

Kompozitné materiály tvrdené skleným prachom

Bc. Hana Otiepková

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hana OTIEPKOVÁ**
Osobní číslo: **T090238**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Kompozitní materiály plněné skelným prachem**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování teoretických poznatků v oblasti kompozitů na bázi skelných tkanin a pryskyřice v závislosti na jejich pevnosti.
2. Stanovení parametrů pro vyhodnocení pevnostních charakteristik a jejich využití v praxi.
3. Výběr konkrétních druhů skelných tkanin pro realizaci kompozitů v závislosti na jejich pevnosti a druhu plniva na bázi skelného vlákna.
4. Vyhodnocení výsledků měření a komentář pro praktické aplikace vytvořených kompozitů v praxi.



ABSTRAKT

Cieľom práce bolo vypracovať rešerše o kompozitných materiáloch a vyrobiť laminát z matrice - živice, sklenej tkaniny a plniva. Toto zloženie sa stáva rozdielnym elementom vo výslednom kompozite. Plnivo, ktoré bolo doplnené sa skladá zo skleneného vlákna v drvenej podobe alebo na báze wolastonitu. Táto práca má byť návodom ako využiť odpadové tkaniny v prospech novovytvoreného kompozitu. Boli vykonané základné mechanické skúšky, ktoré popisujú meniace sa závislosti v rámci iného základu kompozitu a jeho výplne, a porovnať ich vlastnosti. Výsledkom tejto práce je vyhodnotenie pevnostných charakteristík a možné aplikácie v praxi.

Kľúčové slová: kompozitné materiály, sklenené vlákna, živica, wolastonit, sklený prach.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop the research on composite materials and manufacture laminate with resin-matrix, glass fabrics and fillers. This composition is an different element in the resulting composite material. Filler, which was used, consisting of glass fibers in the powder form or on the basis of wollastonite. This work is instruction how to use waste fabrics in favor of the new created group. Were made basic mechanical tests describing the changing depending on the different composite base and fillers, and to compare their properties. The result of this study is to evaluate the strength and potential applications in practice.

Keywords: composite materials, glass fabrics, resin, wollastonite, glass powder.

Moje poďakovanie patrí vedúcemu diplomovej práce Ing. Martinovi Juříčkovi Ph.D.

Chcela by som sa poďakovať aj technickému inštitútu Univerzity Tomáša Bati, za poskytnutie pracovných pomôcok, konkrétne doc.Dr.Ing.Vladimírovi Pavlínkovi a kolegom. Taktiež Ing.Petrovi Smolkovi Ph.D., Doc.Ing.Zdeňkovi Dvořákovi CSc., Ing. Davidovi Maňasovi Ph.D. a Ing. Milanovi Žaludkovi PhD. Mojim rodičom, MUDr.Marcelle Marečkovej, Birgitt Fründ, Renému Schnurovi a firme Saint Gorbain.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČASŤ.....	9
1 ČASOVÝ VÝVOJ KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	10
1.1 VŠEOBECNÉ ROZDELENIE KOMPOZITOV PODEA ICH ZLOŽENIA.....	13
1.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI ZLOŽIEK KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	14
1.3 SPÔSOBY VÝROBY KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	19
1.3.1 Priame metódy výroby KM.....	20
1.3.2 Nepriame metódy výroby KM.....	20
1.4 PORUŠOVANIE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	21
1.4.1 Mechanizmy porušenia KM vplyvom pozdĺžnych ťahových zaťažení.....	22
1.4.2 Mechanizmy porušenia KM vplyvom pozdĺžnych tlakových zaťažení.....	22
1.4.3 Mechanizmy porušenia KM priečnym tlakovým namáhaním.....	22
1.4.4 Mechanizmy porušenia KM priečnym ťahovým namáhaním.....	23
1.4.5 Základné pojmy pevnosti a pružnosti pre porušenie KM.....	23
2 VLÁKNA SPEVNŮJÚCE KOMPOZITNÉ MATERIÁLY.....	24
2.1 KOVOVÉ VLÁKNA.....	26
2.1.1 Titánové vlákna.....	26
2.1.2 Ďalšie druhy kovových vlákien.....	26
2.2 NEKOVOVÉ VLÁKNA.....	27
2.2.1 Uhlíkové vlákna.....	27
2.2.2 Sklené vlákna.....	27
3 CHARAKTERISTIKA SKLENÝCH VLÁKIEN.....	28
3.1 CHEMICKÉ ZLOŽENIE SKLENÝCH VLÁKIEN.....	29
3.2 MECHANICKO – FYZIKÁLNE VLASTNOSTI.....	30
3.3 VÝROBA SKLENÝCH VLÁKIEN.....	31
3.3.1 Výroba sklených vlákien ťahaním.....	33
3.3.2 Výroba sklených vlákien vyfukovaním.....	34
3.4 LUBRIKÁCIA SKLENÝCH VLÁKIEN.....	35
3.5 SKLENÝ PRACH.....	37
3.6 WOLASTONIT.....	38
4 MATRICE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	39
4.1 KERAMICKÉ A KOVOVÉ MATRICE.....	41
4.2 TITÁNOVÉ MATRICE.....	41
4.3 POLYMERNÉ MATRICE.....	42
5 VÝROBA LAMINÁTOV.....	45

5.1	RUČNÉ LAMINOVANIE.....	45
5.2	STROJOVÉ STRIEKANIE.....	46
5.3	NAVÍJANIE.....	46
5.4	LISOVANIE ZA STUDENA.....	47
5.5	LISOVANIE ZA TEPLA.....	47
5.6	PREŤAHOVANIE (POLTRUDOVANIE).....	49
5.7	KONTINUÁLNA VÝROBA.....	49
6	VYUŽITIE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV.....	50
II	PRAKTICKÁ ČASŤ.....	51
	MERANIE FYZIKÁLNYCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	52
7	VLASTNOSTI SKLENEJ TKANINY.....	53
7.1	POUŽITÉ MERACIE ZARIADENIA.....	54
7.2	STANOVENIE DOSTAVY TKANÍN.....	56
7.3	STANOVENIE JEMNOSTI VLÁKNA.....	57
7.4	STANOVENIE PRIEMERU VLÁKNA.....	58
7.5	STANOVENIE PLOŠNEJ HMOTNOSTI TKANÍN.....	59
7.6	OBSAH SPÁLITEĽNÝCH LÁTOK A OBSAH VLNKOSTI V TKANINÁCH.....	61
8	VLASTNOSTI EPOXIDOVEJ A POLYESTEROVEJ ŽIVICE.....	63
8.1	POUŽÍVANÉ ŽIVICE.....	63
9	POUŽÍVANÉ PLNIVÁ.....	64
9.1	POUŽÍVANÉ MERACIE ZARIADENIA.....	67
9.2	STANOVENIE VIZKOZITY.....	69
9.3	STANOVENIE OBSAHU PRCHAVÝCH LÁTOK.....	71
9.4	MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYTVRDENEJ EPOXIDOVEJ A POLYESTEROVEJ ŽIVICE.....	73
9.4.1	Meranie rázovej húževnatosti metódou Sharpy.....	74
9.4.2	Skúška v ťahu epoxidovej a polyesterovej živice.....	78
10	MECHANICKÉ VLASTNOSTI LAMINÁTOV.....	82
10.1	PRÍPRAVA LAMINÁTOV PRE ŤAHOVÚ SKÚŠKU.....	82
10.2	VÝSLEDKY ZAZNAMENANÉ PRI ŤAHOVEJ SKÚŠKE.....	85
	ZÁVER.....	112
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	114
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	116
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	118
	ZOZNAM TABULIEK.....	123

ZOZNAM PRÍLOH.....	125
PRÍLOHA 1: BEZPEČNOSTNÝ LIST BUTANOXU.....	129
PRÍLOHA 2: BEZPEČNOSTNÝ LIST BUTANOXU.....	129
PRÍLOHA 3: TECHNICKÝ LIST LETOXIDU.....	138
PRÍLOHA 4: VÝROBA SILIKONOVEJ FORMY.....	141

ÚVOD

Súčasný prudký vývoj vedy a techniky, ako aj jednotlivých priemyselných oborov si vyžaduje rozvoj nových typov materiálov s vysokými parametrami. Klasicky vyrábané materiály už zďaleka nevyhovujú stále rastúcim požiadavkám priemyselnej praxe. To samozrejme platí v leteckej, lodnej alebo automobilovej doprave, ako aj energetike, elektrotechnike, strojárstve a podobne.

Rozvoj nových konštrukčných materiálov je preto taký naliehavý, lebo klasické spôsoby zvyšovania pevnosti kovových sústav, napr. pridávaním prísadových prvkov, tepelným spracovaním, tvárnením apod., sú momentálne už veľmi nákladné ako z ekonomického, tak z technického hľadiska.

Cez to všetko stále predstavujú polymerné materiály a kompozitné materiály najvýznamnejší segment zo všetkých materiálov. V konkurencii s klasickými materiálmi, hlavne kovmi, sa polymery a kompozity presadili predovšetkým svojou jednoduchou spracovateľnosťou a ľahkou váhou.

Takto kombinovaný materiál spája v sebe pozitívne vlastnosti jednotlivých druhov materiálov. Vzájomne spojuje krehké, ale vysokopevné materiály s materiálmi plastickými, v jeden konštrukčný materiál, takzvaný zložený (kompozitný) materiál.

Takto zložené materiály sa nazývajú kompozitné materiály (v diplomovej práci sú kompozitné materiály označené termínom KM).

Realizovať vývoj z hľadiska technologického a ekonomického nie je v dnešnej dobe jednoduchá záležitosť, obzvlášť s neustále rastúcou konkurenciou na trhu. Táto diplomová práca ukazuje postup realizácie určitého druhu kompozitu za podmienok už známych, ale v postupe, ktorý nie je konkrétne preskúmaný. Takto vytvorený KM bol podrobený mechanickým skúškam pre zistenie jeho vlastností a nárokov na uplatnenie v technickej praxi.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ČASOVÝ VÝVOJ KOMPOZITNÝCH MATERIÁLŮV

V súčasnom období sú v technickej praxi veľmi rozšírené kompozitné materiály (ďalej len KM) s kovovou i nekovovou maticou.

Vysoká úroveň mechanických vlastností týchto materiálov sa získava vystužovaním matric vysokopevnými vláknami.

Tento princíp zvyšovania mechanických charakteristík materiálu je už dávno známy. Napriek tomu sa však v poslednom čase venuje vývoju a spracovaniu KM spevnených vláknami veľká pozornosť. [2]

Tab. 1: Stručný prehľad vývoja kompozitných materiálov. [2]

Antický Egypt	prvé tehly
19. storočie	vystuženie betónu oceľovými tyčami
Začiatok 20. storočia	fenolové živice + azbestové vlákna
1942	prvé laminátové člny (letectvo, elektrotechnika)
1946	metóda vinutých vlákien
1950	zavedenie vinutých vlákien do raketovej techniky
1960	vlákna z vysokopevnostného uhlíka
1970	kompozity s kovovými maticami (bór, hliník)
70. roky	expanzia kompozitných materiálov v letectve, automobilovom a športovom priemysle

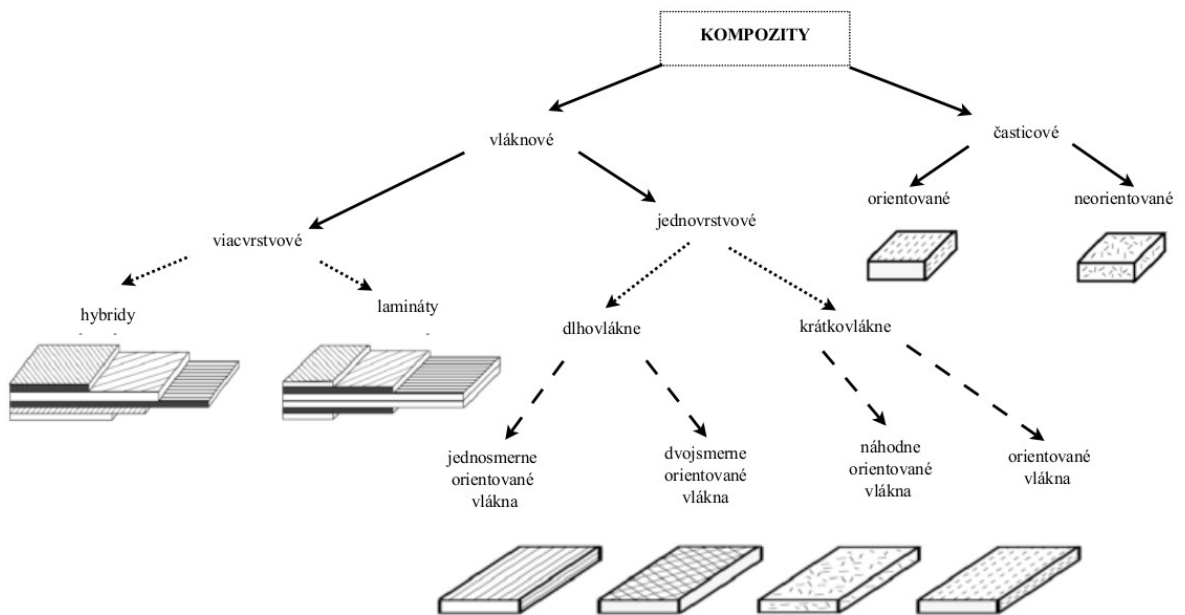


Obr. 1: Vývoj kompozitných materiálov. [16]

Kompozity sú zložené materiály, čiže cieľavedome kombinované rôzne materiály - zložky kompozitu, tak aby sa získali nové požadované vlastnosti kompozitu, ktorými nedisponujú samotné jeho pôvodné zložky. Kombinovať možno materiály rôznych základných skupín: kov-kov, kov-plast, kov-keramika, plast-keramika, plast-plast, atď.

V polykomponentnej forme môže vznikáť ešte viac kombinácií typu : plast1-kov-plast2, atď.

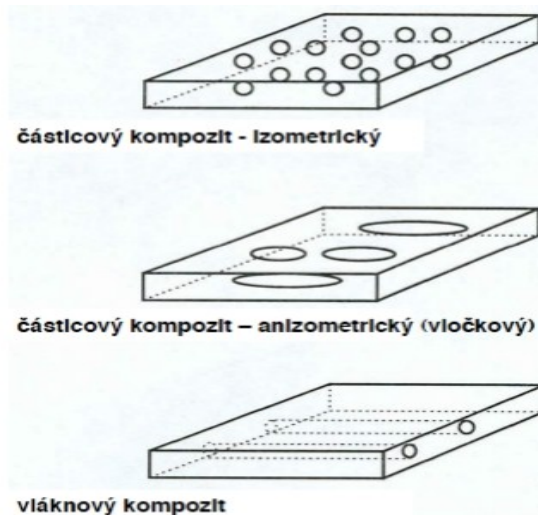
Základné mechanické vlastnosti KM, ako je ich pevnosť, tuhosť apod., sú určené predovšetkým množstvom a orientáciou spevňujúcej fázy v základnej matici. Podielové množstvo spevňujúcej fázy v KM sa môže vyjadriť jej hmotnostým alebo objemovým obsahom v uvažovanom KM. Hmotnostný podiel možno ľahšie získať pri výrobe KM, kým objemový obsah je výhodnejší pri teoretických úvahách. [2]



Obr. 2: Štruktúra rozdelenie kompozitov, vlastné spracovanie

Kompozity můžeme rozdeliť podľa *špecifických vlastností ich výstuže*:

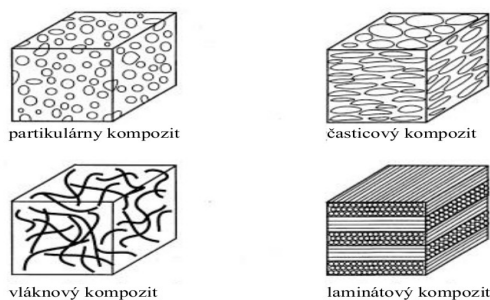
- veľkosti výstuže: makrokompozity (veľkosť v mm až cm)
mikrokompozity (veľkosť v mikrometroch)
nanokompozity (veľkosť v nanometroch)
- orientácie výstuže: preferovaná
náhodná
- tvaru výstuže: časticové (izometricky či anizometrický tvar)
vláknové (kontinuálne či diskontinuálne vlákna)



Obr. 3: Druhy tvaru výstuže kompozitov [16]

Podľa ich *konštrukcie* delíme kompozity na

- partikulárne časticové
- vláknové laminátové [16]



Obr. 4: Druhy kompozitov podľa konštrukcie

1.1 Všeobecné rozdelenie kompozitov podľa ich zloženia

Prevažne veľké množstvo KM spevnených vláknami sa rozdeľuje do štyroch skupín a to z hľadiska vlastností matrice a použitých vlákien.

K prvej skupine sa radia KM s plastickou (kovovou) matricou, spevnenou vláknami s malou plasticitou, ide o vlákna vyrobené z B, C, Al_2O_3 , SiC a pod. Tieto KM majú vysokú pevnosť, medz sklzu i žiarupevnosť, pretože spevňujúce vlákna sú charakteristické nízkou mernou hmotnosťou.

K druhej skupine zaraďujeme KM s plastickou matricou, ale aj s pomerne plastickými vláknami, ako sú oceľové vlákna, molybdénové, volfrámové a pod. Tieto KM majú nižšiu hodnotu pevnosti a najmä modul pružnosti oproti KM v prvej skupine. Vyznačujú sa však oveľa lepšou plasticitou ako aj možnosťou ich mechanického spracovania.

- hliník - oceľové vlákno
- titán - beriliové vlákno
- nikel - volfrámové vlákno apod.

Tretiu skupinu tvoria KM s krehkou matricou spevnenou vláknami, ktoré sa vyznačujú značnou plasticitou, napr. kovové vlákna vysokotavitelných kovov. Použiteľné matrice môžu byť oxidy háfnia, zirkónu a ďalších prvkov, ako aj niektoré nitridy, karbidy a boridy. Pevnosť a teplotná stabilita týchto materiálov, je daná typom systému ako aj objemovým množstvom spevňujúcej fázy.

Do štvrtej skupiny radíme KM s krehkou matricou a spevňujúcimi vláknami uhlíka ťažkotavitelných zlúčenín, a niektoré kryštály, ktoré sú charakteristické veľmi malou plasticitou. Materiály v tejto skupine majú sice nižšie pevnostné vlastnosti ako predchádzajúce prípady, ale ich prednosťou je využitie aj pri veľmi vysokých teplotách do 2000 °C (napr. KM typu uhlík-uhlík možno použiť v ochranej atmosfére až do 2200 °C).

[1]

1.2 Mechanické vlastnosti zložiek kompozitných materiálov

Tradičné konštrukčné materiály sa vyznačujú zväčša izotropnými vlastnosťami. Je však známe, že niektoré strojové súčiastky sú zaťažované nerovnomerne, a preto v miestach s najväčším zaťažením je potrebné podstatne ich skvalitniť a teda regulovať vlastnosti materiálu. V takýchto prípadoch treba prejsť od izotropných materiálov k materiálom anizotropným.

Anizotropia materiálov sa v tomto prípade môže pozitívne využívať práve na regulovanie vlastností v rôznych častiach danej konštrukcie. Mechanické vlastnosti kompozitných materiálov sú funkciou niekoľkých parametrov, z nich najdôležitejšie sú mechanické vlastnosti matrice a výstuže, dĺžka vlákien výstuže, súdržnosť matrice a výstuže, objemový podiel a usporiadanie výstuže.

Tab. 2: Porovnanie pevnosti v ťahu masívnych materiálov a vlákien v MPa.[3]

Materiál	Masívny materiál	Vlákno
Sklo	100	1 800
Uhlík (grafit)	20	2 000-6 000
SiC	500	3 000

KM spevnené vláknami sa vyznačujú značnou anizotropiou vlastností, čo možno úspešne využívať už v uvedenom smere. Zistilo sa, že napr. pri spevňovaní kritických miest niektorých častí lietadiel napríklad kompozitným materiálom typu hliník – bórové vlákno, sa zníži hmotnosť tejto súčiastky až o 42% a tuhosť vzrastie o 45%. Vďaka prítomnosti vlákien v KM sa znižuje rýchlosť šírenia sa trhlín vznikajúcich v matrici, pričom so zväčšujúcim sa objemovým sa množstvom vlákien hodnota medze únavy KM sa zväčšuje.

V kompozitných materiáloch spevnených vláknami sa trhliny nešíria s takou rýchlosťou ako v tradičných materiáloch, keďže v kompozitnom materiáli porušenie každého vlákna vo väčšine prípadov, nezávisí od porušenia susedného vlákna. Kinetika šírenia sa trhlín v KM je podstatne iná než v tradičných materiáloch. [1]

V obyčajných materiáloch sa trhlina šíri so značnou rýchlosťou a s vysokou lokálnou koncentráciou napätia, zatiaľ čo v KM porušenie jedného alebo viacerých vlákien vyvoláva prerozdelenie napätia v iných vláknach no nenastáva kritické šírenie trhliny. Proces porušenia KM sa skladá z viacerých postupných diskretných etáp, ktoré sa vzájomne odlišujú prerozdelením napätia medzi vláknami.

Taká vysoká koncentrácia napätia aká je v tradičných materiáloch sá KM sa nevyskytuje, a taktiež KM nie sú také citlivé na vrubové účinky a iné koncentrátoary napätia ako normálne materiály. Na zhotovenie nových vysokozaťažovaných konštrukcii je potrebný materiál s veľmi vysokým modulom pružnosti.

Pri použití bežných materiálov je zvýšenie tuhosti konštrukcie spojené so zvýšením ich hmotnosti, lebo merný modul pružnosti všetkých tradičných zliatin na báze Al, Mg, Ti, Ni, apod. má vlastne rovnaké hodnoty.

Klasické metódy spracovania kovových materiálov, ako je napr. pridávanie ďalších legujúcich prvkov, tepelné spracovanie, termomechanické spracovanie, a precipitačné vytvrdzovanie apod., síce zvyšujú ich pevnosť ale nezvyšujú ich modul pružnosti. [2]

Tab. 3: Modul pružnosti v ťahu, merná hmotnosť, merný modul niektorých materiálov používaných v KM. [4]

Materiál	Modul pružnosti v ťahu [GPa]	Merná hmotnosť [kg.m ⁻³]	Merný modul pružnosti v ťahu [m ² .s ⁻² .10 ⁻³]
Horčík	41,4	1 700	24,3
Sklo	69	2 500	27,6
Hliník	69,5	2 700	25,7
Titán	117,8	4 500	26,2
Oceľ	210	7 800	26,9
Molybdén	276	10 300	26,8

Všeobecne je známe, že pri klasických konštručných materiáloch sa mení ich merná hmotnosť, merná pevnosť, a ich merný modul pružnosti je vlastne rovnaký čo vidno z tabuľky 3.

Na druhej strane existujú materiály ako berílium, bór, uhlík, niektoré druhy nitridov a oxidov, ktoré majú oveľa väčšie hodnoty merného modulu pružnosti ako bežné konštrukčné materiály. Toto je zhrnuté a uvedené v nasledovnej tabuľke 4.

Tab. 4: Modul pružnosti, merná hmotnosť a merný modul pružnosti materiálov použiteľných na výrobu KM. [1]

Materiál	Modul pružnosti v ťahu [GPa]	Merná hmotnosť [kg.m ⁻³]	Merný modul pružnosti v ťahu [m ² .s ⁻² .10 ⁻³]
Berílium	309	1 830	18,8
Bór	492	2 300	192,2
Grafit	1 000	2 200	454,5
Organické vlákna	152	1 500	101,3
Karbid kremíka	497	3 200	155,3
Nitrid hliníka	345	3 300	104,5
Oxid hliníka	410	4 000	102,5
Nitrid kremíka	380	3 200	118,7
Karbid bóru	457	2 520	181,3
Karbid titánu	358	4 930	72,6

Osobitosťou KM je práve možnosť regulovať merný modul pružnosti, a preto je tento 2 až 3-krát vyšší, než u normálnych materiálov.

Spevňujúce vlákna sa vyznačujú, nie len vysokým modulom pružnosti ale aj pomerne nízkou hmotnosťou. Využitie KM v nových konštrukciách, teda zvyšuje ich tuhosť a hmotnostnú efektívnosť.

V zásade mechanické vlastnosti KM výrazne závisia od druhu použitých spevňujúcich vlákien, od druhu matrice, od reakcie medzi vláknami a medzi matricou, a od druhu použitej technológie ich výroby.

Pevnosť KM spevnených vláknami uložených rovnomerne v jednom smere sa zvyšuje v závislosti od pevnosti spevňujúcich vlákien a od ich objemového množstva v matrici. Táto pevnosť je často 2 až 3-krát vyššia než u klasických materiálov.

Typickým príkladom sú ľahké zliatiny na báze hliníka a horčíka, kde medza pevnosti býva 500 až 700 MPa a v prípade KM na báze týchto kovov spevnených bórovými vláknami sa

dosahuje 1300 až 1500 MPa. Pri použití vláknien s maximálnou pevnosťou až 2000 MPa.

Pri výpočte pevnostných charakteristík KM spevnených vláknami sa vychádza z predpokladu, že vlákna sú tak geometricky ako aj fyzikálne homogénne, sú nekonečné, rovnobežné a rovnomerne rozdelené v celom priereze použitej matrice. Ďalším predpokladom je, že medzi vláknami a matricou existuje dokonalá väzba, takže na medzifázovom rozhraní medzi matricou a vláknom nenastáva sklz a pomerná deformácia vláknien (ϵ_f), matrice (ϵ_m) a kompozitu (ϵ_c) je rovnaká a platí:

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_c \quad (1)$$

Indexy f, c, m sa budú vždy používať pre veličiny vzťahujúce sa na kompozity, vlákna a matricu. Ak sú vlákna aj matrica deformované elasticky, možno v nich napätie vyjadriť pomocou Hookoveho zákona:

$$\sigma_f = E_m \cdot \epsilon_f \quad (2)$$

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_c \quad (2)$$

kde modul pružnosti v ťahu E, je materiálová konštanta vyjadrujúca jeden z najdôležitejších parametrov pružného materiálu.

Napätie $\bar{\sigma}_f$ a $\bar{\sigma}_m$ pôsobí na prierezoch vláknien celkovej plochy S_f a na priereze matrice celkovej plochy S_m . Zaťažovacie sily (zaťaženie) pôsobiace na vlákna a matricu F_f a F_m možno vyjadríť vzťahmi:

$$\epsilon_f = \sigma_f \cdot S_f = E_f \cdot \epsilon_f \cdot S_f \quad (3)$$

$$F_m = \sigma_m \cdot S_m = E_m \cdot \epsilon_m \cdot S_m \quad (4)$$

Výsledné zaťaženie pôsobiace na celý kompozitný materiál F_c sa potom rovná súčtu zaťaženií pôsobiacich na vlákna a matricu, takže

$$F_c = F_f + F_m \quad (4)$$

Výsledné zaťaženie F_c kompozitného materiálu v ňom vytvára priemerné napätie $\bar{\sigma}_c$ pôsobiace na celkový prierez kompozitného materiálu S_c , takže platí:

$$F_c = \sigma_c \cdot S_c = \sigma_f \cdot S_f + \sigma_m \cdot S_m \quad (5)$$

alebo po vysadení S_c

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot \left(\frac{S_f}{S_c}\right) + \sigma_m \cdot \left(\frac{S_m}{S_c}\right)$$

Pre kompozitné materiály s rovnobežnými vláknami možno objemové podiely vyjadriť pomocou plošných podielov takto:

$$V_f = \frac{S_f}{S_c}, \quad V_m = \frac{S_m}{S_c} \quad (6)$$

takže použitím rovnice 5 a 6 dostaneme

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (7)$$

Ak definujeme rovnicu 7 podľa deformácie ϵ , ktorá je rovnaká tak pre vlákna, ako aj pre matricu a aj kompozitný materiál dostaneme vzťah:

$$\frac{\partial \sigma_c}{\partial \epsilon} = \left(\frac{\partial \sigma_f}{\partial \epsilon}\right) \cdot V_f + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial \epsilon}\right) \cdot V_m \quad (8)$$

v ktorom je $\left(\frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon}\right)$ je smernica dotyčnice v diagrame $\bar{\sigma} - \epsilon$ pre danú deformáciu ϵ . Ak je závislosť napätia na deformácii lineárna, potom je smernica dotyčnice $\left(\frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon}\right)$ konštantná a možno ju vo vzťahu 8 nahradiť zodpovedajúcim modulom pružnosti E , a tak dostaneme:

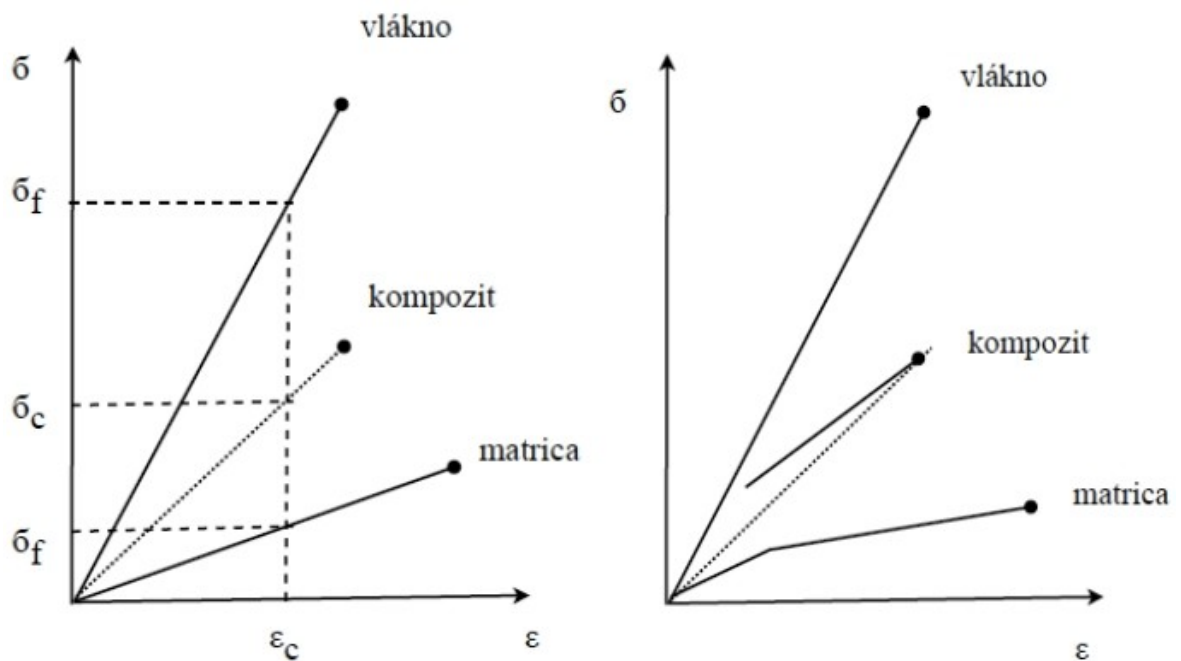
$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (9)$$

Vzťahy 8 a 9 vyjadrujú, že príspevky vlákien a matrice k priemerným vlastnostiam kompozitu sú úmerné ich objemovým podielom. Takýmto vzťahom sa hovorí zmiešavacie pravidlo (aditívny zákon). Vzťahy 8 a 9 možno pre viac (n) zložiek zovšeobecniť na:

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot V_i \quad (9)$$

$$E_c = \sum_{i=1}^n E_i \cdot V_i \quad (10)$$

Dôsledky vzťahu 7 možno objasniť na príkladoch uvažujúcich závislosť napätia od deformácie vlákien a matrice. Preto uvažujeme dva druhy kompozitov. Vlákna oboch nech



Obr. 5: Pracovný diagram pri ťahovom namáhaní pre hypotetické KM.

a) s lineárnym chovaním, b) s nelineárnym chovaním matrice, vlastné spracovanie

majú lineárnu závislosť medzi napätím a deformáciou až do úplného roztrhnutia. Materiál matrice má v prvom prípade lineárnu závislosť napätia od deformácie, v druhom prípade je táto závislosť nelineárna. [1]

1.3 Spôsob výroby kompozitných materiálov

Na získanie kvalitného KM s vysokou úrovňou mechanických aj fyzikálnych vlastností je potrebná správna voľba technológie jeho prípravy. Doteraz boli vo svete vyvinuté mnohé výrobné technológie v laboratórnych podmienkach, ako aj priamo v priemyselnej praxi.

Z výrobného hľadiska je perspektívna hlavne metóda lisovania za tepla, v ktorej môžeme ľahko regulovať základné parametre technologického procesu, ako je teplo, čas a tlak. Ktorákoľvek metóda výroby KM musí však zabezpečiť:

- získanie vyžadovaného tvaru materiálu,
- zavedenie spevňujúcich vlákien do matrice bez ich porušenia,
- zabránenie alebo aspoň výrazné potlačenie vzniku interakcie medzi vláknom a matricou,
- dosiahnutie vyžadovanej pevnosti na rozhraní medzi vláknom a matricou,

- zavedenie vyžadovaného objemového množstva spevňujúcich vlákien do matrice,
- rovnomerné rozdelenie vlákien v matrici.

Na výrobu KM spevnených vláknami s kovovou matricou sa používajú mnohé metódy, ktoré môžeme rozdeliť z viacerých hľadísk, a to podľa výšky použitej matrice (v tekutom, či tuhom stave), ako aj podľa spôsobu zavádzania spevňujúcich vlákien do kovovej matrice. Tieto metódy rozdelíme do dvoch základných skupín:

- nepriame metódy
- priame metódy

1.3.1 Priame metódy výroby KM

Do tejto skupiny KM sa radia materiály, ktorých spevňujúce vlákna sa vytvárajú priamo zo základného zliatinového systému.

- usmernená kryštalizácia eutektických zliatin,
- usmernenie eutektoidnej premeny,
- vytváranie vláknitých štruktúr deformáciou dvojfázového systému.

1.3.2 Nepriame metódy výroby KM

Medzi nepriame výrobné metódy, pomocou ktorých sa vlastný KM vyrába najmä z vhodnej matrice a spevňujúcich vlákien, a na ich kompaktovanie do výsledného tvaru KM sa používajú rôzne výrobné technológie.

- lisovanie za tepla,
- infiltrácia vlákien tekutým kovom,
- elektrolytické nanášanie kovovej matrice na vlákno,
- plazmové nanášanie,
- nanášanie kovových i nekovových povlakov na povrch z pár,
- lisovanie za studena a spekanie (technológia práškovej metalurgie),
- pretláčanie a kovanie (s doplnujúcim žihaním),

- spájanie matrice a spevňovanie fázy impulzným prívodom energie (tvárnenie výbuchom apod.) [5]

1.4 Porušovanie kompozitných materiálov

Z najvšeobecnejšieho hľadiska hovoríme, že porušenie nejakého konštrukčného prvku vzniká vtedy, keď prestáva spoľahlivo plniť svoju funkciu. Podľa tejto všeobecnej definície možno hovoriť, že porušovanie sa mení od prípadu k prípadu. V niektorých aplikáciách sa už veľmi malá deformácia považuje za porušenie, za celkový lom alebo úplné oddelenie časti materiálu. V KM je zvyčajné že vnútorné porušenie materiálu nastáva oveľa skôr, ako sa objavia pozorovateľné makroskopické zmeny vo vzhľade alebo chovaní KM. Vnútorné porušenie materiálu možno pozorovať v rôznych spôsoboch (oddelené alebo spojené), a to:

- pretrhnutie vlákien,
- vznik mikrotrhlín v matrici,
- oddeľovanie vlákien od matrice,
- oddeľovanie vrstiev v laminovaných KM (delaminácia)

Vnútorné poškodenia KM sa navonok prejavajú až vtedy, keď je hustota – množstvo týchto vnútorných poškodení (porúch), dostatočne veľká. V mnohých prípadoch sa pred makroskopickým porušením podstatne menia makroskopické vlastnosti materiálu.

Za lomové napätie jednosmerného KM považujeme také napätie, pri ktorom nastáva odklon závislosti napätia deformácie od lineárneho priebehu, alebo také napätie, pri ktorom dochádza k lomu.

V prvom prípade vrstva KM je považovaná za prerušenú, keď napätie prekročí hranicu úmernosti. Podľa druhej definície porušovania KM možno KM používať do jeho extrémnych hodnôt pevnosti za predpokladu, že zvolíme vhodný súčiniteľ bezpečnosti. Veľké množstvo jednosmerných KM vykazuje lineárnu charakteristiku mechanických vlastností takmer až do ich lomu. V týchto prípadoch obidve definície porušenia poskytujú rovnakú hodnotu lomového napätia.

1.4.1 Mechanizmy porušenia KM vplyvom pozdĺžnych ťahových zaťažení

Porušenie sa začína pretŕhaním vlákien, v miestach ich najslabšieho priečného prierezu. S rastúcim zaťažením rastie aj počet pretrhnutých vlákien.

Jednosmerný KM sa môže vplyvom pozdĺžneho ťahového napätia porušiť tromi spôsobmi, a to:

1. krehkým porušením
2. krehkým porušením s vytáhovaním vlákien,
3. krehkým porušením s vytáhovaním vlákien, a to:
 - šmykovým porušením na rozhraní matrica – vlákno
 - porušením zložiek KM (tj. napr. lom matrice mimo vlákna).

1.4.2 Mechanizmy porušenia KM vplyvom pozdĺžnych tlakových zaťažení

Takéto porušenie jednosmerných KM zaťažených v smere vlákien sa môže začínať priečnym štiepením alebo porušením KM. Spôsoby porušovania KM stlačením v pozdĺžnom smere možno rozdeliť do troch skupín, a to:

1. strihové porušenie
2. priečne ťahové porušenie
3. mikropuknutie vlákien:
 - s elastickou matricou
 - predchádzajúcim sklzom v matrici
 - s predchádzajúcim oddeľovaním zložiek

1.4.3 Mechanizmy porušenia KM priečnym tlakovým namáhaním

Jednosmerné KM podrobené priečnému tlakovému namáhaniu sa obvykle porušujú strihovým porušením matrice, ktoré sprevádza oddelenie zložiek alebo rozdrvenie vlákien. Priečna pevnosť pri stláčaní je nižšia ako pozdĺžna pevnosť pri stláčaní.

1.4.4 Mechanizmy porušení KM priečnym ťahovým namáhaním

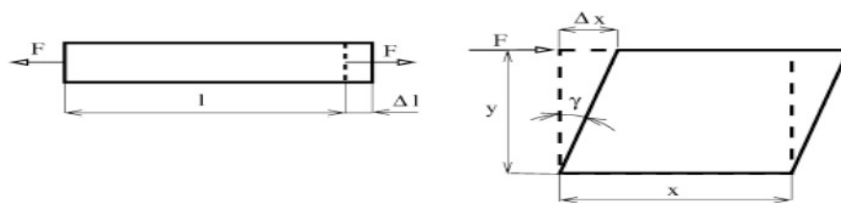
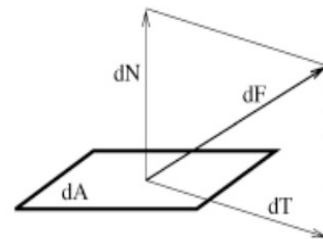
Príčinou porušení jednosmerného KM pri jeho priečnom ťahovom zaťažení je priečne porušenie ťahom matrice alebo rozhrania medzi vláknami a matricou. Pri priečnom porušovaní KM posobením priečneho ťahového napätia sa môžu uplatniť tieto mechanizmy:

- porušenie ťahovým napätím matrice
- oddeľovanie zložiek alebo štiepanie vlákien [13]

1.4.5 Základné pojmy pevnosti a pružnosti pre porušenie KM

Vplyvom vonkajších síl sa teleso deformuje a vzniká v ňom napätie:

- *normálové napätie* $\sigma = \frac{dN}{dA} [Nm^2 = Pa]$
- *šmykové napätie* $\tau = \frac{dT}{dA} [Pa]$
- *pomerné predĺženie* $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$
- *skúška materiálu pri šmyku* $y = \text{tg } \gamma = \frac{\Delta x}{y}$



Obr. 6: Rozloženie síl a ich pôsobenie [16]

2 VLÁKNA SPEVŇUJÚCE KOMPOZITNÉ MATERIÁLY

Z hľadiska optimálnych vlastností KM musia mať spevňujúce vlákna vysokú pevnosť, vysoký modul pružnosti, dobrú tepelnú stabilitu a pružnosť, ako aj dostatočnú dĺžku a pomerne malý priemer.

Ešte stále neexistujú spevňujúce vlákna, ktoré by v plnom rozsahu spĺňali tieto požiadavky a preto ich výber pre efektívne využitie v KM je značne obmedzený. Pomerne často sa používajú vlákna, ktorých $l/d > 10$ a priemer je menší alebo rovný 1mm. [6]

Tab. 5: Základné mechanické vlastnosti spevňujúcich vlákien skla, aramidových vlákien, uhlíkových vlákien s vysokou pevnosťou (HS) a uhlíkových vlákien s vysokým modulom (HM) [6]

Typ vlákna	Sklo	Aramid	HS-uhlík (high strength)	HM-uhlík (High Modulus)
Modul pružnosti v pozdĺžnom smere E [MPa]	74 000	130 000	230 000	39 000
Modul pružnosti v priečnom smere E [MPa]	74 000	5 400	15 000	6 000
Modul pružnosti v šmyku G [MPa]	30 000	12 000	50 000	20 000
Pevnosť v ťahu σ [MPa]	2 100	3 000	5 000	3 800
Hustota ρ [kg.m ⁻³]	2 500	1 500	1 600	1 700

V poslednom čase sa výzkum zameriava najmä na vývoj ľahkých, ale vysokopevných a vysokomodulových vlákien.

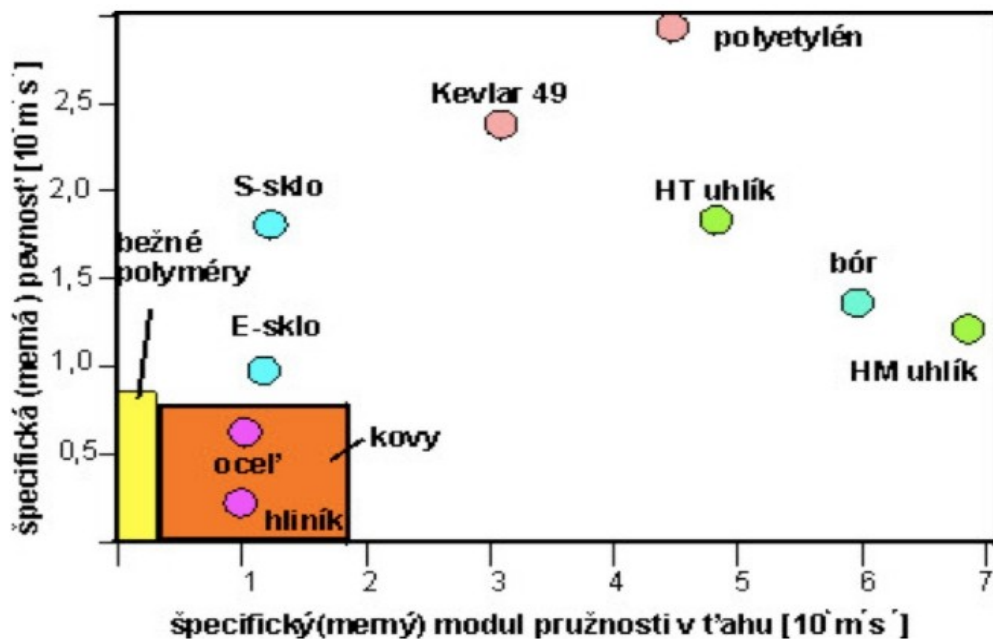
Voľba a výber vlákien sa musí robiť z hľadiska mechanických, fyzikálnych a chemických vlastností, tiež z hľadiska stability voči použitej matici, ako aj ich odolnosti voči okolitému prostrediu pri normálnych a zvýšených teplotách.

Vlákná z materiálu s neusmernenou (kovovou) medziatómovou väzbou majú menšiu pevnosť, ktorú však možno zvýšiť mechanickým alebo tepelným spracovaním, resp. legovaním alebo disperzným vytvrdzovaním, apod.

Materiály s výrazne usmernenou väzbou medzi atómami v mriežke sa vyznačujú veľkým modulom pružnosti, vysokou pevnosťou a zodpovedajúcou teplotou tavenia. Táto sa vzťahuje na všetky prvky s malým atómovým polomerom a niekoľkými valenčnými elektrónmi, ako je Be, B, C, nitrídy, borídy, karbidy a oxidy, ktoré okrem iného sa vyznačujú nízkou mernou hmotnosťou.

Vlákná slúžiace ako spevňujúce prvky KM môžeme rozdeliť do dvoch skupín:

- kovové vlákna
- nekovové vlákna [7]



Obr. 7: Pomer pevnosti a pružnosti používaných spevňujúcich vlákien. [7]

2.1 Kovové vlákna

Kovové vlákna sa najčastejšie používajú pri spevňovaní materiálov vláknami, vzhľadom na ich relatívne nízku cenu. Z hľadiska ich mernej hmotnosti sú však pre aplikácie i v praxi menej výhodné.

Na spevňovanie kovových matric s pomerne nízkym bodom tavenia, najmä ľahkých zliatin, našli doteraz naširšie použitie oceľové vlákna. Cenovo sú najvýhodnejšie vlákna z uhlíkovej ocele, avšak ich použitie je obmedzené do teploty 300° C. Pre vyššie teploty sa s úspechom používajú vlákna z vysokopevnej ocele typu „maraging“. Vlákna zo vždiaruvzdorných kovov a zliatin možno použiť na spevnenie matric žiarupevných ocelí alebo zliatin.



Obr. 8: Príklady použitia kovových vlákien [14]

2.1.1 Titánové vlákna

Na spevnenie KM pracujúcich pri vysokých teplotách sa s úspechom používajú vlákna zo žiarupevných a žiaruvzdorných zliatin. Udržujú si vysokú mernú pevnosť do 400° C a vyznačujú sa vysokou odolnosťou voči korózii. Využívanie titánových vlákien v KM obmedzujú ťažkosti spojené s technológiou ich výroby a ich cenou. Titánové vlákna sa používajú na spevnenie KM v tvare kontinuálnych aj diskontinuálnych vlákien. [14]

2.1.2 Ďalšie druhy kovových vlákien

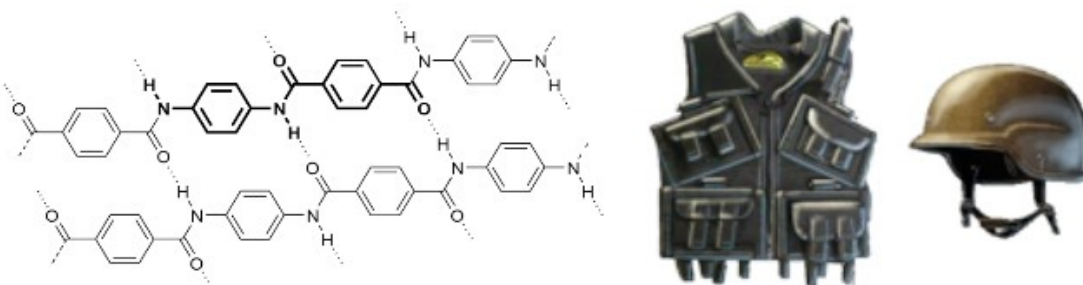
Do tejto skupiny patria predovšetkým berýliové vlákna, ktoré sa vyznačujú vysokou mernou pevnosťou a modulovou pružnosťou. Na rozdiel od väčšiny kovov sa mechanické vlastnosti berýlia, prísadou ďalších legujúcich prvkov znižujú, a preto vysokopevné berýliové vlákna možno získať len s malým množstvom prísad.

2.2 Nekovové vlákna

Väčšina nekovových vlákien sa vyznačuje malou mernou hmotnosťou, veľkou pevnosťou a pomerne veľkou mernou pevnosťou, ktorú si udržujú aj pri vysokých teplotách. Vzhľadom na svoje vlastnosti sú tieto vlákna osobitne perspektívne na spevňovanie matric z ľahkých kovov a ich zliatin (Al, Mg, Ti a ich zliatiny) a práve v tejto oblasti sú veľmi rozšírené.

2.2.1 Uhlíkové vlákna

Na výrobu uhlíkových vlákien sa v zásade ako suroviny používajú dve skupiny východiskových materiálov. Do prvej skupiny patria chemické a prírodné vlákna, do druhej skupiny patria najmä ropné smoly, kameňouholné smoly apod. Okrem iného sa vyrábajú vlákna i z aromatických polyamidov pod názvom kevlarové vlákna. Toto vlákno sa vyznačuje značnou tepelnou stabilitou a chemickou odolnosťou. Používajú sa pre široké spevnenie plastov a gumy, napr. pneumatiky, káble, laná a kevlar 49 na niektoré časti lietadiel a najmä pre výrobu nepriestrelných vest, pre rôzne športové potreby a taktiež v armáde. [15]



Obr. 9: Štruktúra kevlaru a jeho využitie v praxi, vlastné spracovanie

2.2.2 Sklené vlákna

Tieto vlákna patria k najpoužívanejším, pretože majú veľmi dobré uplatnenie ako v automobilovom priemysle, tak v medicíne. Z tohoto dôvodu boli vybrané ako recyklovateľná výstuž pri výrobe a je im venovaná nasledovná osobitná kapitola 3. [1]

3 CHARAKTERISTIKA SKLENÝCH VLÁKIEN

Sklené vlákna majú pomerne nízku hmotnosť a tepelnú vodivosť, avšak vysokú chemickú a tepelnú stabilitu, dostatočnú pevnosť. Vo väčšine prípadov pevnosť sklených vlákien vzrastá so znižovaním ich priemeru, avšak táto závislosť vždy neplatí a závisí od podmienok tvarovania vlákien, od ich zloženia, podmienok použitia a hlavne od kvality povrchu.

Značné úsilie je v poslednej dobe venované vývoju skiel s extrémnou čistotou a homogenitou, ktoré majú slúžiť ako vláknové optické vlnovody pre komunikačné systémy. Svetelný lúč eliminovaný laserom môže prenášať takým skleným vláknom oveľa viac informácií, ako možno dosiahnuť kovovým káblom.

Zloženie skleného vlákna určuje spôsob jeho prípravy, podmienky tvarovania, ako aj možnosti použitia.

Všetky sklené vlákna sa rozlišujú:

- zložením skla, z ktorého sú vyrobené
- mikronážou
- texom
- použitou lubrikáciou, ktorá sa na vlákno nanáša

Používané druhy skloviny:

- Sklovina typu **S** sa používa na vojenské účely, má vyššiu pevnosť v ťahu a vyšší modul pružnosti v porovnaní so sklom typu E. Tieto vlákna sa používajú v leteckej a raketovej technike, najväčšieho využitia dosahujú pre koštrukciu listov rotorov helikoptér.
- Sklo typu **D** má mechanické vlastnosti horšie ako sklo E, hlavne sa používa pre svoju nízku dielektrickú konštantu. Využitie je preto najmä v elektrotechnike, elektronike a energetike.
- Sklo typu **L** je špeciálne sklo s vysokým obsahom olova. Olovo predovšetkým zvyšuje nepriepustnosť vyrobeného laminátu rentgenovému žiareniu. Aplikácie tohoto typu skla nájdeme v lekárstve, vedeckých prístrojoch a armáde. [18]

3.1 Chemické zloženie sklenených vlákien

V zložení a štruktúre medzi sklom a sklenými vláknami nie je žiaden rozdiel. Rozličné oxidy sa pred tavením zlúčia pre dosiahnutie ich optimálnych vlastností. Na výrobu alkalicky odolných skiel sa používajú zväčša tieto oxidy: SiO_2 , ZrO_2 , Na_2O a CaO .

V technickej praxi sa používajú viaceré druhy skla, ktoré sa od seba rozlišujú chemickým zložením a vlastnosťami. Najbežnejšie sklené vlákna sa vo svete vyrábajú predovšetkým zo skloviny označovanej ako sklo E. Základom E – skla je sústava oxidov SiO_2 . Al_2O_3 . CaO . MgO . B_2O_3

Chemické zloženie niektorých skiel používaných na výrobu sklenených vlákien v rôznych priemyselne vyspelých krajinách je uvedených v tabuľke 6.

Tab. 6: Percentuálne zastúpenie jednotlivých látok v druhoch skla.[1]

Druh skla	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	B_2O_3	Na_2O	Ostatné
A - sklo	72	1	10	2	1	14	SO_3
C - sklo	65	4	14	3	5,5	8	K_2O
E - sklo	54	14	19	2	10	1	K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3
M - sklo	54	7	13	9	11	6	BeO 8%, TiO_2 8%
S - sklo	61	23	3	8	2	3	CeO_2 , Li_2O , ZrO_2

Pripravená zmes oxidov v správnom pomere sa spracováva v tepelnej peci. Pri tomto procese prejde tavenina teplotou 800 až 1100 °C, pričom sa všetky plyny ako aj materiálová vlhkosť odstráni.

Druhou fázou je homogenizácia a rafinácia, ktorá prebieha pri 1200 až 1550 °C. Po tejto fáze je už proces spracovania taveniny ukončený. Z pece ide tavenina do vane, odtiaľ sa sklené vlákna sa ochladzujú pri 900 až 1200°C.

Sklené vlákna sa vyznačujú pomerne malou odolnosťou proti viacnásobnému ohybu a oteru, ktorá sa však zvyšuje ich infiltráciou rôznymi lakmi či smolami, až o 80 – 100 %.

[9]

3.2 Mechanicko – fyzikálne vlastnosti

Fyzikálne vlastnosti sklenených vlákien sú identické s vlastnosťami skiel, z ktorých sú tieto vlákna zhotovené. Odolnosť sklenených vlákien voči ohybu a skrutu, taktiež rastie so znižovaním ich priemeru. Pri izbovej teplote a priemernej vlhkosti 50 až 55% počas krátkodobého zaťaženia, sa sklenené vlákna prejavujú ako ideálne pružné teleso s platnosťou Hookoveho zákona.

Z hľadiska praktického použitia sklenených vlákien, sú dôležité mechanické a fyzikálne vlastnosti skla tie sú zhrnuté v tabuľke 7.

Tab. 7: Mechanické a fyzikálne vlastnosti niektorých druhov skla.

Druh vlákna	E [GPa]	R _m [MPa]	γ [kg.m ⁻³]	T _{mák} [°C]	C [kJ/kg ⁻¹]
A - sklo	71	3 100	2 560	530	-
C - sklo	70	3 150	2 490	750	0,79
D - sklo	53	2 450	2 160	770	0,73
E - sklo	73,5	3 500	2 540	845	0,8
M - sklo	110	3 500	2 890	-	-
S - sklo	86,8	4 900	2 490	970	0,74
Kremenné	74	6 000	2 210	1 667	1,42

So zvyšovaním teploty sa modul pružnosti sklenených vlákien nevýrazne znižuje, a to až do teploty mäknutia sklenej masy. Výnimku tvoria kremenné vlákna, ktorých hodnota modulu pružnosti sa so zvyšujúcou teplotou lineárne zvyšuje.

Podiel celkového zaťaženia prenášaného vláknami rastie s rastúcim pomerom modulu vlákien a matrice, a s ich rastúcim objemovým podielom. Ten musí byť čo najväčší, ak majú vlákna prenášať väčšinu zaťaženia KM.

Vynikajúcu pevnosť a pomer pevnosti a hmotnosti sa dosiahne použitím KM, v ktorom je polymerná matrica spevnená skelnými vláknami. Ide o dôsledok vysokej pevnosti sklenených vlákien a schopnosti KM túto pevnosť využiť, pretože pomer modulu E_f/E_m je približne 20. Aj pri 10 % obj. obsahu vlákien môžu vlákna prenášať až 70 % celkového zaťaženia. Pre pochopenie je uvedený nasledujúci konkrétny príklad:

Treba vypočítať podiel zaťaženia prenášaného vláknami vo dvoch KM spevnených sklenými vláknami v epoxidovej matrici, z ktorých jeden obsahuje 10 % obj. podielu vlákien a druhý 50 %. Moduly pružnosti sú pre sklené vlákna 72 GPa a epoxidovú živicu 3,6 GPa.

$$\frac{E_f}{E_m} = \frac{72}{3,6} = 20$$

Pre 10 % vlákien

$$\frac{V_m}{V_f} = \frac{(1-0,1)}{0,1} = 9 \qquad \frac{F_f}{F_c} = \frac{20}{(20+1)} = 0,952$$

Pre 50 % vlákien

$$\frac{V_m}{V_f} = \frac{0,5}{0,5} = 1 \qquad \frac{E_f}{F_c} = \frac{20}{(20+1)} = 0,952 \qquad [5]$$

Tab. 8: Mechanické a fyzikálne vlastnosti niektorých druhov skla.[5]

Druh skla	Hustota [kg.m ⁻³]	Pevnosť v ťahu [GPa]	Modul pruž. v ťahu [GPa]	Pomerne predĺženie [%]	Dielektrická konštanta 20 °C, 10 ⁶ Hz
E	2540	3,5	73,5	4,8	5,8
S	2490	4,65	86,8	5,4	4,53
D	2160	2,45	52,5	4,7	3,56
C	2490	2,8	70	-	6,24
L	4300	1,68	51,1	-	9,49

3.3 Výroba sklených vlákien

Kedysi sa vlákna vyrábali dvojstupňovo, najskôr sa zo sklárskeho kmeňa vytvorili tavením pri teplote 1550 °C guľičky o priemere 10 až 20 mm, ktoré sa ďalej tavili v platinových kelímkoch, z ktorých sa vyťahovali vlákna.

Snaha o zlepšenie niektorých fyzikálno-mechanických vlastností viedla k príprave sklom vystuženého polypropylénu a polyetylénu. Vystužovanie týchto termoplastov sklenenými vláknami má svoje problémy, vyplývajúce z pomerne zlej afinity skleneného vlákna k polymeru.

Vysokomodulové sklené vlákna majú zväčša menšiu pevnosť ale značne vyššiu hmotnosť, a tým aj menšiu mernú pevnosť. Pevnosť kremenných vlákien závisí najmä od zloženia a štruktúry skla, z ktorého boli pripravené. Najnovšie sú v prevádzke kontinuálne technológie, tzn. na jednom konci sa do pece vkladá sklársky kmeň a na druhom sa z platinových vaničiek vyťahuje vlákno. Toto vlákno má najčastejšie priemer 3,5 až 20 μm .



Obr. 10: Metóda výroby skleneného vlákna striekaním, ťahaním a navíjaním

Sklené vlákna sa pripravujú dvomi základnými druhmi, a to kontinuálne – usporiadané, a strižové – neusporiadané.

Priečny rez kontinuálnych vlákien je poväčšine kruhového tvaru, ale diskontinuálne sklené vlákna môžu mať trojuholníkový, štvoruholníkový, šesťuholníkový tvar apod.

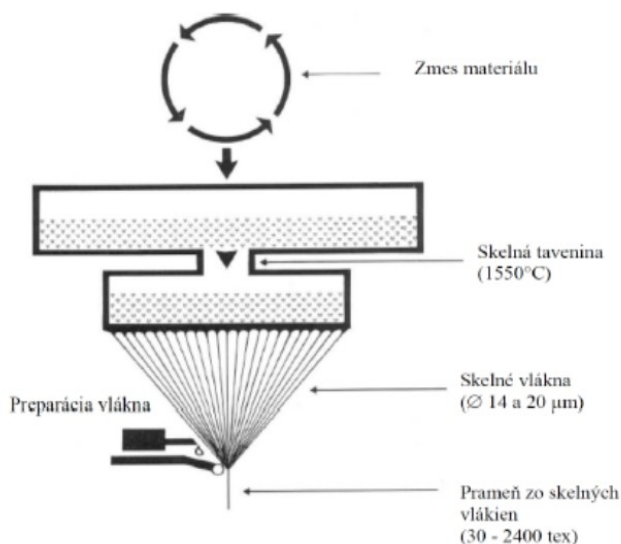
Kontinuálne vlákna sa vyrábajú ťahaním vlákien z roztavenej sklenej masy cez prievlak vyžadovaného tvaru. Strižové vlákna sa pripravujú ťahaním skleneného vlákna z prúdu roztaveného skla a následným jeho prerušením o vyžadovanej dĺžke. Vlákna z kremenného skla sa vyrábajú pri teplotách až 2200 °C, pretože kremeň dosahuje vysokú viskozitu až pri teplotách 2100 až 2200 °C. Vo výrobnom postupe výroby sklenených vlákien nie sú žiadne rozdiely. Od spracovania až po vniknutie do vane.

Spôsob a druh výberu vlákien z vane udáva požadované vlastnosti vlákien. Známe sú dve metódy výroby:

- ťahaním (prúdom)
- vyfukovaním (prúdom)

Naraz sa ťahá 51 až 408 vlákien. Vytiahnutý pramenec vlákien sa navíja na bubon. Ešte pred samotným navinutím je vlákno, ktoré je samé o sebe veľmi abrazívne a lámavé, opatrené lubrikáciou a apreturou.

Samostatná lubrikácia je pre použitie v kompozitoch nevhodná, síce zlepšuje manipulovateľnosť s vláknami, vlákna však majú prakticky nulovú adhéziu k polymernej matrici. Preto sa už priamo vo výrobe vlákien ošetrujú tzv. apretačnou vrstvou, ktorá zlepší väzbu medzi vláknom a živicom.



Obr. 11: Navíjanie sklených vlákien

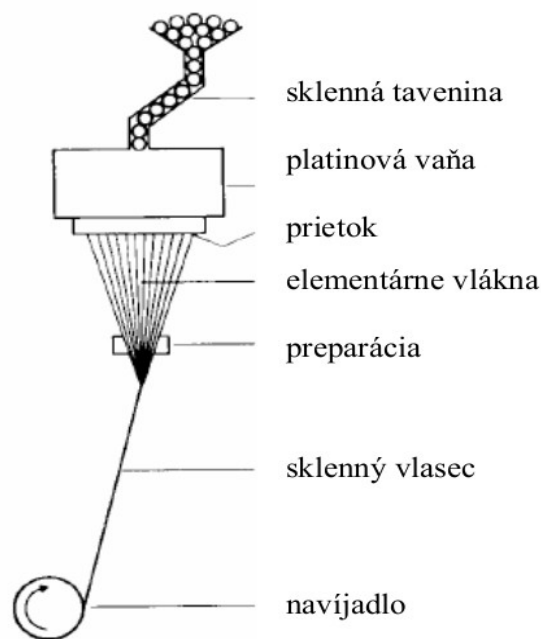
Apretura sa skladá najčastejšie z organických silanov s charakteristickou štruktúrou X-R-SiY₃. R je väčšinou alifatický uhľovodíkový reťazec rôznej dĺžky X je vhodná koncová skupina (amino, vinyl, atd.) schopná potenciálne reagovať so živicom a Y je najčastejšie ethoxy skupina, methoxy skupina alebo chlór. Väzba Si-Y je ľahko hydrolyzovateľná a pomocou vzniknutých silanolov môže prísť k povrchovej kondenzácii tenkej adhéznej vrstvy viazanej k povrchu vlákien siloxanovými väzbami.

3.3.1 Výroba sklených vlákien ťahaním

Pri výrobe sklených vlákien ťahaním s pomocou mechanickej sily sa dajú vyrobiť veľmi tenké elementárne vlákna. Vaňa, z ktorej sa tieto vlákna ťahajú je z platiny. Má v sebe množstvo malých otvorov zvaných prievlaky. Na obrázku je znázornená schéma výroby ťahaním.

Hrúbka vlákna sa reguluje rýchlosťou navíjania vlákna. Táto rýchlosť môže dosiahnuť až $150 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Následne sa tieto vlákna ochladzujú a prejdú preparáciou, tzn., že na vlákna sú nanášané látky, ktoré určujú ďalšie použitie vlákien. Tento spôsob je vhodný pre výrobu vlákien neobmedzenej dĺžky. Krátke vlákna môžu byť pri tomto druhu výroby vyrobené len po ukončení celého tohoto procesu a to tak, že sa z „nekončených“ vlákien, nastrihajú vlákna o požadovanej dĺžke.

Na úpravu vlákna podľa potreby sa používa polymer suspenzie etylénu, vinyl, polyester, epoxid, polyuretán, či prírodné látky ako je škrob. Z náterov sú to rôzne antistatické povlaky, silany a lubrikanty, ktorých hmotnosť povlaku na suchom vlákne činí 0,5 až 1%.

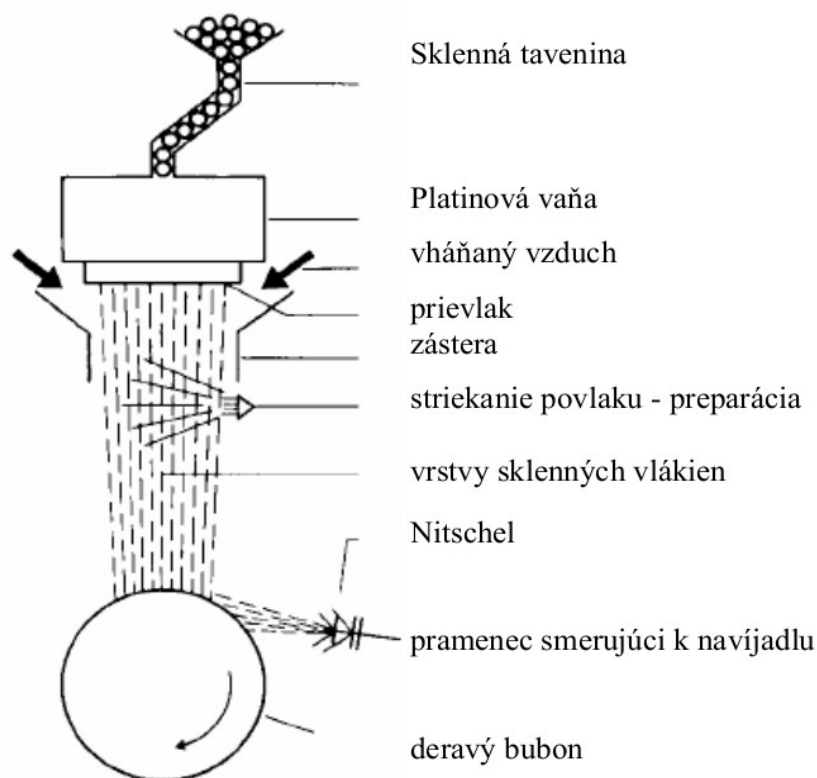


Obr. 12: Výroba skleného vlákna ťahaním (prúdom).

3.3.2 Výroba sklených vlákien vyfukovaním

Pri tomto procese sa využíva preťahovacej sily fúkaného vzduchu. Vlákna, ktoré sa vyrábajú týmto spôsobom nemajú presne daný počet vlákien do jednotlivého prameňa. Jedná sa tu o jednotlivé vlákna, ktoré sú spolu prepletené a rovnobežne nasmerované. Sklená tavenina spolu so stlačeným vzduchom z platínovej vane, spôsobia vytlačenie

materiálu cez prievlaky a následne vznikajú vlákna o dĺžke 5 až 30 cm, ktoré sa vzájomne prepletajú a sformujú sa do jedného nekončiaceho sa pramene. Vzniknutý pramenec sa taktiež pri tejto metóde povrchovo upraví, utesní a následne navíja na kotúč. [13]

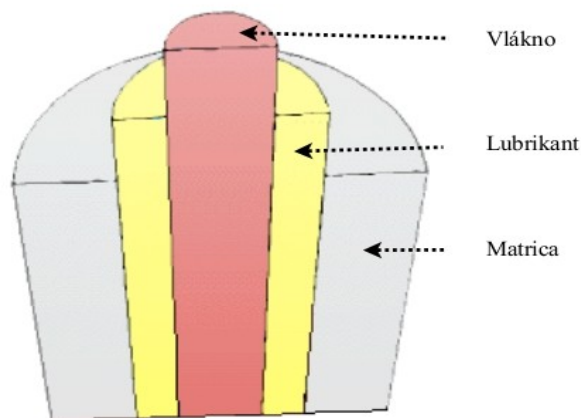


Obr. 13: Výroba skleného vlákna vyfukovaním (prúdom).

3.4 Lubrikácia sklených vlákien

Je to povrchová úprava aplikovaná vo forme mikro povlaku, ktorý sa podieľa na výrobe a zlepšení vlastností sklených vlákien. Zvyšuje vzájomnú súdržnosť jednotlivých častíc, chráni pred vzájomným oderom a obmedzuje difúziu cudzích molekúl medzi fázovým rozhraním. Ide o zmes chemických látok aplikovaných na sklené vlákna, v maximálnom množstve 3% (obyčajne v rozmedzí 1 až 1,5 hmotnostných %). Väčšina tejto smesi je tvorená v zásade nereaktívnymi polymermi o vysokej molekulárnej hmotnosti, často s prírodnými ingredienciami (škroby) bez reaktívnych skupín.

V niektorých prípadoch sú lubrikácie pripravované z polymerov s reaktívnymi skupinami alebo s obsahom reaktívnych monomerov. Väčšina reaktívnych skupín sú polymerizované behom výrobného procesu sklenených priadzí.



Obr. 14: Prierez vlákna v kompozite.[17]

Ďalším typom prísad (prítomným v takmer všetkých lubrikáciách) je určitý člen skupiny organických silanov a organických zlúčenín titánu. Na tieto výrobky pripadá menej ako 0,05 % konečnej hmotnosti skla E s lubrikáciou.

Tieto výrobky sú zahrnuté na zoznamoch výrobkov vyžadujúcich označenie „nebezpečný produkt“ v čistom stave. Zvyčajne je ich obsah extrémne nízky (nižší ako 0,1% celkovej hmotnosti) a ako určité pravidlo platí, že také výrobky nie sú na zoznamoch nebezpečných výrobkov. Výsledným efektom tohoto procesu je dosiahnutie dobrej húževnatosti, dokonalej vzájomnej súdržnosti plnív a matrice. [17]

3.5 Sklený prach

Sklený prach je možné využiť ako plnivo, ktoré by nahradilo bežné plnivá. Výhodou tohoto plniva je ľahké získanie (zbytky sklenených vlákien, tkanín alebo sklenených vát, ktoré sa používajú pre izolácie alebo laminovanie).

Vyrába sa zo sklenených vlákien a výstuží, pri recyklácii. V keramickej peci peci, v ktorej sa tento „odpad“ vypaľuje pri 700° C po dobu jednej hodiny. Tým sa z nich odstránia všetky organické komponenty, ktoré tvoria tzv. lubrikáciu. Po spálení sa sklovina nechá vychladnúť a rozdrť na prach a použije na ďalšiu ich výrobu.

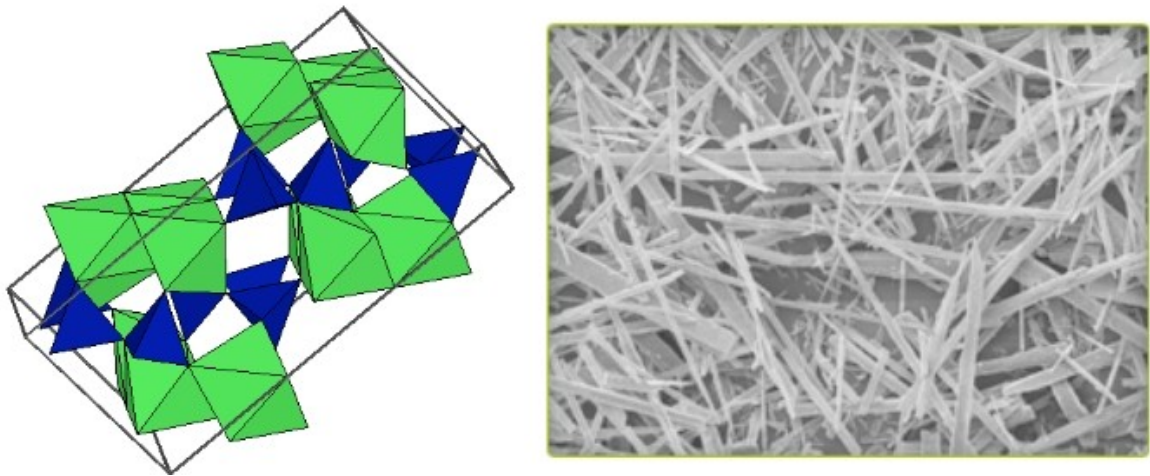
Lubrikácia je nanášaná na sklené vlákno ihneď potom, čo sa vlákno vyrobí, resp. vytiahne z pece. Bez tejto povrchovej úpravy by malo vlákno rovnaké mechanické vlastnosti ako sklo. Bolo by krehké a nedalo by sa ďalej textilne spracovávať. [6]



Obr. 15: Sklený prach a pomôcky na jeho laboratórnu výrobu, vlastné spracovanie

3.6 Wolastonit

Wolastonit je silikát vápniku, minerálna látka bielej farby. Pridaním tejto látky do kompozitného materiálu plní funkciu plniva. Toto plnivo v práškovej forme upravuje technologické vlastnosti a tiež znižuje cenové náklady. Napomáha k ďalšiemu zvýšeniu fyzikálnych a mechanických vlastností. Chemická čistota z neho robí ideálnu výstuž v rôznych aplikáciách. [20]



Obr. 16: Molekulárna štruktúra wolastonitu – CaSiO_3 [18], [19]

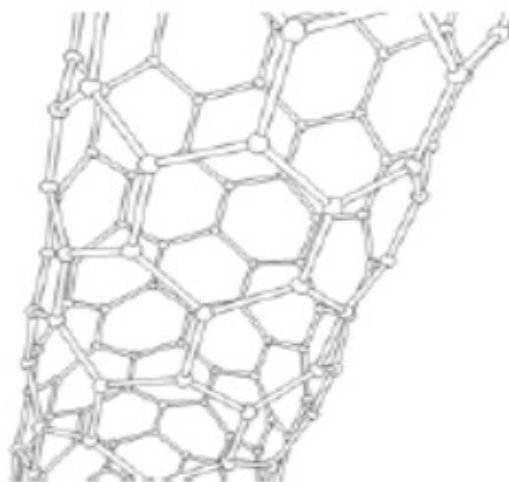
Wolastonit zvyšuje modul pružnosti v ohybe, teplotu tepelnej deformácie, znižuje koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti a skracuje dobu schnutia. Zlepšuje odolnosť proti nárazu a ťažnosť, sa dosiahne použitím jemnejších stupňov veľkosti častíc tohto plniva. Kryštály wolastonitu majú ihlicovitý tvar.

Dôležitou vlastnosťou plnív aj ich tvar, veľkosť, distribúcia a taktiež hustota. Tvar častíc a distribúcia častíc má vplyv na viskozitu kompozitných materiálov, a taktiež na ich reologické chovanie pri príprave a aplikácii. U plnív je vyžadovaná nízka hustota, ktorá zaisťuje vysoké plnenie matrice. Dôležitým parametrom je i úprava plnív a z toho plynúca afinita k spojivám. [20]

4 MATRICE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLŮV

Ďalšou významnou zložkou pri výrobe KM okrem vlákien, je matrica. Ktorá predstavuje vlastný spevňovaný materiál. Hlavné funkcie matrice sú:

- udržať vlákna v správnych pozíciách
- kontrolovať elektrické a chemické vlastnosti
- pomáhať distribuovať napätie,
- chrániť vlákna pred poškodením abráziou
- zabezpečovať interlaminárnu pevnosť



*Obr. 17: Molekulová štruktúra matrice,
[21]*

Matrica môže byť kovového, polymerného alebo keramického typu. V doterajšej celkovej produkcii KM však veľmi prevláda polymerná matrica, ktorú pre dlhodobú prevádzku možno použiť do teploty 250 °C.

Základné rozdelenie matric:

- keramické
- kovové
- polymerné

V zásade možno uviesť, že matrice na prípravu KM musia spĺňať okrem iného aj tieto základné požiadavky:

- nízku hmotnosť,
- dostatočnú plasticitu,
- dobrú zmáčavosť povrchu vlákien nesmú výrazne chemicky reagovať s vláknami ani pri vysokých teplotách.

Tieto podmienky určujú, že pre istý druh spevňujúcich vlákien sú vhodné len určité matrice, v prípade prípravy žiarupevných KM treba dbať predovšetkým na dobré creepové vlastnosti. Hlavnou funkciou plastickej matrice v KM je prenos vonkajšieho zaťaženia na spevňujúcu zložku.



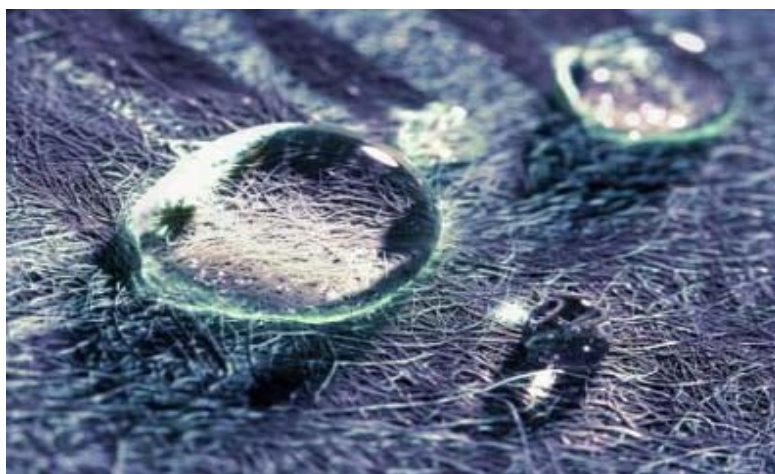
Obr. 18: Aplikácia sklolaminátového kompozitu pri konštrukcii bicykla.

Vlastnosti matrice sú dôležité aj pri pevnostných charakteristikách KM spevnených vláknami, a to hlavne pri namáhaní KM v smere kolmom na spevňujúce vlákna, alebo aj pri šmykovom zaťažení.

Rovnako dôležité sú aj ich vlastnosti čo sa týka sily a celkovej kvality väzby medzi vláknom a matricou. Vo väčšine prípadov spevňujúce vlákna nemajú výraznú odolnosť voči rázu (rázová pevnosť). Túto požiadavku treba kompenzovať vhodnou plasticou matricou, ktorá pri rázovom zaťažení absorbuje časť energie plastickej deformácie. [24]

4.1 Keramické a kovové matrice

Keramické matrice sa odlišujú od kovových predovšetkým vysokou teplotou tavenia, veľkou odolnosťou voči tečeniu, veľkou pevnosťou v tlaku a odolnosťou voči oxidácií. Následkom čoho môžu pracovať obzvlášť vysokých teplotách. Napriek tomu sa vyznačujú nízkou plasticitou značnou krehkosťou a vysokou citlivosťou na vruby, ktoré veľmi znižujú pevnosť v ťahu, ohybe, ráze aj ich žiarupevnosť.



Obr. 19: Aplikácia keramického kompozitu na rybie oko.

4.2 Titánové matrice

Titán patrí medzi moderné kovy a vyznačuje sa dobrými technickými vlastnosťami, ako je vysoká pevnosť, merná pevnosť, nízka merná hmotnosť, značná odolnosť voči korózii avšak má pomerne nízku elektrickú a tepelnú vodivosť. S rastúcou teplotou titán stráca pevnosť, takže v čistom stave je technicky použiteľný do 300 °C.

Preto v praxi, nachádzajú široké uplatnenie zliatiny titánu, ktoré si udržujú vyžadované pevnostné vlastnosti aj pri vyšších teplotách. Všeobecným charakteristickým znakom všetkých titánových zliatin je ich vysoká merná pevnosť v pomerne širokom rozsahu teplôt od 180 do 600 °C a dobrá odolnosť voči korózii.

4.3 Polymerné matrice

Kompozitné materiály s polymernou matricou charakterizuje predovšetkým to, že ich matrica je polymer. Vyznačujú sa malou mernou hmotnosťou, dobrou stabilitou pri nízkych teplotách, odolnosťou voči korózii apod. Vlastnosti sú dané predovšetkým vlastnosťami komponentov, ich vzájomným pomerom, ako aj vlastnou technológiou ich prípravy

Štyri hlavné typy polymerných živíc tvoriace matricu, ktoré sú používané pre výrobu kompozitných materiálov:

- epoxidová
- fenolová
- polyesterová
- polyamidová

Prednosti polymernej matrici voči kovovej matrici možno zhrnúť takto:

- merná hmotnosť je 6 až 10 - krát nižšia,
- priaznivý pomer pevnosti a hmotnosti,
- vysoká chemická odolnosť,
- zvláštne optické vlastnosti,
- vynikajúce elektroizolačné a dielektrické vlastnosti,
- nízka tepelná vodivosť,
- farebnosť a dekoratívnosť,
- ľahká spracovateľnosť,
- cenová výhodnosť.

Na druhej strane treba zdôrazniť, že správnou voľbou polymernej matricy a vystužujúceho plniva možno vyrobiť kompozitné materiály, ktoré svojimi vlastnosťami prevyšujú aj kompozitné materiály s kovovou matricou. Polymerné kompozitné materiály predstavujú heterogénne polymerné systémy, vyznačujúce sa špecifickými vlastnosťami určenými

tak samotnou polymernou matricou, ako aj nízkomolekulovými anorganickými alebo organickými práškovými, resp. vláknitými plnivami. Podľa obsahu prísad sa tieto KM delia na:

- aditívované polymery (0,01-0,1 resp. 1-5%), napr. nukleačné činidlá, pigmenty, stabilizátory,
- plnené polymery (30% i viac).

Polymerná matrica môže byť z jedného alebo viac polymerov (polymerných zmesí), ktoré predstavujú širokú oblasť chémie a fyziky polymerov. Vlastnosti PKM sú determinované najmä:

- matricou (polymerom)
- dispergovanou fázou (plnivom)
- medzifázou (charakterom interakcii na medzifázovom rozhraní)

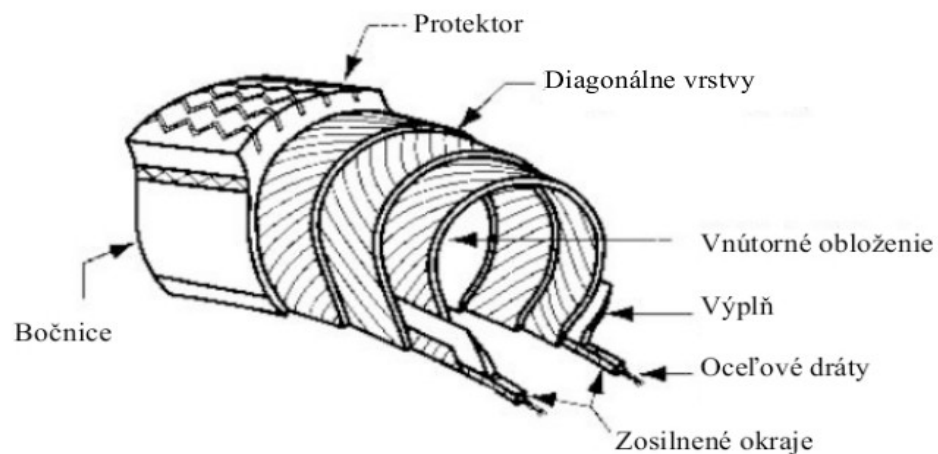
Polymerné matrice sú zvlášť výhodné, pretože medzi touto matricou a vhodným vláknom sa vzájomná reakcia potláča na minimum. Pri výrobe KM z hľadiska ich výsledných vlastností je dôležitá existencia vzájomnej reakcie medzi vláknom a matricou. Polymery predstavujú svojráznu skupinu materiálov, ktorých fyzikálne vlastnosti významne závisia od spôsobu prípravy, ako aj od ich spracovania. Pre podstatne vyššie teploty sú vhodné kovové a najmä keramické matrice, ktoré možno použiť až do teplôt 1200 °C, resp. aj vyššie. V tabuľke sú uvedené základné mechanické vlastnosti polymerných matric. [18]

Tab. 9: Základné mechanické vlastnosti matric.[26]

Druh matrice	Epoxidová	Polyesterová	Fenolová	Polyimidová
Modul pružnosti E_m [MPa]	4 500	4 000	3 000	4 000 – 19 000
Poissonova konstanta ν_m [-]	0,4	0,4	0,4	0,35
Modul pružnosti v šmyku G_m [MPa]	1 600	1 400	1 100	1 100
Pevnosť v ťahu σ_{pm} [MPa]	130	80	70	70
Hustota ρ [kg.m ⁻³]	1 200	1 200	1 300	1 400

Preto voľbe druhu vlákna a matrice ako základným zložkám, vytvárajúcich KM treba venovať veľkú pozornosť, aby sa obidve zložky z hľadiska svojich vlastností vzájomne doplňovali a boli vzájomne zlúčiteľné (kompaktibilné). Z toho dôvodu pre získanie optimálnych vlastností KM tohoto druhu je potrebná správna voľba matrice a vhodných plnív, ako aj zabezpečenie dobrej väzby medzi matricou a dispergovanou fázou.

Na nasledujúcom obrázku je znázornený prierez typickým príkladom viacvrstvého polymerného kompozitu – pneumatiky. [25]



Obr. 20: Pneumatika – prierez vrstveným kompozitom. [25]

5 VÝROBA LAMINÁTOV

Lamináty sú armované plasty na báze živíc. Najlepšie mechanické a chemické vlastnosti majú živice zosilnené skelnými vláknami, tzv. sklolamináty. Najčastejšie sa vyrábajú a používajú polyesterové lamináty, tzv. premixi. Okrem týchto sa vyrábajú epoxidové lamináty, fenol a krezolformaldehydové lamináty, tzv. lisované vrstvené a novovlakové lamináty.

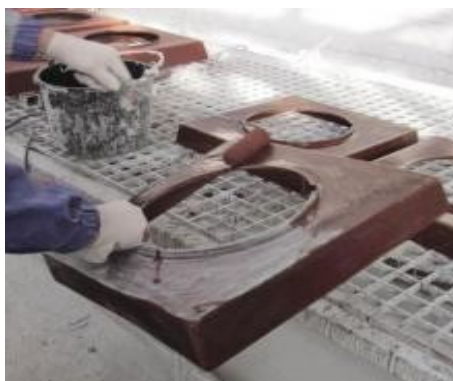
Laminovanie možno v zásade rozdeliť do dvoch skupín:

- *ručné* – laminuje sa tupovaním štetcom alebo laminačnými valčekmi
- *strojové* – na lamináciu sa používajú viac alebo menej zložité zariadenia.

V praxi sa uplatňujú viaceré výroby laminátov. O voľbe vhodnej technológie rozhodujú v prvom rade požiadavky na kvalitu výrobku.

5.1 Ručné laminovanie

Ručné laminovanie dnes tvorí už len doplňujúci program nových technológií. Často sa však využíva pri výrobe laminátov v malých sériach alebo pri výrobe veľkoplošných dielcov, napr. športové a turistické lode. Je to najjednoduchší spôsob výroby laminátov.



Obr. 21: Ručné laminovanie. [25]

Pri tejto technológii sa používa jednodielna forma vyrobená z dreva, sadry, plechu alebo PVC. Do formy sa postupne vkladajú vrstvy živice a rohoží alebo tkanín až na vyžadovanú hrúbku laminátového výrobku. Výhodou ručného laminovania sú malé investičné náklady a možnosť výroby veľkoplošných dielcov. Nevýhodou je malá produktivita, nevyhovujúca hygiena práce a možnosť ovplyvnenia kvality subjektívnymi vplyvmi.

5.2 Strojové striekanie

Používa sa na výrobu laminátov väčších rozmerov, ako napr. lodí, vaní, karosérii, atď. V stavebníctve a v chemickom priemysle možno touto technológiou obkladať betónové kanále, nádrže, a silá. Striekacia zmes sa pripravuje v striekacom stroji, kde sa sklenné vlákna sekajú na dĺžku 15 až 30 mm a spolu so spojivom vrhajú stlačeným vzduchom na model. Vzduchové bubliny sa odstraňujú valčekovaním. Výhodou tejto technológie je väčšia produktivita v porovnaní s ručným laminovaním, nevýhodou je podstatne nižšia pevnosť laminátu.



Obr. 22: Metóda striekania. [25]

5.3 Navíjanie

Vrcholom súčasnej mechanizácie výroby vystužených plastov sú elektronicky riadené navíjacie zariadenia. Technológiu presného navíjania môžeme definovať ako ovíjanie jadra rôzneho tvaru pred päťou výstuže presycovanou iniciovanou živicom, pričom sa výstuž navíja na jadro podľa určitého vopred vypočítaného tvaru tak, aby sa využila jej vysoká pevnosť v ťahu. Sklené pramence sa odvíjajú z cievok, prechádzajúce cez zariadenie, ktoré im udeľuje predpätie, a ukladajú presne vedľa seba na rotujúce jadro za súčasného posunu ukladacieho zariadenia podľa pozdĺžnej osi trňa.

Navíjanie pokračuje tak dlho, až sa dosiahne vyžadovaná hrúbka výrobku. Vysoký stupeň mechanizácie a automatizácie umožňuje veľmi dobrú reprodukovateľnosť kvality. Vysoké pevnosti výrobku nie sú nedosiahnuteľné žiadnou inou technológiou výroby laminátov. Nevýhodou sú veľké investičné náklady. Uvedená technológia neumožňuje vyrobiť súčiastky ľubovoľného tvaru.

5.4 Lisovanie za studena

Používa sa pre stredné série výrobkov, lisuje sa v dvojdielnej forme z dreva, laminátu alebo plechu. Pri lisovaní sa do otvorenej formy vloží výstuž a dávkuje sa odmerané množstvo laminačnej zmesi.

Potom lis zovrie obe časti formy a pomerne nízkym tlakom (0,3 až 0,5 MPa) nastáva presycovanie výstuže a tvaruje sa výrobok z laminátu. Podľa tzv. metódy Marco sa pracuje s dvojdielnou formou, ktorá sa po vložení sklenej výstuže uzavrie a živica sa do formy nasáva.

Výhodou tejto technológie je vysoká produktivita práce, hladkosť obidvoch strán výrobku a rovnomerné vlastnosti v celom objeme. Nevýhodou sú veľké investičné náklady na lis, náročná a pracná výroba foriem.

5.5 Lisovanie za tepla

Je jeden z najproduktívnejších spôsobov výroby laminátov. Používajú sa oceľové formy ohrievané až na 150° C. Lisuje sa tlakmi do 10 MPa.

Lisovaním za tepla sa vyrábajú nasledujúce výrobky:

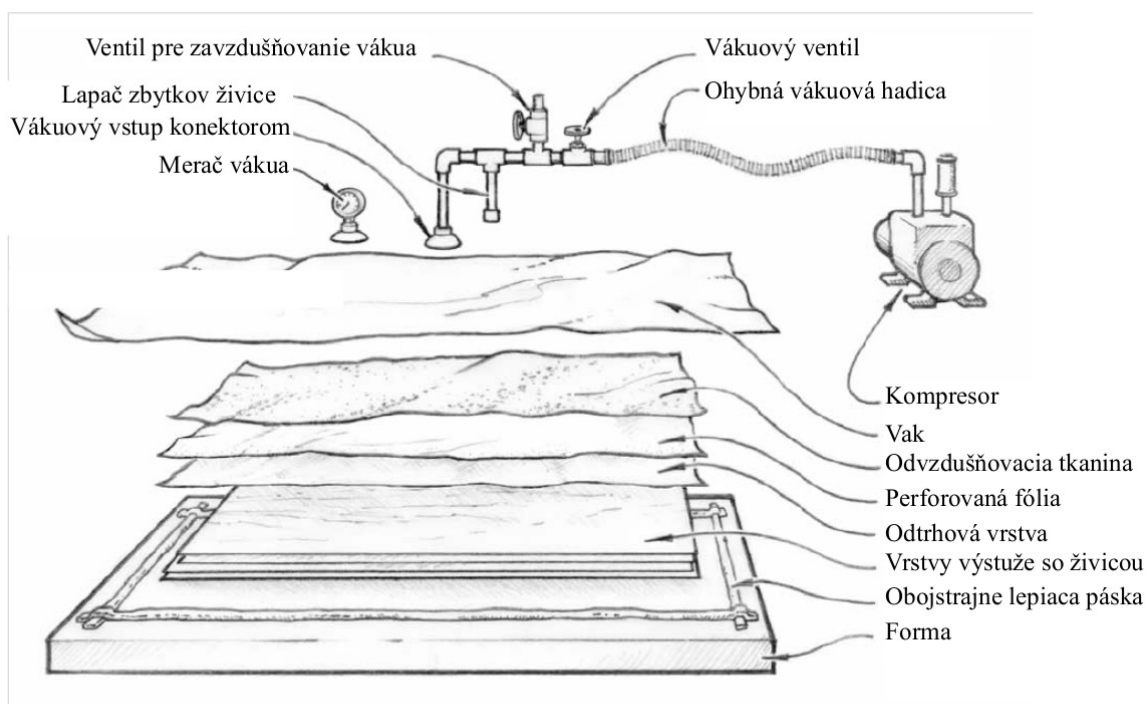
- predformované medziprodukty
- prepreg (predželatinovaný textil)
- premixy (lisovacie látky)

Predformovanie slúži na prípravu medziproduktov pre ďalšie nízkotlakové lisovanie laminátov. Hodí sa pre členitejšie a hlboké výrobky.

Prípravujú sa tak, že sa pramence sklenených vlákien sekajú na dĺžku 1 až 5 cm a vháňajú prúdom vzduchu do komory, kde sa voľne usadzujú na rotujúcu dierovanú formu.

Vrstva nepravidelne uložených vlákien sa spojí vhodnou živicom, vysuší a zloží z formy. Vzhľadom na malé dĺžky sklenených vlákien, je nevýhodou tejto technológie malá mechanická pevnosť laminátov.

Výsledkom je laminát, nazývaný prepreg. Nosnou látkou je sklenný textil. Živicou je polyester s plnivami, zhusťovadlami, pigmentom, tužidlom a separátorom. Výrobkom je predimpregnovaný textil, navíjaný medzi vhodné fólie. Je skladovateľný niekoľko mesiacov.



Obr. 23: Znážornenie výroby prepregu., vlastné spracovanie [29]

Technológia lisovania prepregov je veľmi progresívna a jednoduchá. Spočíva v tom, že sa materiál nareže podľa vyžadovaného tvaru a po kontrole váhy a odstránení nosnej fólie sa prepreg vloží do formy, kde pri presne určených podmienkach nasleduje lisovanie. Výhodou tohoto lisovania za tepla je veľká rýchlosť výroby, výrobok vytvrdne za niekoľko minút. Lisuje sa na hydraulických lisoch s možnosťou regulovania lisovacej rýchlosti a lisovacích tlakov.

5.6 Preťahovanie (poltrudovanie)

Používa sa na výrobu sklolaminátových profilov, ktoré sa pre svoje elektroizolačné vlastnosti používajú v elektrotechnickom priemysle.

Zväzok sklenených vlákien je impregnovaný polyesterovou živicom a preťahovaný oceľovým okom, ktorý má tvar profilu. Vo forme sa materiál kontinuálne vytvrdzuje.

5.7 Kontinuálna výroba

Je to najpokrokovejší výrobný postup vlnitých dosiek, tyčí, rôznych profilov a rúrok. Vlnité dosky sa z ekonomických dôvodov nevyrábajú z tkanín ale zo sekaných rohoží.

Strojom nasekané pramence sklenených vlákien sa ukladajú na transportné zariadenie, vyložené fóliou, kde sa súčasne živicom.

Takto pripravená surovina sa zakryje druhou fóliou a medzi nastaviteľnými valcami sa získa rovnaká hrúbka. Profiluje sa vo vyhrievacom tuneli medzi tvarovacími plochami.

Pri kontinuálnej výrobe profilov a tyčí sa zväzok sklenených vlákien ťahá živicovým kupeľom a prechádza tvarovacím otvorom a vytvrdzovacími trubicami, kde sa vytvrdzuje teplom. [1]

6 VYUŽITIE KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV

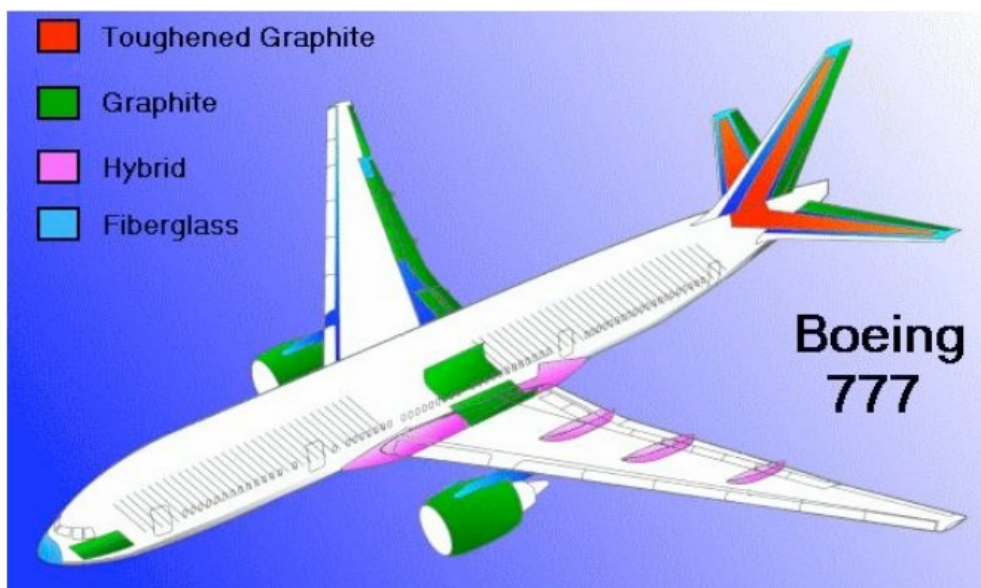
Možnosť praktického využitia KM často ovplyvňujú dva základné faktory, a to na jednej strane výborné mechanické vlastnosti, a na druhej strane pomerne obtiažna výrobná technológia a relatívne vysoká cena. Čo nepriaznivo ovplyvňuje možnosti praktickej aplikácie týchto konštrukčných materiálov.

Súčasný štatistický výsledky v priemysle vyspelých štátoch poukazujú na búrlivý rast ich spotreby, a tým, samozrejme, aj na klesanie ich ceny.

Všeobecne sa ráta s poklesom ceny KM a ich širokým uplatnením najmä v leteckom priemysle, v kozmickom výskume, doprave a rôznych iných priemyselných oboroch.

Podľa posledných prognóz sa rozšírilo použitie KM najmä v leteckom a kozmickom výrobnom programe, a to pri stavbe leteckých motorov a turbín, v oblasti kompresorov a čerpadiel. Široké uplatnenie KM v leteckom priemysle a doprave vôbec umožňujú dobré vlastnosti týchto materiálov, a to najmä vysoká merná pevnosť a tuhosť, dobrá mrazuvzdornosť ako aj výhodná medza únavy.

Tieto skutočnosti predurčujú KM na výrobu najmä rotujúcich častí, ako sú vrtule, lopatky kompresorov a turbín, ako aj na výrobu nosníkov, výplne krídiel, podvozkov apod. Zavedením KM do leteckej výroby sa výrazne znížila až o 40 % hmotnosť niektorých novokonštruovaných častí lietadla, zmenšili sa rozmery a zvýšila sa ich životnosť. [23]



Obr. 24: Kompozitné materiály použité v lietadle. [27]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

MERANIE FYZIKÁLNYCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

V experimentálnej časti bolo skúmané praktické využitie odpadových materiálov pri výrobe sklenených vlákien a tkanín, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou skleneného laminátu.

Náplňou tejto práce bolo, porovnať fyzikálne a mechanické vlastnosti skleneného laminátu vyrobeného z polymernej matrice, sklenej tkaniny a plniva. Všetky skúšky, ktoré bolo treba vykonať prebiehali v budove U54 v univerzitnom laboratóriu č. 206.

Materiály aj komponenty boli komerčného charakteru, ktoré mali dané technické parametre a zloženie. Napriek tomu boli tieto parametre overené nižšie uvedenými skúškami, aby bola overená "pravdivosť" výrobcom uvádzaných údajov.

Na skelných tkaninách a polymerných matriciach boli vykonané základné skúšky materiálov na zistenie ich fyzikálnych a mechanických vlastností:

- **skúšanie skelnej výstuže**

(stanovenie dostavy tkanín, stanovenie plošnej hmotnosti tkanín, stanovenie jemnosti vlákna, obsah spáliteľných látok a obsah vlkosti)

- **vlastnosti epoxidovej a polyesterovej živice**

(stanovenie viskozity živíc, obsah prchavých látok, stanovenie rázovej húževnatosti – metóda Sharpy, ťahová skúška pre pevnosť v ťahu)

- **porovnanie mechanických vlastností laminátov**

(stanovenie pevnostných charakteristík v ťahu v pozdĺžnom a priečnom smere tkanín a vyhodnotenie maximálnej pevnosti kompozitu o takomto zložení)

7 VLASTNOSTI SKLENEJ TKANINY

Sklené tkaniny použité v praktickej časti diplomovej práce sú komerčného charakteru a bežne dostupné. V dnešnej priemyselnej praxi výrobca poskytuje akúkoľvek plošnú hmotnosť v závislosti na osnove a útku textílie, hustotu a hrúbku tkaniny či vlákna.

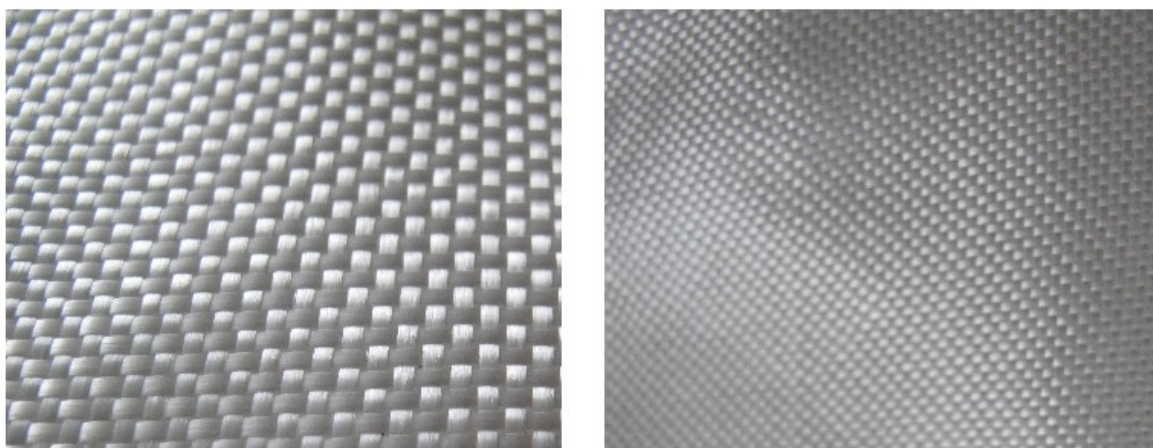
Tkaniny použité ako výstuž v lamináte poskytla firma Unique Textiles s ich interným číselným označením, ktoré využíva pre komunikáciu s odberateľmi. Toto značenie je pre každú firmu individuálne. K dispozícii bolo takmer 20 druhov tkanín, napriek tomu na výsledné meranie boli vybrané iba dve tkaniny, ktoré patria komerčne k najpoužívanejším v technickej praxi. Tieto tkaniny sú využívané najmä v izoláciách, k výrobe a opravám lodí a ultra ultraľahkých lietadiel.

Následujúca tabuľka ukazuje typové označenie tkanín a pod tabuľkou uvedený obrázok reprezentuje formu tkaniny.

Tab. 10: Interné značenie tkanininy.

Tkanina A	2498/17
Tkanina B	2498/02/01

Sklotkaniny sú vyrobené zo sklenených vlákien typu E, ktoré sú určené k výrobe výstuže do kompozitných materiálov. Obe tkaniny sa vyrábajú v rozličných gramážach ale vždy v štandardnej šírke 100 – 160 cm a sú kompatibilné s polyesterovými a epoxidovými živícami. [29]



Obr. 25: Fotografické zobrazenie tkaniny v ploche (zväčšené 5x), vlastné spracovanie

7.1 Použité meracie zariadenia

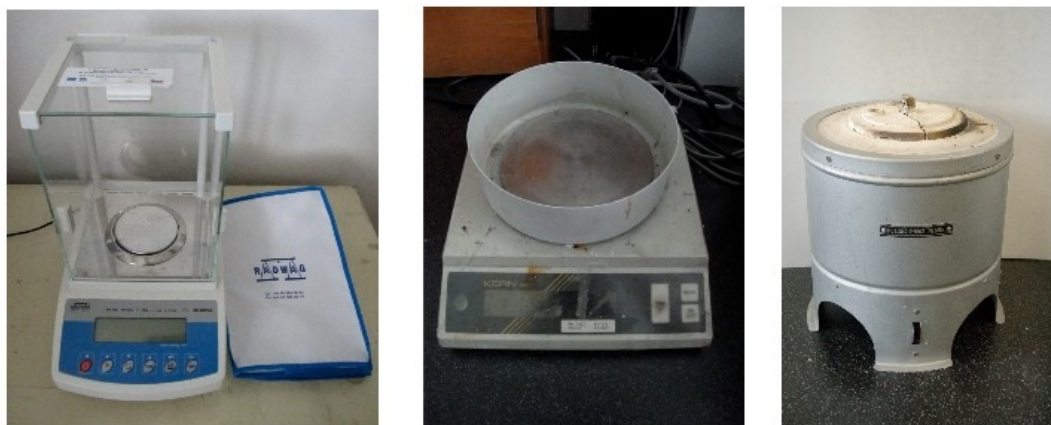
K realizácii testov a skúšok pre overenie hypotézy, ktorá bola stanovená v úlohách diplomovej práce boli použité meracie zariadenia a pomôcky. Tieto meracie zariadenia a pomôcky boli súčasťou laboratória kompozitných materiálov, v ktorej sa realizovali všetky skúšky. Zoznam pomôcok a meracích zariadení je popísaný nižšie.

Pomôcky na meranie:

- Lupa
- Pinzety
- Respirátor
- Preparačné ihly
- Nožnice
- Lepiace pásky – papierová a fóliová
- Meradlá – pravítko, meter šublera, mikrometer
- Plošné sklá

Meracie zariadenia:

- žihacia pec
- exikátor
- laboratórne váhy KERN 822
- analytické váhy RAD WAG AS-220-C-02
- mikroskop
- laboratórna sušiareň STERIMAT 574.3
- elektrický mixér Typ A11 basic
- bezdotykový infračervený teplomer T009
- Sharpého rázové kladivko



Obr. 26: Uzavretá analytická váha RAD WAG AS 220-C-2 (vľavo), otvorené laboratórne váhy na váženie živice KERN 822 (stred), vysokoteplotná žihacia pec (vľavo), vlastné spracovanie

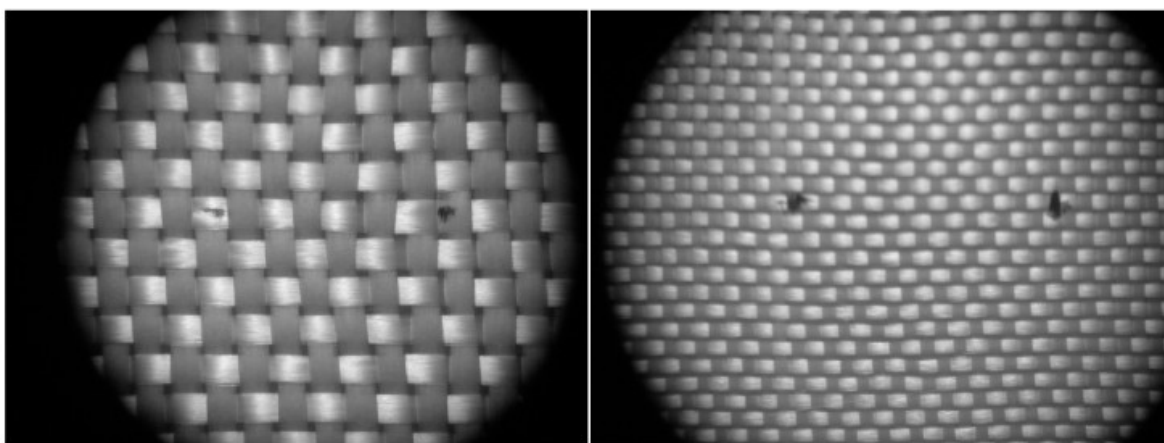


Obr. 27: Laboratórna sušička typ STERIMAT 574.3 (vľavo), vzorky v exikátoroch (vpravo), vlastné spracovanie



7.2 Stanovenie dostavy tkanín

Pre stanovenie dostavy je dôležité zistiť počet osnovných a útkových pramencov na tkanine. Podstatou skúšky je na skúšanom vzorku tkaniny spočítať počet pramencov na predpísanom rozmere 10 x 10 cm, po jeho dĺžke aj šírke. Na nasledovnom obrázku je fotograficky znázornený viditeľný rozdiel v počte pramencov.



Obr. 28: Mikroskopické fotografie tkaniny A a tkaniny B, s viditeľným bodovým označením o vzdialenosti 1 cm (zväčšené 20x), vlastné spracovanie.

Pri označovaní rozmeru na tkanine treba dbať na to, že sa nesmie poškodiť jej štruktúra, takže rozmery, na ktorých sa počíta osnova a útko sa označujú jemne fixkou, presne medzi pretkané vlákna. V nasledovnej tabuľke je sumarizácia hodnôt oboch stanovených tkanín. Ich rozdiel v hustote utkaných pramencov je už na prvý pohľad viditeľný.

Tab. 11: Namerané hodnoty osnovy a útku tkanín.

počet meraní pramencov	Tkanina - A		Tkanina - B	
	osnova	útko	osnova	útko
1.	62,0	53,0	163,0	147,0
2.	61,0	50,0	161,0	153,0
3.	61,0	51,0	160,0	149,0
4.	60,0	51,0	165,0	151,0
5.	61,0	50,0	162,0	155,0
∅	61,0	51,0	162,0	151,0
sm.odch.	0,6	1,0	1,2	2,8
chyba	0,8	1,3	2,0	3,6

7.3 Stanovenie jemnosti vlákna

Jemnosť vlákna vyjadruje vzťah medzi hmotnosťou vlákna „m“ a jeho dĺžkou „L“. Pre vyjadrenie jemnosti vlákien sa používa hmotnostné číslovanie alebo dĺžkové číslovanie.

Hmotnostné číslovanie je jemnosť vlákna T, ktorá sa vyjadrí podielom hmotnosti (g) a dĺžky vlákna (v km).

Dĺžkové číslovanie je jemnosť vlákna vyjadrená podielom dĺžky vlákna L a hmotnosti m. Jednotkou jemnosti vlákna je „číslo metrické, čm“, vyjadrujúce dĺžku vlákna v m, ktoré pripadá na hmotnosť vlákna 1 g. Jednotkou jemnosti vlákna je [tex].

$$1 \text{ tex} = 1\text{g}/1\text{km}$$

Koniec meraného pramena sa uchtí a podľa danej dĺžky sa nožnicami odstrihne časť pramena, potrebná na zváženie jeho hmotnosti. Každý vzorok sa zváži 5x na analytických váhach s presnosťou 10^{-4} g.

Tab. 12: Hmotnosti vlákien tkaniny A a tkaniny B udané v základných jednotkách.

Tkanina	A	B
Meranie	m (mg)	m (mg)
1	151,3	17,9
2	151,3	17,2
3	153,1	17,3
4	151,1	17,2
5	150,2	17,1
ø m (mg)	151,4	17,3
odch.	0,9	0,3
chyba	1,2	0,4
hm.č Tex (g/km)	302,8	34,6
čm (m/1g)	3,1	28,9

Vyjadrenie hmotnostného číslovania:

$$T(\text{tex}) = \frac{m(\text{g})}{l(\text{km})} = \frac{m(\text{mg})}{l(\text{m})}$$

Potom: T = 302,8 g pre tkaninu A

T = 34,6 g pre tkaninu B

Dĺžkové číslovanie sa vyjadrí z:

$$1 \text{ } \check{m} = 1 \text{ m} / 1 \text{ g}$$

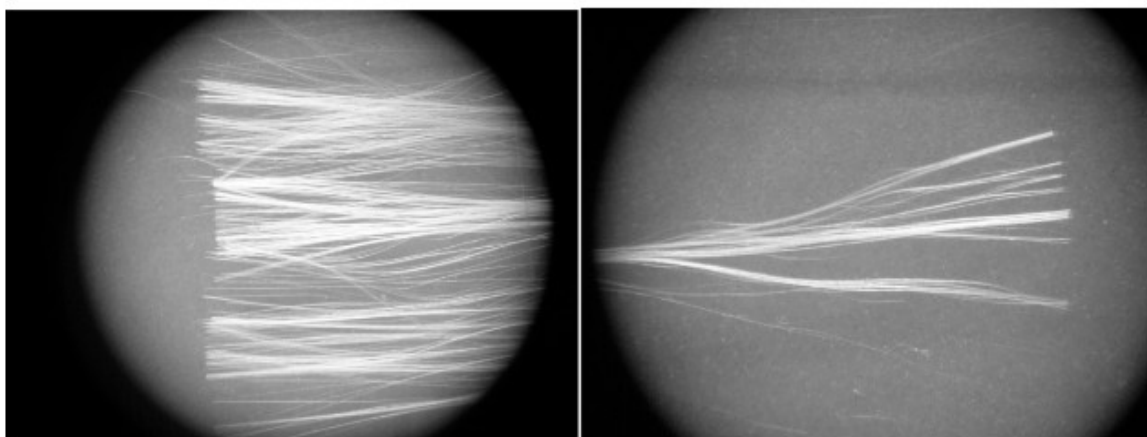
Takže: $\check{m} = 3,1 \text{ m/g}$ pre tkaninu A

$\check{m} = 28,9 \text{ m/g}$ pre tkaninu B

7.4 Stanovenie priemeru vlákna

Preparát zo skleneného vlákna o veľkosti asi 10 mm je umiestnený medzi dvomi mikroskopickými sklíčkami, sa vloží na posuvný stolík projekčného mikroskopu a zaostruje na potrebnú vzdialenosť. Priemer vlákna sa odčíta z matnice mikroskopu tak, že toto merítko musí byť nastavené vždy kolmo k pozdĺžnej ose vlákna.

Na nasledovnom obrázku je fotografické zaznamenanie priemeru vlákna pod mikroskopom so 120 násobným zväčšením.

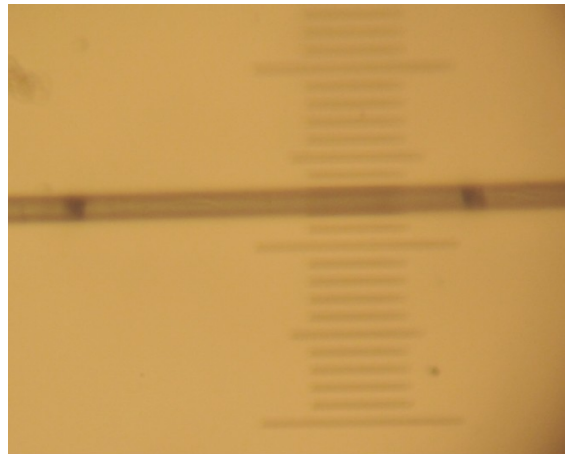


Obr. 29: Mikroskopické fotografie priemeru vlákna tkaniny A a tkaniny B, vlastné spracovanie

Priemer vlákna je priamočiara vzdialenosť v μm medzi dvoma krajmi vlákna, ktoré je umiestené kolmo k optickej ose projekčného systému. Skúška spočíva v meraní hrúbky vlákna pri vhodnom zväčšení pomocou projekčného mikroskopu.

Obrázok zaznamenáva šírku vlákna na mikroskopickom sklíčku. Jeden dielik stupnice v pozadí znázorňuje jednu stotinu milimetra. Podľa merítka v na mikroskopickom sklíčku bol zistený priemer vlákna: $D = 10 \mu\text{m} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{m}$

Zväčšenie mikroskopu: $8 \times 1,5 \times 10 = 120$



Obr. 30: Fotografia priemeru vlákna na mikroskopickom sklíčku, vlastné spracovanie.

7.5 Stanovenie plošnej hmotnosti tkanín

Plošná hmotnosť je vyjadrením vzťahu medzi hmotnosťou tkaniny a jej plochou. Je definovaná ako hmotnosť tkaniny v gramoch, ktorá má plochu 1m^2 .

Zo stanovenej hmotnosti vzorku tkaniny jednoduchého geometrického tvaru, sa plošná hmotnosť stanoví výpočtom. Vo väčšine prípadov sú hmotnostné parametry v ploche tkaniny stanovené podľa výrobcu správne, viacmenej pre úplnosť boli prevedené premerania týchto parametrov či je rovnaký alebo aspoň podobný.

Z dôvodu veľkej plochy vzorkov a nízkej hmotnosti, je možné ich váženie v kadinke. Skúšobné telesá zo sklenej tkaniny o rozmeroch $250 \times 250 \text{mm}$, ktoré sa zväžia na analytických váhach s presnosťou 10^{-4}g .

Plošná hmotnosť:

$$M_p = \frac{m}{S}$$

m – hmotnosť skúšobného telesa (v g)

S – plocha skúšobného telesa (v m^2)

Kde S :

$$S = a \cdot a = 0,25 \cdot 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$$

Tab. 13: Namerané výsledky skelných tkanín pre stanovenie obsahu plošnej hmotnosti

meranie	Tkanina A			Tkanina B		
	Hmotnosť	Hrúbka		Hmotnosť	Hrúbka	
	(g)	(mm)	($10^{-4}m$)	(g)	(mm)	($10^{-4}m$)
1.	18,752	0,260	2,600	6,349	0,094	0,940
2.	18,659	0,254	2,540	6,361	0,094	0,940
3.	18,437	0,257	2,570	6,387	0,093	0,930
4.	18,286	0,250	2,500	6,389	0,096	0,960
5.	18,570	0,257	2,570	6,386	0,092	0,920
$\bar{}$	18,541	0,256	2,556	6,374	0,094	0,938
sm.odch.	0,164	0,003	0,034	0,016	0,001	0,013
chyba	0,211	0,004	0,043	0,021	0,0002	0,017

Z nameraných hodnôt sa ďalej vypočíta priemerná plošná hmotnosť v gramoch na 1 m^2 pre každú z tkanín:

$$Mp_A = \frac{m}{S} = \frac{18,54}{0,0625} = 296,64 \text{ g/m}^2 \quad Mp_B = \frac{m}{S} = \frac{6,37}{0,0625} = 101,92 \text{ g/m}^2$$

Priemerná plošná hmotnosť vzorku o ploche $0,0625 \text{ m}^2$ pre tkaninu A:

$$\mathbf{A = (18,54 \pm 0,16) \text{ g/m}^2}$$

Priemerná plošná hmotnosť tkaniny A, vzťahovaná na $\text{m}^2 = \mathbf{296,64 \text{ g}}$.

Priemerná plošná hmotnosť vzorku o ploche $0,0625 \text{ m}^2$ pre tkaninu B:

$$\mathbf{B = (6,37 \pm 0,02) \text{ g/m}^2 \text{ s}}$$

Priemerná plošná hmotnosť tkaniny B, na $\text{m}^2 = \mathbf{101,92 \text{ g}}$.

7.6 Obsah spáliteľných látok a obsah vlhkosti v tkaninách

Pred skúškou sa sklenená váženka i víčko, vysuší pri teplote $105 \pm 2^\circ\text{C}$ v sušiarne po dobu 1 hodiny. Sušenie sa praktizuje pri tej istej teplote a po tú istú dobu, 1 hodine. Manipulácia s vysušenými skúšobnými telieskami zo sklenej tkaniny sa vykonávala s pomocou pinzety.

Pre sušenie

- vzorky zo sklenej tkaniny
- váženky s víčkom
- exikátor
- laboratórna sušička
- analytické váhy
- pinzeta

Pre žíhanie:

- porcelánové kelímky
- pinzeta
- kliešte
- vysušené vzorky sklenej tkaniny
- žíhacia keramická pec
- analytické váhy
- infračervený teplomer
- exikátor



Obr. 31: Exikátor so vzorkami sklených vlákien (vľavo) s infračerveným bezdotykovým teplomerom na kontrolu teploty v žíhacej peci, vlastné spracovanie

Po vytiahnutí vzorkov zo sušiarne nasleduje 30 min ochladzovanie v exikátore.

Žíhanie si vyžaduje rovnaký postup ako sušenie, s rozdielom, že sa použijú porcelánové kelímky namiesto váženiek, pretože žíhanie je technologický postup, pri ktorom je teplota mnohonásobne vyššia ako pri teplote sušiacej. Žíhacia piecka sa vyhreje na $600 \pm 20^\circ\text{C}$.

Tab. 14: Namerané a vypočítané hodnoty tkaniny A

Tkanina A												
	Navážené					Vypočítané						
	Pred sušením		Po sušení	Pred žiháním	Po žiháním	Po sušení			Po žiháním			
	Tkan.	Váž.	Váž. s tkan.	Kelím.	Kelím. s tkan.	Tkan.	Vlh.		Tkan.	Spál. látky		
	m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	m4 [g]	m5 [g]	m6 [g]	m7 [g]	f [%]	m8 [g]	m9 [g]	o [%]	
1	3,32	48,40	51,00	26,03	28,48	2,61	0,71	21,41	2,45	0,16	6,00	
2	3,29	55,85	58,43	25,25	27,65	2,58	0,71	21,53	2,40	0,19	7,27	
3	3,30	55,89	58,49	25,00	27,23	2,59	0,70	21,35	2,24	0,36	13,85	
4	3,32	53,29	55,90	24,82	27,34	2,62	0,70	21,12	2,52	0,09	3,59	
5	3,32	54,11	56,72	26,89	29,28	2,61	0,71	21,36	2,39	0,23	8,63	
Ø								21,35			7,87	
sm.odch								0,14				3,42
chyba								0,17				4,40

Na tkanine A bolo nameraných $f = (21,35 \pm 0,14) \%$ vody a vysušená tkanina obsahovala $o = (7,87 \pm 3,42) \%$ spáliteľných látok. Tkanina B má $f = (7,66 \pm 1,28) \%$ vody a obsahuje $o = (1,64 \pm 0,06) \%$ spáliteľných látok, preto treba sklenené vlákno aplikáciami vysušiť.

Tab. 15: Namerané a vypočítané hodnoty tkaniny B

Tkanina B												
	Navážené					Vypočítané						
	Pred sušením		Po sušení	Pred žiháním	Po žiháním	Po sušení			Po žiháním			
	Tkan.	Váž.	Váž. s tkan.	Kelím.	Kelím. s tkan.	Tkan.	Vlh.		Tkan.	Spál. látky		
	m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	m4 [g]	m5 [g]	m6 [g]	m7 [g]	f [%]	m8 [g]	m9 [g]	o [%]	
1	1,20	56,78	57,92	23,77	24,88	1,13	0,07	5,90	1,12	0,02	1,58	
2	1,27	56,00	57,19	25,46	26,63	1,19	0,08	6,31	1,17	0,02	1,69	
3	1,23	55,00	56,12	24,48	25,58	1,12	0,11	8,72	1,10	0,02	1,64	
4	1,31	55,41	56,60	25,06	26,24	1,19	0,12	8,79	1,17	0,02	1,60	
5	1,25	56,79	57,94	25,36	26,48	1,15	0,11	8,58	1,13	0,02	1,70	
Ø								7,66			1,64	
sm.odch								1,28				0,05
chyba								1,47				0,06

8 VLASTNOSTI EPOXIDOVEJ A POLYESTEROVEJ ŽIVICE

Medzi základné parametre, ktoré sú potrebné vedieť pre prácu so živcami, patrí jej viskozita, obsah prchavých látok a jej základné mechanické vlastnosti zistené vykonaním skúšky rázovej húževnatosti a ťahovej skúšky.

Skúšky sa vykonávali na epoxidovej a polyesterovej živici, ktoré boli vytvrdené príslušným tvrdidlom a plnivom. Stručné charakteristiky týchto látok sú uvedené v nasledovnom podnadvise. Rozsiahlejšie informácie sú k dispozícii v technických a bezpečnostných listoch v prílohe č. 1, 2 a 3.

8.1 Používané živice

Epoxidová živica Letoxit PR 102

Epoxidová živica Letoxit PR 102 od výrobcu 5M je vyrobená na bázi modifikovanej epoxidovej živice dianového typu. Táto bezfarebná tekutina bola vyvinutá pre špeciálne použitie v leteckom priemysle. Je určená pre výrobu dielov namáhaných v extrémnych podmienkach. Vzhľadom k nízkej viskozite a nízkemu povrchovému napätiu je pre túto živicu výrobcom určené tvrdidlo Letoxit EM 420 od firmy Polyvianova, ktoré je čírej smaragdovo - zelenej farby. Pridáva sa v pomere 40 % hmotnosti živice. Ich kombináciou sa dosiahnu veľmi dobré zmáčacie vlastnosti laminátov.

Polyesterová živica Vinalkyd 550 PE

Vinalkyd 550 PE-TALE-LV je stredne reaktívna nenasýtená polyesterová živica s nízkou viskozitou. Používa sa na výrobu laminátových predmetov v lodnom a stavebnom priemysle. Ako tvrdidlo pre túto živicu je určený Butanox M-50. Vhodný pre aplikácie na zvislé povrchy. Butanox M50 je vytvrdzovacie činidlo klasifikované ako žieravina, oxidujúca látka spôsobujúca poleptanie. Táto kvapalina je číra, bezfarebná, s vysokou hustotou. Pomer, v ktorom sa nachádza vytvrdzovadlo k polyesterovej živici je 2 hm.%.

Na nasledovnom obrázku sú fotograficky zdokumentované používané živice a tvrdidlá, vlastné spracovanie.



Obr. 32: Epoxidová živica + Letoxid (vľavo), Polyesterová živica + Butanox (vpravo),
vlastné spracovanie

9 Používané plnivá

Plnivá sú najčastejšie používané aditíva do polymerných zmesí a ich prídavok vedie k zmene spacovateľských a fyzikálnych vlastností, aj pri použití malého množstva..

Predložená práca je zameraná na náhradu, doteraz najčastejšie používaného, minerálneho plniva pre kompozitné materiály – Wolastonit.

Toto plnivo sa nahradilo v tom istom percentuálnom zastúpení. Na prvý pohľad sú obe látky rovnakého vzhľadu a aj podobného zloženia – minerálne látky.

Rozdiel je vo veľkosti častíc prachu, ktorý je badateľný z mikroskopického zaznamenania a aj jeho jemnosť je hmatateľná.

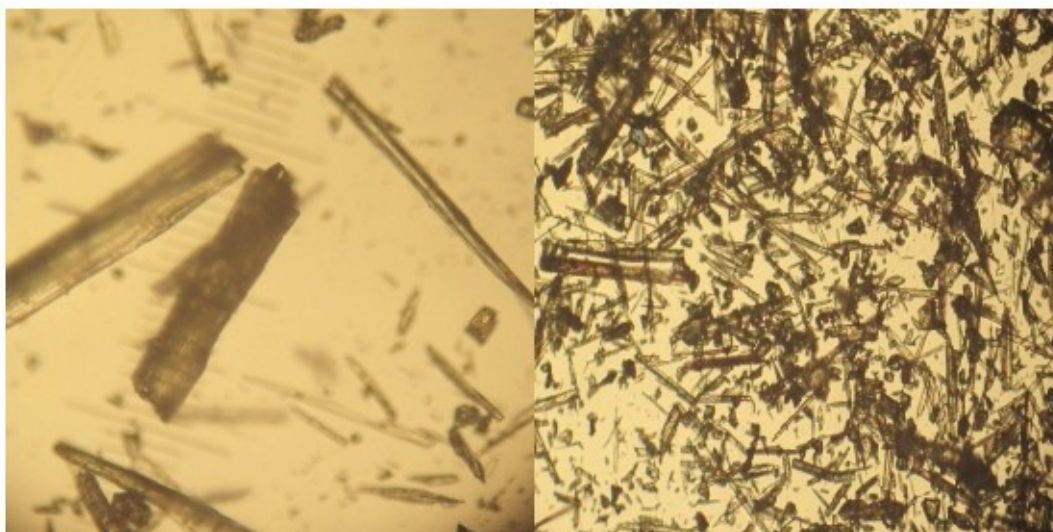
Ide o znovu spracované sklenené vlákna a tkaniny z nich, pričom zistenie vlastností skleneného prachu bolo záujmom tejto práce.

Fotografia znázorňuje viditeľný farebný rozdiel wolastonitu a skleného prachu.

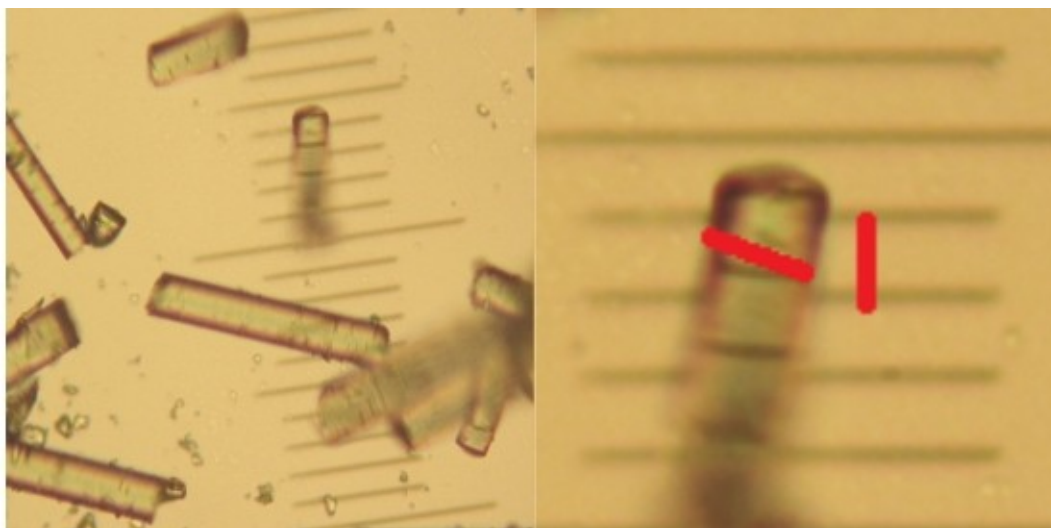


Obr. 33: Navážka s wolastonitom (vľavo) a skleným prachom (vpravo), vlastné spracovanie

Na nasledovných obrázkoch je fotograficky zaznamenaná štruktúra wolastonitu a skleného prachu pod mikroskopom. Pričom jeden dielik na merítku stupnice mikroskopického sklíčka je rovný 0,01 mm.



Obrázok 2: Mikroskopická fotografia wolastonitu (1dielik = 0,01mm), a zväčšenie wolastonitu (vpravo), vlastné spracovanie



Obrázok 3: Mikroskopická fotografia skleného prachu + odhad veľkosti vlákna - vpravo pomer šírky a stupnica (1dielik = 0,01mm), vlastné spracovanie

9.1 Používané meracie zariadenia

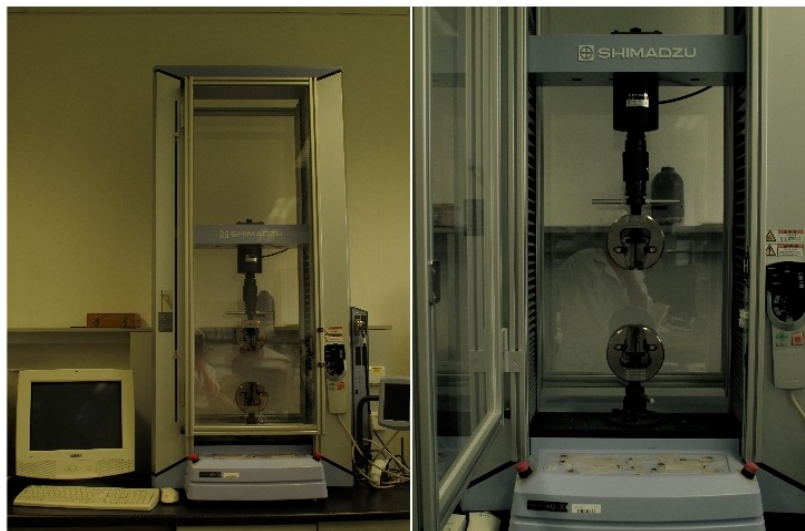
K realizácii testov a skúšok pre overenie hypotézy, ktorá bola stanovená v úlohách diplomovej práce boli použité meracie zariadenia a pomôcky. Tieto meracie zariadenia a pomôcky boli súčasťou laboratória kompozitných materiálov, v ktorej sa realizovali všetky skúšky. Zoznam pomôcok a meracích zariadení je popísaný nižšie.

Pomôcky na meranie:

- sklené guľičky
- stojan a skúmavky
- kaolinový prach
- ochrané okuliare
- petriho misky
- štetec
- separátor
- pracovné rukavice
- odlievacie formy na vzorky
- digitálne stopky CASIO
- sklené tyčinky a kelímky na miešanie materiálu

Meracie zariadenia:

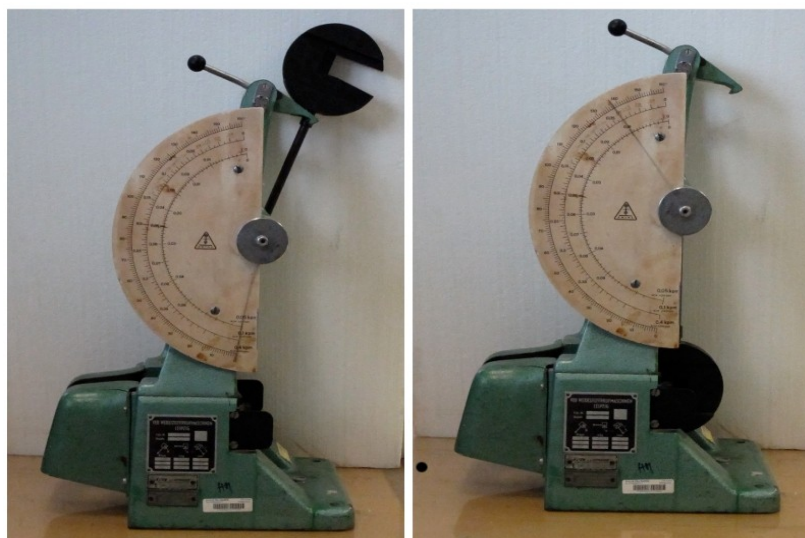
- sušiareň STERIMAT 574.3
- analytické váhy RAD WAG AS 220-C-2
- laboratórne váhy KERN 822
- exikátor
- kalibračný mikrometer
- rázové kladivo Sharpy
- elektrická brúska FERM FSM-200
- trhací stroj Shimadzu



Obr. 34: SHIMADZU na ťahovú skúšku, vlastné spracovanie



Obr. 35: Elektrická brúska FERM FSM 200, vlastné spracovanie



Obr. 36: Sharpyho kladivo na rázovú skúšku, vlastné spracovanie

9.2 Stanovenie viskozity

Metóda je založená na dobe pádu sklenej guľičky za daných podmienok, s určitou vzdialenosťou v mernej trubici (skúmavke) naplnenej skúšanou živicom a následným výpočtom hodnoty viskozity.

Pred meraním sa na skumavku urobia značky, ktoré predstavujú body merania a následnú os pádu guľičky na dno skumavky. Ešte skôr ako sa živica naleje do skúmavky, treba ju dostatočne premiešať. Sklené guľičky sa vopred zmerajú a zväžia na analytických váhach. Stopkami sa meria doba pádu guľičky medzi bodmi označenými na stene skúmavky. Veľkosť dráhy pádu je voliteľná.

Viskozita sa vypočíta zo vzťahu: $\eta = \frac{2}{9} \cdot g \cdot (\rho_{tel} - \rho_{kvap}) \cdot \frac{r^2}{v}$

kde g tiažové zrýchlenie [9,81 m.s⁻¹]

ρ_{tel} hustota meranej guľôčky [kg.m⁻³]

ρ_{kvapP} hustota meranej polyesterovej živice ... 1,1 [g.cm⁻³] = 1100 [kg.m⁻³]

ρ_{kvapE} hustota meranej epoxidovej živice ... 1,1 [g.cm⁻³] = 1100 [kg.m⁻³]

r priemer hádzanej guľičky [m]

v rýchlosť pádu guľičky [m.s⁻¹]

Hustota telesa, používaného pre pád do polyesterovej živice sa vypočíta zo vzťahu:

$$\rho_{kvap} = \frac{m}{V} \quad \text{potom} \quad V = \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$$

kde V objem hádzaného telesa [kg.m⁻³]

r priemer hádzaného telesa [m²]

a potom: $v = \frac{x}{t}$ [m.s⁻¹]

x dráha pádu guľičky [m]

t čas pádu guľičky [s]

v rýchlosť pádu guľičky [m.s⁻¹]

Tab. 16: Namerané hodnoty pre výpočet viskozity.

DRUH ŽIVICE	Priemer guľičky		Hmotnosť guľičky		Čas pádu (s)
	(mm)	(m) · 10 ⁻³	(g)	(kg) · 10 ⁻⁴	
<i>polyesterová</i>	6,083	6,08	0,295	2,95	1,97
	6,093	6,09	0,297	2,95	2,09
	5,923	5,92	0,299	2,99	2,07
	6,041	6,04	0,297	2,97	2,37
	5,994	5,99	0,294	2,94	1,94
Ø	6,027	6,02	0,296	2,96	2,09
sm.odch.	0,063	0,06	0,002	0,02	0,15
chyba	0,080	0,08	0,002	0,02	0,20
<i>epoxidová</i>	3,904	3,90	0,085	0,85	1,78
	3,954	3,95	0,085	0,85	1,93
	3,946	3,95	0,084	0,84	1,88
	4,045	4,05	0,085	0,85	1,94
	3,981	3,98	0,084	0,84	2,11
Ø	3,966	3,97	0,085	0,85	1,93
sm.odch.	0,047	0,05	0,000	0,01	0,11
chyba	0,060	0,06	0,001	0,01	0,14

Príklady výpočtov:

- pre polyesterovú živicu:

$$V_p = \frac{4}{3} \cdot \pi r_p^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (3,014 \cdot 10^{-3})^3 = 1,15 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\rho_{kvapP} = \frac{m}{V} = \frac{(2,96 \cdot 10^{-4})}{(1,15 \cdot 10^{-7})} = 2573,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$v_p = \frac{x}{t} = \frac{0,03}{2,09} = 0,0144 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad v_p \dots \text{rýchlosť pádu guľičky do polyesterovej živice [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

potom:

$$\eta_P = \frac{2}{9} \cdot g \cdot (\rho_{telP} - \rho_{kvapP}) \cdot \frac{r_p^2}{v_p} = \frac{2}{9} \cdot 9,81 \cdot (2573,9 - 1,1 \cdot 10^{-9}) \cdot \frac{(3,014 \cdot 10^{-3})^2}{0,0144} = 2,046 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-2}$$

- pre epoxidovú živicu:

$$V_E = \frac{4}{3} \cdot \pi r_E^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (1,983 \cdot 10^{-3})^3 = 3,276 \cdot 10^{-8} m^3$$

$$\rho_{kvapE} = \frac{m}{V} = \frac{(0,846 \cdot 10^{-4})}{(3,276 \cdot 10^{-8})} = 2582,4 kg \cdot m^{-3}$$

$$v_E = \frac{x}{t} = \frac{0,03}{1,93} = 0,0156 m \cdot s^{-1} \quad v_E \dots \text{rýchlosť pádu guľičky do epoxidovej živice [m \cdot s^{-1}]}$$

potom:

$$\eta_E = \frac{2}{9} \cdot g \cdot (\rho_{telE} - \rho_{kvapE}) \cdot \frac{r_E^2}{v_E} = \frac{2}{9} \cdot 9,81 \cdot (2582,4 - 1,1 \cdot 10^{-9}) \cdot \frac{(1,983 \cdot 10^{-3})^2}{0,0156} = 0,814 Pa \cdot s^{-2}$$

Pre výpočet chyby ch bol použitý vzťah:

$$ch = \frac{s}{\sqrt{n-1}} \cdot t_{st}$$

s smerodatná odchýlka

n počet meraní

t_{st} kritická hodnota študentovho rozdelenia; pre hodnotu spoľahlivosti $R = 95\%$ bola použitá táto tabuľková hodnota: $t_{st} = 2,571$ (pre $n = 5$).

9.3 Stanovenie obsahu prchavých látok

Táto metóda spočíva v zmene hmotnosti vzorku epoxidovej a polyesterovej živice po jeho vysušení za predpísaných podmienok. Po stanovení bolo použitých 5 vzorkov, ktoré charakterizovali prchavé látky.

Váženky sa dajú vopred usušiť do sušiarne vytemperovanej na teplotu $150 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 1 hodiny. Po vytiahnutí sa vložia do exikátoru schladnúť.

Po schladnutí sa zvažia s presnosťou 10^{-4} g . Do váženky sa zváži na laboratórnych váhach ($2 \pm 0,2 \text{ g}$) živice a suší sa 2 hodiny pri teplote (150 ± 2) $^\circ\text{C}$. Po ukončení sušenia sa váženka so živicom nechá schladnúť v exikátore najmenej 30 minút. Neskôr sa zváži na analýtických váhach. Ako výsledok skúšky je porovnanie prchavých a neprchavých látok epoxidovej a polyesterovej živice, ktoré sú zaznamenané v nasledujúcej tabuľke.

Obsah prchavých látok sa zistí zo vzťahu: $X_T = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m)} \cdot 100 [\%]$

m hmotnosť prázdnej nádoby [g]

m₁ hmotnosť nádoby so vzorkom živice [g]

m₂ hmotnosť nádoby s vysušeným vzorkom [g]

Tab. 17: Namerané hodnoty prchavých látok pre polyesterovú a epoxidovú živicu.

č. merania	Polyesterová živica	Epoxidová živica
1.	10,76	16,44
2.	9,81	16,43
3.	10,10	15,56
4.	11,63	15,51
5.	8,79	15,41
∅	10,22	15,87
sm.odch.	0,95	0,46
chyba	1,22	0,60

Priklady výpočtu:

$$X_T = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m)} \cdot 100 = \frac{(57,0413 - 56,8238)}{(57,0413 - 55,0203)} \cdot 100 = 10,76 \%$$

Obsah neprchavých látok sa určí zo vzťahu: $X_N = 1 - X_T$

Tab. 18: Tabuľka s nameranými a vypočítanými obsahmi prchavých látok.

živica	hm.váž. (g)	navážka (g)	p. suš. (g)	po suš. (g)	rozdiel (g)	rozdiel (kg).10 ⁻⁴	Xt (%)	Xn (%)	
P	1.	55,020	2,021	57,041	56,824	0,218	2,175	10,76	89,24
	2.	54,983	2,006	56,989	56,792	0,197	1,968	9,81	90,19
	3.	55,135	2,015	57,150	56,947	0,204	2,036	10,10	89,90
	4.	54,631	2,069	56,700	56,459	0,241	2,406	11,63	88,37
	5.	55,327	2,037	57,364	57,185	0,180	1,790	8,79	91,21
E	1.	53,753	2,014	55,767	55,436	0,331	3,311	16,44	83,56
	2.	54,479	2,000	56,479	56,157	0,329	3,286	16,43	83,57
	3.	55,173	2,037	57,210	56,893	0,317	3,169	15,56	84,44
	4.	53,074	2,098	55,172	54,847	0,326	3,255	15,51	84,49
	5.	54,975	2,117	57,092	56,764	0,338	3,376	15,47	84,53

Stanovený obsah prchavých látok činí pre polyesterovú živicu ($10,22 \pm 0,95$) %.

Epoxidová živica obsahovala ($15,87 \pm 0,46$) % prchavých látok.

Z nameraných hodnôt je zrejmé, že s rastúcou teplotou viskozita oboch živíc klesá.

9.4 Mechanické vlastnosti vytvrdenej epoxidovej a polyesterovej živice

Ide o spracovanie mechanických vlastností skúšobných telies zhotovených z epoxidovej a polyesterovej živice s plnením 0, 5, 10, 15 a 20 % -ným, s použitím plniva – wolastonit, a sklený prach. Jedná sa o vykonané skúšky:

- skúška v ťahu – Shimadzu (ČSN EN ISO 527)
- skúška rázovej húževnatosti – Sharpy (ČSN EN ISO 179)



Obr. 37: Lopatky, tyčinky a lamináty pred ťahovou skúškou - kompletne vzorky pre realizáciu mechanických skúšok, vlastné spracovanie

Pre vykonanie týchto testovacích metód je treba si vopred zaliať formu s namiešanou polymernou zmesou a potrebným percentuálnym zastúpením plniva. Na formu sa však musí pred použitím aplikovať separačný prostriedok, pretože inak by došlo k chemizmu medzi formou a polymernou zmesou. Takto predpripravená forma sa môže zaliať laminačnou

zmesou a nechá sa vytuhnúť po 12 hodín. Po zosieťovaní polymerných zmesí sa skúšobné telieska označia poradovými číslami 1 až 5. a indexom príslušnej živice so zastúpením živice.

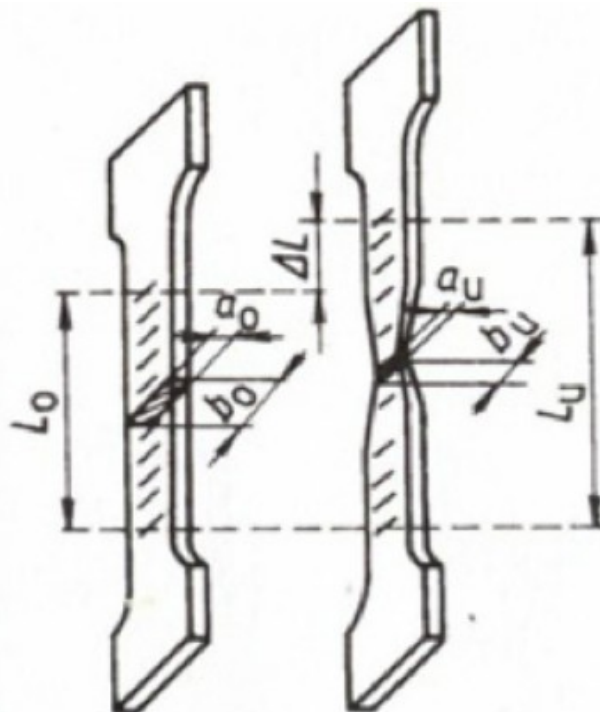
V prílohe č.4 je popísaný návod na prípravu silikonovej formy, ktorá bola použitá. A tak-
tiež test separátorov, ktoré možno použiť pri práci s touto formou.

9.4.1 Meranie rázovej húževnatosti metódou Sharpy

Rázová skúška pomocou Sharpyho kladiva sa prevádzala podľa stanovenej normy (ČSN EN ISO 179). Podstatou je upravené Sharpyho kladivo s kyvadlom o parametroch:

$W = 0,4 \text{ kp.m}$, $m = 0,937 \text{ kg}$ a dĺžke $l = 220 \text{ mm}$.

Na hriadeli okolo ktorého sa kyvadlo otáča, je upevnená kruhová vačka, ktorá cez valčekové ložisko pôsobí na člen, ktorým sa deformuje skúšobná vzorka. Po prekmitnutí kyvadla sa meria celková práca spotrebovaná počas nárazu.



Obr. 38: Skúšobné telesá pre tahovú skúšku a ich pracovné rozmery

Namerané a vypočítané hodnoty sú zaznamenané v nasledovných tabuľkách, kde je z rozmerov vzorkov vypočítaný obsah plochy a z neho následne prevedená energia spotrebovaná pri prerazení skúšobného telesa (kp.m).

Pre výpočet rázovej húževnatosti telies bez vrubu bol použitý vzťah:

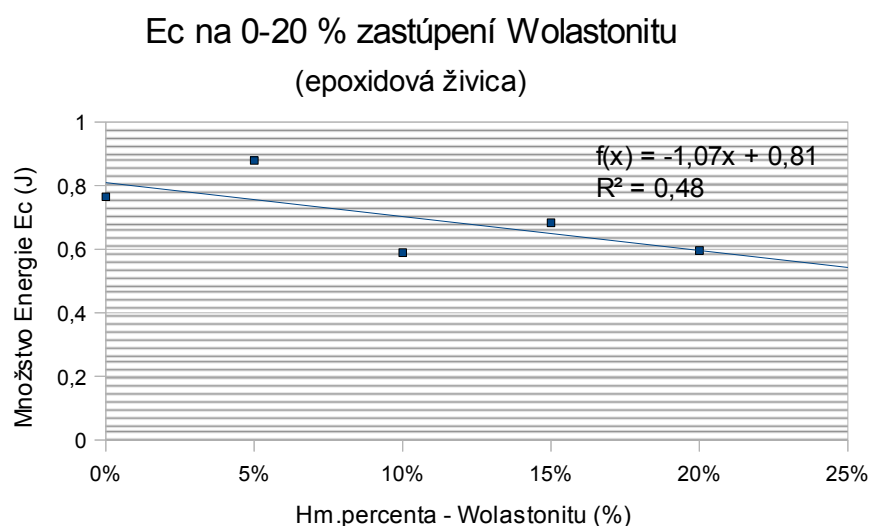
$$a_{cU} = \frac{E_C}{h \cdot b} \cdot 10^3$$

kde: E_C ... prevedená energia spotrebovaná pri prerazení skúšobného telesa (J)

a_{cU} ... rázová húževnosť telesa bez vrubu (kJ/m²)

Tab. 19: Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% wolastonitu.

Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% wolastonitu				
% zastúpenie	S (mm ²)	E ₀ (kp.m)	E _C (J)	a _{cU} (kJ/m ²)
0 %	31,208	0,060	0,765	24,513
5 %	30,752	0,090	0,879	28,528
10 %	32,642	0,060	0,589	32,642
15 %	39,968	0,067	0,683	17,227
20 %	37,358	0,061	0,596	16,017

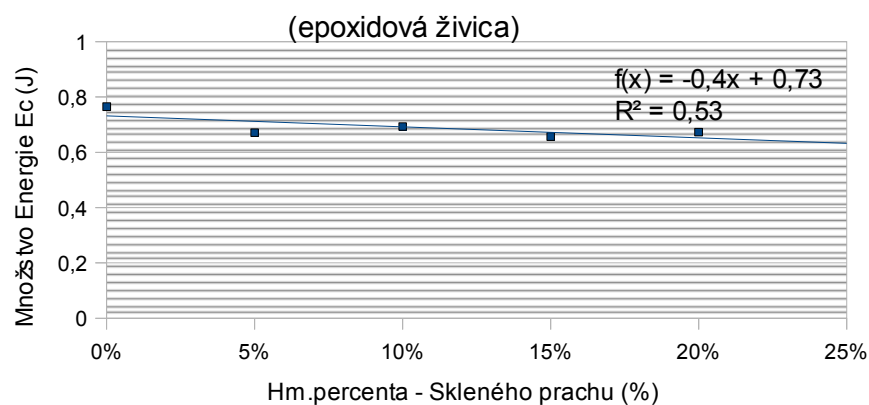


Obr. 39: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Wolastonitu na spotrebovanej energii.

Tab. 20: Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% skleného prachu.

Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% sklený prach				
% zastúpenie	S (mm ²)	E ₀ (kp.m)	E _c (J)	a _{cU} (kJ/m ²)
0 %	31,208	0,060	0,765	24,513
5 %	38,684	0,068	0,671	17,455
10 %	37,832	0,071	0,693	18,369
15 %	39,570	0,067	0,657	16,629
20 %	45,543	0,067	0,673	14,755

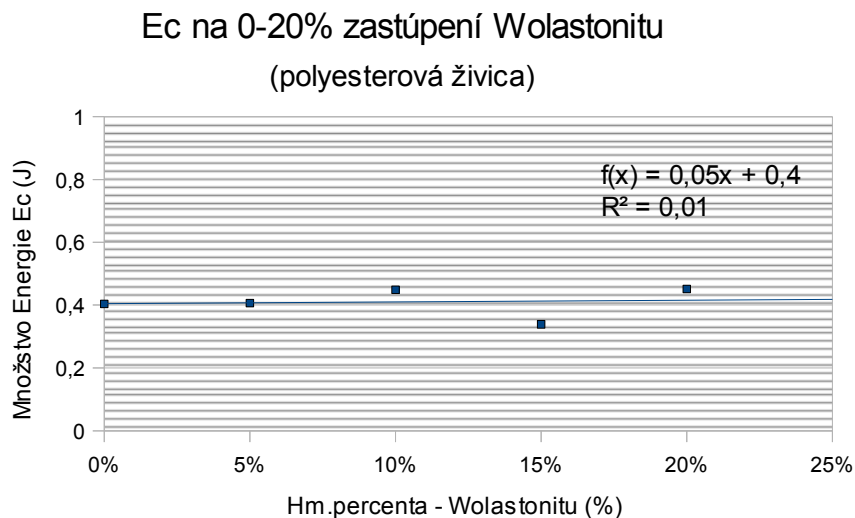
Ec na 0-20% zastúpení Skleného prachu



Obr. 40: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Skleného prachu na spotrebovanej energii.

Tab. 21: Rázová skúška polyesterovej živice - VB + 0-20% wolastonitu

Rázová skúška polyesterovej živice - VB + 0-20% wolastonitu				
% zastúpenie	S (mm ²)	E ₀ (kp.m)	E _c (J)	a _{cU} (kJ/m ²)
0 %	31,766	0,041	0,404	12,724
5 %	38,339	0,041	0,406	10,683
10 %	39,033	0,046	0,449	11,55
15 %	38,455	0,035	0,339	9,042
20 %	32,664	0,046	0,451	13,954

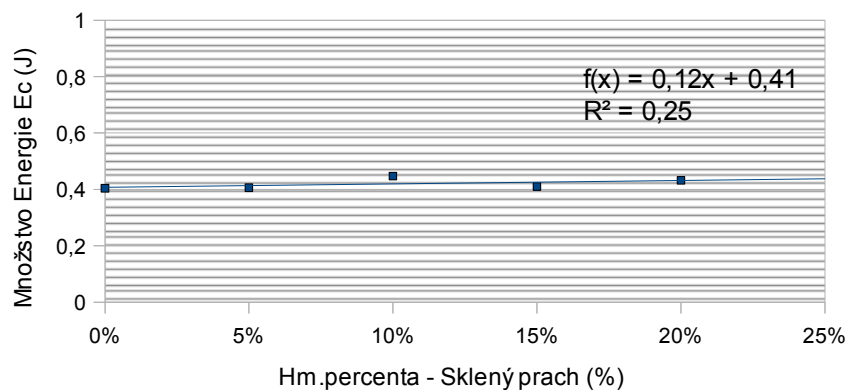


Obr. 41: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Wolastonitu na spotrebovanej energii.

Tab. 22: Rázová skúška polyesterovej živice - LP + 0-20% skleného prachu.

Rázová skúška polyesterovej živice - VB + 0-20% sklený prach				
% zastúpenie	S (mm ²)	E ₀ (kp.m)	E _C (J)	a _{cU} (kJ/m ²)
0 %	31,766	0,041	0,404	12,724
5 %	34,334	0,041	0,406	11,861
10 %	40,095	0,047	0,447	11,134
15 %	38,210	0,041	0,410	10,800
20%	40,167	0,044	0,432	10,743

Ec na 0-20% zastúpení Skleného prachu
(polyesterová živica)



Obr. 42: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Skleného prachu na spotrebovanej energii.

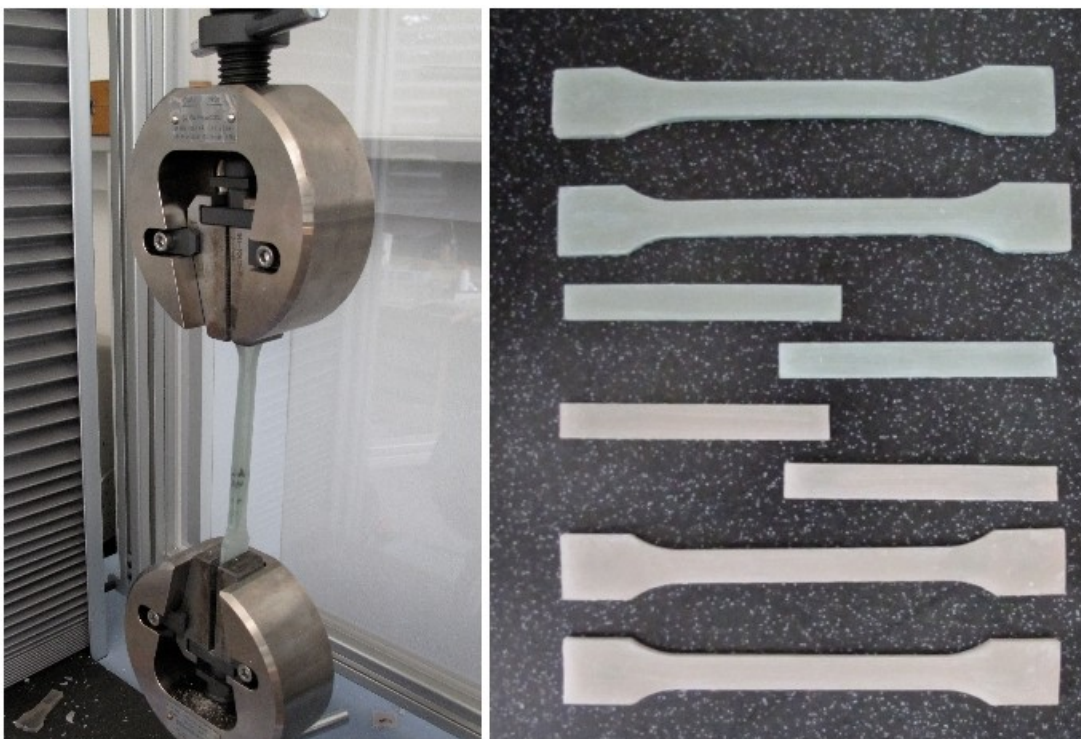
9.4.2 Skúška v ťahu epoxidovej a polyesterovej živice

Prístroj SHIMADZU je určený na vykonanie skúšky v ťahu dľa normy ČSN EN ISO 527. Normované telieska sa upnú do hornej a dolnej čeľuste, a spustí sa testovacie meranie.

Všetky potrebné parametre sa zaznamenávajú do príslušného dátového programu TRAPEZIUM M Versia 1.1 k trhačke SHIMADZU. Výsledky sa exportujú zo zariadenia USB kľúčom. Na nasledovnom obrázku je zaznamenané upnutie vzorku pred trhaním ako aj pripravené vzorky na ťahovú skúšku.

Pred tým ako sa však skúška začne prevádzať, je nutné hmatateľné a viditeľné prebytky živice na telieskach odstrániť elektrickou brúskou. Zarovnanie hrán a odstránenie pretokov zabezpečuje rovnomerný povrch skúšobných teliesok. Nakoľko je táto metóda ručného odlievania realizovaná s istým percentom nepresnosti jlavne pretoky, ktoré vznikajú v priebehu odlievania. Nasledujúce tabuľky reprezentujú získané dáta z meranie čistej živice s prísadou wolastonitu a skleneného vlákna. Následný graf ukazuje trend, akým sa vyvíja veľkosť maximálnej sily v závislosti na prísade hmotnostných percent daného plniva. Podrobný popis výroby formy a prípravu vzorkov pomocou týchto foriem je popísaný v prílohe č.4.

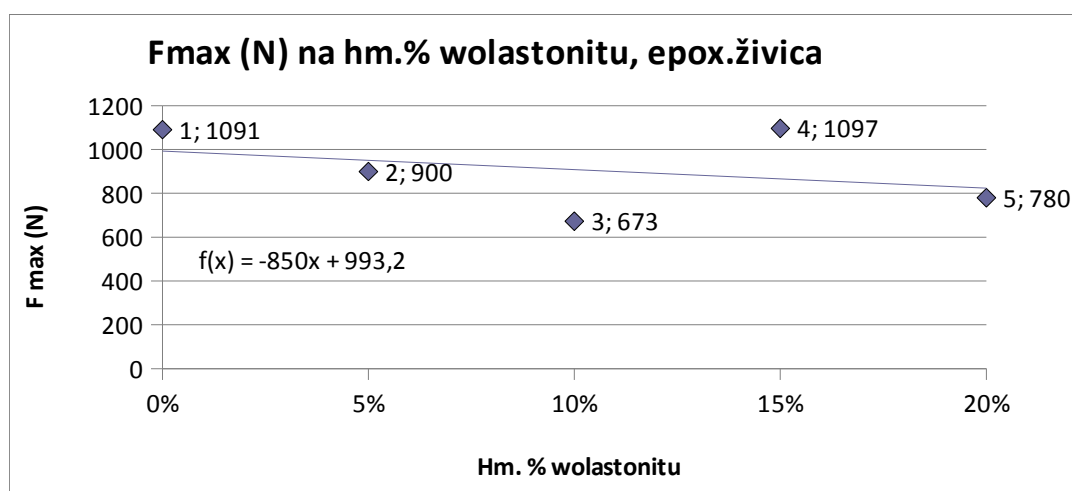
Na nasledovnom obrázku je znázornený upnutý vzorok v trhacích čeľustiach.



Obr. 43: Upnutý vzorok v čeľustiach trhačky SHIMADZU, vlastné spracovanie.

Tab. 23: Ťahová skúška epoxidovej živice + wolastonitu.

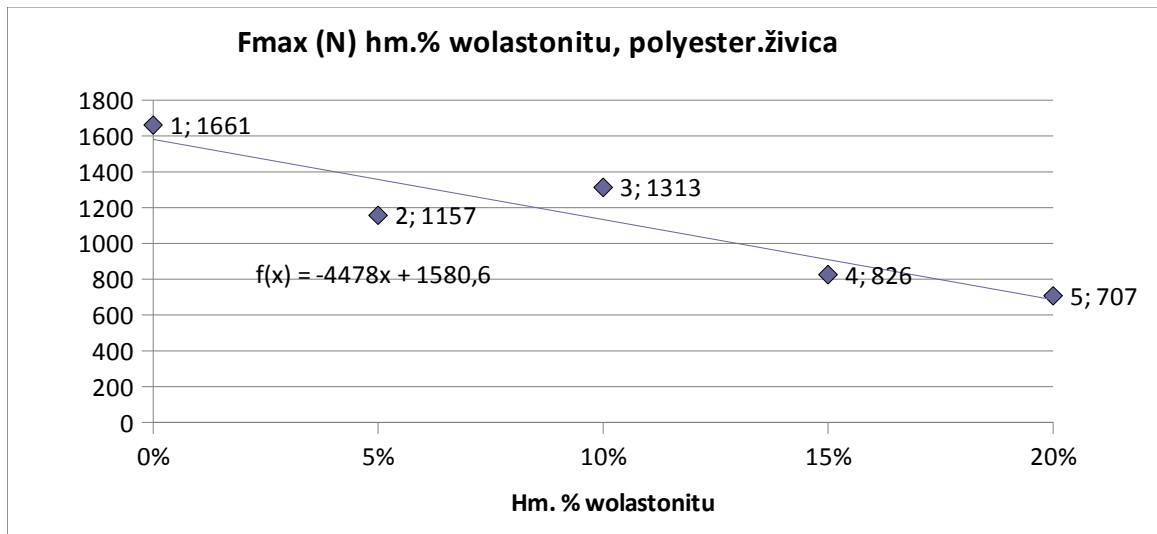
Ťahová skúška epoxidovej živice + wolastonit							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
čisté	28,23	1091	3,65	34,56	34,56	831	248
5%	26,50	900	2,56	33,67	33,67	825	231
10%	34,30	673	3,11	19,52	19,52	670	182
15%	41,63	1097	3,16	26,48	24,48	1001	362
20%	36,72	780	2,45	20,80	20,80	595	206



Obr. 44: Závislosť max. sily na hm.% wolastonitu v epoxidovej živici

Tab. 24: Ťahová skúška polyesterovej živice + wolastonitu

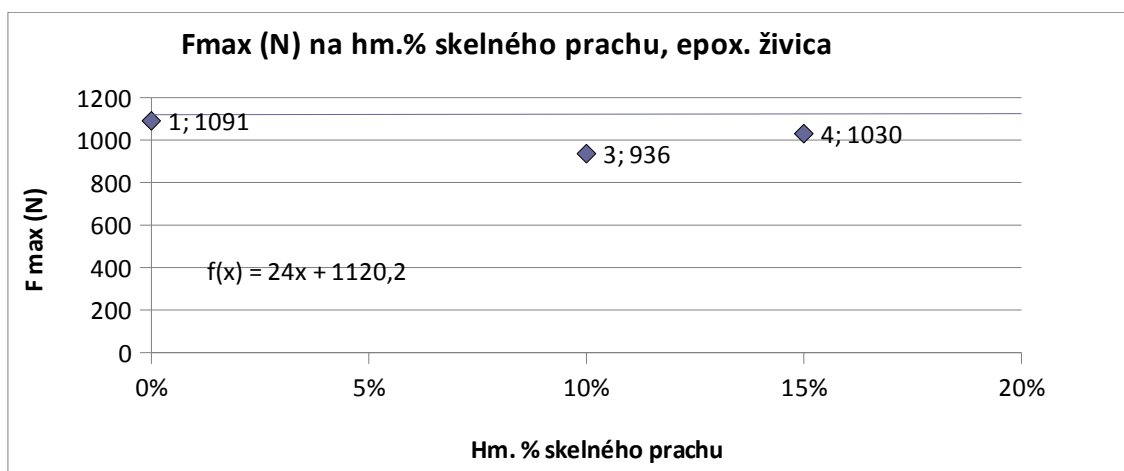
Ťahová skúška polyesterovej živice + wolastonit							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
čisté	35,85	1661	3,90	46,40	46,40	1930	628
5%	27,14	1157	3,56	48,40	48,40	1300	327
10%	38,18	1313	3,12	30,00	30,00	798	286
15%	37,57	826	2,96	17,79	17,79	1006	424
20%	30,51	707	3,22	19,64	19,64	582	192



Obr. 45: Závislost max. sily na hm.% wolastonitu v polyesterovej živici

Tab. 25: Ťahová skúška epoxidovej živice + skleného prachu.

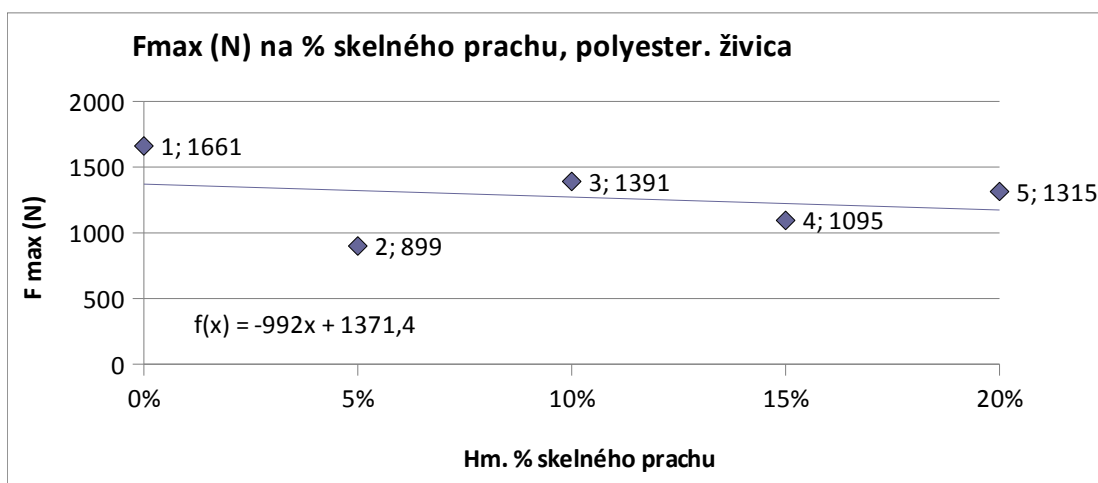
Ťahová skúška epoxidovej živice + sklený prach							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	36,11	1 316	3,58	35,83	35,83	407	134
10%	36,29	936	2,86	26,24	26,24	750	250
15%	36,41	1 030	3,21	27,93	27,93	715	241
20%	39,44	1 240	3,01	31,17	31,17	1 632	581



Obr. 46: Závislost max.sily na hm.% skleného prachu v epoxidovej živici

Tab. 26: Ťahová skúška polyesterovej živice + skleného prachu.

Ťahová skúška polyesterovej živice + sklený prach							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	34,69	899	2,76	25,90	25,90	1 339	415
10%	37,26	1 391	3,47	37,42	37,42	915	315
15%	37,52	1 095	2,82	28,98	37,42	1 732	585
20%	37,42	1 315	2,75	35,11	35,11	1 946	667



Obr. 47: Závislosť max.sily na hm.% skleného prachu v polyesterovej živici

- F_{max} maximálna sila pri pretrhnutí (N)
- l_{max} maximálna vzdialenosť čelústí (mm)
- σ_{max} maximálne napätie (MPa)
- σ_{stress} medz pevnosti (MPa)
- $F_{elast.}$ sila na medzi klzu (N)
- E Youngov modul pružnosti (Mpa)
- 1k vzorok číslo 1 pre sériu pozdĺžne strihaných vzorkov
- 1p vzorok číslo 1 pre sériu priečne strihaných vzorkov

10 MECHANICKÉ VLASTNOSTI LAMINÁTOV

Ide o meranie pevnostnej charakteristiky v ťahu, na pozdĺžne a priečne meranie pevnosti v ťahu, na skúšobných telesách zhotovených zo živice so skelnou výstužou podľa normy ČSN EN ISO 527. Vzorky je nutné zhotoviť minimálne 48 hodín pred meraním.

Boli pripravené vzorky zo skelnej tkaniny vzorky tvaru štvorca s rozmermi 300 x 300 mm, ktoré mali špecifický charakter podľa úlohy diplomovej práce. Tieto rôzne tkaniny a ich možné varianty vzorkov boli rozdelené podľa nasledovnej tabuľky:

Tkanina A Tkanina B								
smer	pozdĺžny				priečný			
živica	polyesterová		epoxidová		polyesterová		epoxidová	
plnivo	wolastonit	sklo	wolastonit	sklo	wolastonit	sklo	wolastonit	sklo
zastúpenie %	0		0		0		0	
	5	5	5	5	5	5	5	5
	10	10	10	10	10	10	10	10
	15	15	15	15	15	15	15	15
	20	20	20	20	20	20	20	20

10.1 Príprava laminátov pre ťahovú skúšku

Meranie sa prevádza pre 0, 5, 10, 15 a 20 % zastúpenie plniva v kombinácii s oboma živicami, s oboma tkaninami a oboma plnivami. Materiálové vlastnosti sa pozorujú ako v pozdĺžnom, tak priečnom smere.

Na acetonom vyčistené a hladké sklené tabule sa vopred nachystá forma, ktorá je podložená polypropylénovou fóliou, pre lepšie odnímanie z formy po vytuhnutí.

Na laboratórnych váhach sa v kelímku zväži živica s tvrdidlom:

- a) pre polyesterovú živicu na 100 g živice . . . zastúpenie 2 hm.% - Butanox M-50
- b) pre epoxidovú živicu na 100 g živice zastúpenie 40 % Letoxid EM 420

Po zväžení sa látky spolu miešajú 1-2 min. sklenou tyčinkou, aby sa zmes homogenizovala. Pridá sa percentuálne zastúpenie plniva pre danú živicu a tvrdidlo.

Laminačná zmes sa mieša tak dlho, pokiaľ nemá transparentnú farbu a odstráni sa z nej viditeľné hrudky plniva. Po dôkladnom premiešaní týchto materiálov sa laminačná zmes pomalým tečením vleje do formy.

Špachtľou a sklenou tyčinkou sa pridrižiava sklená tkanina, ktorá sa kladie do formy.

S tkaninou treba pracovať opatrne, aby sa predišlo jej možnému poškodeniu (narušenie pramencov), vzniku vzduchových bublín, prípadne nepatrnému možnému zaneseniu nečistôt do pripravovaného laminátu.

Po čiastočnej absorpcii živice sa zaleje tkanina ešte jednou tenkou vrstvou zmesi. Na povrch tohoto tekutého laminátu sa opäť položí fólia pre hladký a dokonalý vzhľad.

Takto zaliaty laminát sa zaťaží sklenou tabuľou a závažím. Nechá sa vytuhnúť za normálnych podmienok, bez urýchlenia reakcie pri laboratórnej teplote 23 °C.

Treba sledovať celý priebeh reakcie, pretože materiály spolu reagujú hneď po ich zmiešaní.

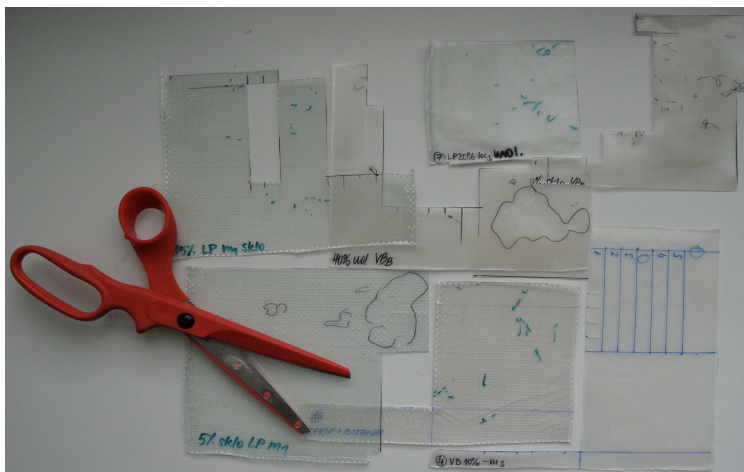


Obr. 48: Laboratórna príprava laminačných vzorkov, vlastné spracovanie

Pri tuhnutí môže dôjsť ku kryštalizácii, čo znamená, že sa živica zafarbí do mliečna.

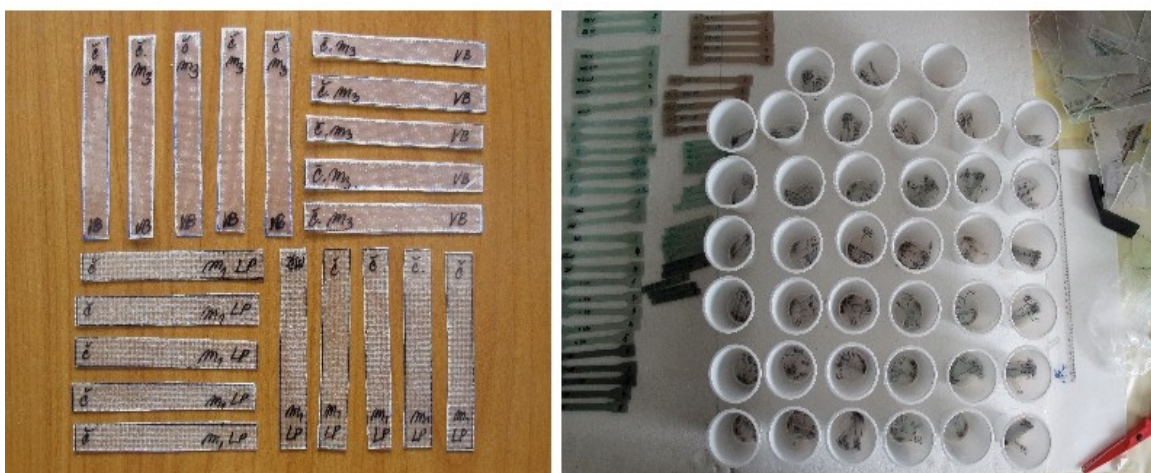
Tá býva zapríčinená zvýšenou viskozitou živice, ktorá má nepriaznivý vplyv na kvalitu a vlastnosti výsledného laminátu. Optimálna laboratórna teplota pre prácu so živicom je v rozmedzí 20 – 25 °C. Počas celej doby výroby laminátov bol v prevádzke digestor, pre odsávanie nebezpečných výparov. Po 12 hodinovom odstávaní sa vzorky vyberú z foriem,

ostrihajú sa ich prebytky a pomocou pravítka a fixy sa rozdelia na zvislú a vodorovnú časť. Z takéhoto laminátu sa pripravia vzorky v tvare pásika o veľkosti 1 x 7 cm, v počte kusov 5 na pozdĺžny smer a 5 na priečny smer.



Obr. 49: Používané nožnice a predkreslenie rozmerov na strihanie laminátových pásov pre ťahovú skúšku, vlastné spracovanie.

Každý z týchto vzorkov prejde jeho viacnásobným zmeraním šírky a hrúbky na mikrometri, priemerovaním hodnôt, vypočítaním plochy a následným vykonaním ťahovej skúšky.



Obrázok 4: Fotografia nachystaných vzorkov na ťahovú skúšku

Na nasledovnom obrázku sú odfotené vystrihnuté vzorky po pozdĺžnej a priečne strihanej sérii. V kelimkoch sú roztriedené vzorky skleneného laminátu pripraveného na ťahovú skúšku. Z nameraných hodnôt boli potrebné:

F_{max} maximálna sila pri pretrhnutí (N)

l_{max} maximálna vzdialenosť čelustí (mm)

σ_{max} maximálne napätie (MPa)

σ_{stress} medz pevnosti (MPa)

$F_{elast.}$ sila na medzi klzu (N)

E Youngov modul pružnosti (Mpa)

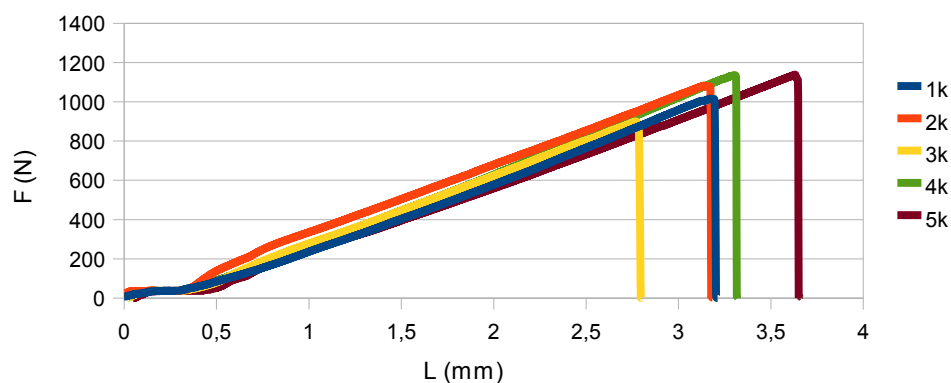
[30]

10.2 Výsledky zaznamenané pri ťahovej skúške

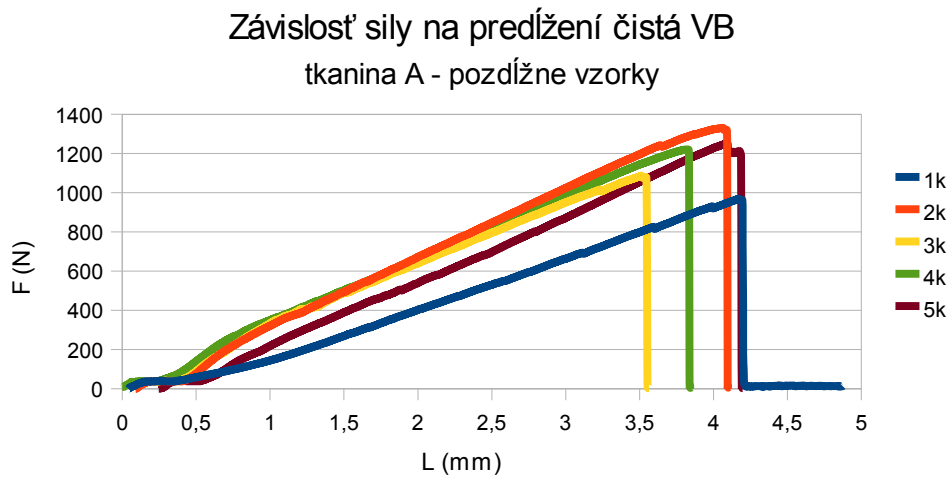
Tabuľka 1: Ťahová skúška čistého laminátu

pozdĺž	S (mm ²)	F _{max} (N)	L _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E _{slope} (MPa)
čisté tkanina A LP	5,58	1054	3,65	535,67	535,67	427	373
čisté tkanina A VB	6,21	1349	4,23	519,63	519,63	438	359
čisté tkanina B LP	6,50	550	2,75	178,46	178,46	1102	277
čisté tkanina B VB	5,19	462	2,61	85,92	85,92	954	332
pozdĺž							
čisté tkanina A LP	6,29	1077	3,25	540,91	540,91	379	375
čisté tkanina A VB	7,65	1378	3,61	671,25	671,25	424	381
čisté tkanina B LP	4,76	578	2,58	239,98	239,98	1663	453
čisté tkanina B VB	6,23	485	2,67	89,94	89,94	650	288

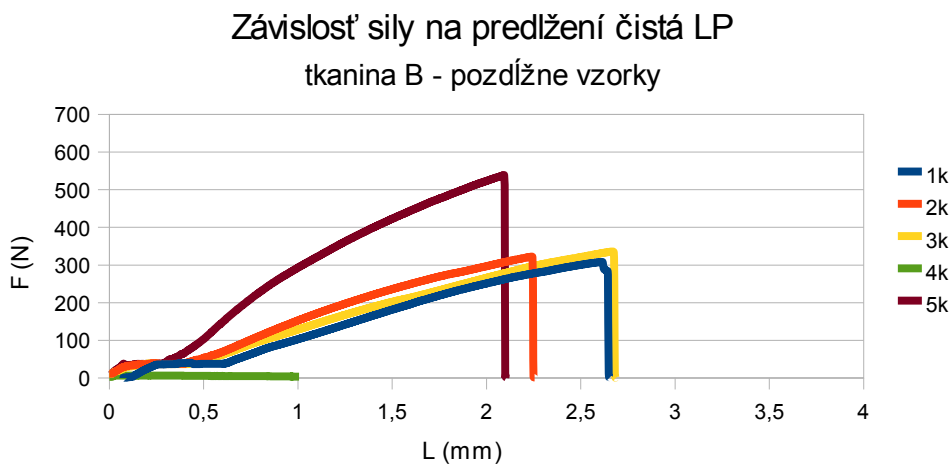
Závislosť sily na predĺžení čista LP
tkanina A - pozdĺžne vzorky



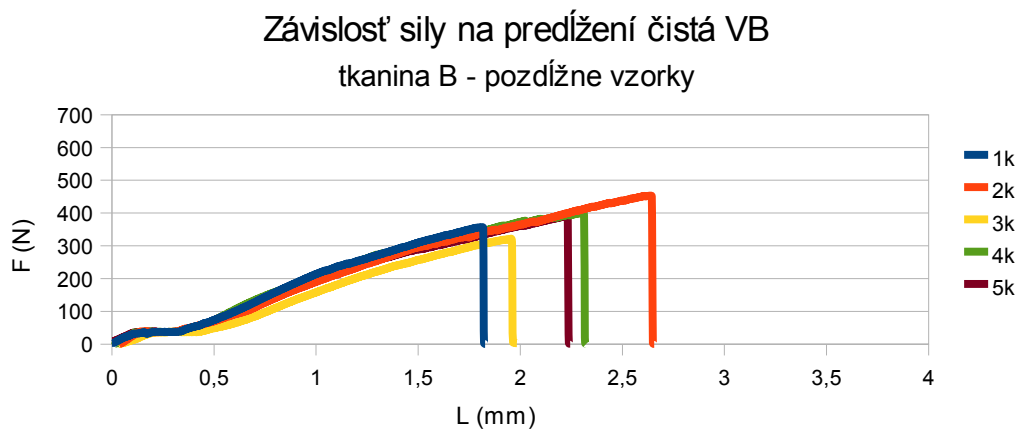
Obr. 50: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté LP vzorky - k



Obr. 51: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté VB vzorky - k

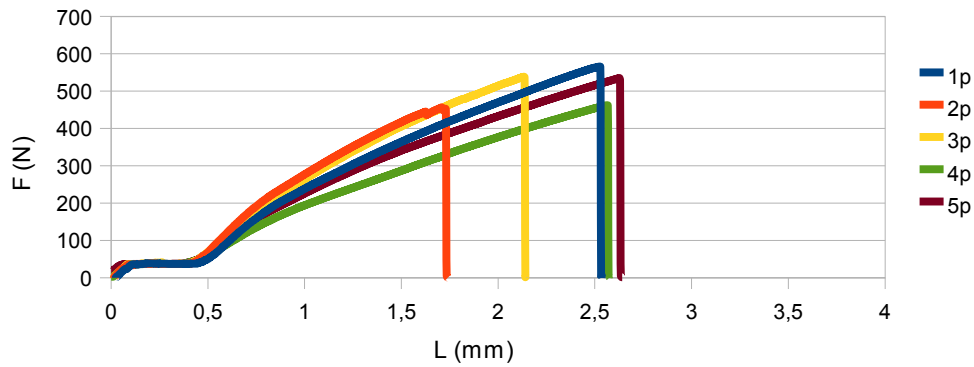


Obr. 52: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté LP vzorky - k



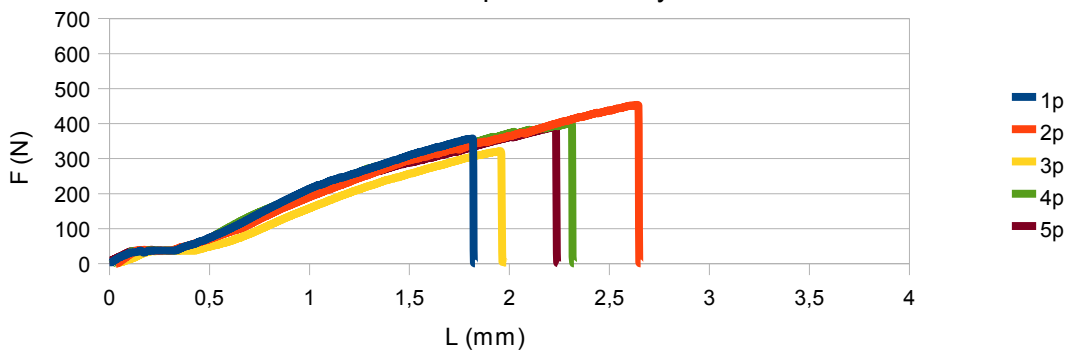
Obr. 53: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté VB vzorky - k

Závislost síly na predĺžení čistá LP
tkanina B priečne vzorky



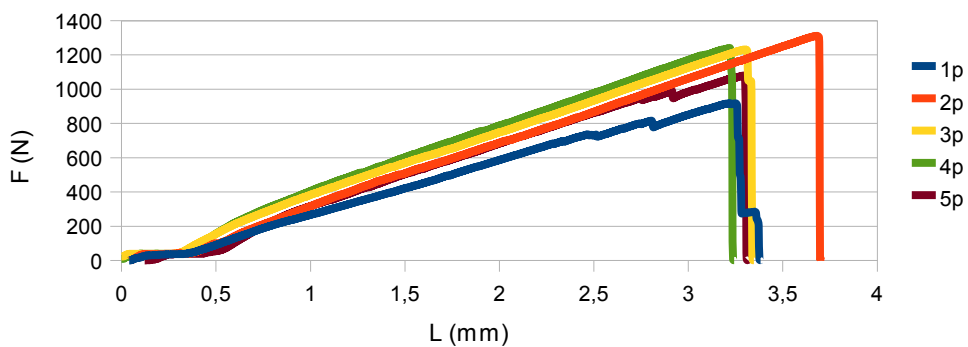
Obr. 54: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté LP vzorky - p

Závislosť síly na predĺžení čistá VB
tkanina B - priečne vzorky



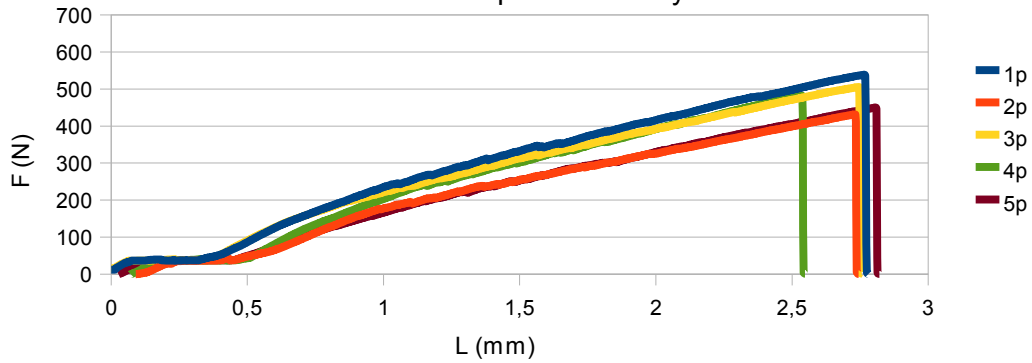
Obr. 55: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté VB vzorky - p

Závislosť síly na predĺžení čistá VB
tkanina A - priečne vzorky



Obr. 56: Grafická závislosť nameraných veličín pre čisté VB vzorky - p

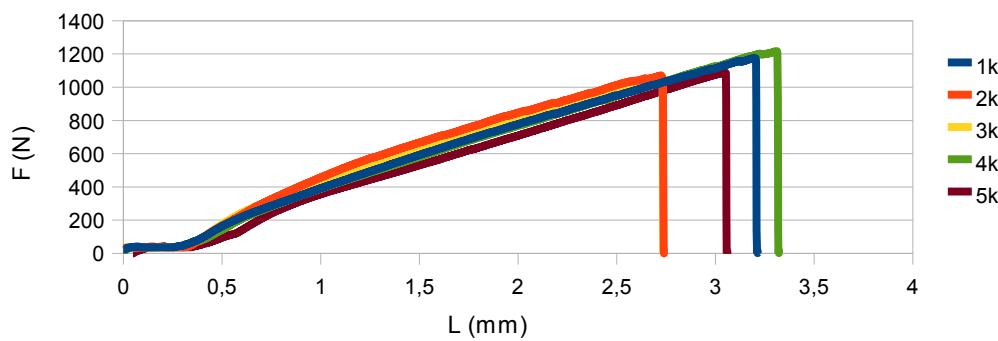
Závislost' síly na predžzení čistá VB
tkanina B priečne vzorky



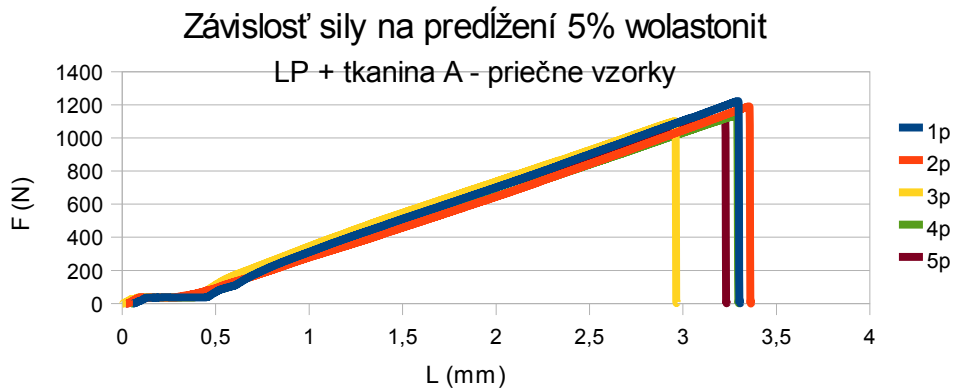
Tab. 27: Ťahová skúška laminátu LP + tkanina + Wolastonit

Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina A + wolastonit							
pozdíž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E _{slope} (MPa)
5%	5,85	1124	3,00	192,43	192,43	4 182	209
10%	8,42	1115	3,20	134,67	134,67	7 200	638
15%	6,91	1119	3,32	165,83	165,83	7 910	476
20%	5,24	1245	3,49	237,29	237,29	6 458	300
priečne							
5%	5,19	1157	3,22	191,30	191,30	11 506	548
10%	7,25	1243	3,24	172,06	172,06	9 767	644
15%	6,50	1001	2,75	155,24	155,24	7 706	447
20%	4,57	1114	3,20	243,91	243,91	11 783	485

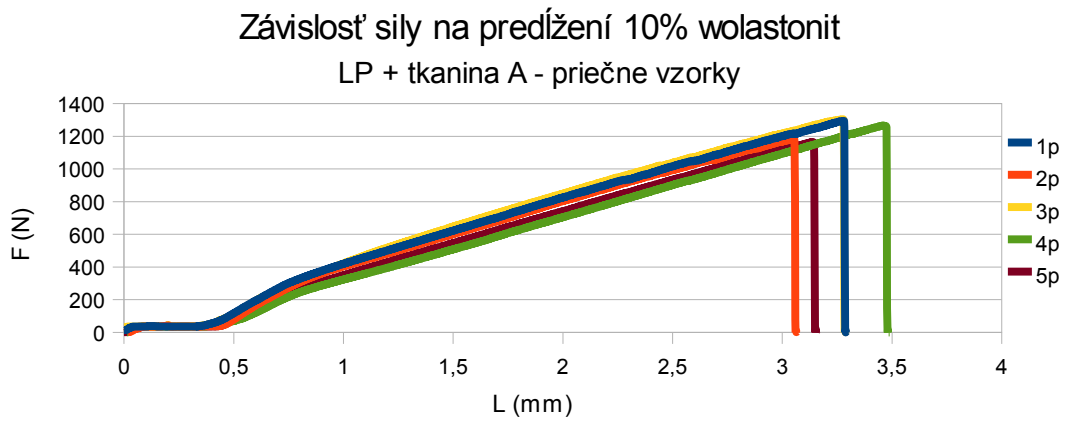
Závislost' síly na predžzení 5% wolastonit
LP + tkanina A - pozdížne vzorky



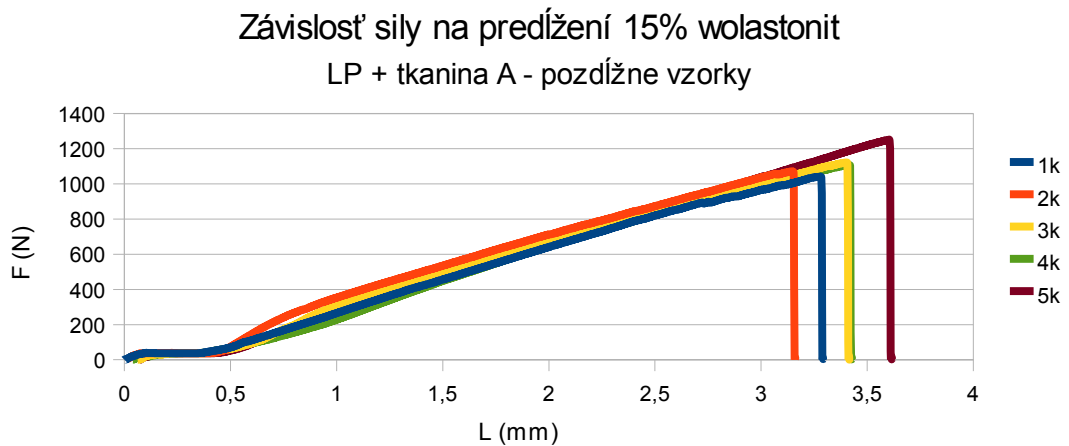
Obr. 57: Grafická závislost' nameraných veličín pre 5% wolastonit LP - k



Obr. 58: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonit LP - p



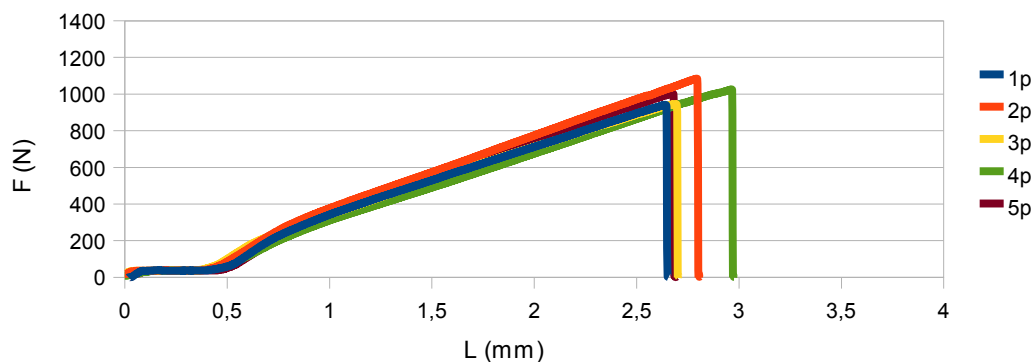
Obr. 60: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% wolastonit LP - p



Obr. 61: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% wolastonit LP - k

Závislost síly na predžzení 15% wolastonit

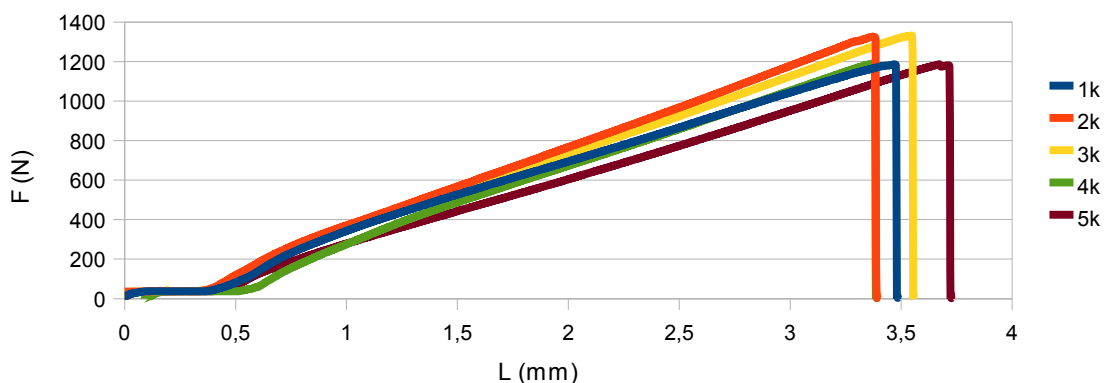
LP + tkanina A - priečne vzorky



Obr. 62: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonit LP - p

Závislost síly na predžzení 20% wolastonit

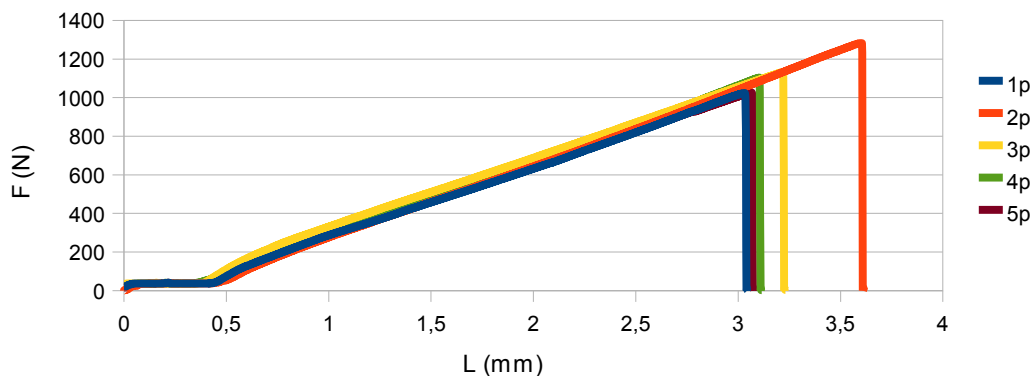
LP + tkanina A - pozdžžne vzorky



Obr. 63: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonit LP - k

Závislost síly na predžzení 20% wolastonitu

LP + tkanina A - priečne vzorky

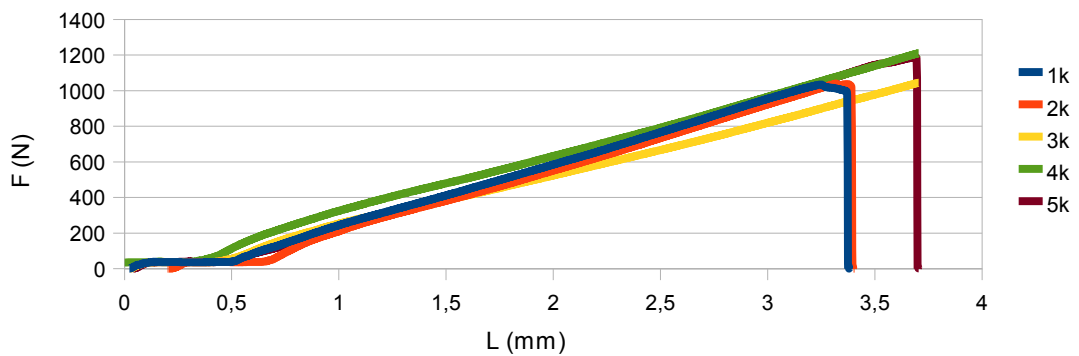


Obr. 64: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonit LP - p

Tab. 28: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina A + sklený prach.

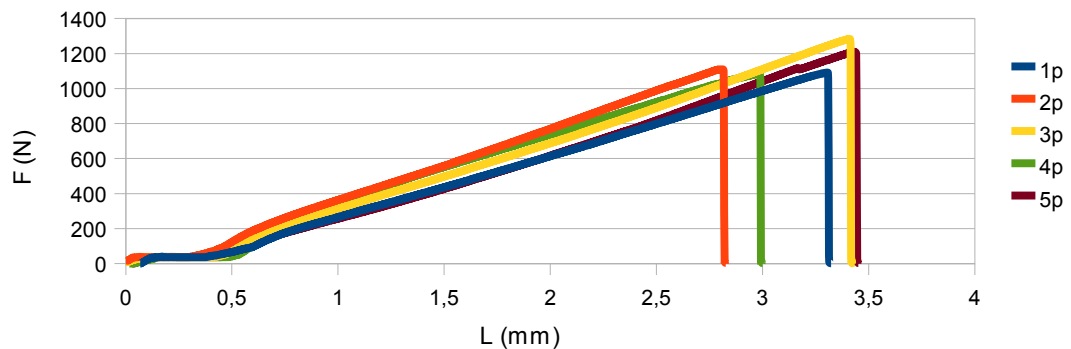
Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina A + sklený prach							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{B, stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E _{slope} (MPa)
5%	4,10	1 121	3,59	261,90	261,90	16 367	636
10%	6,29	1 121	3,32	179,55	179,55	9 405	445
15%	3,83	1 051	3,44	247,02	247,02	14 041	552
20%	6,55	1 145	3,36	186,23	186,23	9 621	549
priechne							
5%	3,47	1 156	3,19	266,52	266,52	10 890	444
10%	4,76	1 039	2,60	203,51	203,51	-	-
15%	3,97	719	3,05	249,01	249,01	14 561	557
20%	7,65	1 086	3,02	177,76	177,76	6 680	388

Závislosť sily na predĺžení 5% skleného prachu LP + tkanina A - pozdĺžne vzorky

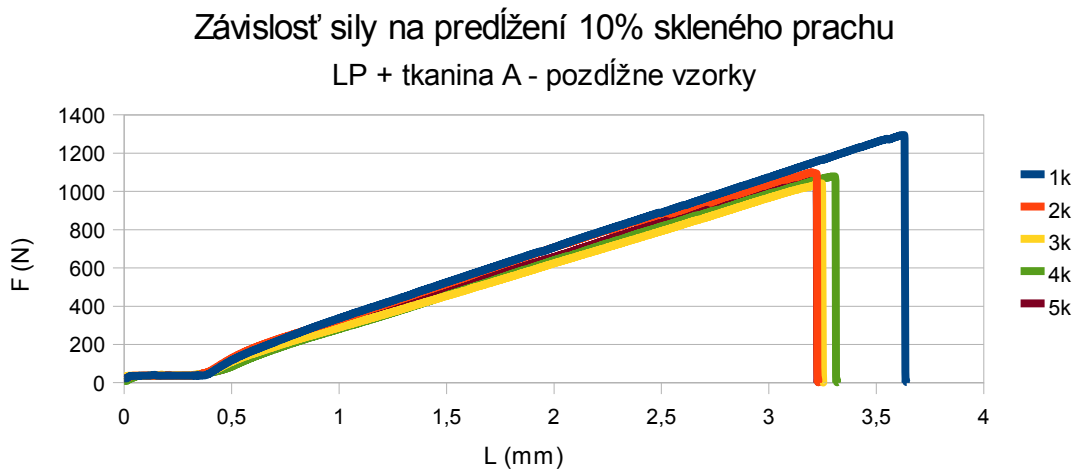


Obr. 65: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - k

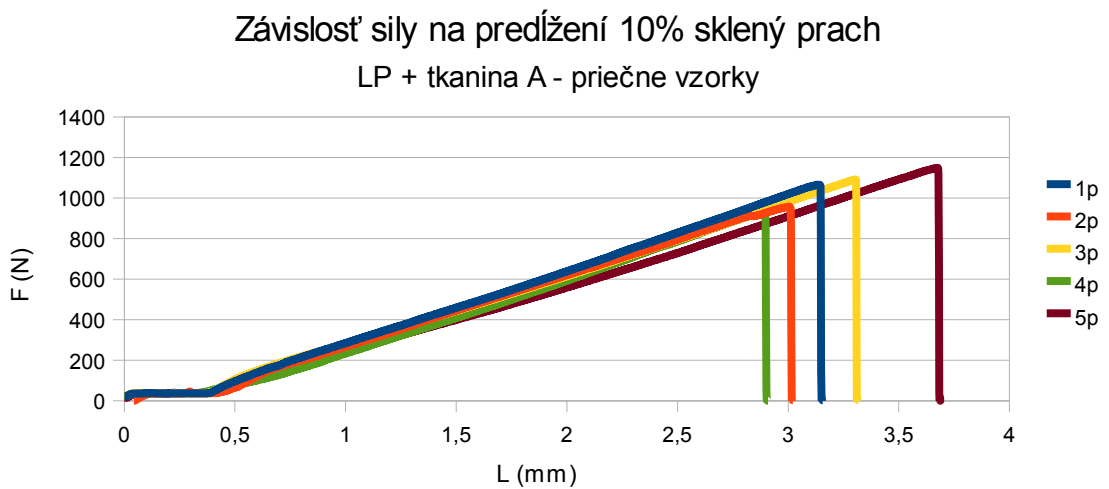
Závislosť sily na predĺžení 5% skleného prachu LP + tkanina A - priečne vzorky



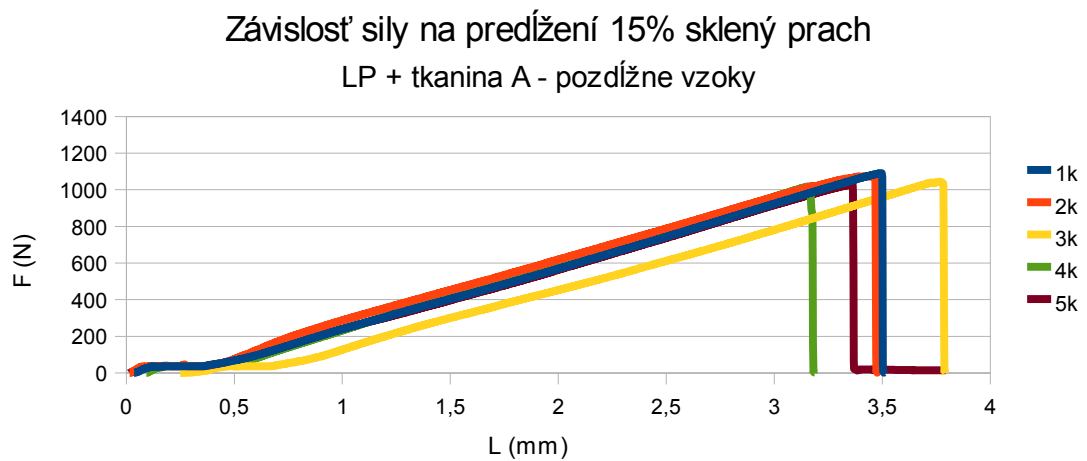
Obr. 66: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - p



Obr. 67: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - k

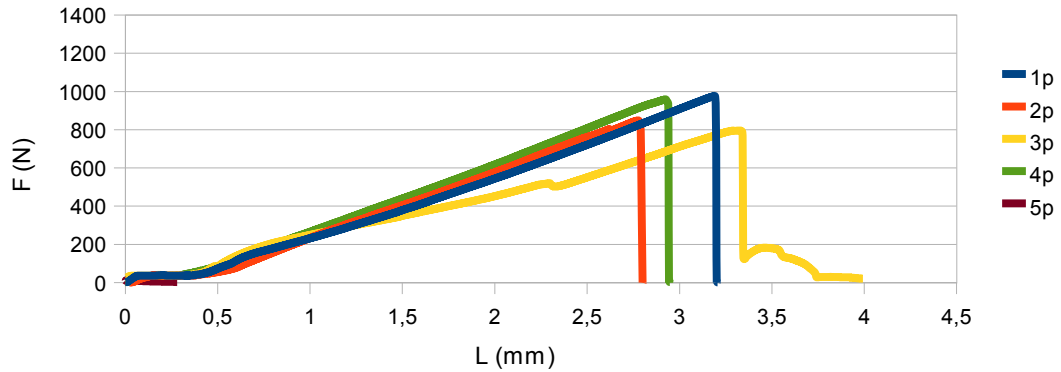


Obr. 68: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - p



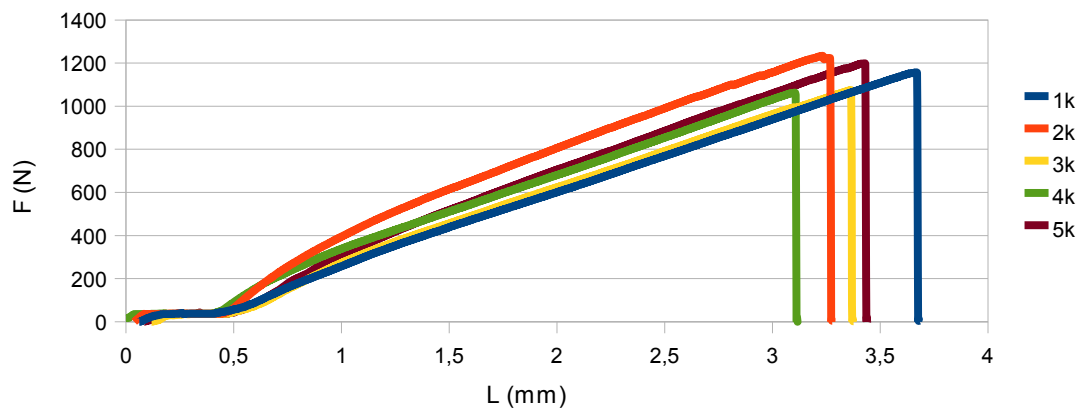
Obr. 69: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - k

Závislost síly na predĺžení 15% sklený prach
LP + tkanina A - priečne vzorky



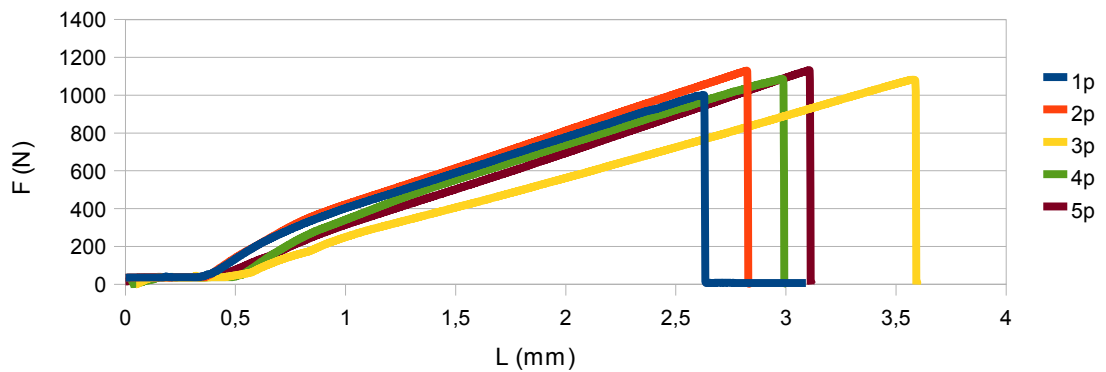
Obr. 70: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - p

Závislosť síly na predĺžení 20% sklený prach
LP + tkanina A - pozdĺžne vzorky



Obr. 71: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - k

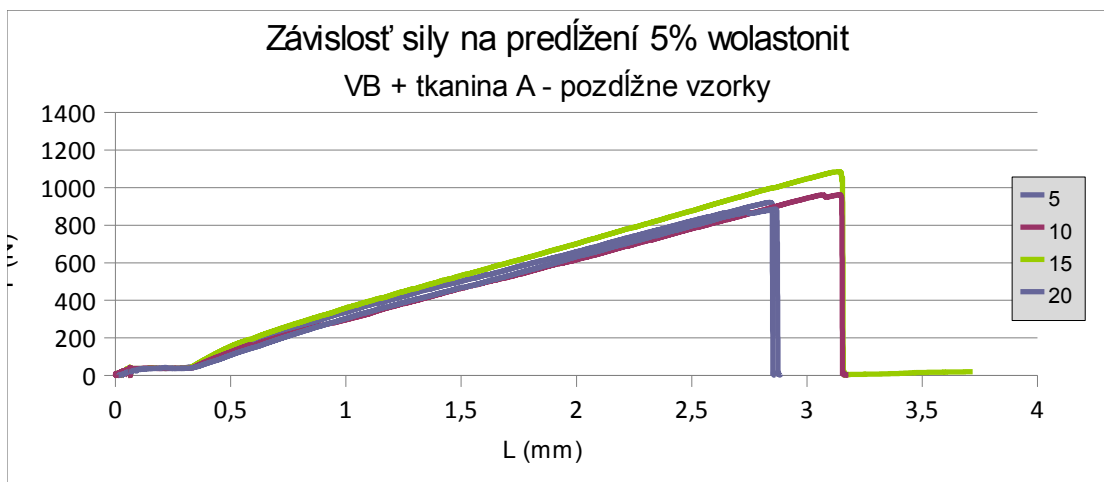
Závislosť síly na predĺžení 20% sklený prach
LP + tkanina A - priečne vzorky



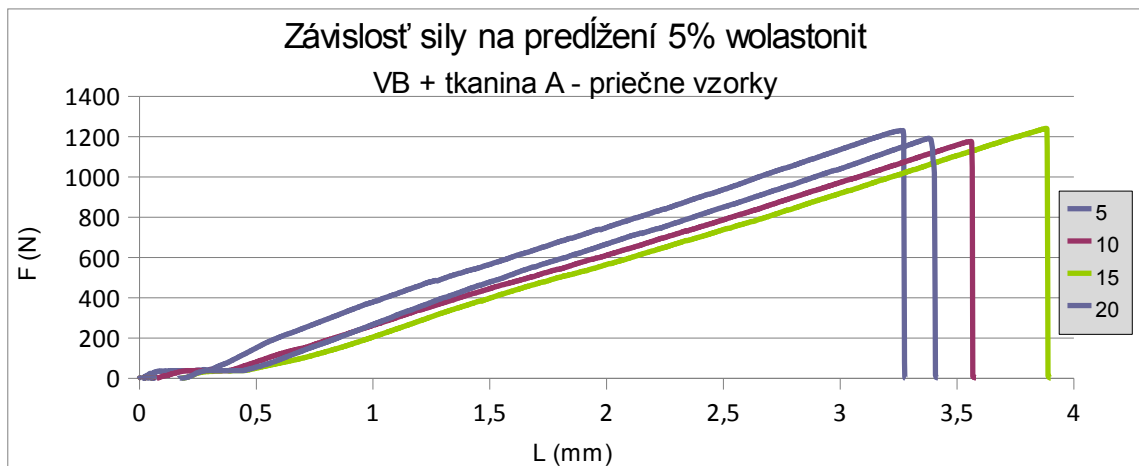
Obr. 72: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - p

Tab. 29: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + wolastonit.

Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + wolastonit							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{B.stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E _{slope} (MPa)
5%	6,08	1 009	3,09	188,51	188,51	9 628	395
10%	9,09	1 102	3,41	134,01	134,01	6 423	459
15%	5,34	966	3,07	113,83	113,83	6 488	515
20%	5,55	1 048	3,11	208,2	208,20	10 434	476
priechne							
5%	5,63	1 206	3,44	188,51	188,51	8 995	554
10%	6,40	1 184	3,39	164,63	164,63	8 180	564
15%	7,15	1 155	2,85	175,02	175,02	8 515	478
20%	4,53	1 153	3,08	200,58	200,58	11 373	591



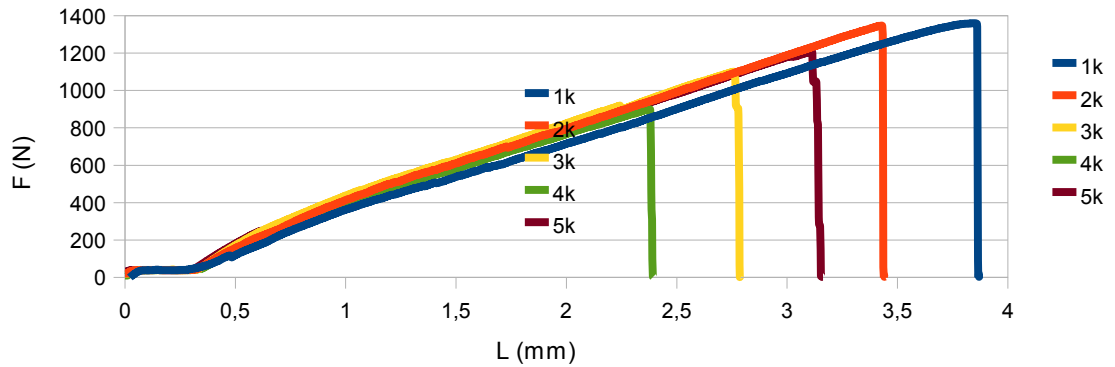
Obr. 73: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k



Obr. 74: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - p

Závislost síly na predžzení 10% wolastonit

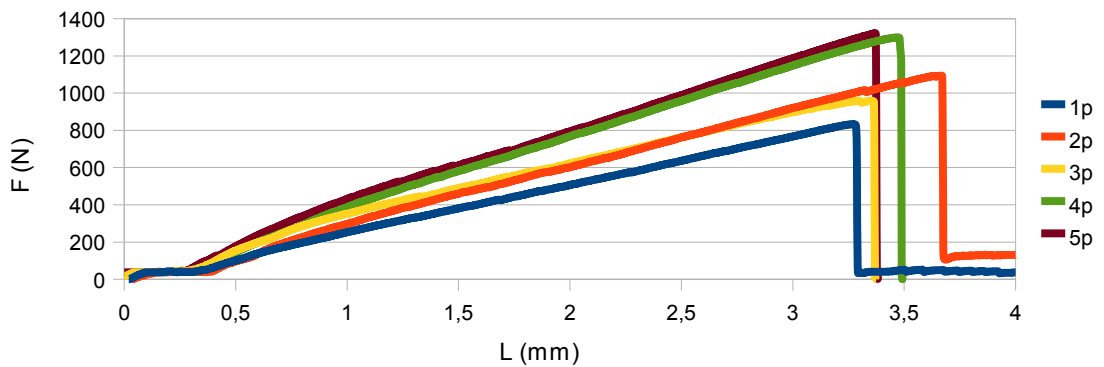
VB + tkanina A - pozdžžne vzorky



Obr. 75: Grafická závislost nameraných veličin pre 10% wolastonitu VB -k

Závislost síly na predžzení 10% wolastonit

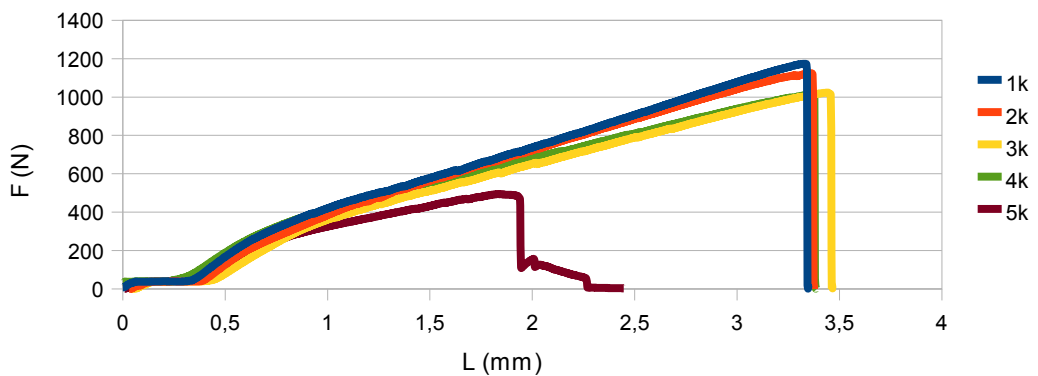
VB + tkanina A - priečne vzorky



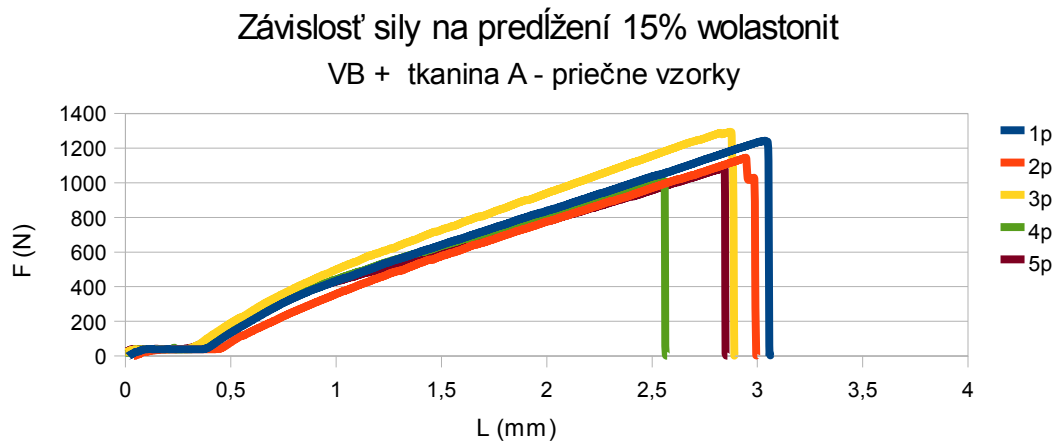
Obr. 76: Grafická závislost nameraných veličin pre 10% wolastonitu VB -p

Závislost síly na predžzení 15% wolastonit

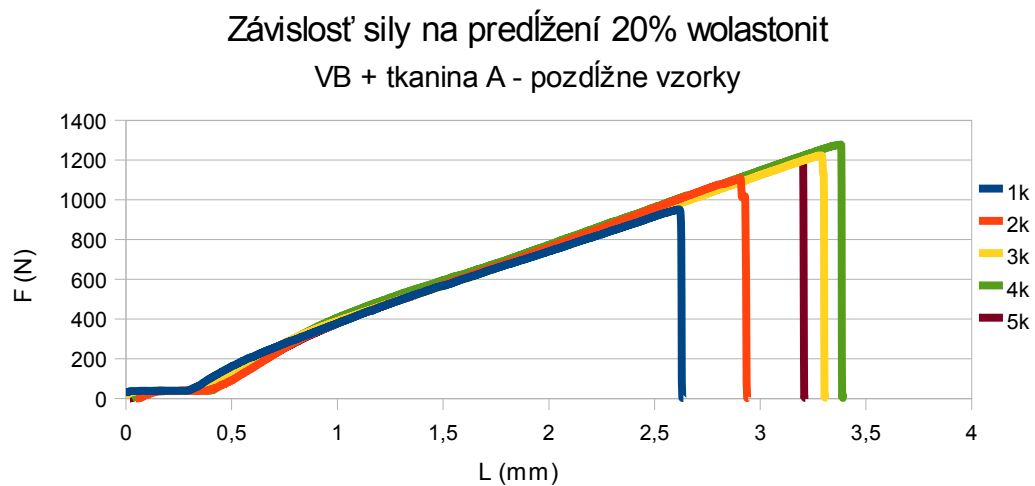
VB + tkanina A - pozdžžne vzorky



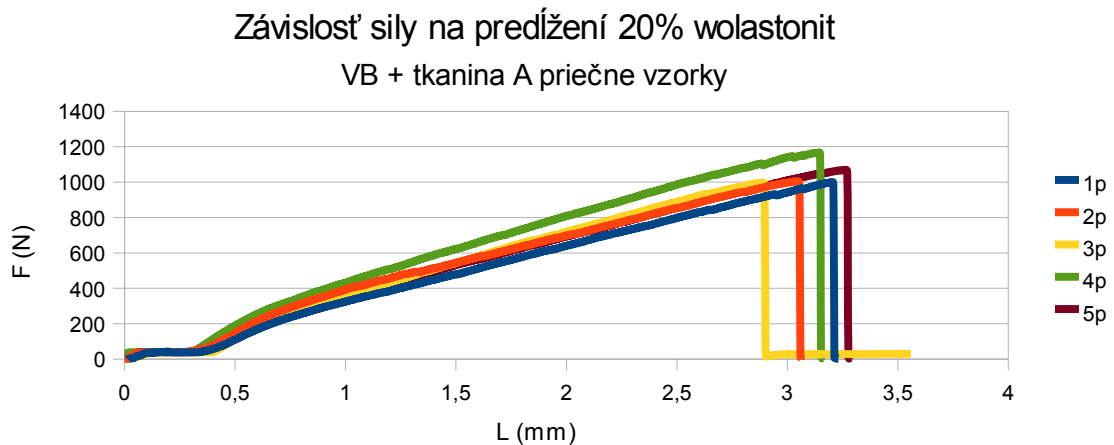
Obr. 77: Grafická závislost nameraných veličin pre 15% wolastonitu VB -k



Obr. 78: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB -p



Obr. 79: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB -k



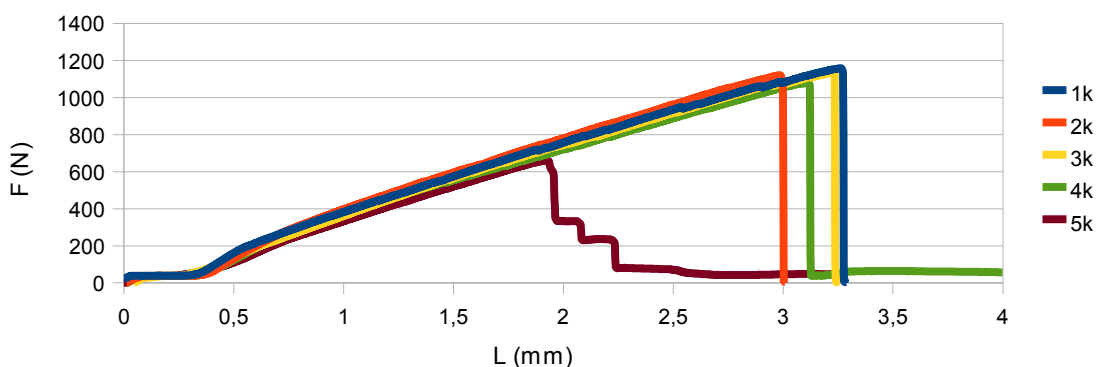
Obr. 80: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB -p

Tab. 30: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + sklený prach.

Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + sklený prach							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{B.stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	5,66	999	2,90	178,38	178,38	5 511	274
10%	6,43	1 106	3,33	172,32	172,32	9 083	527
15%	4,71	954	2,85	207,64	207,64	11 072	533
20%	7,42	1 098	3,26	148,12	148,12	6 323	438
prične							
5%	6,65	1 030	2,90	156,06	156,06	8 475	633
10%	4,58	976	2,91	214,95	214,95	12 442	513
15%	6,90	1 133	3,16	168,87	168,87	7 605	477
20%	6,02	1 038	2,89	173,44	173,44	6 317	3

Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach

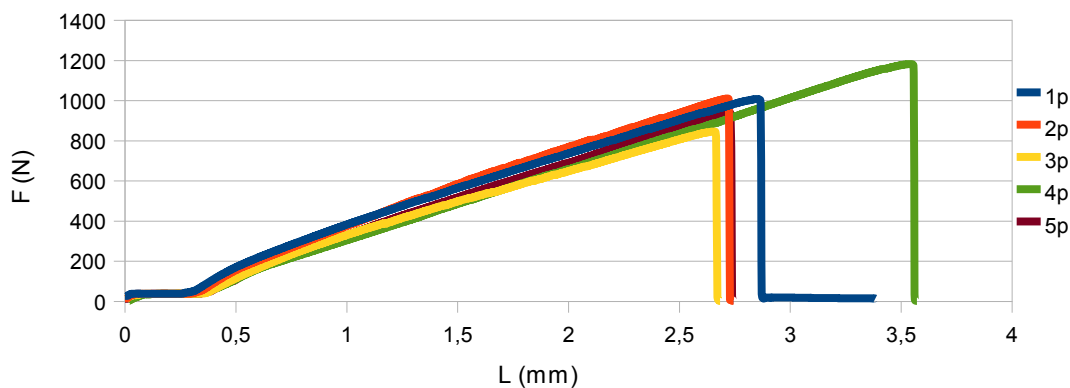
VB + tkanina A - pozdĺžne vzorky



Obr. 81: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB -k

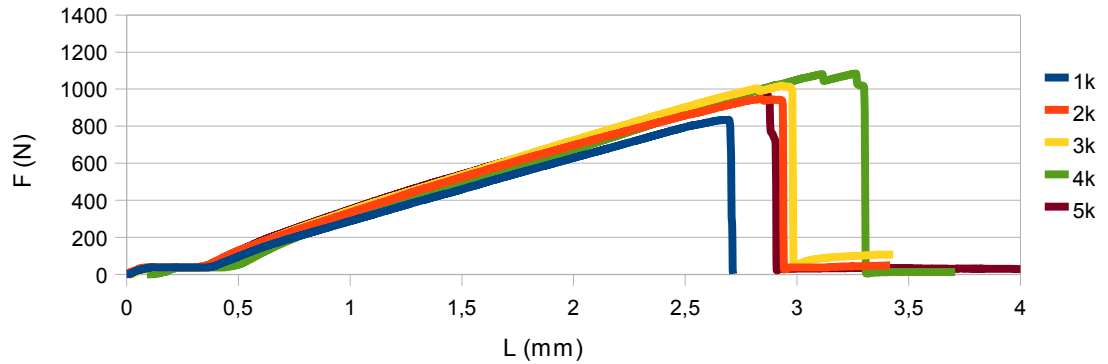
Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach

VB + tkanina A - priečne vzorky



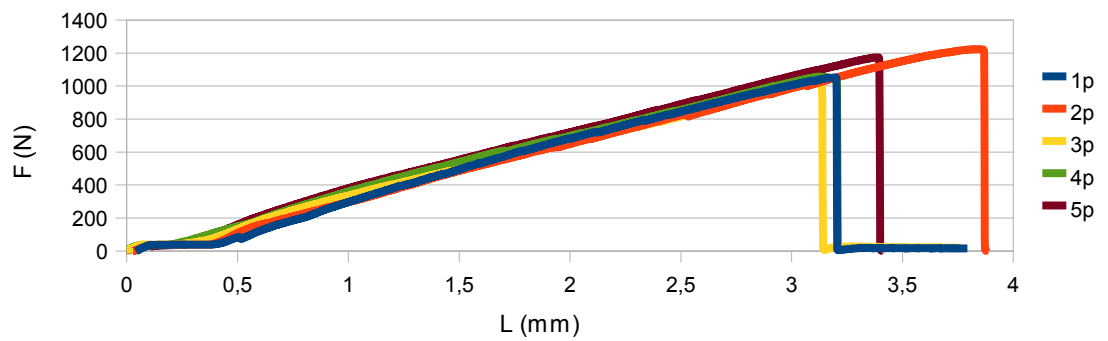
Obr. 82: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB -p

Závislost síly na predĺžení 10% sklený prach
VB + tkanina A - pozdĺžne vzorky



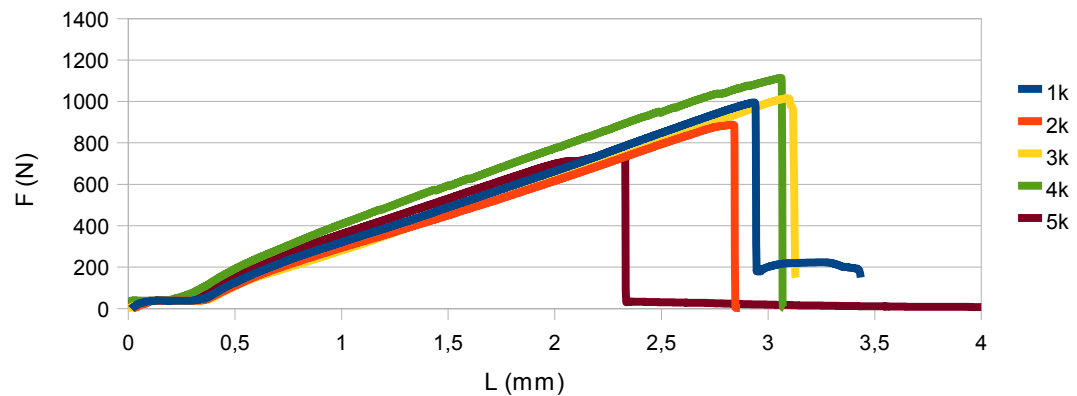
Obr. 83: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB -k

Závislosť síly na predĺžení 10% sklený prach
VB + tkanina A - priečne vzorky



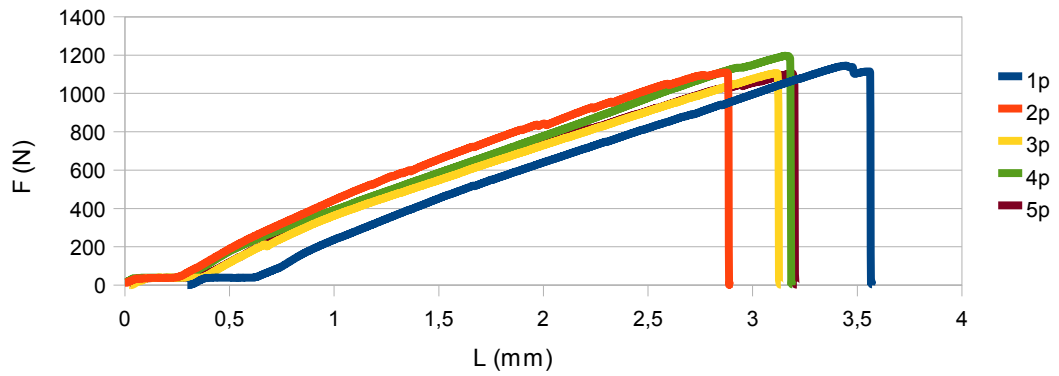
Obr. 84: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB -p

Závislosť síly na predĺžení 15% sklený prach
VB + tkanina A - pozdĺžne vzorky



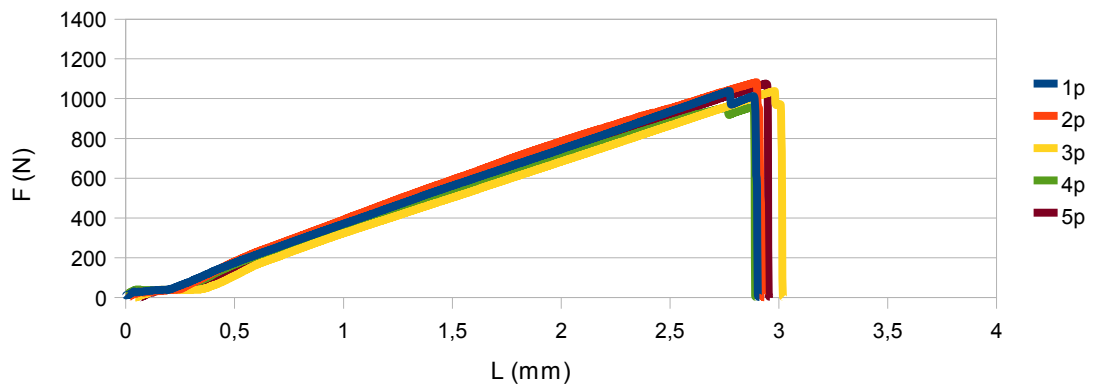
Obr. 85: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB -k

Závislost síly na predžzení 15% sklený prach
VB + tkanina A - priečne vzorky



Obr. 86: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - p

Závislost síly na predžzení 20% sklený prach
VB + tkanina A - priečne vzorky



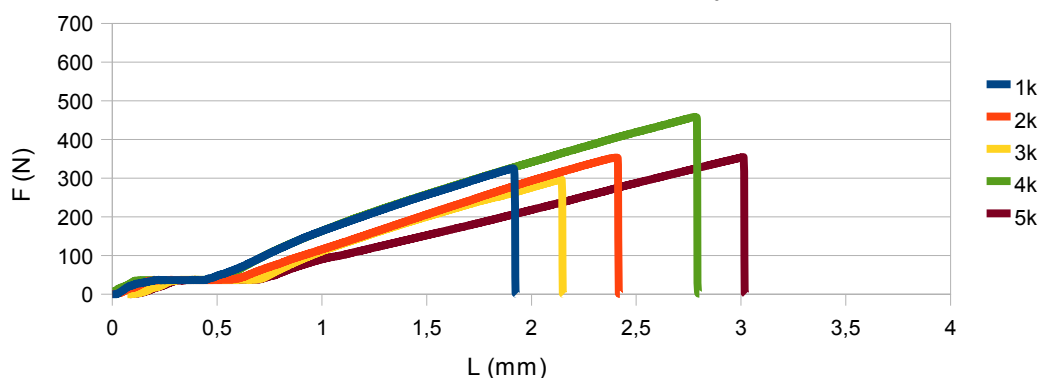
Obr. 87: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - p

Tab. 31: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + wolastonit.

Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + wolastonit							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	2,34	358	2,45	162,41	162,41	11 294	224
10%	3,21	420	24,11	142,64	142,64	7 028	184
15%	3,03	410	2,56	149,94	149,94	7 532	190
20%	2,91	407	2,55	137,9	137,9	5 994	156
priechne							
5%	2,54	395	2,29	159,52	159,52	10 326	223
10%	2,54	430	2,50	137,71	137,71	7 686	212
15%	3,11	409	2,54	150,54	150,54	6 961	174
20%	3,28	387	2,24	116,75	116,75	6 723	196

Závislosť sily na predĺžení 5% wolastonit

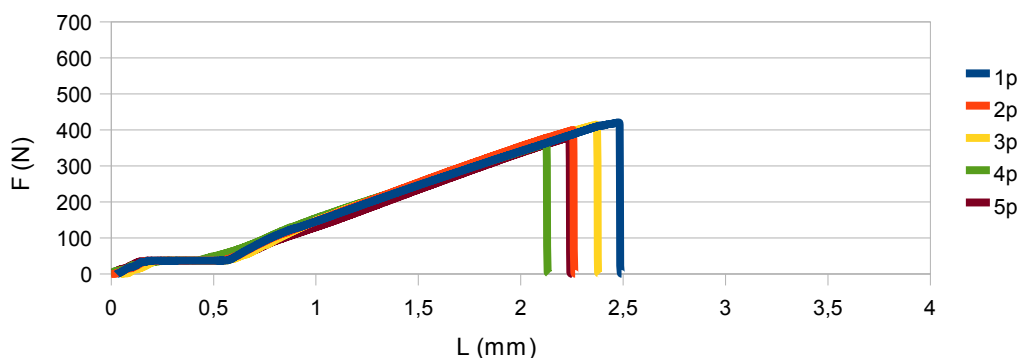
LP tkanina B - pozdĺžne vzorky



Obr. 89: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k

Závislosť sily na predĺžení 5% wolastonit

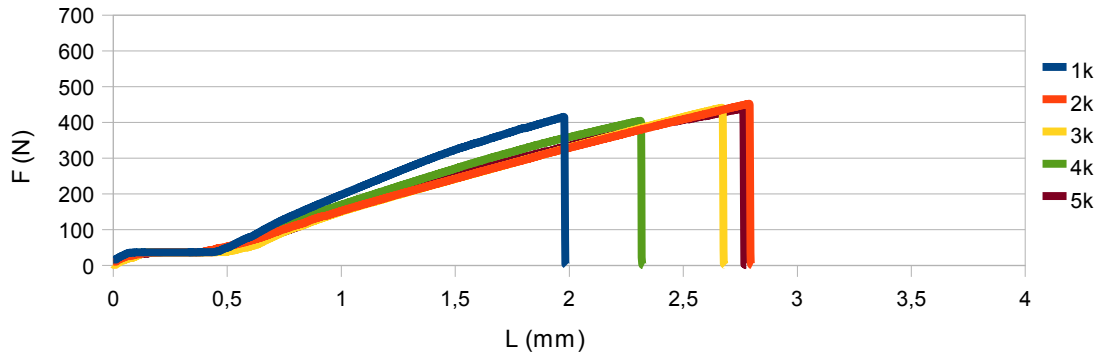
LP tkanina B - priechne vzorky



Obr. 90: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - p

Závislost' síly na predžzení 10% wolastonit

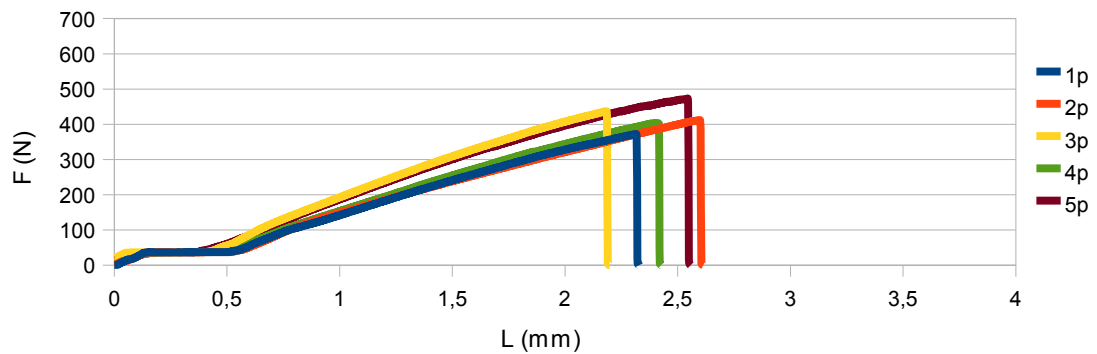
LP + tkanina B - pozdžžne vzorky



Obr. 91: Grafická závislost' nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - k

Závislost' síly na predžzení 10% wolastonit

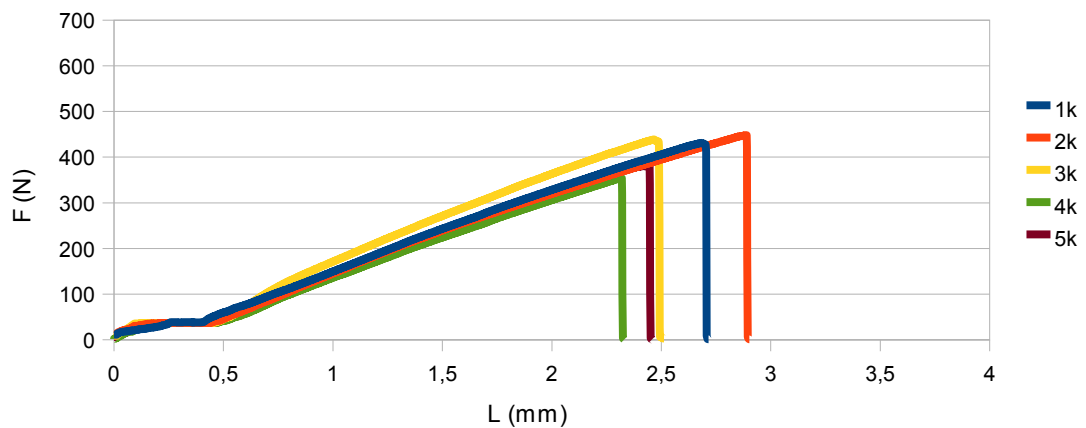
LP + tkanina B - priečne vzorky



Obr. 92: Grafická závislost' nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - p

Závislost' síly na predžzení 15% wolastonit

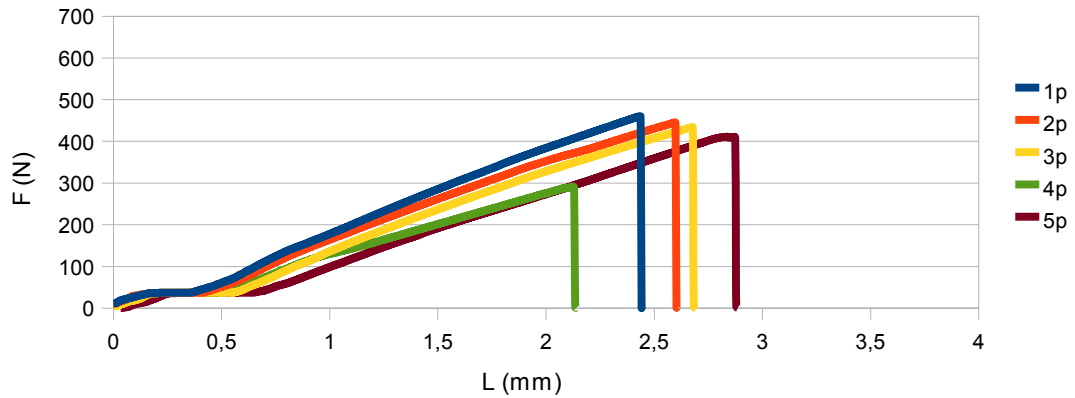
LP + tkanina B - pozdžžne vzorky



Obr. 93: Grafická závislost' nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - k

Závislost síly na predĺžení 15% wolastonit

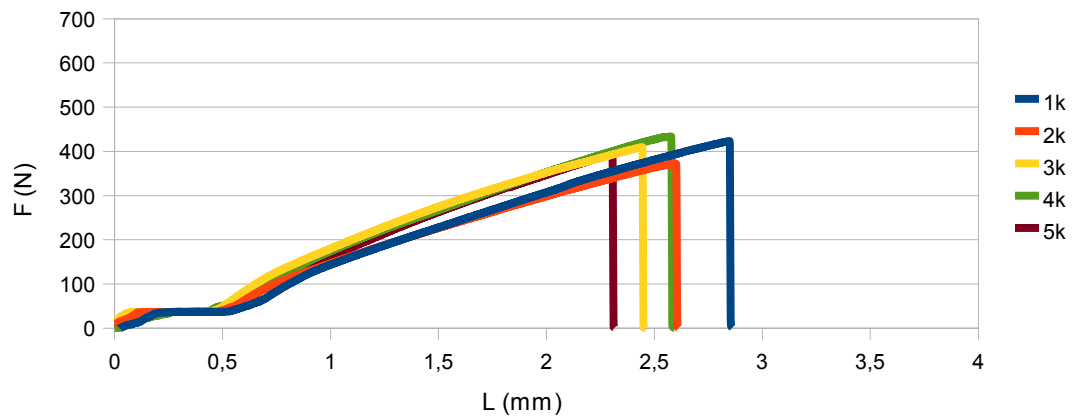
LP + tkanina B - priečne vzorky



Obr. 94: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - p

Závislosť síly na predĺžení 20% wolastonit

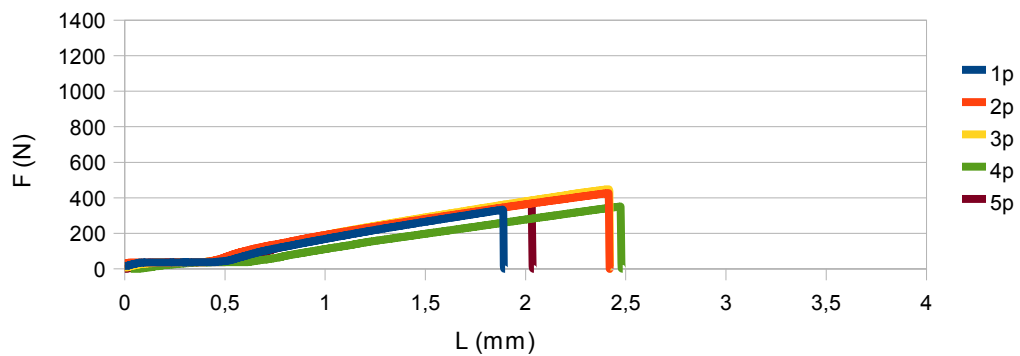
LP + tkanina B - pozdĺžne vzorky



Obr. 95: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k

Závislosť síly na predĺžení 20% wolastonit

LP + tkanina B priečne vzorky

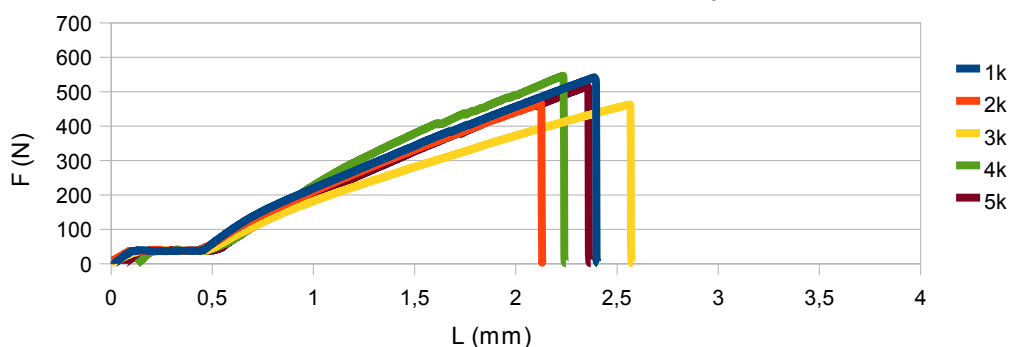


Obr. 96: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k

Tab. 32: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + sklený prach

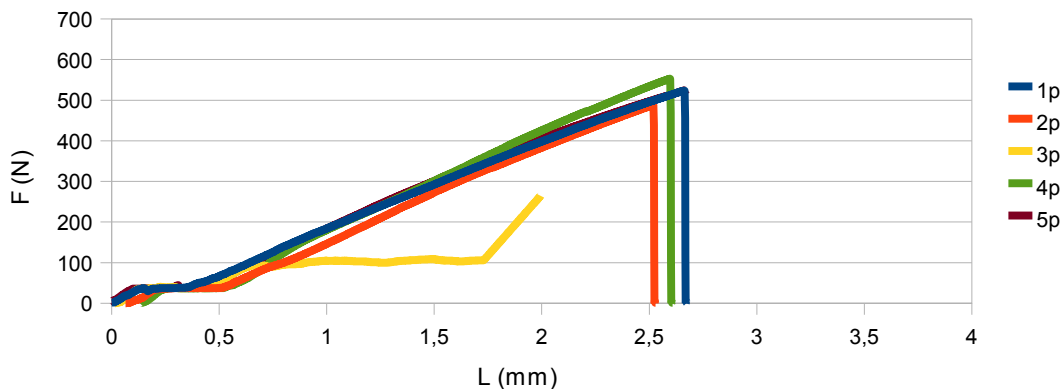
Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + sklený prach							
pozdlíž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{B, stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	3,678	506	2,34	120,12	120,12	10 509	403
10%	3,070	457	2,46	132,07	132,07	8 717	276
15%	3,698	504	2,61	129,32	129,32	7 744	275
20%	4,451	527	2,34	111,24	1111,24	5 874	262
priecne							
5%	4,961	444	2,42	96,18	96,18	7 995	366
10%	5,903	532	2,45	108,88	108,88	10 228	458
15%	5,035	580	2,62	116,43	116,43	9 006	419
20%	3,617	512	2,33	116,43	116,43	12 509	403

Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach
LP + tkanina B - pozdlžne vzorky

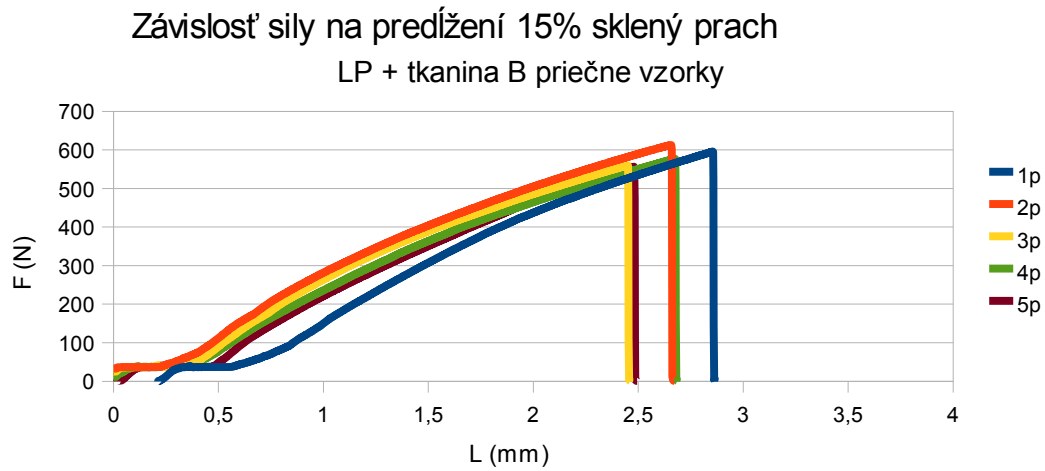


Obr. 97: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu - k

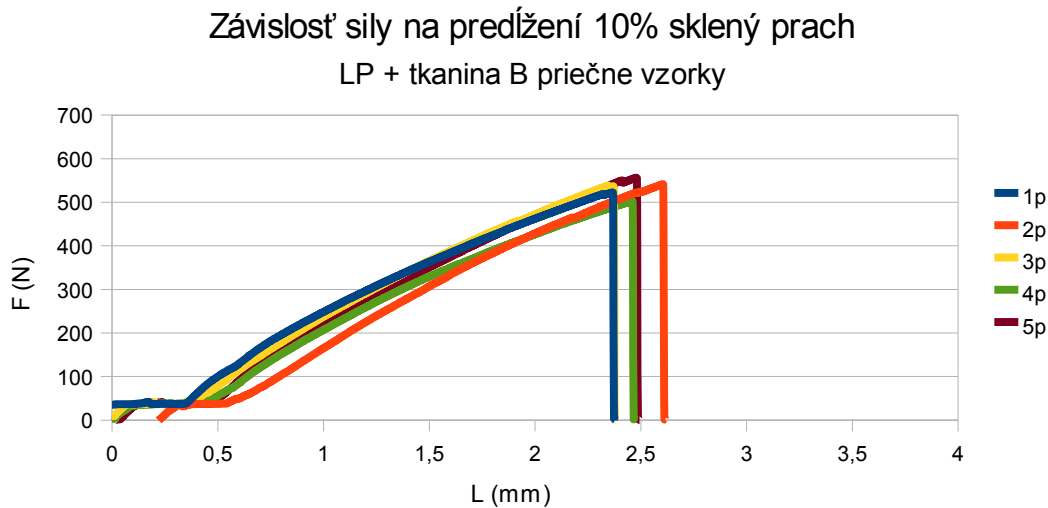
Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach
LP + tkanina B - priecne vzorky



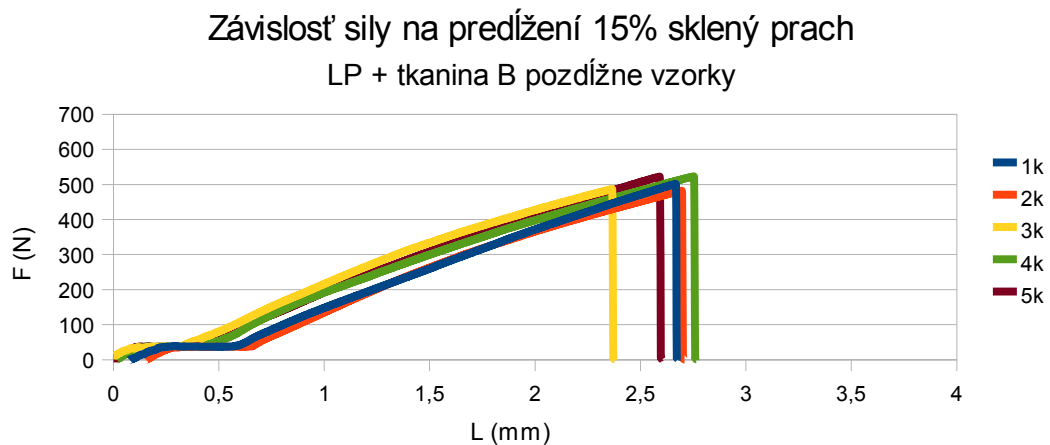
Obr. 98: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - p



Obr. 99: Grafická závislost' nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - p_x



Obr. 103: Grafická závislost' nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - p



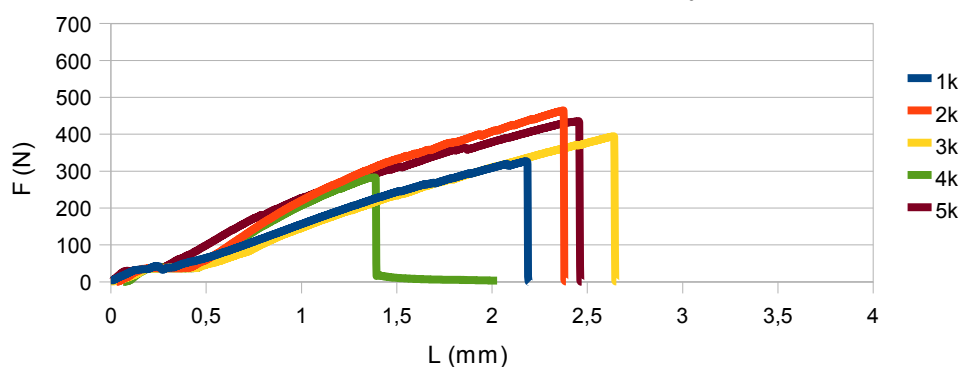
Obr. 104: Grafická závislost' nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - k

Tab. 33: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina B + wolastonit.

Ťahová skúška laminátu – VB + tkanina B + wolastonit							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	3,85	381	2,21	100,92	100,92	8 948	310
10%	3,29	380	2,40	109,79	109,79	8 338	264
15%	4,70	412	2,50	92,78	92,78	8 104	303
20%	3,93	404	2,70	342,6	342,6	5 786	254
priechne							
5%	5,45	442	2,39	85,20	85,2	6 069	314
10%	3,72	431	2,49	115,85	115,85	8 940	302
15%	6,15	422	2,64	68,65	68,65	7 907	441
20%	3,47	397	2,89	118,18	118,18	7 114	163

Závislosť sily na predĺžení 5% wolastonit

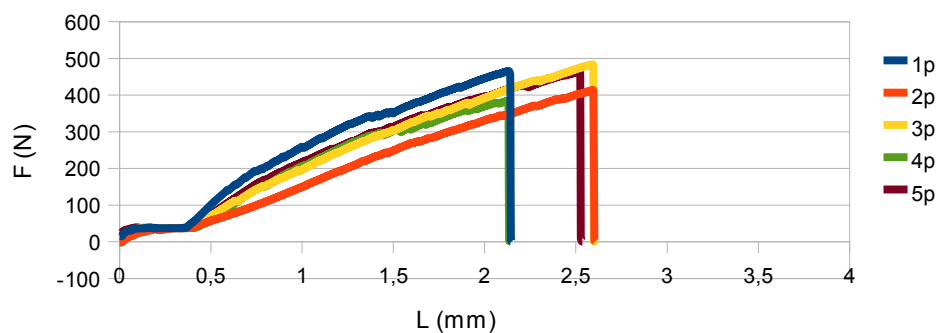
VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky



Obr. 105: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k

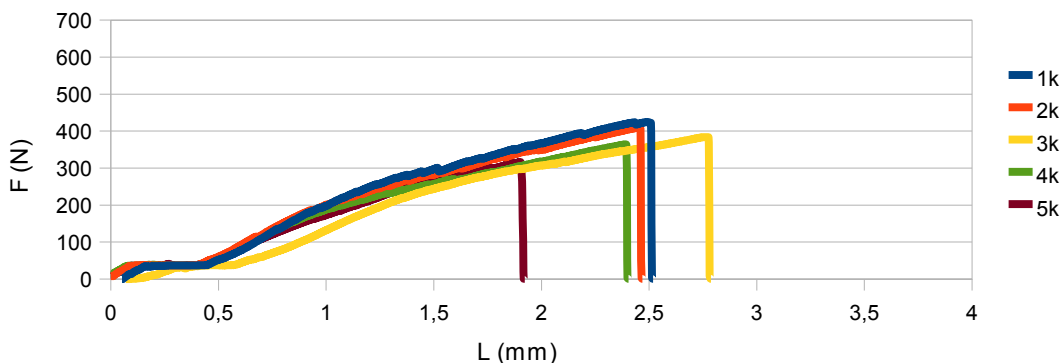
Závislosť sily na predĺžení 5% wolastonit

VB + tkanina B priečne vzorky



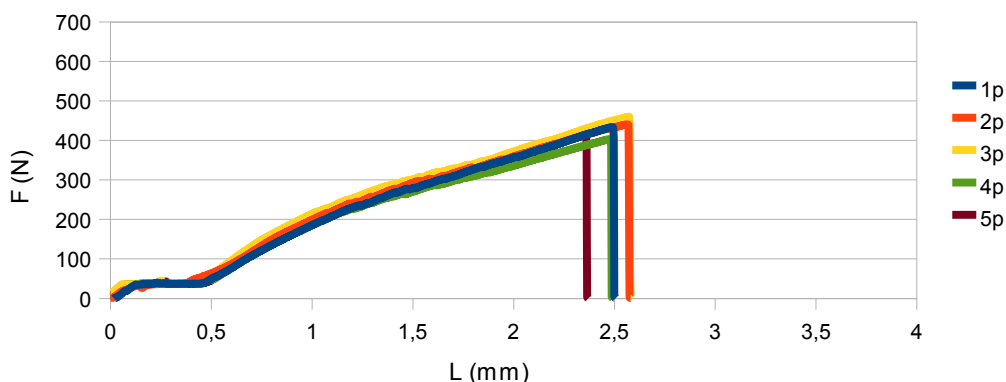
Obr. 106: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - p

Závislost síly na predžení 10% wolastonitu
 VB + tkanina B - pozdízne vzorky



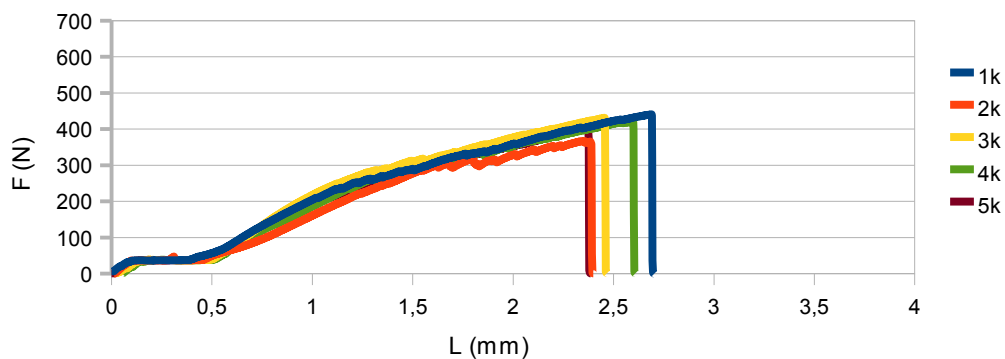
Obr. 107: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - k

Závislost síly na predžení 10% wolastonitu
 VB + tkanina B - priečne vzorky



Obr. 108: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - p

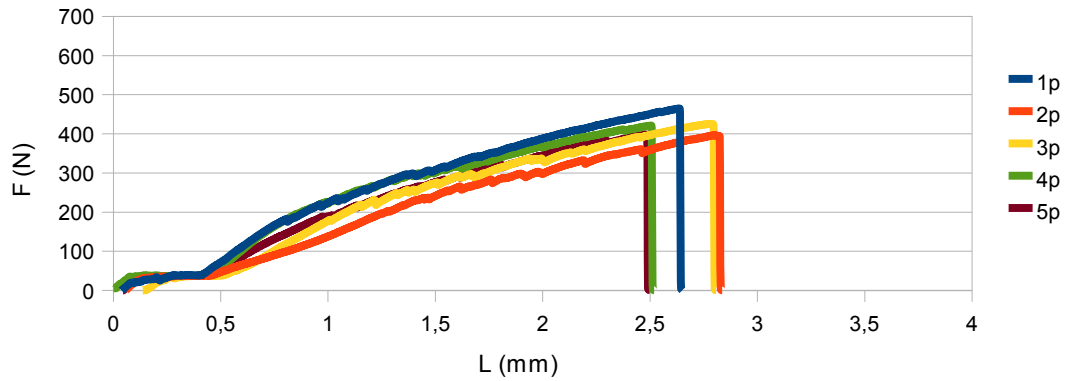
Závislost síly na predžení 15% wolastonitu
 VB + tkanina B - pozdízne vzorky



Obr. 109: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - k

Závislost síly na predžiení 15% wolastonit

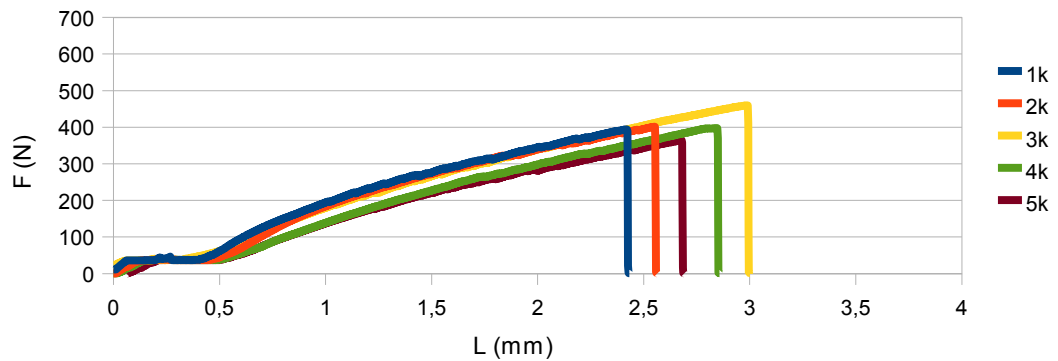
VB + tkanina B - priečne vzorky



Obr. 110: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - p

Závislost síly na predžiení 20% wolastonit

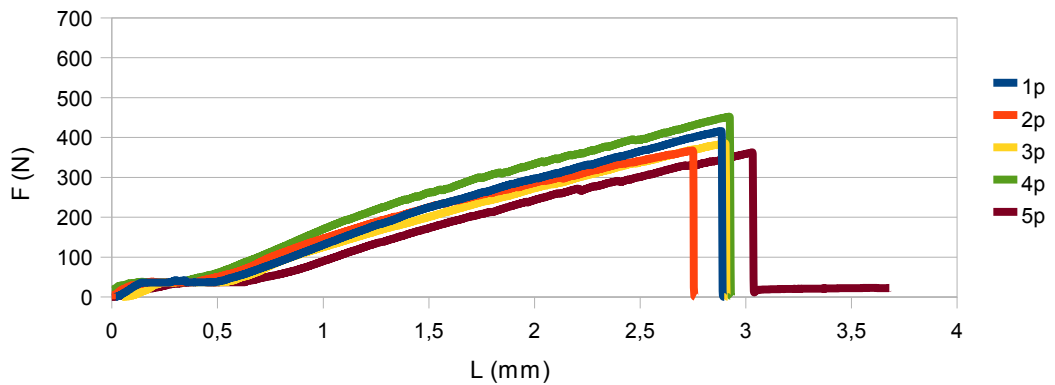
VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky



Obr. 111: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k

Závislost síly na predžiení 20% wolastonit

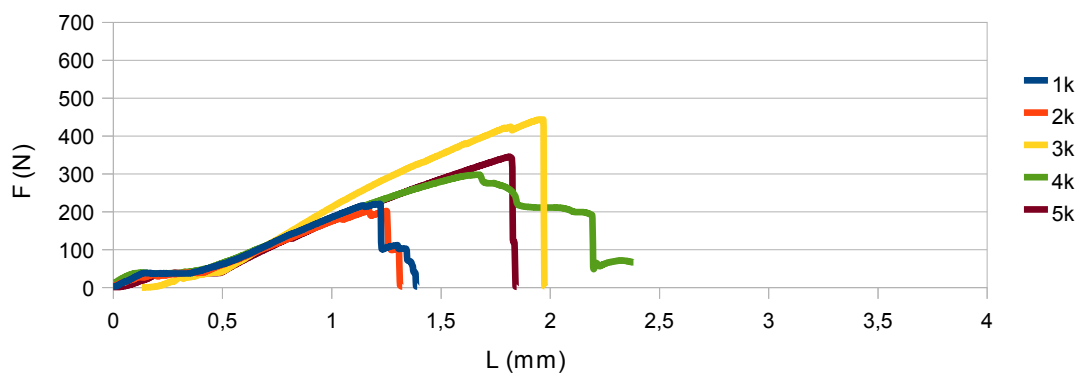
VB + tkanina B - priečne vzorky



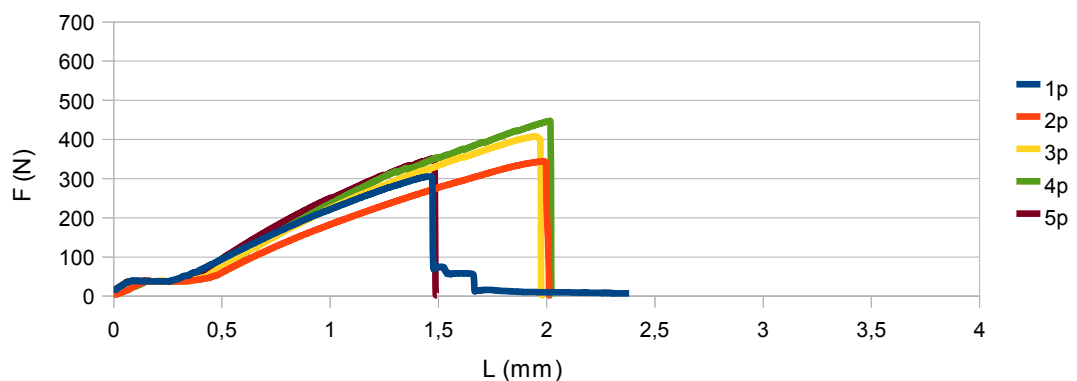
Obr. 112: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - p

Tab. 34: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina B + sklený prach

Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina B + sklený prach							
pozdĺž							
	S (mm ²)	F _{max} (N)	l _{max} (mm)	σ _{max} (MPa)	σ _{stress} (MPa)	F _{elast} (N)	E (MPa)
5%	2,92	302	1,68	104,14	104,14	8 232	204
10%	2,85	428	2,58	70,45	70,45	4 941	275
15%	2,90	305	1,70	104,93	104,93	2 982	217
20%	2,40	435	2,52	183,55	183,55	4 581	273
priechne							
5%	2,59	372	1,78	146,82	146,82	8 801	215
10%	3,39	436	2,55	95,77	95,77	6 283	264
15%	3,28	298	1,43	92,05	92,05	3 145	250
20%	4,43	424	2,25	99,72	99,72	3 745	412

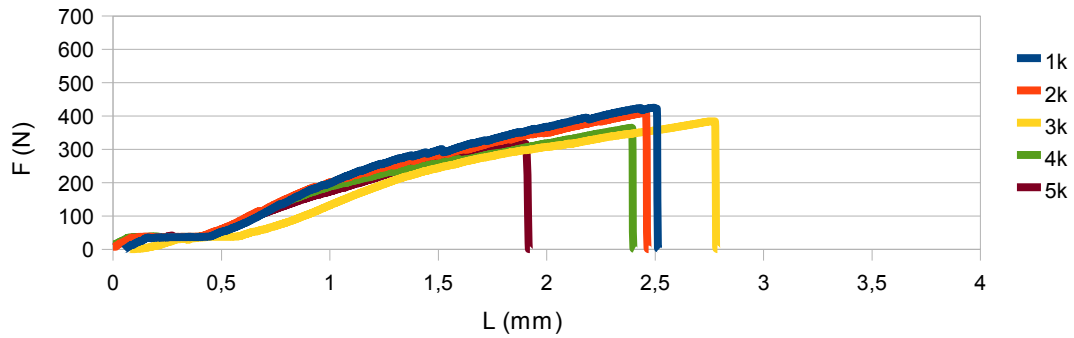
 Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach
 VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky


Obr. 113: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB - k

 Závislosť sily na predĺžení 5% sklený prach
 VB + tkanina B priečne vzorky


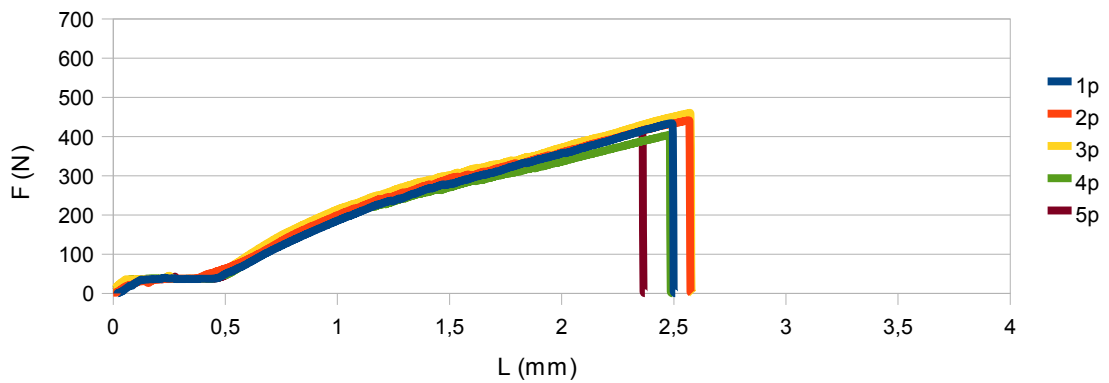
Obr. 114: Grafická závislosť nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB - p

Závislost síly na predĺžení 10% wolastonit
VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky



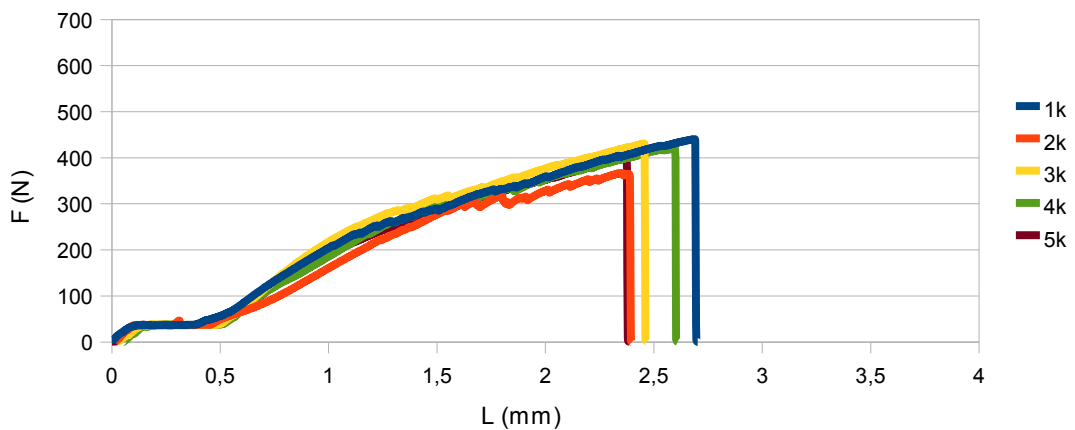
Obr. 115: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB - k

Závislosť síly na predĺžení 10% wolastonit
VB + tkanina B - priečne vzorky



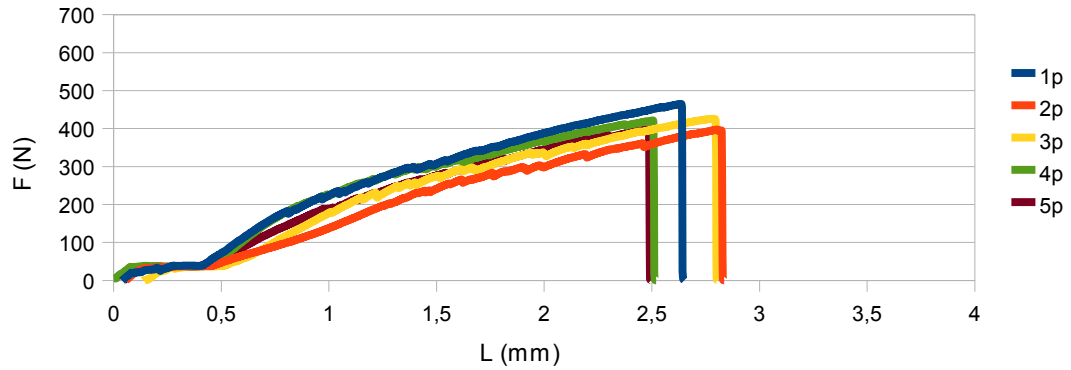
Obr. 116: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB - p

Závislosť síly na predĺžení 15% wolastonit
VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky



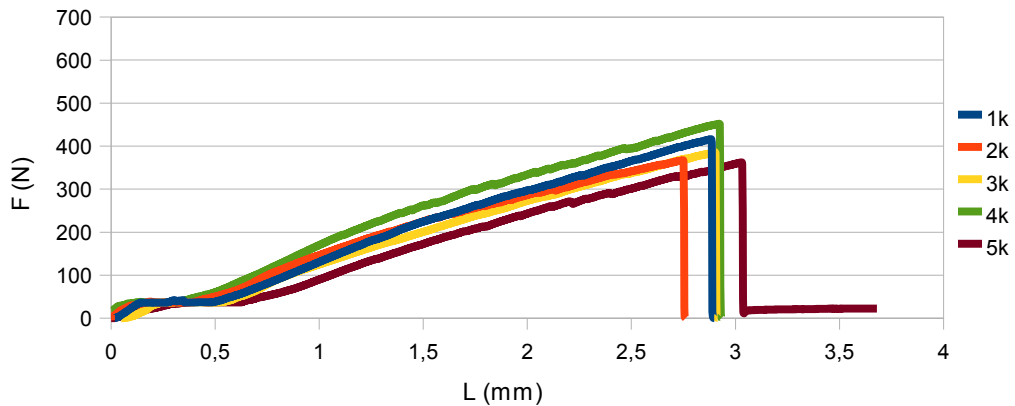
Obr. 117: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - k

Závislost síly na predĺžení 15% wolastonit
 VB + tkanina B - priečne vzorky



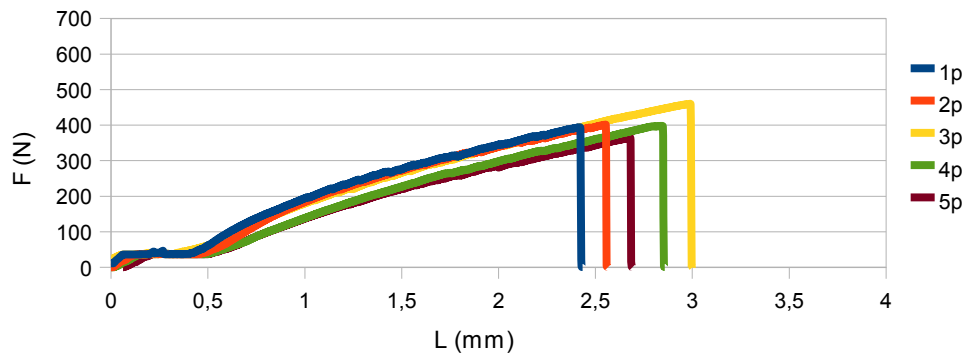
Obr. 118: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - p

Závislosť síly na predĺžení 20% wolastonit
 VB + tkanina B - pozdĺžne vzorky



Obr. 119: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - k

Závislosť síly na predĺžení 20% wolastonit
 VB + tkanina B - priečne vzorky



Obr. 120: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - p

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo zistiť, či je súčasne používané komerčné plnivo wolastonit, nahraditeľné inou plniacou zložkou. V tomto prípade drveným skleneným vláknom. Princíp, prečo je narhnuté sklenené vlákno vo forme skelnej tkaniny bol ten, že v prípade laminovania súčastí malých lodí alebo ľahkých lietadiel dochádza k požiadavku na zvýšenie hustoty laminovacej vrstvy za pomoci prísady. V priebehu tohto procesu vzniká veľké množstvo odpadu, ktorého možné využitie popisuje táto diplomová práca. Forma práškového plniva poskytuje možnosť doplniť hustotu laminovacej vrstvy za cieľom zvýšenia pevnosti.

V diplomovej práci došlo k testovaniu vzorkov, ktoré mali zohľadniť maximálnu pevnosť pre čistú živicu v ťahu bez použitej tkaniny a len so zložkami tvrdidla a plniva (bez výstuže zo skelnej tkaniny). Pri testovaní bolo zistené, že živica + plnivo (bez tkaniny) v maximálnej pevnosti vychádzala s klesajúcou tendenciou, čo znázorňujú grafy v kapitole 8.6.2. Jú vyhodnotené taktiež trendy prostredníctvom lineárnej regresie ako sa prísada prejavuje so vzrastajúcim podielom hmotnostných percent plnív. Najlepšie v tomto smere vychádza epoxidová živica so skleneným vláknom.

Ďalej bola testovaná živica s tvrdidlom na sklenených tkaninách typu A a B (označenie bolo zistené iba interné), bez plnív. V tomto prípade boli zistené veľmi podobné výsledky a to ako v prípade epoxidovej, tak polyesterovej živice pre tkaninu A. Hodnoty pre maximálnu pevnosť v ťahu sa pohybovali v rozmedzí $F_{max} = 1000 - 1200\text{N}$ ako pre pozdĺžny, tak priečny smer. Ťažnosť do 4 mm. Oproti tomu pre tkaninu B boli maximálne hodnoty sily do 500 N, čo je zapríčinené stavbou (tkanou štruktúrou) tkaniny B pri ťažnosti do 3 mm.

Pri vyhodnocovaní výsledkov pre maximálnu silu (charakteristika v ťahu), ktoré boli dosiahnuté vo fázi čistej živice, tak zistíme, že hodnoty pre

epoxidovú a polyesterovú živicu bez plniva (VBA, VBB, LPA a LPB) dosahujú rozmedzie hodnôt $F_{max} = 1000 - 1200\text{ N}$ dosiahnuté pri ťažnosti od 2,5 do 4 mm. Je nutné konštatovať, že niektoré vzorky možno považovať ako „nepodarky“ a ich hodnoty boli výrazne odlišné od ostatných v sérii. Porovnanie hodnôt pre maximálnu silu v ťahu pre vzorky, ktoré boli zhotovené zo: živice + zložky pre vytvrdenie + skelnej tkaniny (boli uvažované dve tkaniny s označením A a B, kde je nutné zohľadniť taktiež smer, v ktorom boli tkaniny laminované, a to či sa jedná o smer v osnove alebo útku) + plnivo (v rôznom hmotnostnom zastúpení, konkrétne 5, 10, 15 a 20%) v dvoch rôznych materiálových zlož-

niach (obe látky sú však na báze minerálnych látok – wolastonit a sklený prach). Dosi-
ahnuté následujúce výsledky:

Tkanina A v kombinácii s epoxidovou alebo polyesterovou živicom vychádzala ako pre wolastonit, tak pre skelné vlákno veľmi podobne, v hodnotách sily, ale dochádzalo celkovo ku zmenám pri ťažnosti až o 100 %. Takto vysoké zmeny možno komentovať takisto možnými zmenami pri realizácii vzorkov. Hodnoty nepřesahovali medzi 1400N v maximálnej pevnosti, ale menili sa hodnoty v ťažnosti a to ako pre pozdĺžny, tak pre priečny smer.

Tkanina B pre epoxidovú a polyesterovú živicu mala v podstate podobné charakteristiky ako tkanina A a chovala sa ako v parametre sily, tak v parametre predĺženia veľmi podobne.

Celkovo teda možno konštatovať, že sa potvrdila hypotéza, že wolastonit je

nahradiateľný drveným skleným vláknom, pričom musí byť zachovaná podobná

veľkosť častíc ako u wolastonitu. Oproti tomu sa nepotvrdilo, že by mohlo mať skelné vlákno vyššiu medzi pevnosti než už zmienený wolastonit. Tým, že bola splnená podmienka náhrady skleného vlákna v kompozite, možno povedať, že do technickej aplikácie ju možno použiť len pre testované typy tkanín. Táto podmienka vychádza zo štruktúry tkaniny, a spôsobom akým bola tvorená, pretože pre iné typy tkanín by mohli byť výsledky iné (v tomto smere hrá dôležitú úlohu počet osnov, počet útkov, gramáž tkaniny aj.). Sklené tkaniny je nutné však pred rôznymi aplikáciami vysušiť.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Prof.Ing. HAVALDA, Andrej: Kompozitné materiály.2.vyd.Bratislava: STU,1994. 196 s. ISBN 80-227-0695-7.
- [2] JANČÁŘ, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů, VUT Brno, Brno 2003, ISBN: 80-214-2443-5.
- [3] PTÁČEK, A.: Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství cerm, Brno 2003, ISBN: 80-7204-283-1
- [4] PTÁČEK, A.: Nauka o materiálu II. Akademické nakladatelství cerm, Brno 2003, ISBN: 80-7204-248-3
- [5] MORIN, D.Introduction to classical mechanics with problems and solutions, Cambrige 2007, ISBN: 978-0-521-87622-3 Hardback
- [6] AGARWAL, D.A. Lawrence: Vláknové kompozity Paha: SNTL, 1987
- [7] BAREŠ, R.A.: Kompozitné materiály Praha:SNTL, 1988
- [8] SODOMKA,L.: Textilie jako ortotropní kompozitný materiály, TEXTIL, 40,č.7,1989
- [9] LITHERLAND,K.L.: The use of aclerated ageing procedures to predict the long term strength of grc.composites, IN:cement and concrete research 11, Oakley D.R.Proctor, 1981
- [10] KOŠŤÁKOVÁ, Eva: Netkané textilie a kompozitní materiály
- [11] GAYSON, M.: Encyklopedia of composite materials and components, Wiley Interscience, 1983
- [12] PURNELL,P.: The durability of glass fibre reinforced cements made with new cementitions matrices, Aston Universiity UK, 1988
- [13] SCHMIDT, Kurt: Technologie textiler glasfasern.. Berlin, Speyer-Zeichner Verlag,1984
- [14] OTIEPKOVÁ, Hana: Nanomateriály, Zlín 2005, Bakalárska práca UTB ve Zlíne
- [15] BENEŠ, T.: Rozptýlená mikrovýstuž zo sklených vlákien, IN TKS, roč.2, 2002 č.4
- [16] Prof.Ing. LAŠ, Vladislav: Úvod do modelování v mechanice – Mechanika

Prednáška č.5, Fakulta aplikovaných ved, Západočeská univerzita v Plzni

- [17] BROUTMAN, L.J.: Analysis and preformance of fiber composites, Anglicko Edit.John Wiley and Sons
- [18] <http://ruby.colorado.edu/smyth/min/pyroxenoid.html>
- [19] http://www.agenturaama.cz/Downloads/Sbornik_PU_2005.pdf
- [20] <http://www.specialchem4polymers.com/tc/wollastonite-reinforcement-additives/index.aspx?id=wollastonite-attributes>
- [21] MARTINEC, Ľ.: Štúdium prípravy armovaných plastov, Výskumná správa, Bratislava, Sjf SVŠT, 1983
- [22] TABORSKÝ, L.: Konštrukčné materiály spevnené vláknami, Bratislava, ALFA 1983
- [23] IVANOVA, N.S. A kolekív: Upročnenie metallow voloknami, Moskva, Izdatel'stvo NAUKA 2003
- [24] Prof.RNDr. JANČÁŘ, Jozef: Úvod do materiálového inžinierství polymerných kompozitů
- [25] MALLICK, P.K., NEWMAN,S. Composite materials technology processes and properties, Carl Hauser, Publ. Mníchov 1990
- [26] ECKOLD, G.: Design and manufacture of composite structures, Mc. Graw -Hill, New York, 1994
- [27] MATHEWS, F.L., RAWLINGS R.D.: Composite materials engineering and science, chapman and hall, London 1993
- [28] STAFSKY, Holf, Composite engineering laminates in mechanics of composite structures, Cambridge 1983
- [29] <http://www.unique.cz/cs>
- [30] Návody k laboratórnym úlohám z predmetu Kompozitné materály II.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

$T_{\text{mák}}$	[°C]	teplota mäknutia
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota
C	[kJ/kg ⁻¹]	merná tepelná kapacita
τ	[Pa]	šmykové napätie
σ	[MPa]	normálové napätie
ϵ_f	[mm]	pomerná deformácia vlákien
ϵ_m	[mm]	pomerná deformácia matrice
ϵ_c	[mm]	pomerná deformácia kompozitu
σ_c	[MPa]	napätie pôsobiace na celkovú plochu
σ_f	[MPa]	napätie pôsobiace na vlákno
σ_m	[MPa]	napätie pôsobiace na maticu
S_m	[m ²]	plocha matrice vlákna
S_f	[m ²]	plocha vlákna
S_c	[m ²]	celková plocha
F_f	[N]	zaťaženie na vlákno matrice
F_m	[N]	zaťaženie na maticu
F_c	[N]	zaťaženie celkové
V_f	[m ³]	objem vlákna kompozitu
V_m	[m ³]	objem matrice kompozitu
X_T	[%]	obsah prchavých látok
X_N	[%]	obsah neprchavých látok
E_C	[J]	prevedená energia spotrebovaná pri prerazení telesa
E_0	[kp.m]	spotrebovaná energia pri prerazení telesa

a_{cU}	[kJ/m ²]	rázová húževnatosť telesa bez vrubu
F_{max}	[N]	maximálna sila pri pretrhnutí
l_{max}	[mm]	maximálna vzdialenosť čel'ustí
σ_{max}	[MPa]	maximálne napätie
$\sigma_{B.stress}$	[MPa]	medz pevnosti
$F_{elast.}$	[N]	sila na medzi klzu
E	[Mpa]	Youngov modul pružnosti
HS-uhlík		vlákno z uhlíka s vysokou pevnosťou
HM-uhlík		vlákno z uhlíka s vysokým modulom
LP		epoxidová živica
VB		polyesterová živica
k		vzorky laminátu strihané pozdĺžne
p		vzorky laminátu strihané priečne

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Vývoj kompozitných materiálov.[16].....	10
Obr. 2: Štruktúra rozdelenie kompozitov, vlastné spracovanie.....	11
Obr. 3: Druhy tvaru výstuže kompozitov [16].....	12
Obr. 4:Druhy kompozitov podľa konštrukcie [16].....	12
Obr. 5: Pracovný diagram pri ťahovom namáhaní pre hypotetické KM. a) s lineárnym chovaním, b) s nelineárnym chovaním matrice, vlastné spracovanie.	19
Obr. 6: Rozloženie síl a ich pôsobenie [16].....	23
Obr. 7: Pomer pevnosti a pružnosti používaných spevňujúcich vlákien. [7].....	25
Obr. 8: Príklady použitia kovových vlákien [14].....	26
Obr. 9: Štruktúra kevlaru a jeho využitie v praxi, vlastné spracovanie.....	27
Obr. 10: Metóda výroby skleneného vlákna striekaním, ťahaním a navíjaním.....	32
Obr. 11: Navíjanie sklenených vlákien.....	33
Obr. 12: Výroba skleného vlákna ťahaním (prúdom).....	34
Obr. 13: Výroba skleného vlákna vyfukovaním (prúdom).....	35
Obr. 14: Prierez vlákna v kompozite.[17].....	36
Obr. 15: Sklený prach a pomôcky na jeho laboratórnu výrobu, vlastné spracovanie.....	37
Obr. 16: Molekulárna štruktúra wolastonitu – CaSiO_3 [18], [19].....	38
Obr. 17: Molekulová štruktúra matrice,[21].....	39
Obr. 18: Aplikácia sklolaminátového kompozitu pri konštrukcii bicykla.....	40
Obr. 19: Aplikácia keramického kompozitu na rybie oko.....	41
Obr. 20: Pneumatika – prierez vrstveným kompozitom. [25].....	44
Obr. 21: Ručné laminovanie. [25].....	45
Obr. 22: Metóda striekania. [25].....	46
Obr. 23: Znárodnenie výroby prepregu., vlastné spracovanie [29].....	48
Obr. 24: Kompozitné materiály použité v lietadle. [27].....	50
Obr. 25: Fotografické zobrazenie tkaniny v ploche (zväčšené 5x), vlastné spracovanie.....	53
Obr. 26: Uzavreté analytické váhy RAD WAG AS 220-C-2 (vľavo), otvorené laboratórne váhy na váženie živice KERN 822 (stred), vysokoteplotná žihacia pec (vľavo), vlastné spracovanie.....	55
Obr. 27: Laboratórna sušička typ STERIMAT 574.3 (vľavo), vzorky v exikátoroch (vpravo), vlastné spracovanie.....	55

Obr. 28: Mikroskopické fotografie tkaniny A a tkaniny B, s viditeľným bodovým označením o vzdialenosti 1 cm (zväčšené 20x), vlastné spracovanie.....	56
Obr. 29: Mikroskopické fotografie priemeru vlákna tkaniny A a tkaniny B, vlastné spracovanie.....	58
Obr. 30: Fotografia priemeru vlákna na mikroskopickom sklíčku, vlastné spracovanie.....	59
Obr. 31: Exikátor so vzorkami sklenených vlákien (vľavo) s infračerveným bezdotykovým teplomerom na kontrolu teploty v žihacej peci, vlastné spracovanie.....	61
Obr. 32: Epoxidová živica + Letoxid (vľavo), Polyesterová živica + Butanox (vpravo), .	64
Obr. 33: Navážka s wolastonitom (vľavo) a skleným prachom (vpravo), vlastné spracovanie.....	65
Obr. 34: SHIMADZU na ťahovú skúšku, vlastné spracovanie.....	68
Obr. 35: Elektrická brúska FERM FSM 200, vlastné spracovanie.....	68
Obr. 36: Sharpyho kladivo na rázovú skúšku, vlastné spracovanie.....	68
Obr. 37: Lopatky, tyčinky a lamináty pred ťahovou skúškou - kompletné vzorky pre realizáciu mechanických skúšok, vlastné spracovanie.....	73
Obr. 38: Skúšobné telesá pre tahovú skúšku a ich pracovné rozmery.....	74
Obr. 39: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Wolastonitu na spotrebovanej energii.....	75
Obr. 40: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Skleneného prachu na spotrebovanej energii.....	76
Obr. 41: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Wolastonitu na spotrebovanej energii.....	77
Obr. 42: Grafické znázornenie závislosti percentuálneho zastúpenia Skleneného prachu na spotrebovanej energii.....	77
Obr. 43: Upnutý vzorok v čeľustiach trhačky SHIMADZU, vlastné spracovanie.....	78
Obr. 44: Závislosť max. sily na hm.% wolastonitu v epxidovej živici.....	79
Obr. 45: Závislosť max. sily na hm.% wolastonitu v polyesterovej živici.....	80
Obr. 46: Závislosť max.sily na hm.% skleneného prachu v epoxidovej živici.....	80
Obr. 47: Závislosť max.sily na hm.% skleneného prachu v polyesterovej živici.....	81
Obr. 48: Laboratórna príprava laminačných vzorkov, vlastné spracovanie.....	83
Obr. 49: Používané nožnice a predkreslenie rozmerov na strihanie laminátových pásov pre ťahovú skúšku, vlastné spracovanie.....	84

Obr. 50: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté LP vzorky - k.....	85
Obr. 51: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté VB vzorky - k.....	86
Obr. 52: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté LP vzorky - k.....	86
Obr. 53: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté VB vzorky - k.....	86
Obr. 54: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté LP vzorky - p.....	87
Obr. 55: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté VB vzorky - p.....	87
Obr. 56: Grafická závislost nameraných veličín pre čisté VB vzorky - p.....	88
Obr. 57: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% volastonit LP - k	89
Obr. 58: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% volastonit LP - p.....	89
Obr. 59: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% volastonit LP - k	89
Obr. 60: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% volastonit LP - p.....	90
Obr. 61: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% volastonit LP - k	90
Obr. 62: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% volastonit LP - p.....	90
Obr. 63: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% volastonit LP - k	91
Obr. 64: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - k	92
Obr. 65: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - p.....	92
Obr. 66: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - k.....	93
Obr. 67: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - p.....	93
Obr. 68: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - k.....	93
Obr. 69: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - p.....	94
Obr. 70: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - k.....	94
Obr. 71: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - p.....	94
Obr. 72: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k.....	95
Obr. 73: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB -p.....	95
Obr. 74: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB -k.....	96
Obr. 75: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB -p.....	96
Obr. 76: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB -k.....	96
Obr. 77: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB -p.....	97
Obr. 78: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB -k.....	97
Obr. 79: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB -p.....	97
Obr. 80: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB -k.....	98
Obr. 81: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB -p.....	98

Obr. 82: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB -k.....	99
Obr. 83: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB -p.....	99
Obr. 84: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB -k.....	99
Obr. 85: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - p.....	100
Obr. 86: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB -p.....	100
Obr. 87: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - k.....	100
Obr. 88: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k.....	101
Obr. 89: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - p.....	101
Obr. 90: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - k.....	102
Obr. 91: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - p.....	102
Obr. 92: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - k.....	102
Obr. 93: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - p.....	103
Obr. 94: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k.....	103
Obr. 95: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k.....	103
Obr. 96: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu - k.....	104
Obr. 97: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu LP - p.....	104
Obr. 98: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - p.....	105
Obr. 99: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - p.....	105
Obr. 100: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - p.....	105
Obr. 101: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% skleného prachu LP - k.....	105
Obr. 102: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% skleného prachu LP - p.....	105
Obr. 103: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% skleného prachu LP - k.....	105
Obr. 104: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - k.....	106
Obr. 105: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% wolastonitu VB - p.....	106
Obr. 106: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - k.....	107
Obr. 107: Grafická závislost nameraných veličín pre 10% wolastonitu VB - p.....	107
Obr. 108: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - k.....	107
Obr. 109: Grafická závislost nameraných veličín pre 15% wolastonitu VB - p.....	108
Obr. 110: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - k.....	108
Obr. 111: Grafická závislost nameraných veličín pre 20% wolastonitu VB - p.....	108
Obr. 112: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB - k.....	109
Obr. 113: Grafická závislost nameraných veličín pre 5% skleného prachu VB - p.....	109

Obr. 114: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB - k.....	110
Obr. 115: Grafická závislosť nameraných veličín pre 10% skleného prachu VB - p.....	110
Obr. 116: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - k.....	110
Obr. 117: Grafická závislosť nameraných veličín pre 15% skleného prachu VB - p.....	111
Obr. 118: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - k.....	111
Obr. 119: Grafická závislosť nameraných veličín pre 20% skleného prachu VB - p.....	111
Obr. 120: Predpríprava formy so separátorom, vlastné spracovanie	141
Obr. 121: Zalievanie teliesok pri výrobe formy, vlastné spracovanie.....	143
Obr. 122: Zaliata silikónová forma, vlastné spracovanie.....	143
Obr. 124: Zhotovená silikonová forma po vytuhnutí, vlastné spracovanie.....	144
Obr. 125: A) Mold Release; B) Ipronat Trennmittel; C) Ambersil Amberklene FE10; D) Sika Trennmittel 815 Quick; E) Včelý vosk (3%) + Benzén, vlastné spracovanie. .	145
Obr. 126: Test separátorov s epoxidovou živickou, vlastné spracovanie.....	146
Obr. 127: Test separátorov s polyesterovou živickou, vlastné spracovanie.....	146

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Stručný prehľad vývoja kompozitných materiálov. [2]	10
Tab. 2: Porovnanie pevnosti v ťahu masívnych materiálov a vlákien v MPa.[3].....	14
Tab. 3: Modul pružnosti v ťahu, merná hmotnosť, merný modul niektorých materiálov používaných v KM. [4].....	15
Tab. 4: Modul pružnosti, merná hmotnosť a merný modul pružnosti materiálov použiteľných na výrobu KM. [1].....	16
Tab. 5: Základné mechanické vlastnosti spevňujúcich vlákien skla, aramidových vlákien, uhlíkových vlákien s vysokou pevnosťou (HS) a uhlíkových vlákien s vysokým modulom (HM) [6].....	24
Tab. 6: Percentuálne zastúpenie jednotlivých látok v druhoch skla.[1].....	29
Tab. 7: Mechanické a fyzikálne vlastnosti niektorých druhov skla.....	30
Tab. 8: Mechanické a fyzikálne vlastnosti niektorých druhov skla.[5].....	31
Tab. 9: Základné mechanické vlastnosti matric.[26].....	43
Tab. 10: Interné značenie tkanininy.....	53
Tab. 11: Namerané hodnoty osnovy a útku tkanín.....	56
Tab. 12: Hmotnosti vlákien tkaniny A a tkaniny B udané v základných jednotkách.....	57
Tab. 13: Namerané výsledky skelných tkanín pre stanovenie obsahu plošnej hmotnosti....	60
Tab. 14: Namerané a vypočítané hodnoty tkaniny A.....	62
Tab. 15: Namerané a vypočítané hodnoty tkaniny B.....	62
Tab. 16: Namerané hodnoty pre výpočet viskozity.....	70
Tab. 17: Namerané hodnoty prchavých látok pre polyesterovú a epoxidovú živicu.....	72
Tab. 18: Tabuľka s nameranými a vypočítanými obsahmi prchavých látok.....	72
Tab. 19: Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% wolastonitu.....	75
Tab. 20: Rázová skúška epoxidovej živice - LP + 0-20% skleného prachu.....	76
Tab. 21: Rázová skúška polyesterovej živice - VB + 0-20% wolastonitu.....	76
Tab. 22: Rázová skúška polyesterovej živice - LP + 0-20% skleného prachu.....	77
Tab. 23: Ťahová skúška epoxidovej živice + wolastonitu.....	79
Tab. 24: Ťahová skúška polyesterovej živice + wolastonitu.....	79
Tab. 25: Ťahová skúška epoxidovej živice + skleného prachu.....	80
Tab. 26: Ťahová skúška polyesterovej živice + skleného prachu.....	81
Tab. 27: Ťahová skúška laminátu LP + tkanina + Wolastonit.....	88

Tab. 28: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina A + sklený prach.....	92
Tab. 29: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + wolastonit.....	95
Tab. 30: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina A + sklený prach.....	98
Tab. 31: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + wolastonit.....	101
Tab. 32: Ťahová skúška laminátu - LP + tkanina B + sklený prach.....	104
Tab. 33: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina B + wolastonit.....	106
Tab. 34: Ťahová skúška laminátu - VB + tkanina B + sklený prach.....	109

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P 1: Technický list polyesterovej živice

Príloha P 2: Technický list butanoxu

Príloha P 3: Technický list epoxidovej živice a tvrdidla

Príloha P 4: Výroba formy pre telieska na rázovú a ťahovú skúšku

PRÍLOHA 1: TECHNICKÝ LIST POLYESTEROVEJ ŽIVICE

Strana 1 z 3

Technický list
644 / červen 2011

Ruší a nahrazuje všechna předchozí vydání

Vinalkyd 550 PE-TALV-LE-B



Nenasycená polyesterová pryskyřice

Popis:	Tixotropní, předrychlená, ortofoalová, středně reaktivní nenasycená polyesterová pryskyřice s nízkou viskozitou
Použití:	Používá se k produkci laminátových předmětů užívaných pro stavbu lodí, domácnost, stavebnictví a průmyslové účely. Vytvrzení se provádí přidáním 2% MEKP-50 (Butanox M-50). Vyztužení je docíleno přidáním skelné výztuže do hmotnostního obsahu až 60% v několika vrstvách. <ul style="list-style-type: none"> • Může být aplikován po gelcoatu G-2 • Smí být zbarven organickými i anorganickými pigmenty • Velmi dobře smáčí skelnou výztuž • Nestéká při aplikaci na svislé povrchy • Na poslední vrstvu smí být aplikován topcoat.
Klasifikace:	Spňuje požadavky legislativy EU

Charakteristika

Vlastnost	NORMA
Vzhled (vizuální)	Modře zbarvená tixotropní tekutina
Netěkavý obsah, 125°C/1h: (ISO 2535)	56 ± 1%
Želatinační čas 20°C: (BNS EN ISO 3251)	15-25 min
Viskozita (Brookfield 23°C) (vřeteno 2, rychlost 12 ot/min)	800-1.000mPa.s
Tixotropní index (vřeteno 3, rychlost.5/50 ot/min) (ASTM D 2196-05 (B))	min 2,4

Strana 2 z 3

Technický list
644 / červen 2011

Ruší a nahrazuje všechna předchozí vydání

Ostatní data

Hustota při 20°C: (BNS EN ISO 2811-1)	1,1 g/cm ³
Číslo kyselosti: (BNS EN ISO 3682)	max 26 mgKOH/g
Bod vzplanutí: (BNS EN ISO 1523)	34°C

Fyzikálně – mechanické vlastnosti

Vytvrzovací systém	+ 2% MEKP
Vytvrzovací podmínky:	24 hod v běžné teplotě okolí dotvrzení 16 hod při 40°C
Pevnost v tahu: (BNS EN ISO 527-1,2)	min. 65 MPa
Pevnost v ohybu (BNS EN ISO 178)	min. 125 MPa
Tvrdość při 25°C (ASTM D 2583)	min. 50
HDT základní pryskyřice	80°C

Aplikace: Nenasycená polyesterová pryskyřice Vinalkyd 550 PE-TALV-LE-B vytvrzuje následujícím vytvrzovacím systémem:
Do 1000g pryskyřice přidejte 20g MEKP (Butano M-50), směs musí být dobře promíchána (homogenní) a poté použita.
Zpracovatelnost směsi je od 15 do 25 minut, záleží na teplotě pryskyřice. Doba želatinace se zkracuje se zvyšující se teplotou nad 23°C. Nižší teplota čas želatinace prodlužuje.

Balení:

- Kovová kónická dóza 22l s polyetylenou vložkou o čisté hmotnosti 20kg
- Pozinkovaný barel 200l o čisté hmotnosti 200kg
- Cisterna z nerezové oceli nebo hliníku

Strana 3 z 3

Technický list
644 / červen 2011

Ruší a nahrazuje všechna předchozí vydání

Skladování: Zabalená nenasyčená polyesterová pryskyřice je skladována v uzavřené, suché a ohnivzdorné skladovací ploše, chráněné proti přímému slunečnímu záření, při teplotě do 25°C.
Skladovací trvanlivost – 3 měsíce od data výroby

Bezpečnostní informace, ekologie: viz Bezpečnostní list

Účelem tohoto technického popisu je informovat klienta o kvalitě našeho produktu. Zdejší údaje jsou založené na našich stávajících znalostech. Vyzýváme naše klienty před započetím prací, aby prověřili kvalitu našich produktů nebo jejich přizpůsobivost bázi a udělali si zkušební aplikaci. Naši klienti se před započetím prací musí ujistit, že stávající technický popis nebyl změněn nebo nahrazen novým vydáním.

Orgachim®Rousse, 21 "Treti mart", blvd., tel. 082 / 886 303; fax 082 / 886 257
www.orgachim.bg

PRÍLOHA 2: BEZPEČNOSTNÝ LIST BUTANOXU**BEZPEČNOSTNÍ LIST**

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 1/9

Název výrobku: **BUTANOX M-50**

žiravý



oxidující

1. IDENTIFIKACE LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU A VÝROBCE, DOVOZCE, PRVNÍHO DISTRIBUTORA NEBO DISTRIBUTORA**1.1. Identifikace látky nebo přípravku:***Obchodní název látky:* BUTANOX M-50*Označení látky:* metyletylketonperoxid, roztok v dimethylftalátu**1.2. Použití látky nebo přípravku:**

vytvrzovací činidlo

1.3. Identifikace výrobce, dovozce, prvního distributora nebo distributora:*Výrobce:* Akzo Nobel Polymer Chemicals bv
Stationsplein 4, PO Box 247, NL-3800 AE Amersfoort
Telefon: +31-3399-0*Číslo telefonu pro nouzové volání:* 0031-570679211*Dovozce/první distributor:*POLYVIA NOVA, spol. s r.o.
Nad Vývozem 4844, 760 05 Zlín
Tel.: +420-577 141 171, 577 142 192
Fax: +420-577 142 144
Identifikační číslo: 499 754 71**1.4. Telefonní číslo pro mimořádné situace:** Toxikologické informační středisko
Na Bojišti 1, 128 00 Praha 2
Tel.: 224 919 293, 224 915 402, 224 914 575 (24 hodin/den)**2. INFORMACE O SLOŽENÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU****Výrobek obsahuje tyto nebezpečné látky:**Chemický název: metyletylketonperoxid
Koncentrace: 30 – 37 %
Číslo CAS: 1338-23-4
Číslo EINECS: 215-661-2
Klasifikace: R02; R22; R34; R07
Výstražný symbol nebezpečnosti: C; EChemický název: dimethylftalát
Koncentrace: 55 – 70 %
Číslo CAS: 131-11-3
Číslo EINECS: 205-011-6
Klasifikace: žádný
Výstražný symbol nebezpečnosti: žádný

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 2/9

Název výrobku: **BUTANOX M-50**

Chemický název: metyletylketon
Koncentrace: 1 - 5 %
Číslo CAS: 78-93-3
Číslo EINECS: 201-159-0
Klasifikace: R11; R36; R66; R67
Výstražný symbol nebezpečnosti: F; Xi

Chemický název: voda
Koncentrace: 1 - 3 %
Číslo CAS: 7732-18-5
Číslo EINECS: 231-791-2
Klasifikace: žádný
Výstražný symbol nebezpečnosti: žádný

Kompletní znění R-vět viz kapitola 16.

3. ÚDAJE O NEBEZPEČNOSTI LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

- 3.1. Klasifikace látky nebo přípravku:** žíravý, oxidující.
3.2. Nejdůležitější nepříznivé účinky na zdraví člověka při používání látky: zdraví škodlivý při požití. Způsobuje poleptání.
3.3. Účinky na životní prostředí při používání látky:
3.4. Možné účinky při nevhodném použití látky: může způsobit požár.

4. POKYNY PRO PRVNÍ POMOC

- 4.1. Všeobecné pokyny:** okamžitě přivolejte lékaře.
4.2. Opatření první pomoci/při vdechnutí: přemístěte postiženou osobu na čerstvý vzduch. Pokud nedýchá, začněte s umělým dýcháním. Školená osoba může použít kyslíkový přístroj, pokud je k dispozici. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc.
4.3. Opatření první pomoci/při styku s kůží: ihned začněte oplachovat kůži velkým množstvím vody a pokračujte po dobu 15 minut. Během vyplachování vysvlečte kontaminovaný oděv a boty. Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. Oblečení před opětovným použitím vyperte. Kontaminovanou obuv důkladně vyčistěte nebo zničte.
4.4. Opatření první pomoci/při zasažení očí: okamžitě začněte souvislé vyplachování očí vodou o délce nejméně 15 minut. Zkušená osoba by měla během vyplachování vyjmout kontaktní čočky, ale jen pokud je to snadno proveditelné. V průběhu vyplachování držte oční víčka otevřená tak, aby byl vodou opláchnutý celý povrch oka a víčka.
Okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 3/9

Název výrobku: **BUTANOX M-50****4.5. Opatření první pomoci/při požití:**
lékařskou

NEVYVOLÁVEJTE zvracení. Neprodleně vyhledejte

pomoc. Zavolejte lékaře nebo toxikologické centrum. Pokud je oběť při vědomí a při smyslech, podejte jí šálek vody. Nikdy nevklaďte nic do úst osoby, která je v bezvědomí nebo v křeči. V případě zvracení položte pacienta na levou stranu, aby se snížilo riziko vdechnutí zvratků.

4.6. Pokyny pro lékařské ošetření:

symptomy a účinky: zdraví škodlivý při požití. Způsobuje poleptání. Způsobuje poranění rohovky a očních víček. Nebezpečí vážného poškození očí.

Osoby s kožním či respiračním onemocněním a/nebo chorobami centrální nervové soustavy jsou při styku s tímto materiálem vystaveny vyššímu riziku.

5. OPATŘENÍ PRO HASEBNÍ ZÁSAH**5.1. Vhodná hasiva:**postřík vodou, pěna odolná vůči alkoholu, písek, suchý chemický prášek, CO₂.**5.2. Z bezpečnostních důvodů nevhodná hasiva:**

halony.

5.3. Zvláštní nebezpečí způsobená expozicí samotné látky nebo přípravku, jeho produktům hoření nebo**vzniklým plynům:**

UPOZORNĚNÍ: může opětovně vzplanout. Rozklad za účinku zahřívání (viz. také sekci Nebezpečné produkty rozkladu). Při požáru podporuje hoření. Páry mohou tvořit výbušné směsi se vzduchem. V případě požáru nebo výbuchu nevedechujte dýmy.

Nebezpečné produkty rozkladu/spalování: oxid uhlíčitý, oxid uhelnatý, voda, kyselina octová, kyselina mravenčí, kyselina propionová, metyletylketon.

5.4. Zvláštní ochranné prostředky pro hasiče:

Hasiči musí mít na sobě protipožární osobní ochranné prostředky. Používejte schválený dýchací přístroj a ochranné rukavice.

5.5. Další údaje

Evakuujte všechny osoby, které nejsou nezbytné. Haste malý požár práškem nebo oxidem uhličitým a poté použijte vodu, abyste zabránili znovuvznícení. Ochlazujte uzavřené nádoby vodou. Voda používaná k hašení požáru se nesmí dostat do kanalizace a vodotečí. Po požáru důkladně vyvětrejte prostor a namočte vodou, očistěte stěny a kovové povrchy.

6. OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU**6.1. Bezpečnostní opatření na ochranu osob:**

Nevedechujte dýmy/páry. Zamezte styku s kůží a očima. Osobní ochrana viz. kapitola 8.

6.2. Bezpečnostní opatření na ochranu životního prostředí:

Zamezte úniku do kanalizace a vodotečí.

6.3. Doporučené metody čištění a zneškodnění:

Pokud možno zastavte únik. Odstraňte všechny zdroje vznícení a nevytvářejte otevřený plamen nebo jiskry. Co největší množství posbírejte do čisté nádoby pro další použití (nejlépe) nebo zneškodnění.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005

Stránka: 4/9

Datum revize:

Název výrobku: **BUTANOX M-50**

Pokryjte zbytky inertním absorbentem (např. vermikulitem) pro zneškodnění. Udržujte obsah vlhký. Odpad by neměl být uzavřen. Opláchněte okolí velkým množstvím vody.

6.4. Dodatečné odkazy:

UPOZORNĚNÍ: může opětovně vzplanout. Páry jsou těžší než vzduch a mohou se šířit při podlaze. Páry se mohou dostat ke zdroji vznícení a znovu vzplanout. Zajištěte evakuaci osob na bezpečné místo.

7. POKYNY PRO ZACHÁZENÍ S LÁTKOU NEBO PŘÍPRAVKEM A SKLADOVÁNÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU**7.1. Pokyny pro zacházení:**

Nikdy neodvažujte ve skladu.
Nejezte, nepijte a nekuřte při používání.
Nepipetujte ústy.
Nevdechujte dýmy/páry.
Zacházejte v dobře větraných prostorech.
Odstraňte všechny zdroje vznícení a nevytvářejte otevřený plamen nebo jiskry.
Uchovávejte odděleně od redukčních činidel (např. aminů), kyselin, alkalických látek, sloučenin těžkých kovů (např. urychlovačů, sušiv, kovových mýdel).
Udržujte produkt a vyprázdňovanou nádobu odděleně od zdrojů tepla a vznícení. Je nutno zabránit uzavření. Zamezte otřesům a tření. Zamezte styku s kůží a očima. Zamezte styku s neslučitelnými materiály (viz. sekce 10).

Doporučuje se použít elektrické zařízení teplotní skupiny T3. Nikdy však nelze vyloučit samovznícení. Po zacházení nebo kontaktu si umyjte důkladně ruce. Uchovávejte pracovní oblečení odděleně a neberte je domů.

7.2. Pokyny pro skladování:

Skladujte v souladu s místními národními předpisy.
Uchovávejte odděleně potravin, nápojů a krmiv.
Skladujte na suchém, dobře větraném místě odděleně od zdrojů tepla a přímého slunečního záření.
Skladujte odděleně od ostatních chemikálií.
Uchovávejte pouze v původním obalu.
Udržujte nádoby ve svislé poloze, aby se zabránilo úniku.

Pro zachování kvality skladujte při teplotě nižší než: 25°C.

Prevence požáru a výbuchu:

Používejte zařízení chráněná proti výbuchu. Uchovávejte mimo dosah zápalných zdrojů – Zákaz kouření. Páry jsou těžší než vzduch a mohou se šířit při podlaze. V oblastech, kde se mohou vyskytovat výbušné směsi par a vzduchu, používejte výhradně nástroje neprodukcující jiskry. Neřezejte ani nesvařujte v blízkosti nádoby i kdyby byla prázdná. Ochranná dusíková atmosféra sice snižuje hořlavost produktu, ale při teplotách nad 55°C (131°F) není plně efektivní.

8. OMEZOVÁNÍ EXPOZICE LÁTKOU NEBO PŘÍPRAVKEM A OCHRANA OSOB**8.1. Expoziční limity:**

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005

Stránka: 5/9

Datum revize:

Název výrobku:

BUTANOX M-50

Název látky	PEL (mg.m ⁻³)	NPK-P (mg.m ⁻³)
Metyleylketonperoxid (CAS 1338-23-4)		1.5
Dimethyltalát (CAS 131-11-3)	5	10
Metyleylketon (CAS 78-93-3)	600	900

8.2. Omezování expozice:

zajistěte dobré větrání a místní odsávání na pracovišti. Je doporučeno větrání v nevybušném provedení.

8.2.1. Omezování expozice pracovníků:**8.2.1.1. Ochrana dýchacích orgánů:**

v případě nedostatečného větrání použijte vhodné dýchací přístroje (dýchací přístroj s filtrem A).

8.2.1.2. Ochrana rukou:

použijte vhodné ochranné rukavice z neoprenu nebo syntetického kaučuku.

8.2.1.3. Ochrana očí:

použijte osobní ochranné prostředky pro oči a obličej.

8.2.1.4. Ochrana těla:

použijte vhodný ochranný oděv. Před dalším použitím oděv vyperte.

8.2.1.5. Další informace:

Nouzové sprchy a zařízení pro vyplachování očí musí být dostupné.

8.2.2. Omezování expozice životního prostředí:**9. INFORMACE O FYZIKÁLNÍCH A CHEMICKÝCH VLASTNOSTECH LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU****9.1. Všeobecné informace:**

Vzhled: kapalný

Barva: čirá, bezbarvá

Zápach: mdlý

9.2. Důležité informace z hlediska ochrany zdraví, bezpečnosti a životního prostředí:

Hodnota pH: slabě kyselé

Bod varu: nepoužitelné (rozkládá se)

Teplota tání: nestanoveno

Bod vzplanutí: nad hodnotou SADT

Hořlavost: produkty rozkladu mohou být hořlavé

Výbušné vlastnosti: žádné

Oxidační vlastnosti: nepoužitelné

Tenze par: nestanoveno

Hustota (20°C/68°F): 1180 kg/m³

Specifická tíha (20°C/68°F): 1,180

Rozpustnost ve vodě

(20°C/68°F): z části mísitelný s vodou

Rozpustnost v dalších

rozpuštědlech (20°C/68°F): mísitelný s ftaláty

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 6/9

Název výrobku:

BUTANOX M-50

Rozdělovací koeficient
n-oktanol/voda: nestanoveno

Relativní hustota par
(vzduch = 1): nestanoveno

Viskozita (20°C/68°F): 24 mPa.s

Obsah aktivního kyslíku: 8.8 – 9.0%

Obsah peroxidu: 30 – 37%

SADT: 60°C (viz. také kapitola 10)

Meze výbušnosti: nestanoveno

Obsah těkavých látek: 5%

10. INFORMACE O STABILITĚ A REAKTIVITĚ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

10.1. Podmínky, kterým je třeba zamezit: pro zachování kvality skladujte v níže uvedeném originálním uzavřeném balení při teplotě do 25°C. Zamezte oftesům a tření. Je nutno zabránit uzavření. K polymerizaci nedochází.

SADT (self accelerating decomposition temperature – teplota autokatalytického rozkladu) je nejnižší teplota, při které může nastat autokatalytický rozklad v balení použitém při dopravě. Nebezpečná reakce autokatalytického rozkladu a – za určitých podmínek – tepelný rozklad může způsobit výbuch nebo požár při následujících i vyšších teplotách: 60°C. Kontakt s neslučitelnými látkami může způsobit rozklad při teplotě SADT (autokatalytického rozkladu) nebo i při teplotách nižších než je SADT 60°C.

10.2. Materiály, které nelze použít: zamezte styku se rtí, železem a mědí. Nebezpečný rozklad při kontaktu s neslučitelnými materiály jako kyselinami, alkáliemi, těžkými kovy a redukčními činidly. Nesměšujte s peroxidovými urychlovači. Používejte pouze nerez ocel 316, PVC, polyetylen nebo zařízení potažené sklem.

10.3. Nebezpečné produkty rozkladu: voda, kyselina octová, kyselina mravenčí, kyselina propionová,
metyletylketon.

10.4. Další informace: bezpečnostní postupy se mohou lišit s ohledem na podmínky. Zákazník musí mít odpovídající bezpečnostní plán na příslušném místě. Kontaktujte AKZO Nobel pro pomoc se zpracováním odpovídajícího bezpečnostního plánu.

11. INFORMACE O TOXIKOLOGICKÝCH VLASTNOSTECH LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

11.1. Toxikologické účinky (na lidské zdraví) a případné příznaky po zasažení:
Žádné experimentální toxikologické údaje o přípravku jako takovém nejsou k dispozici. Následující údaje jsou použitelné pro příměsi uvedené níže.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 7/9

Název výrobku: **BUTANOX M-50****11.2. Informace o produktu:**

Metyletylketonperoxid (CAS: 1338-23-4, EINECS: 215-661-2), 40% v dimetylfталátu

Akutní toxicita

- LD50, orálně, potkan: 1.017 mg/kg
- LD50, dermálně, potkan: 4.000 mg/kg
- LC50, vdechnutí, potkan: 17 mg/l; 4 hodiny doba expozice

Dráždění: kůže: žíravý
oči: žíravý**Senzibilizace:** bez senzibilizačního účinku.**Genotoxicita:** Amesův test: nemutagenní.

Dimetylfталát (CAS: 131-11-3, EINECS: 205-011-6)

Akutní toxicita

- LD50, orálně, potkan: > 2.400 mg/kg
- LD50, dermálně, králík: > 10.000 mg/kg
- LC50, vdechnutí: 9.300 mg/m³ (6.5 hod.)

Dráždění: kůže: slabě dráždivý
oči: minimálně dráždivý

Metyletylketon (CAS: 78-93-3, EINECS: 201-159-0)

Akutní toxicita

- LD50, orálně, potkan: 2.737 mg/kg
- LD50, dermálně, králík: 6.480 mg/kg
- LC50, vdechnutí, potkan: 23.5000 mg/m³

Dráždění: kůže: mírně dráždivý
oči: mírně dráždivý**12. EKOLOGICKÉ INFORMACE O LÁTCE NEBO PŘÍPRAVKU****Informace o produktu:**

Žádné experimentální ekologické údaje o přípravku jako takovém nejsou k dispozici.

Následující

údaje jsou použitelné pro směsi uvedené níže:

Metyletylketonperoxid (CAS: 1338-23-4, EINECS: 215-661-2), 40% v dimetylfталátu

Ekotoxicita**Ryby:** akutní toxicita, 96h-LC50 = 44.2 mg/l (Poecilia reticulata)
Bakterie: respirační inhibiční test aktivovaného kalu EC50 = 48.0 mg/l
Biotická degradace: snadno biodegradovatelný (test v uzavřené láhvi)

Dimetylfталát (CAS: 131-11-3, EINECS: 205-011-6)

Ekotoxicita**Ryby:** Lepomis macrochirus, 96h-LC50: 420 ppm
Řasy: Selenastrum capricornutum: 39.8 mg/l (96h-IC50)
Biotická degradace: snadno biodegradovatelný
Další informace: biokoncentrační faktor ryby 5.4 (24 hodin)

Metyletylketon (CAS: 78-93-3, EINECS: 201-159-0)

Ekotoxicita**Ryby:** Lepomis macrochirus: 96h-LC50: 3.22 g/l
Biotická degradace: snadno biodegradovatelný

BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005

Stránka: 8/9

Datum revize:

Název výrobku: **BUTANOX M-50***Další informace:* přirozeně se vyskytující látka**13. POKYNY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU****13.1. Způsoby odstraňování látky nebo přípravku:**

vzhledem ke zvýšenému riziku kontaminace se recyklace/opětovné použití nedoporučuje. Zneškodnění odpadu podle místních předpisů (s největší pravděpodobností řízené spalování).

13.2. Způsoby odstraňování znečištěných obalů:

v souladu s místními předpisy. Prázdný kontejner může obsahovat zbytky výrobku. Dodržujte všechna bezpečnostní opatření i po vyprázdnění kontejneru.

13.3. Kódové číslo odpadu:

Odpad by měl být považován za speciální odpad pro odstranění. Prosím ověřte si údaje pro Váš průmyslový obor v Evropském katalogu odpadu.

13.4. Další informace:

Pro další radu kontaktujte výrobce.

13.5. Právní předpisy o odpadech:

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech, ve znění pozdější předpisů.

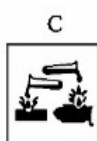
14. INFORMACE PRO PŘEPRAVU LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU

ADR	5.2	UN-číslo: 3105	Klasifikační kód ADR: P1
		Nehodový list (TREM-Card): CEFIC TEC(R)-52GP1-L	
		Technický název pro přepravu: Organický peroxid typu d, kapalný; (metyletylketonperoxid)	
		Požadované štítky: 5.2	
RID	5.2	UN-číslo: 3105	
		Nehodový list (TREM-Card): CEFIC TEC(R)-52GP1-L	
		Technický název pro přepravu: Organický peroxid typu d, kapalný; (metyletylketonperoxid)	
		Požadované štítky: 5.2	
IMDG	5.2/II	UN-number: 3105	EMS: F-J, S-R
		Látky znečišťující moře:	žádné
		Technický název pro přepravu: Organic peroxide type d, liquid; (Methyl ethyl ketone peroxide)	
		Nálepka (nálepky): 5.2	
IATA	5.2	UN-number: 3105	Typ obalu: II
		Technický název pro přepravu: Organic peroxide type d, liquid; (Methyl ethyl ketone peroxide)	
		Nálepka (nálepky): 5.2	

15. INFORMACE O PRÁVNÍCH PŘEDPISECH VZTAHUJÍCÍCH SE K LÁTKE NEBO PŘÍPRAVKU

Označení / klasifikace v souladu s předpisy EU:

Symboly nebezpečí:



BEZPEČNOSTNÍ LIST

(dle vyhlášky č. 231/2004 Sb.)

Datum vydání: 08.12.2005
Datum revize:

Stránka: 9/9

Název výrobku: **BUTANOX M-50**

Složka(y), určující nebezpečí pro uvedení na štítku:

metyletylketonperoxid, roztok v dimethyltalátu

R-větyR7 Může způsobit požár.
R22 Zdraví škodlivý při požití.
R34 Způsobuje poleptání.**S-věty**S 3/7 Uchovávejte obal těsně uzavřený na chladném místě.
S 14 Uchovávejte odděleně od redukčních činidel (např. aminů), kyselin, alkalických látek, sloučenin těžkých kovů (např. urychlovačů, sušiv, kovových mýdel).
S 36/37/39 Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít.
S 45 V případě nehody nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).
S 50 Nesměšujte s peroxidovými urychlovači nebo redukčními činidly.**16. DALŠÍ INFORMACE VZTAHUJÍCÍ SE K LÁTCE NEBO PŘÍPRAVKU****Kompletní znění R-vět z kapitoly 2:**R2 Nebezpečí výbuchu při úderu, tření, ohni nebo působením jiných zdrojů zapálení.
R7 Může způsobit požár.
R11 Vysoce hořlavý.
R22 Zdraví škodlivý při požití.
R34 Způsobuje poleptání.
R36 Dráždí oči.
R66 Opakovaná expozice může způsobit vysušení nebo popraskání kůže.
R67 Vdechování par může způsobit ospalost a závratě.

Tato informace se týká výše zmíněného produktu a nemusí být platná při použití s jiným produktem (produkty) nebo v jiném procesu. Informace jsou podle našich nejlepších současných znalostí správné a úplné a jsou podány v dobré víře, ale bez záruky. Zůstává vlastní odpovědností uživatele, aby se přesvědčil, že informace jsou odpovídající a úplné pro jeho speciální použití tohoto produktu.

PRÍLOHA 3: TECHNICKÝ LIST LETOXIDU

ZPŮSOB POUŽITÍ

Letoxit® PR 102
Letoxit® EM 420

Verze: 19. října 2011

Popis

Laminační směs bez plnicích látek, určená pro laminování materiálů ze skleněných, uhlíkových nebo kevlarových vláken. Pryskyřice Letoxit PR 102 je vyrobena na bázi modifikované epoxidové pryskyřice dianového typu. U Letoxitu PR 102 při delším skladování, popřípadě skladování při teplotách nižších než +15 °C, může dojít ke krystalizaci (mléčné zabarvení pryskyřice doprovázené zvýšením viskozity). Zahřátím asi na 40 °C se pryskyřice Letoxit PR 102 přivede do původního skupenství, aniž dojde ke změně kvality a vlastností. Pryskyřice je pokládána za fyziologicky dobře snášenlivou. Vzhledem k nízké viskozitě pryskyřice a tudíž nižšímu povrchovému napětí vykazuje spolu ve směsi s tvrdidlem Letoxit EM 420 dobré smáčení laminačních tkanin a materiálů.

Použití

Laminační směs je určena pro výrobu dílů namáhaných v extrémních podmínkách např. částí letadel, větroňů, pro stavění modelů, sportovních člunů, karosérií dopravních prostředků, listů větrných elektráren, forem apod. Laminační směs se hodí pro všechny způsoby výroby jako např. ruční laminování, navijení i při použití tlaku nebo vakua. Optimální teplota pro zpracování namíchané směsi leží v rozmezí teplot 20 – 25 °C. Vyšší zpracovatelská teplota je možná, ale zkracuje životnost směsi pot-life. Přibližně se dá říci, že zvýšení o 10 °C zkracuje životnost na polovinu. Mísicí poměr musí být dodržen co nejpřesněji. Vyšší nebo nižší dávkování tvrdidla nemá za následek urychlení nebo zpomalení reakce, ale způsobí nedokonalé vytvrzení a tím zhoršení mechanických vlastností. Zamíchání musí být provedeno důkladně. Míchejte tak dlouho dokud směs nebude mít jednotnou transparentní barvu a nebudou v ní patrné žádné nerozmíchané "obláčky" tvrdidla. Věnujte zvláštní pozornost stěnám a dnu nádoby. Nemíchejte velká množství. Exotermní vytvrzovací reakci se vyvíjí velké množství tepla, které by mohlo způsobit přehřátí směsi přes 200 °C, eventuelně až "spálení" a tím její znehodnocení. V případě, že chcete kombinovat laminační směs s polyesterovými gelcoaty, doporučuje se předem provést test na adhezi a kompatibilitu. Nevhodná kombinace by mohla mít za následek odlupování gelcoatu, tvorbu bublin nebo trhlin.

Vlastnosti pryskyřice

	Norma	Pryskyřice Letoxit® PR 102
Hustota při 25°C (g/cm ³)	PN-5M-11	1,16
Viskozita při 25°C (mPa.s)	PN-5M-01	300-600
Epoxidový ekvivalent	PN-5M-20	0,6
Barva/Gardner	-	světle žlutá

Vlastnosti tvrdidla

	Norma	Tvrdidlo Letoxit® EM 420
Hustota při 25°C (g/cm ³)	PN-5M-11	0,98
Viskozita při 25°C (mPa.s)	PN-5M-01	130-170

5MNa Záhonech 1177
686 04 KUNOVICE
Česká republikatel: +420 572 433 711
fax: +420 572 433 700
email: 5M@5M.czwww.5M.cz
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

1 / 3

ZPŮSOB POUŽITÍ

Letoxit® PR 102
Letoxit® EM 420

Verze: 19. října 2011

Vodíkový ekvivalent	-	67
Aminové číslo (mg KOH/g)	PN-5M-06	min. 450
Barva	-	světle modrá

Zpracování

	Letoxit® PR 102 + Letoxit® EM 420
Teplota zpracování	20 – 30 °C
Viskozita směsi při 25°C (mPa.s)	250-550
Skladování při 15 – 25 °C	minimálně 6 měsíců v originálních uzavřených nádobách
Vytvrzování	24 hodin při teplotě 23 °C

Směšovací poměr, životnost směsi – pot-life

	pryskyřice Letoxit® PR 102 : tvrdidlo Letoxit® EM 420
Hmotnostní díly	100 : 38 ± 1
Objemové procenta	100 : 45 ± 1
Životnost směsi pro 200 g směsi při 25°C	40-50 min

Vytvrzování

Teplota skelného přechodu (T_g)

Vytvrzení	Norma	Letoxit® PR 102 Letoxit® EM 420
10 h - 40°C	PN-5M-03	58
10 h - 50°C		76
10 h - 60°C		84
10 h - 70°C		86
10 h - 80°C		89

5MNa Záhonech 1177
686 04 KUNOVICE
Česká republikatel: +420 572 433 711
fax: +420 572 433 700
email: 5M@5M.czwww.5M.cz
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

2 / 3

ZPŮSOB POUŽITÍ

Verze: 19. října 2011

Letoxit® PR 102
Letoxit® EM 420

Mechanické vlastnosti nevytuzené pryskyřice

Vytvrzení: 24 h 20-25°C + 15 h 50-55°C	Norma	Pryskyřice Letoxit® PR 102 + tvrdidlo Letoxit® EM 420
Hustota při 25 °C (g/cm ³)	PN-5M-11	1,16
Pevnost v ohybu (MPa)	ČSN EN ISO 178	131
Ohybový modul (GPa)	ČSN EN ISO 178	3,1
Pevnost v tahu (MPa)	ČSN EN ISO 572	73
Rázová houževnatost (kJ/mm ²)	ČSN EN ISO 179	49
Tvrdość (°Bc)	PN-5M-13	24

Mechanické vlastnosti vytuzené pryskyřice

Příklad: GRC – sklem vytuzený kompozit: 12 vrstev tkaniny Vertex 355 g/cm³
celková tloušťka 3 mm

Vytvrzení: 24 h při 20 - 25 °C + 15 h při 50-55 °C	Norma	Pryskyřice Letoxit® PR 102 + tvrdidlo Letoxit® EM 420
Pevnost v ohybu (MPa)	ČSN EN ISO 178	487
Ohybový modul (GPa)	ČSN EN ISO 178	22
Pevnost v tahu (MPa)	DIN 53 455	486
Pevnost v tlaku (MPa)	ČSN EN ISO 604	-
Rázová houževnatost (Nmm/mm ²)	ČSN EN ISO 179	-

Balení

Pryskyřice i tvrdidla jsou dodávány v polyetylenových obalech o obsahu 5, 10, 20 kg a v 220 kg sudech.

5MNa Záhonech 1177
686 04 KUNOVICE
Česká republikatel: +420 572 433 711
fax: +420 572 433 700
email: 5M@5M.czwww.5M.cz
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

PRÍLOHA 4: VÝROBA SILIKONOVEJ FORMY

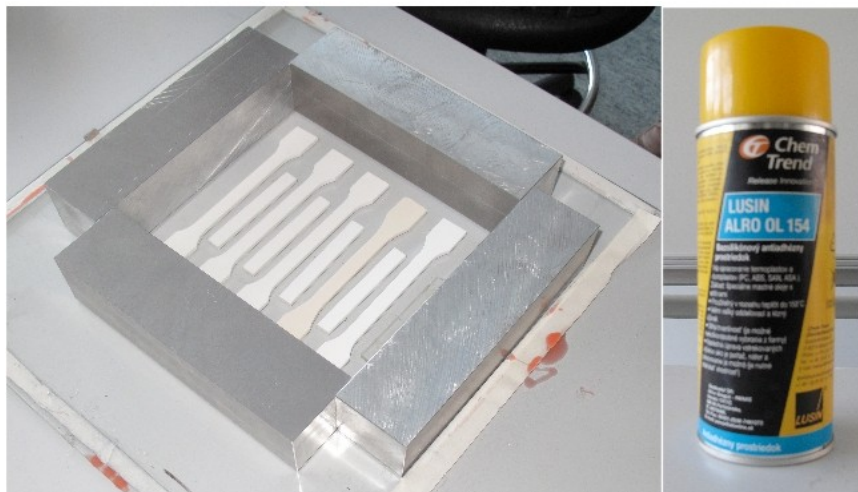
Používané pomôcky a zariadenia:

- sklená tabuľa
- oceľové hranoly
- laboratórne váhy KERN 822
- merítko
- špachtle
- kelímok a sklená tyčinka

Používané látky:

- typy silikónu: RTV 3512 A lot DZ 151
RTV 3512 B orange lot DZ 151
- separačný prostriedok LUSIN ALRO OL154
- kaolinový prach
- lepidlo

Postup výroby:



Obr. 121: Predpríprava formy so separátorom, vlastné spracovanie

Na vyčistené sklo sa uložia lopatky pre lepšiu predstavivosť usporiadania teliesok vo forme. Tieto telieska z polyamidu, ktoré boli vyrobené vstrekom, sa prilepia lepidlom na sklenenú tabuľu veľmi opatrne, aby sa predišlo vzduchovým bublinám a škáry, ktoré môžu narušiť uvažovaný tvar a funkciu formy.

Takto nachystané telieska sa ohraničia pevnými oceľovými hranolmi, ktoré vytvoria bariéru. Predpripravená forma na formu sa naimpregnuje bezsilikonovým separačným prostriedkom pre spracovanie termoplastov a termosetov. Dôležité je naimpregnovať aj okraje a steny hranolov, ktoré budú ponorené a zaliate

Počas vstrebávania sa separátoru (cca. 1-2 min doba pôsobenia), sa navážia silikóny. Kombinácia týchto dvoch polymerov má zastúpenie v pomere 1:1. Ešte pred tým je však potrebné vedieť, aká veľká plocha bude zaliate. Meracím prístrojom sa zmerajú všetky rozmery (šírka, dĺžka a výška) požadovanej formy. Z čoho sa zistí objem plochy.

Hustota silikónu $\rho = 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$

Príklad: $S = a \cdot b = 20 \cdot 17 = 340 \text{ cm}^3$

$m = \rho \cdot V = 1,2 \cdot 340 = 408 \text{ g} / :2 = 204 \text{ g} \dots \text{silikónu A}, 204 \text{ g} \dots \text{silikónu B}$

Po navážení správneho množstva látok, sa táto polymerná zmes poriadne premieša sklenenou tyčinkou za neustáleho pohybu po dobu 2 až 3 minút pre dokonalé zhomogenizovanie zmesi (dno nádoby, steny tiež).

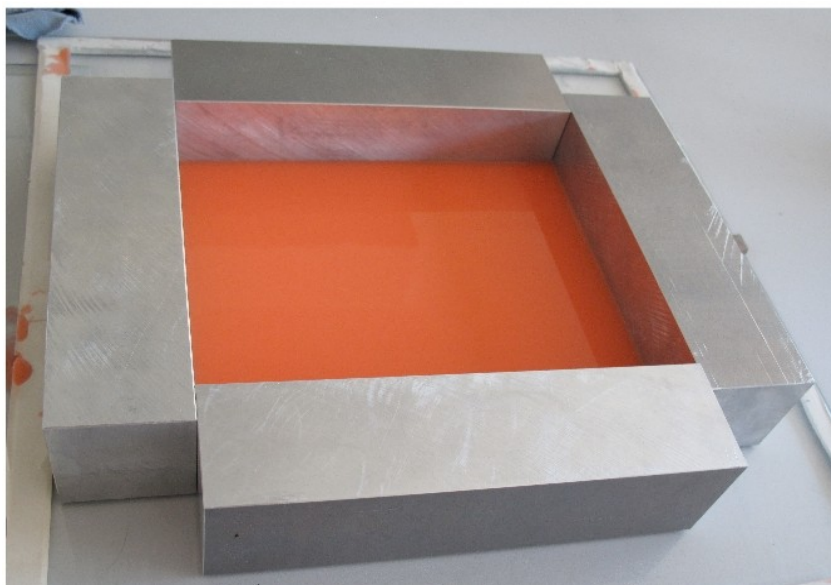
Neúplné zosieťovanie tejto zmesi môže spôsobiť neúplne vytuhnutie formy s prípadnými vadami na porchu formy, kde zostanú zvyšky nesprávne spracovanie polymernej zmesi.

Pripravenú látku lejeme pomaly a plynule do formy, z primeranej výšky, najlepšie do jedného miesta po celú dobu (viď. Obr.). Silikonová zmes sa rovnomerne rozloží po celom objeme.



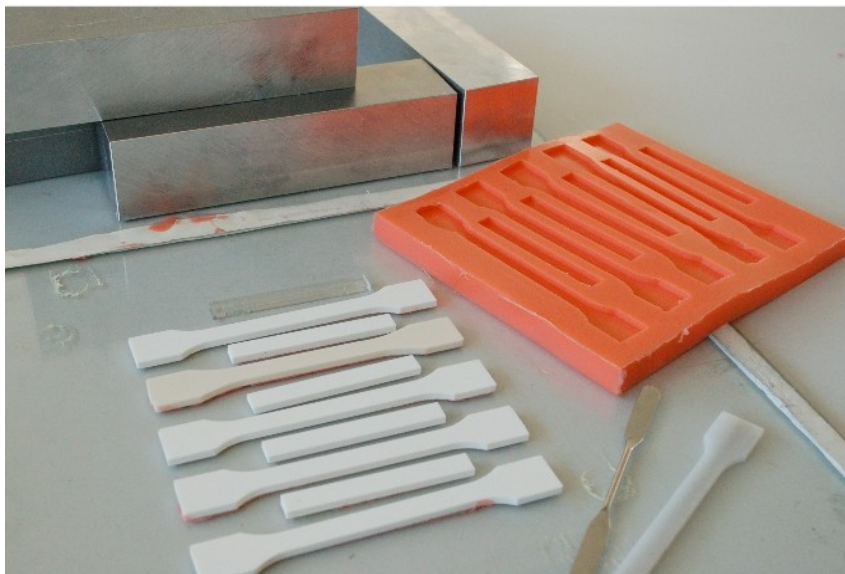
Obr. 122: Zalievanie teliesok pri výrobe formy, vlastné spracovanie

Takto zaliata forma sa nechá odstáť pri laboratórnej teplote 23 °C po dobu 10 – 12 hodín. Tento proces vytvrdzovania sa dá urýchliť zvýšením teploty, pri ktorej forma schne. Taktiež je možné proces urýchliť v laboratórnej sušičke.



Obr. 123: Zaliata silikónová forma, vlastné spracovanie

Po uplynutí doby, sa v prvom rade odstránia krajnice, oceľové hranoly, bezpečne a pomaly sa strhne silikónová forma zo sklennej tabule. Tento úkon sa musí tak isto vykonávať veľmi opatrne, pretože na skle, sú nalepené polyamidové lopatky, ktoré môžu vyrobenú formu narušiť neopatrným zachádzaním.



Obr. 124: Zhotovená silikonová forma po vytuhnutí, vlastné spracovanie

Takto pripravená forma sa ešte povrchovo upraví kaolinovým práškom, ktorý tak obmedzí priťahovanie prachových častíc a iných látok, ktoré sú nežiaduce. Forma je použiteľná hneď, no plne funkčná len v kombinácii so správnym separačným prostriedkom. Výsledná forma je odolná do 240 °C.

V prípade, že forma má v sebe drobné závady v podobe pretokov, je možné ich odstrániť len veľmi ostrými nožnicami, ako praktická pomôcka sa osvedčil švajčiarsky nožík. Skalpel, obyčajné nožnice a orezávatko sa neuplatnili ako vhodné pomôcky, pretože manipulácia s nimi spôsobila nerovnomernú úpravu povrchu s narušením tvaru požadovaných teliesok.

U týchto druhov foriem je nevyhnutné používať separačný prostriedok. Separačný prostriedok je látka, ktorá sa nanáša na povrch formy v minimálnom množstve. Táto povrchová vrstva sa po jej nanesení na vzduchu vytvrdí v priebehu pár minút.

Po zaschnutí, ešte pred použitím formy, sa jemne odstráni (hlavne prebytky v rohoch a úzkych miestach formy). Hlavnou funkciou separačného prostriedku je oddelenie zložiek, teda separácia rôznych typov polymerov. Zabezpečuje jednoduché vynímanie výrobkov z formy a zabraňuje vzniku ďalšej chemickej reakcie, ktorá môže nastať počas doby tuhnutia. Vizualne zlepšuje povrch hotových výrobkov.

Separátory môžu byť vo forme pasty, vosku ale aj v spreji, čo umožňuje rovnomerné nanášanie povrchovej vrstvy aj do obtiažnejších miest. Tieto látky znášajú teploty až do 200 °C.

Na nasledovnom obrázku sú zaznamenané testované druhy separátorov pre použitie s epoxidovou a polyesterovou živicom.



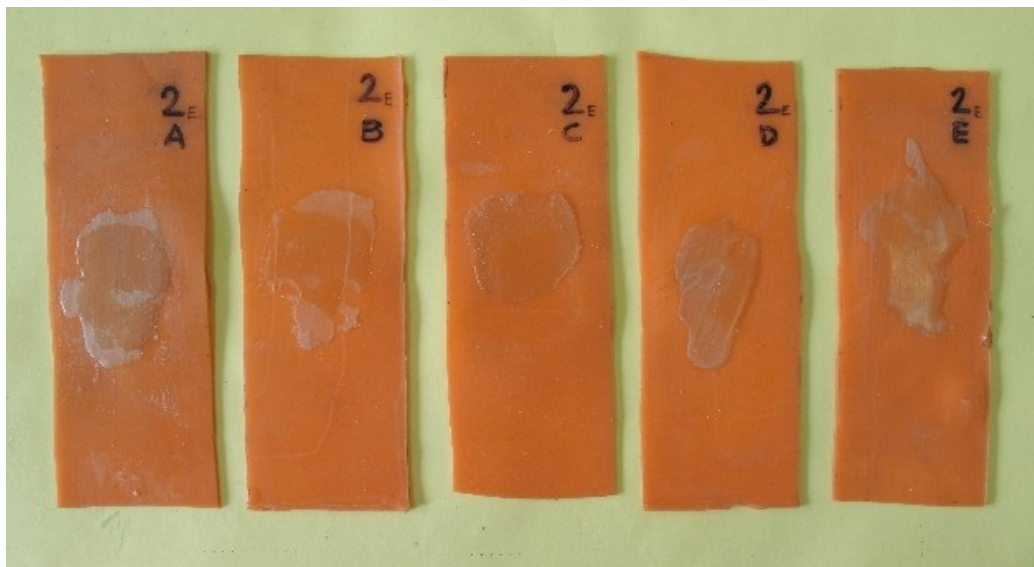
Obr. 126: A) Mold Release; B) Ipronat Trennmittel; C) Ambersil Amberklene FE10; D) Sika Trennmittel 815 Quick; E) Včelý vosk (3%) + Benzén, vlastné spracovanie

Test separačných prostriedkov:

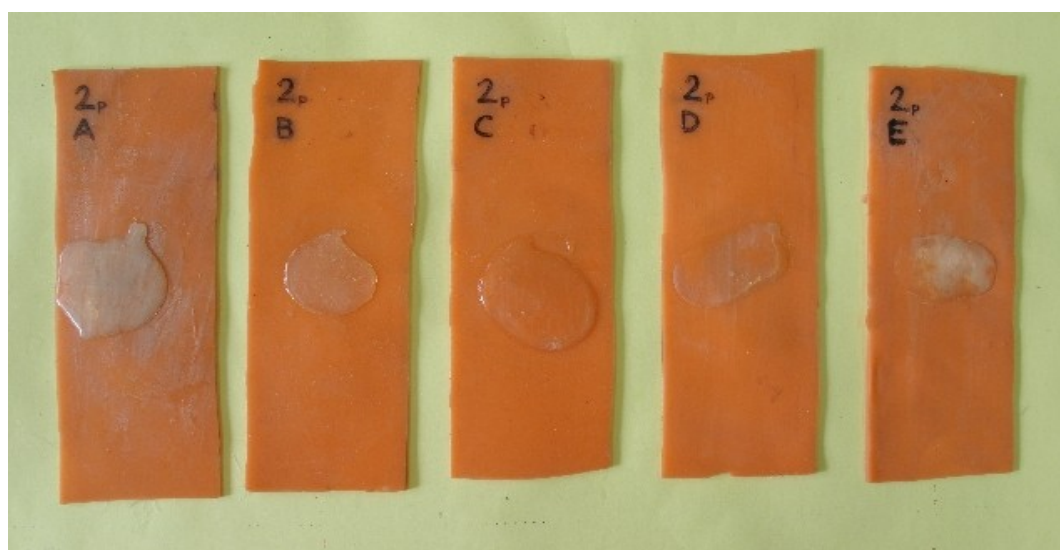
Výber vhodného separátoru pre silikonovú formu o materiálovom zložení:

RTV 3512 B orange lot DZ 151 + RTV 3512 A lot DZ 151 (v pomere 1:1)

Všetky testované separátory sa ukázali ako vhodné pri používaní epoxidovej a polyesterovej živice, to znamená, že splňajú svoju separačnú funkciu.



Obr. 127: Test separátorov s epoxidovou živcou, vlastné spracovanie



Obr. 128: Test separátorov s polyesterovou živcou, vlastné spracovanie

Na obrázkoch je ukážka testovania separátorov v kombinácií s epoxidovou a polyesterovou živcou. Kde označenia A – E sú identifikačné značky v poradí separátorov:

- A) Mold Release
- B) Ipronat Trennmittel
- C) Ambersil Amberklene FE10
- D) Sika Trennmittel 815 Quick
- E) Včelý vosk (3%) + Benzén