	14,05	40,55	1548,25
Maximum			3248,53	20,14	52,06	1913,96
Směrodatná odchylka			145,053	1,89086	2,60788	101,445
Variační koeficient v %			4,9018	11,0083	5,49317	5,86541

Tab. 21 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 170g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{\max} N	ϵ_{\max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,34	50,29	455	3362,2	26,48	52,85	1588,99
21,28	50,25	455	3388,78	25,7	53,61	1639,51
21,46	50,39	455	3136,52	24,37	48,66	1564,61
21,26	50,1	455	3282,8	19,25	52,19	1701,06
21,21	49,94	455	3297,58	20	52,84	1752,89
21,42	50,18	455	3151,21	18,17	49,27	1705,23
21,18	50,13	455	3028,89	16,9	48,49	1800
21,24	49,9	455	3030,9	17,78	48,47	1717,13
21,5	50,13	455	3281,76	18,93	50,98	1667,23
Aritmetický průměr			3217,85	20,8422	50,8178	1681,85
Minimum			3028,89	16,9	48,47	1564,61

Maximum	3388,78	26,48	53,61	1800
Směrodatná odchylka	127,552	3,44461	1,99742	71,1345
Variační koeficient v %	3,96389	16,5271	3,93056	4,22954

Tab. 22 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 170g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,38	49,27	455	2492,82	13,61	39,85	1633,87
21,27	49,94	455	2483,81	13,44	39,58	1576,43
21,24	49,41	455	2666,38	16,41	43,06	1532,74
21,52	50,08	455	3137,22	16,26	48,7	1695,57
21,48	50,43	455	3209,71	17,23	49,66	1710,94
21,43	49,92	455	3254,13	18,38	51,1	1672,29
21,28	50,21	455	3267,59	17,49	51,74	1710,78
21,36	50,28	455	3280,71	17,16	51,48	1800,52
21,5	49,92	455	3134,69	17,15	48,9	1711,34
Aritmetický průměr			2991,9	16,3478	47,1189	1671,61
Minimum			2483,81	13,44	39,58	1532,74
Maximum			3280,71	18,38	51,74	1800,52
Směrodatná odchylka			321,512	1,61515	4,64876	75,7337
Variační koeficient v %			10,7461	9,87993	9,86603	4,53059

Tab. 23 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 210g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,16	50,17	455	3320,4	21,57	53,21	1665,85
21,34	50,22	455	3075,06	19,92	48,4	1626,79
21,4	50,31	455	3357,56	22,83	52,46	1631,86
21,43	50,25	455	3415,45	24,9	53,28	1629,94
21,43	50,13	455	3355,55	23,55	52,47	1622,48
21,4	50,23	455	2987,18	20,47	46,75	1593,31
21,09	50,45	455	3213,47	22,29	51,55	1651,96
21,2	49,87	455	3184,18	21,3	51,14	1666,72
21,37	49,95	455	3383,36	22,91	53,4	1708,64
Aritmetický průměr			3254,69	22,1933	51,4067	1644,17
Minimum			2987,18	19,92	46,75	1593,31
Maximum			3415,45	24,9	53,4	1708,64
Směrodatná odchylka			140,622	1,46891	2,20583	31,4623
Variační koeficient v %			4,32061	6,61872	4,29094	1,91356

Tab. 24 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 210g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,44	50,02	455	2886,11	15,43	45,19	1649,71
21,13	49,95	455	2723,12	14,48	43,96	1667,56
21,14	50,22	455	2641,02	14,46	42,36	1626,33
21,33	49,92	455	2963,57	17,19	46,97	1622,67
21,21	50,1	455	2908,23	0,01	46,45	1688,59
21,41	50,2	455	2920,12	15,59	45,68	1690,56
21,16	50,08	455	2578,68	14,84	41,4	1238,84
21,44	50,1	455	3261,38	17,35	50,98	1718
21,4	50,24	455	2621	12,22	41,01	1745,66
Aritmetický průměr			2833,69	13,5078	44,8889	1627,55
Minimum			2578,68	0,01	41,01	1238,84
Maximum			3261,38	17,35	50,98	1745,66
Směrodatná odchylna			204,172	4,98695	2,9639	142,611
Variační koeficient v %			7,20516	36,9191	6,60275	8,7623

Tab. 25 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 340g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,3	50,41	455	3857,44	22,86	60,72	1849,35
21,4	50,4	455	3990,25	24,09	62,24	1852,42
21,35	50,47	455	3098,4	20,11	48,49	1643,38
21,21	50,13	455	3030,38	20,64	48,37	1672,23
21,24	49,92	455	3031,25	19,71	48,46	1672,49
21,48	50,36	455	3302,22	21,47	51,16	1726,17
21,29	50,13	455	3653,97	23,5	57,89	1817,35
21,61	50,18	455	3800,95	25,97	58,39	1775,17
21,26	50,3	455	3775,77	23,78	59,79	1795,33
Aritmetický průměr			3504,51	22,4589	55,0567	1755,99
Minimum			3030,38	19,71	48,37	1643,38
Maximum			3990,25	25,97	62,24	1852,42
Směrodatná odchylna			364,984	1,98154	5,49494	75,4642
Variační koeficient v %			10,4147	8,82296	9,98052	4,29754

Tab. 26 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 340g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,48	50,24	455	3058,44	15,1	47,5	1755,59
21,23	49,91	455	2829,62	15,84	45,28	1639,04
21,37	50,48	455	3335,62	17,63	52,09	1741,57
21,23	50,01	455	2878,41	15,5	45,97	1675,03
21,52	49,67	455	3692,53	23,41	57,79	1729,69
21,54	50,05	455	3431,8	19,77	53,2	1721,75
21,32	49,95	455	3141,59	16,41	49,81	1846,31
21,33	50,23	455	3257,62	19,46	51,32	1651,56
21,56	50,07	455	3493,09	16,24	54,03	1923,75
Aritmetický průměr			3235,41	17,7067	50,7767	1742,7
Minimum			2829,62	15,1	45,28	1639,04
Maximum			3692,53	23,41	57,79	1923,75
Směrodatná odchylka			270,123	2,55705	3,83915	86,8721
Variační koeficient v %			8,34894	14,4412	7,56086	4,98492

Příčný směr

Tab. 27 Naměřené hodnoty pro skelné vlákno směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,36	50,2	455	2638,96	20,52	41,48	1336,05
21,32	50,29	455	2441,14	18,58	38,44	1304,44
21,29	50,43	455	2729,92	19,82	42,99	1392,09
21,29	50,14	455	2873,25	26,19	45,51	1288,02
21,46	50,17	455	3048,52	23,31	47,5	1394,11
21,28	50,14	455	2896,34	23,64	45,92	1453,16
21,24	50,21	455	2871,24	24,52	45,63	1394,93
21,29	50,23	455	2929,23	24,7	46,32	1382,44
21,45	50,05	455	2805,39	19,88	43,86	1435,15
Aritmetický průměr			2803,78	22,3511	44,1833	1375,6
Minimum			2441,14	18,58	38,44	1288,02
Maximum			3048,52	26,19	47,5	1453,16
Směrodatná odchylka			169,217	2,5304	2,67202	52,5938
Variační koeficient v %			6,03534	11,3211	6,04756	3,82334

Tab. 28 Naměřené hodnoty pro skelné vlákno směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{max} N	ϵ_{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,39	50,33	455	2921,71	18,93	45,68	1421,04
21,3	50,03	455	2793,76	18,19	44,31	1452,15
21,35	50,26	455	2495,45	16,75	39,21	1298,34
21,35	50,2	455	2907,19	18,38	45,74	1461,24
21,4	50,3	455	2733,85	17,47	42,72	1418,14
21,26	50,27	455	2843	19,33	45,04	1417,98
21,35	50,15	455	2969,28	19,6	46,76	1431,59
21,3	50,19	455	2762,19	18,57	43,67	1389,14
21,33	50,2	455	3107,46	19,97	48,98	1520,78
Aritmetický průměr			2837,1	18,5767	44,6789	1423,38
Minimum			2495,45	16,75	39,21	1298,34
Maximum			3107,46	19,97	48,98	1520,78
Směrodatná odchylka			162,463	0,96785	2,58175	56,4552
Variační koeficient v %			5,72637	5,21003	5,77847	3,96629

Tab. 29 Naměřené hodnoty pro překližku.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F_{max} N	ϵ_{max} mm	σ Mpa	E Mpa
20,86	50,05	455	2282,41	17,4	37,73	1338,75
21,09	50,3	455	2465,54	19,97	39,67	1339,61
21,05	50,31	455	2351,23	18,14	37,97	1313,72
21,02	50,41	455	2247,6	17,22	36,33	1343,84
21,03	50,36	455	2246,38	16,98	36,31	1358,99
21,02	50,3	455	2424,35	19,25	39,27	1384,14
21,12	50,01	455	2465,71	19,41	39,79	1335,06
21,17	50,22	455	2593,49	19,6	41,48	1398,17
21,05	50,22	455	2300,07	16,66	37,21	1383,55
21,1	50,3	455	2341,53	17,72	37,64	1330,57
21,02	50,31	455	2566,72	19,95	41,57	1421,15
21,19	50,57	455	2474,02	19,67	39,22	1333,64
20,96	50,06	455	2416,3	18,4	39,55	1385,67
21,09	50,23	455	2267,45	18,85	36,54	1259,73
21,17	50,2	455	2306,81	16,11	36,91	1302,95
21,16	50,27	455	2433,27	17,82	38,92	1317,63
21,23	50,28	455	2435,8	17,91	38,69	1313,39
21,19	50,25	455	2276,64	17,86	36,32	1275,82
Aritmetický průměr			2383,07	18,2733	38,3956	1340,91

Minimum	2246,38	16,11	36,31	1259,73
Maximum	2593,49	19,97	41,57	1421,15
Směrodatná odchylka	104,17	1,14638	1,624	40,9945
Variační koeficient v %	4,37123	6,27349	4,22966	3,05722

Tab. 30 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 170g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,36	49,85	455	2798,31	25,36	44,29	1339,36
21,15	50,29	455	2843	22,58	45,5	1501,11
21,12	50,11	455	2667,82	21,42	42,97	1417,36
21,26	50,03	455	3181,71	22,15	50,65	1538,38
21,31	50,43	455	2978,64	19,74	46,82	1495,06
21,39	49,95	455	3122,07	23,96	49,18	1399,85
21,5	49,67	455	3187,66	23,86	49,98	1445,66
21,42	50,5	455	3042,31	20,63	47,27	1513,07
21,36	50,06	455	3054,9	23,7	48,15	1452,28
Aritmetický průměr			2986,27	22,6	47,2011	1455,79
Minimum			2667,82	19,74	42,97	1339,36
Maximum			3187,66	25,36	50,65	1538,38
Směrodatná odchylka			170,74	1,69708	2,44618	59,6053
Variační koeficient v %			5,71752	7,50919	5,18246	4,09436

Tab. 31 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 170g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,13	50,22	455	2749,94	19,78	44,15	1445,69
21,1	50,17	455	2677,97	19,7	43,16	1438,07
21,14	50,14	455	2872,64	21,62	46,15	1428,23
21,33	50,19	455	3317,18	19,69	52,3	1528,12
21,35	50,13	455	2981,09	17,53	46,97	1498,46
21,28	49,98	455	3034,61	17,81	48,27	1552,31
21,23	50,25	455	2689,6	16,22	42,75	1497,43
21,32	50,14	455	2795,07	17,64	44,15	1451,29
21,17	50,14	455	3020,97	18,75	48,4	1578,14
Aritmetický průměr			2904,34	18,7489	46,2556	1490,86
Minimum			2677,97	16,22	42,75	1428,23
Maximum			3317,18	21,62	52,3	1578,14
Směrodatná odchylka			194,662	1,53075	2,91455	50,7702
Variační koeficient v %			6,70246	8,16451	6,30098	3,40543

Tab. 32 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 210g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,2	50,2	455	2894,16	23,63	46,18	1514,76
21,21	50,09	455	2869,84	26,56	45,85	1426,75
21,22	49,98	455	2859	23,06	45,73	1489,57
21,25	50,1	455	2847,28	23,29	45,31	1409,67
21,15	50,24	455	3092,59	28,84	49,54	1436,3
21,45	50,22	455	2948,2	24,52	45,93	1385,89
21,52	50,17	455	2780,38	23,76	43,08	1342,44
21,28	50,58	455	3047,38	25,35	47,9	1448,69
21,27	49,73	455	2735,69	24,17	43,77	1387,46
Aritmetický průměr			2897,17	24,7978	45,9211	1426,84
Minimum			2735,69	23,06	43,08	1342,44
Maximum			3092,59	28,84	49,54	1514,76
Směrodatná odchylka			109,43	1,76242	1,83163	50,418
Variační koeficient v %			3,77713	7,10717	3,98864	3,53355

Tab. 33 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 210g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,22	50,45	455	3046,85	19,87	48,28	1486,75
21,43	50,09	455	2855,41	20,37	44,69	1364,13
21,2	50,19	455	3044,49	20,13	48,59	1562,72
21,32	50,19	455	2726,16	17,83	43,02	1452,79
21,29	50,17	455	2711,64	17,38	42,93	1466,35
21,25	49,06	455	2813,61	19,18	45,72	1485,37
21,19	50,45	455	2783,96	20,32	44,24	1437,77
21,05	49,92	455	2718,28	18,18	44,24	1514,38
21,25	50,88	455	3063,65	25,75	48	1389,91
Aritmetický průměr			2862,67	19,89	45,5233	1462,24
Minimum			2711,64	17,38	42,93	1364,13
Maximum			3063,65	25,75	48,59	1562,72
Směrodatná odchylka			140,761	2,3282	2,11231	57,2642
Variační koeficient v %			4,91711	11,7054	4,64006	3,9162

Tab. 34 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 340g/cm³ směrem dolů.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,36	50,42	455	3032,07	24,64	47,45	1411,12
21,46	50,23	455	3031,72	28,51	47,18	1335,96
21,36	50,48	455	3181,8	25,89	49,73	1471,99
21,33	50,13	455	2930,45	24,4	46,25	1396,48
21,32	50,15	455	2718,9	21,67	42,94	1338,79
21,4	50,36	455	2750,82	20,58	42,94	1364,97
21,44	50,21	455	3075,1	26,93	47,96	1391,33
21,43	50,09	455	2648,15	20,36	41,44	1321,21
21,53	50,22	455	2931,06	22,86	45,33	1362,01
Aritmetický průměr			2922,23	23,9822	45,6911	1377,1
Minimum			2648,15	20,36	41,44	1321,21
Maximum			3181,8	28,51	49,73	1471,99
Směrodatná odchylka			170,225	2,682	2,59107	43,9675
Variační koeficient v %			5,82517	11,1833	5,67084	3,19277

Tab. 35 Naměřené hodnoty pro čedičové vlákno o gramáži 340g/cm³ směrem nahoru.

Tloušťka mm	Šířka mm	Délka mm	F _{max} N	ε _{max} mm	σ Mpa	E Mpa
21,3	50,11	455	3149,18	21,67	49,87	1481,05
21,38	50,18	455	2810,64	17,87	44,11	1500,51
21,57	50,17	455	2792,53	18,97	43,07	1412,07
21,31	50,05	455	2857,25	20,08	45,26	1429,31
21,32	50,17	455	2828,57	18,61	44,65	1477,79
21,18	50,01	455	2902,9	20,58	46,58	1484,59
21,42	50,1	455	2553,43	16,53	39,99	1396,58
21,44	50,12	455	2396,27	15,79	37,44	1371,2
21,35	50,23	455	2776,27	20,14	43,65	1393,4
Aritmetický průměr			2785,23	18,9156	43,8467	1438,5
Minimum			2396,27	15,79	37,44	1371,2
Maximum			3149,18	21,67	49,87	1500,51
Směrodatná odchylka			199,77	1,82154	3,38337	45,2491
Variační koeficient v %			7,17248	9,62984	7,71638	3,14557