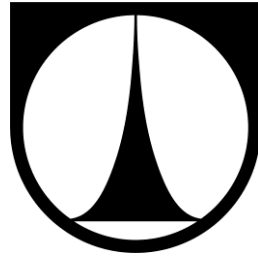


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta textilní



**Vliv povrchových úprav vlákenné suroviny  
na vlastnosti lisovaného kompozitního  
materiálu**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2015

Bc. Veronika Břízová

# Vliv povrchových úprav vlákenné suroviny na vlastnosti lisovaného kompozitního materiálu

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Studijní program:* N3106 – Textilní inženýrství

*Studijní obor:* 3106T018-90 - Netkané a nanovláknenné materiály

*Autor práce:* **Bc. Veronika Břízová**

*Vedoucí práce:* Ing. Ondřej Novák Ph.D.

zadání

## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Ondřeji Novákovi Ph.D. za vedení mé diplomové práce a odborné konzultace. Dále pak za pomoc s experimentální částí a za cenné rady, které mi pomohly k výsledkům práce, za což patří poděkování i kolegyním z firmy HUNTSMAN CoE a Ing. Janě Müllerové Ph.D. V neposlední řadě též Dipl. Ing. Mileně Bělohoubkové a společnosti BORGERS CS SPOL. S.R.O. za námět práce a pomoc při řešení dané problematiky.

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou materiálu Propylát<sup>®</sup>, který se používá pro výrobu kompozitů v automobilovém průmyslu. Důraz je kladen na vlastnosti skleněných vláken, zejména použité povrchové úpravy, které ovlivňují mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. V rešeršní části je podrobněji popsána výroba skleněných vláken, jejich vlastnosti a použití, v teoretické části pak vliv úprav na jejich adhezi a mechanické vlastnosti. V experimentální části jsou metodou infračervené analýzy zkoumána jak samotná skleněná vlákna, tak jejich povrchová úprava. Vliv povrchové úpravy na mechanické vlastnosti netkané textilie i lisovaného kompozitu je studován pomocí tahových zkoušek. Dále byl studován vliv zbytkové vlhkosti na vlastnosti kompozitu a také elektrostatický náboj, který výrazně ovlivňuje zpracovatelnost vlákenné vrstvy. Pomocí antistatického prostředku, který nemá vliv na výsledné mechanické vlastnosti kompozitu, bylo dosaženo účinného odstranění náboje. Taktéž byla nastavena receptura vhodná pro aplikaci v provozu.

**Klíčová slova:** kompozit, skleněná vlákna, Propylát<sup>®</sup>, netkaná textilie, polypropylen, extrakce, infračervená spektroskopie, povrchové úpravy, elektrostatický náboj, antistatické prostředky, tahové vlastnosti plošných textilií

## Abstract

The thesis contains an analysis of Propylate<sup>®</sup> material, which is used for the production of composites in automotive industry. The emphasis is put on glass fiber's properties especially on used surface treatments, which influence mechanical properties of the final composite. In the research part the production of glass fibers is described in detail along with their properties and use as well, then in theoretical part the effect of the treatment to the glass fiber's adhesion and mechanical properties. In the experimental part the glass fibers and their surface treatment are examined using infrared spectroscopy. The effect of the surface treatment to the mechanical properties of nonwoven textile and molded composite is observed by tensile testing. Then the influences of residual moisture to the properties of composite were studied and also electrostatic charge, which strongly affects processability of the fiber layer. Using an antistatic agent, which has no effect to the final mechanical properties of the composite, an effective removal of electrostatic charge was reached. A recipe suitable for application in the company's process was matched.

**Key words:** composite, glass fibers, Propylate<sup>®</sup>, nonwoven textile, polypropylene, extraction, infrared spectroscopy, surface treatments, electrostatic charge, antistatic agents, and tensile properties of fabric.

## Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. REŠERŠE.....	10
2.1 Obecný popis vláken.....	10
2.2 Historie vláken.....	11
2.3 Složení a klasifikace vláken.....	12
2.3.1 Klasifikace podle chemického složení.....	12
2.3.2 Klasifikace užitných vlastností.....	13
2.3.3 Klasifikace podle charakteristiky vláken.....	15
2.4 Vlastnosti skleněných vláken.....	16
2.4.1 Mechanické vlastnosti.....	16
2.4.2 Chemická odolnost.....	16
2.4.3 Tepelné vlastnosti.....	16
2.4.4. Dielektrická pevnost.....	17
2.5 Výroba skleněných vláken.....	18
2.5.1 Dávkování.....	18
2.5.2 Kuličkový proces výroby vláken.....	18
2.5.3 Metoda přímého tavení.....	19
2.5.3.1 Tavení.....	20
2.5.3.2 Zvlákňování.....	20
2.5.4 Apretace.....	21
2.5.5 Sušení a balení.....	21
2.6 Výroba vláknenných kompozitů se skleněnou maticí.....	23
2.7 Aplikace kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu.....	24
2.8 Látky používané pro povrchovou úpravu a jejich vlastnosti.....	25
2.8.1 Textilní apretace.....	25
2.8.2 Zpevňovací apretace.....	26
3. TEORETICKÁ ČÁST.....	27
3.1 Vliv úprav na zpracovatelnost.....	27
3.1.1 Odstranění textilní apretace (např. parafínové).....	27
3.2 Vliv úprav na adhezi.....	28
3.2.1 Úprava vláken spojovacím činidlem.....	28
3.2.1.1 Siloxanová činidla.....	28

3.2.1.2	Technologie povrchové úpravy spojovacím činidlem .....	29
3.3	Vliv vlhkosti.....	29
3.4	Vliv elektrostatického náboje.....	30
3.4.1	Chemická podstata antistatických prostředků .....	31
4.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	32
4.1	Používané metody analýz a zkoušení.....	32
4.1.1	Infračervená spektroskopie vláken .....	32
4.1.2	Tahová zkouška .....	33
4.1.3	Měření elektrostatického náboje.....	35
4.2	Stanovení průměru a jemnosti vláken .....	36
4.3	Kvalitativní a kvantitativní analýza aplikované povrchové úpravy .....	42
4.3.1.	Extrakce skleněných vláken – kvantitativní analýza .....	42
4.3.2	Analýza extraktu ze skleněných vláken – kvalitativní analýza .....	44
4.3.3	Extrakce vypraných skleněných vláken – kvantitativní analýza .....	45
4.3.4	Analýza extraktu z vypraných skleněných vláken – kvalitativní analýza ..	46
4.3.5	Extrakce netkané textilie – kvantitativní analýza .....	47
4.3.6	Analýza extraktů netkané textilie – kvalitativní analýza .....	48
4.4	Stanovení vlivu povrchové úpravy na mechanické vlastnosti netkané textilie.....	50
4.5	Stanovení vlivu vlhkosti.....	53
4.6	Stanovení vlivu antistatického prostředku .....	54
4.6.1	Snižování elektrostatického náboje .....	54
4.6.2	Mechanické zkoušky.....	60
4.7	Celkové zhodnocení mechanických vlastností.....	62
5.	Diskuze .....	64
6.	Závěr s návrhy a doporučeními .....	66
	Citovaná literatura.....	67
	Přílohy.....	70



## **Seznam zkratk, značek a vzorců:**

$\text{SiO}_2$  – oxid křemičitý

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – oxid hlinitý

$\text{TiO}_2$  – oxid titaničitý

$\text{B}_2\text{O}_3$  – oxid boritý

$\text{CaO}$  – oxid vápenatý

$\text{MgO}$  – oxid hořečnatý

$\text{Na}_2\text{O}$  – oxid sodný

$\text{K}_2\text{O}$  – oxid draselný

$\text{Zr}_2\text{O}_3$  – oxid zirkonitý

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – oxid železitý

$\text{BeO}$  – oxid berylnatý

$A_{\max}$  – prodloužení při maximální síle

$F_{\max}$  – maximální síla

MD – podélný směr

CD – příčný směr

NT – netkaná textilie

## 1. ÚVOD

Tato práce se zabývá analýzou skleněných vláken používaných do netkané textilie zvané Propylát<sup>®</sup>, což je registrovaná obchodní značka společnosti Borgers. Tento kompozit obsahuje kromě výztužných skleněných vláken také polypropylenová vlákna, která slouží jako pojivo. Tento kompozitní materiál je využíván v automobilovém průmyslu.

Práce vznikla ve spolupráci s již zmíněnou společností Borgers CS Rokycany, která poskytla námět a materiál k realizaci diplomové práce a společností Huntsman CoE Liberec, kde byla provedena část experimentů.

Práce se věnuje vlivu povrchové úpravy a vlhkosti skleněných vláken na následnou tvorbu lisovaného kompozitu. Hlavním cílem této práce tedy je zjistit, zda je na skleněných vláknech použita povrchová úprava, jak ji účinně odstranit a jaký má případný vliv na pevnost lisované netkané textilie. Tento lisovaný kompozit (Propylát<sup>®</sup>) obsahuje 40 % skleněných vláken, která se používají zejména pro vysokou pevnost v tahu, tuhost a tepelnou odolnost a 60 % polypropylenových vláken, která po roztavení slouží jako matrice. Dalším cílem je zjistit, jaký vliv má vlhkost skleněných vláken na lisování kompozitu a výsledné mechanické vlastnosti. Vlákna se před výrobou i během ní vlhčí z důvodu předcházení prašnosti a vzniku elektrostatického náboje. Elektrostatický náboj bude též odstraňován pomocí antistatického prostředku s různými koncentracemi a zároveň bude sledován jeho vliv na pevnost lisovaného kompozitu.

Vliv úprav, přítomnost zbytkové vody a dalších činidel bude studován pomocí zjišťování maximální síly a prodloužení při maximální síle pomocí metody Strip.

## 2. REŠERŠE

Tato rešerše je zaměřena na skleněná vlákna, jejich historii, vlastnosti, výrobu. Dále pak na různé druhy apretací, které se na vlákna používají, buď během výrobního procesu, nebo jako finální úprava. Popsáno je i použití skleněných vláken do kompozitů a použití kompozitů v automobilovém průmyslu.

### 2.1 Obecný popis vláken

Skleněné vlákno je vynikající anorganický nekovový materiál s dobrými vlastnostmi jako je nehořlavost, tepelná odolnost, chemická stabilita a elektrická izolace, tvrdost, transparentnost a pružnost. Oproti masivnímu sklu mají vlákna především vyšší pevnost v tahu a mohou se použít pro výrobu moderních kompozitních materiálů, např. plastu vyztuženého skleněnými vlákny, a high-tech materiálů. Vyrábějí se ve formě stříže nebo nekonečných vláken vhodných pro další využití [1].

Veškerá skleněná vlákna jsou získávána z kompozic obsahujících oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$  (tvoří více než 50% skleněných vláken), které jsou dostupné prakticky jako neomezený zdroj. Ostatní složky skleněných vláken obsahují například oxidy a boritany hliníku, vápníku a hořčíku [2].

Skleněná vlákna jsou jedním ze sklářských výrobků, jehož využití se stále rozšiřuje v technické i každodenní praxi. Používají se v celé řadě aplikací, které lze rozdělit do čtyř základních skupin: izolace, filtrační média, výztuže a optická vlákna. Uplatnění nachází např. v dopravě, stavebnictví, ochraně životního prostředí, petrochemii, elektronických a elektrických zařízeních, letectví, jaderné energii, zbraních atd. [3].

Výroba skleněných vláken ve světě stále stoupá. V roce 2012 dosáhla produkce ve světě 5,3 miliónů tun vláken za rok. Největším výrobcem skleněných vláken na světě je Čína, která právě v roce 2012 pokryla 81 % celkové výroby [3].

## 2.2 Historie vláken

Skleněné vlákno, dnes vyráběné jako součást moderních kompozitů, uměli roztavit a natáhnout do tenkých vláken již staří Féničané, Egypťané a Řekové již okolo roku 1800 př. n. l. Skleněná vlákna používali na dekorativní předměty, jako byly egyptské vázy jimi zdobené. Další archeologické nálezy, které obsahovaly skleněná vlákna, se nacházely v Číně (dynastie Han 206 let př. n. l. až 220 let n. l.), součástí byla tlustá skleněná vlákna o složení obdobném současnému E - sklu (viz str. 8) [2,4].

V 16. a 17. stol. n. l. začali benátská skláři zdobit ve větší míře své výrobky skleněnými vlákny. Laboratorní výrobu a technické použití skleněných vláken uvádějí ve svých pracích zakladatelé moderní fyziky Hooke a Réaumur (17. až počátek 18. století). Koncem 19. stol. se objevují první zmínky o technickém zužitkování skleněného vlákna v patentové literatuře [2].

V roce 1870 vyvinul John Player metodu pro masovou produkci skleněných vláken používaných pro izolaci (též nazývána jako minerální vlna) a to parním tryskovým procesem. Další objev nastal již v roce 1880, kdy Hermann Hammesfahr, prusko-americký vynálezce získal patent na textilií ze skelných vláken protkanou hedvábím, která byla velice odolná a nehořlavá [5].

První skleněná vlákna jak je dnes známe, byly vyrobeny náhodou. Dale Kleist, mladý výzkumník Corning Glass, se pokoušel svařit dva skleněné bloky dohromady k vytvoření vzduchotěsného uzávěru. Neočekávaně proud stlačeného vzduchu zasáhl proud roztaveného skla a vytvořil sprchu skleněných vláken, která ukázala Daleovi snadný způsob, jak vytvořit skleněná vlákna [5].

V komerčním rozsahu se však skleněná nekonečná vlákna začala vyrábět a používat jako strukturní výztuže až od roku 1930. Patent podali v roce 1936 zaměstnanci Owens-Illinois Glass Co. v Toledo ve státě Ohio, Games Slayter, John Thomas a již zmíněný Dale Kleist z Corning Glass. Patent nazvali „Fiberglas“. Tímto značně zasáhli do produkce skleněných vláken, kdy se místo staplových ze skelné vaty začala vyrábět vlákna nekonečná s průměrem až 4 mikrony a tisíce metrů dlouhá [8].

## 2.3 Složení a klasifikace vláken

Sklo je směs skládající se z  $\text{SiO}_2$  a různých kovových oxidů.  $\text{SiO}_2$  má vysoký bod tání, je hlavní složkou skla, a zároveň základní kostrou při jeho tvorbě. Kovové oxidy, nacházející se ve sklu jsou např.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{O}$ ),  $\text{BeO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ , atd. [1]. Typická složení běžných skel v procentuálním zastoupení jednotlivých složek jsou uvedena v Tabulce 1.

Funkcemi těchto kovových oxidů jsou zlepšení procesních podmínek výroby skleněných vláken (za cenu zhoršení vlastností skleněných vláken), jako je například nižší bod tání, snížení sklonu ke krystalizaci složek, je tedy vhodná nižší viskozita tekutého skla pro usnadnění dloužení. Skleněná vlákna obvykle obsahují oxidy alkalických kovů  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Tyto oxidy snižují teplotu tání a viskozitu skla, tak, aby mohly být snadno odstraněny bubliny v kapalném sklu. Výroba se pak stává snazší, tyto oxidy jsou známé jako tavidla. Na druhou stranu mají špatné účinky na vlastnosti, jako je voděodolnost, elektrické vlastnosti, apod.  $\text{BeO}$  zlepšuje modul pružnosti, ale také přináší vysokou toxicitu. Přidáním  $\text{B}_2\text{O}_3$  se může zlepšit odolnost vůči kyselinám a zlepšit elektrický výkon, snížit bod tání a viskozitu, ale klesá modul pružnosti a pevnost. [1]

### 2.3.1 Klasifikace podle chemického složení

Skleněná vlákna se rozdělují podle obsahu oxidů alkalických kovů [1]:

- a) Alkalická skleněná vlákna, obsah oxidů alkalických kovů je vyšší než 12 %.
- b) Středně alkalická skleněná vlákna, obsah oxidů alkalických kovů je v rozmezí od 6 % - 12 %.
- c) Nízko-alkalická skleněná vlákna, obsah oxidů alkalických kovů je v rozmezí 2 % až 6 %.
- d) Mikro-alkalická (nealkalická) skleněná vlákna, obsah oxidů alkalických kovů je menší než 2 %.

V případě, že sklo obsahuje vysoký podíl oxidů alkalických kovů, je snadno tavitelné a ulehčuje též proces výroby vláken, což snižuje výrobní náklady; dále je tento druh vláken odolný vůči korozi způsobené mořskou vodou. Tato vlákna by mohla splňovat požadavky běžných aplikací. Mnoho nízko-alkalických nebo alkalických

skleněných vláken se používá ve stavebních konstrukcích, nealkalická pak pro elektrické nebo vojensko-průmyslové produkty [1].

**Tabulka 1** - Chemické složení skleněných vláken [ % ] [6]

Oxidy	E-Sklo	C-Sklo	S-Sklo	A-Sklo	D-Sklo	R-Sklo	ECR-Sklo	S2-Sklo
SiO <sub>2</sub>	55.0	66.0	65.0	67.5	74.0	60.0	61.0	65.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.0	4.0	25.0	3.5	---	24.0	13.0	25.0
TiO <sub>2</sub>	0.2	---	---	---	---	---	---	---
Br <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.0	5.0	---	1.5	22.5	---	---	---
CaO	22.0	14.0	---	6.5	---	9.0	22.0	---
MgO	1.0	3.0	10.0	4.5	---	6.0	3.0	9.0
Na <sub>2</sub> O	0.5	---	---	13.5	1.5	0.5	---	0.1
K <sub>2</sub> O	0.3	7.5	---	3.0	2.0	0.1	0.5	---
Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	---	---	0.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	0.5	---	---	---	---	---	0.1
Teplota měknutí	840°C	750°C	950°C	700°C	720°C	950°C	840°C	---

### 2.3.2 Klasifikace užitných vlastností

Podle užitných vlastností se skleněná vlákna značí těmito zkratkami:

E (Electrical) elektrická – nízká elektrická vodivost

S (Strenght) pevnostní – vysoká pevnost

C (Chemical) chemická – vysoká chemická odolnost

M (Modulus) modul pružnosti – vysoká tuhost

A (Alkali) alkalická – vysoce alkalické nebo sodno-vápenaté sklo

D (Dielectric) nevodivá – nízká permitivita

[6]

#### A-SKLO

Je sodno-vápenato-křemičité sklo, které nachází využití tam, kde je potřeba pevnost, odolnost a dobrý elektrická odolnost [6].

### **C-SKLO**

Tento druh skla vykazuje obzvláště dobrou chemickou stabilitu v korozivních kyselých prostředích [6].

### **D-SKLO**

Jsou to převážně borosilikátová skla s nízkou permitivitou pro elektrické aplikace. Je to též dobrý elektrický izolant [6].

### **E-SKLO**

Jsou to široce používaná hlinito-vápenato-borosilikátová skla s maximálním obsahem oxidů alkalických kovů 2 %, využívaná jako víceúčelová vlákna kde je požadovaná pevnost a vysoká elektrická odolnost [1,6].

### **S-SKLO**

Obsahuje méně než 0.3 % oxidů alkalických kovů. Má o 33 % vyšší pevnost, a o 20 % vyšší modul pružnosti než E-sklo. Má dobrou retenci při vysokých teplotách a je používáno pouze v případech, kde je potřeba vysoká pevnost [1].

### **M-SKLO**

Obsah oxidů alkalických kovů v tomto sklu se blíží k nule, má o 60 % vyšší modul pružnosti než E-sklo, ale stejnou pevnost [1].

*Další skupiny skleněných vláken:*

### **ECRGLAS®**

Je to vápenato-hlinito-křemičité sklo s maximálním obsahem alkálií 2 %, využívané tam, kde je žádoucí pevnost, elektrická odolnost, odolnost proti korozi [6].

### **AR SKLO**

Toto alkali-rezistantní sklo složené z alkalických křemičitanů zirkonu se používá v cementových substrátech a betonu [6].

### **R SKLO**

Vápenato-hlinito-křemičité sklo se díky pevnosti a odolnosti vůči korozi v kyselém prostředí používá pro výztuže [6].

## S-2 SKLO

Toto hořečnato-hlinito-křemičité sklo se používá pro textilní substráty nebo vyztužení kompozitů ve strukturních aplikacích, které vyžadují vysokou pevnost, modul pružnosti, stabilitu při vysokých teplotách a v korozivním prostředí. [6]

### 2.3.3 Klasifikace podle charakteristiky vláken

- a) Dle délky vláken: Vlákna mohou být buď staplová, nebo nekonečná. Délka staplových vláken se pohybuje v rozmezí 6 – 50 mm. Většina těchto vláken se získává nařezáním nekonečných vláken a jen malá část foukacím procesem. Staplová vlákna jsou následně utvořena např. ve skelnou vatu, nebo jiné skelné produkty. Ty mohou být použity jako tepelná izolace nebo výstužný materiál plastů. Nekonečná vlákna jsou zvlákňována z pece. Mohou být zakroucena, sbírána v pramenech a spředená. Tento typ vláken se používá k vyztužení kompozitních materiálů [1].
- b) Dle průměru vláken: Vlákna se dělí na hrubá (průměr vláken 30  $\mu\text{m}$ ), základní (průměr 20  $\mu\text{m}$ ), střední (10 – 20  $\mu\text{m}$ ), pokročilá neboli textilní vlákna (3 – 9  $\mu\text{m}$ ), ultra jemná (< 4  $\mu\text{m}$ ). Vlákna s průměrem 5 – 10  $\mu\text{m}$  se obecně používají jako textilní vlákna. Vlákna s průměrem 10 – 14  $\mu\text{m}$  se používají do pramenů, netkaných textilií, na řezaná vlákna. Obecně platí, že čím tenčí vlákno je, tím má méně vad a vyšší pevnost [9].
- c) Dle vzhledu vláken: nekonečná vlákna, sekaná vlákna, dutá skleněná vlákna, mletá granulovaná vlákna a skelný prach [1].



## 2.4 Vlastnosti skleněných vláken

Vlastnosti skleněných vláken, které ovlivňují jejich technické využití, můžeme rozdělit na mechanické, chemické, tepelné, dielektrické a ostatní. [7]

### 2.4.1 Mechanické vlastnosti

Zde jsou vypsány základní mechanické vlastnosti a jejich hodnoty pro skleněná vlákna.

*Měrná hmotnost:* 2,49 ~ 2,56 g/cm<sup>3</sup> [1]

*Modul pružnosti v tahu (Youngův modul):* cca 70 GPa (ocel 210 GPa) [1]

*Pevnost v tahu:* průměr vlákna  $d < 10 \mu\text{m}$  – 1000 MPa,

průměr vlákna  $d < 5 \mu\text{m}$  – 2400 MPa

Oproti vláknům má běžné sklo pevnost v tahu v rozmezí pouze 40 – 100 MPa a ocel o průměru 40 mm cca 360 – 510 MPa [1].

*Prodloužení:* cca 2,6 % [1]

### 2.4.2 Chemická odolnost

Skleněná vlákna odolávají většině chemikálií. Nejpoužívanější skleněná vlákna ze skla typu E mají dobrou odolnost proti vodě, proti působení organických a slabých anorganických kyselin, vůči většině alkálií. Na skleněná vlákna nepůsobí ani organická rozpouštědla. Důležitá je též odolnost proti působení a vlivům korozivního prostředí. Vlákna jsou nenasákavá a nebobtnají. Mají výbornou odolnost vůči paprskům UV, plísním, a jiným mikroorganismům [7].

### 2.4.3 Tepelné vlastnosti

Chemickým složením jsou skleněná vlákna anorganické oxidy. Tím je dána i jejich nehořlavost. Teplota, při níž se vlastnosti skleněných vláken vůbec nemění, leží v rozmezí od -80 °C do + 170 °C [7].

*Teplota měknutí:* cca 800 °C [7]

*Teplota skelného přechodu:* cca 600 °C [1]

*Teplota tání:* cca 1200 °C [1]

Se zvyšující se teplotou se snižuje pevnost vláken. Při teplotě  $t < 200 \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$  nenastávají žádné změny, při teplotě  $300^\circ\text{C}$  působící po dobu 24 hodin pevnost klesá o 20 % a při teplotě  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  působící po dobu 24 hodin pevnost klesá o polovinu. Pevnost vláken klesá i se zvyšující se vlhkostí [1].

Tepelná vodivost skleněného vlákna je nižší než u kovů, avšak vyšší než u organických vláken. Tato vlastnost nachází využití zejména u vyztužených plastických hmot a v elektroizolacích, kde skleněná vlákna zabraňují místnímu přehřátí [7].

#### **2.4.4. Dielektrická pevnost**

Významnou vlastností skleněných vláken je dielektrická pevnost, z níž nejdůležitější je vysoký specifický odpor, pevnost v průrazu, nízký elektrický ztrátový faktor  $\tan \delta$  a dielektrická konstanta  $\epsilon$  [7].

## 2.5 Výroba skleněných vláken

V současné době nejběžnějšími metodami výroby skleněných vláken je kuličkový proces (zvláknování z tavicí nádoby) a přímý tavicí proces (tavicí pec). [8]

Skelná vlákna jsou vyráběna z křemičitého písku (oxid křemičitý), který taje při 1720 °C. Oxid křemičitý je také základním prvkem křemene. Pokud se oxid křemičitý zahřeje na teplotu 1200 °C a pak se ochladí vlivem okolního prostředí, zkrystalizuje a stává se z něj křemen. Sklo se vyrábí regulováním teplot zahřívání a ochlazování. V případě čistého oxidu křemičitého se zahřeje na teplotu 1720 °C a pak se prudce ochladí, tím se zabrání krystalizaci a oxid získává amorfní nebo náhodně utříděnou atomovou strukturu, známou jako sklo. Proces výroby vláken se dělí do pěti základních kroků, a to dávkování, tavení, zvláknování, potahování a sušení/balení [8].

### 2.5.1 Dávkování

I když skleněná vlákna mohou být vyráběna pouze z oxidu křemičitého, jsou přidávány další složky ke snížení pracovní teploty, a kvůli dodání dalších vlastností, které jsou užitečné v určitých aplikacích. Například E-sklo, původně zaměřené na elektrické zařízení ve směsi obsahující oxid křemičitý, oxid hlinitý, oxid vápenatý a oxid hořečnatý, bylo vyvinuto jako alternativa více odolná alkáliím k původnímu sodno-vápenatému sklu. Později byl přidán bor ve formě oxidu boritého, ke zvýšení rozdílu mezi teplotami, při kterých je dávka E-skla roztavena a formována v krystalickou strukturu, aby se zabránilo zanesení trysek používaných ke zvláknování [8].

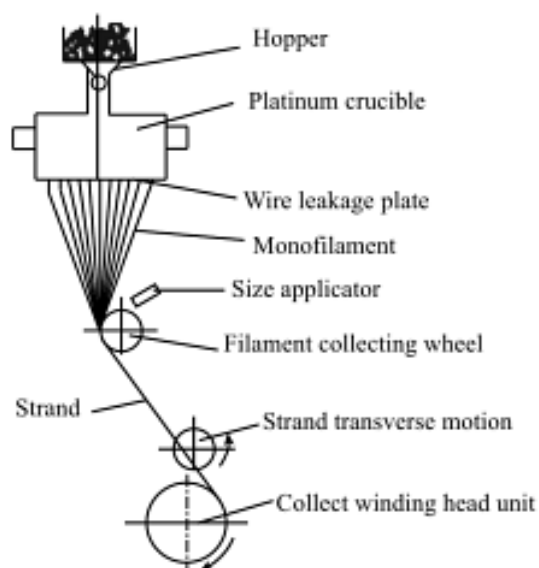
S-skelná vlákna, která byla vyvinuta pro vyšší pevnost, jsou založena na směsi oxidu křemičitého, oxidu hlinitého a oxidu hořečnatého, obsahují vyšší podíl právě oxidu křemičitého a to kvůli pevnosti v tahu [8].

V počáteční fázi výroby skla musí být tyto materiály pečlivě zváženy v přesném množství a důkladně promíchány po dávkách. Dávkování se provádí automaticky pomocí počítačů, váhových jednotek a dopravních systémů (pneumatických) [8].

### 2.5.2 Kuličkový proces výroby vláken

Tento proces se skládá ze dvou částí, a to vytvoření kuličky a dlužení. Směs se roztaví při teplotě okolo 1260°C, a poté se sklovina vytvaruje do kuliček s průměrem 15 – 18 mm o váze asi 10 g, které jsou připravené k dlužení. Tyto kuličky jsou omyty,

dekontaminovány a rozděleny do platinové nebo hliněné tavicí nádoby na roztavení. Teplota skloviny je okolo 1300 °C. Toto roztavené sklo proteče skrze desku s dírami nebo zvlákňujícími tryskami na spodu nádoby pouze vlivem gravitační síly. Počet děr na této ploše je 102, 204 nebo 408 (avšak mohou jich být 3 – 4 tisíce). Otvory jsou velké 1,5 – 2 mm v průměru. V tuto dobu má sklovina teplotu okolo 1190 °C. V rychlém procesu chlazení s vysokou rychlostí rotace (1000 – 3000 m/min) jsou vlákna natáhnuta až do průměru 3 – 20 μm. Monofilamenty jsou sbírány do pramene poté, co projdou skrze šlichtovací nádrž, a poté jsou navinuty na cívku [1,7].



**Legenda:**

Hopper – násypka; platinum crucible – platinová tavicí nádoba; wire leakage plate – deska s otvory pro tvorbu vláken; size applicator – aplikátor apretace; filament collecting wheel – kotouč pro sběr vláken; strand – pramen; strand transverse motion – šikmý pohyb pramene; collect winding head unit – hlavní sběrná a navíjecí jednotka

**Obrázek 1** - Schéma kuličkového zvlákňování [3]

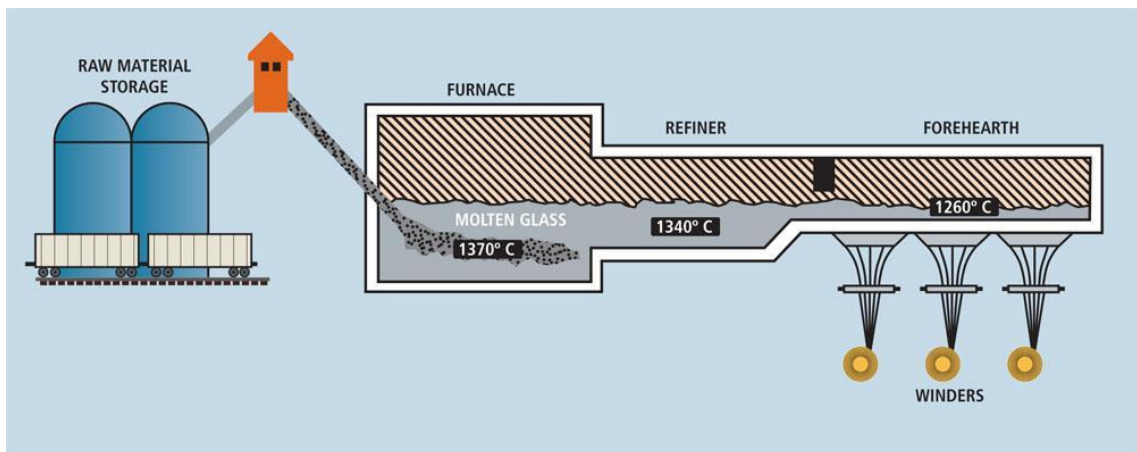
### 2.5.3 Metoda přímého tavení

Oproti kuličkové metodě má metoda přímého tavení tyto výhody [1,7]:

- Vynechává proces tvorby kuliček, zjednodušuje proces, zvyšuje účinnost
- Pec má velkou kapacitu a tím pádem se zvyšuje výrobní kapacita
- Teploty, hydraulika, tlak a tok mohou být automaticky kontrolovány centrálním panelem, tím pádem mají vlákna stabilní kvalitu

### 2.5.3.1 Tavení

Po dávkování pneumatický dopravník odešle směs k tavení při teplotě cca 1370 - 1400 °C do pece. Pec je obvykle rozdělena do tří částí s kanály, které napomáhají proudění skloviny. V první části dochází k roztavení, zvýšení stejnoměrnosti, a odstranění bublinek. Sklovina pak proudí do rafinerie kde je jeho teplota snížena na 1340 - 1370°C. Poslední sekcí je předpecí, pod níž se nachází řada se čtyřmi až sedmi průchody, které v dalším kroku slouží k vytlačení roztaveného skla do vláken. Velké pece mají několik kanálů, každý s vlastním předpecím [7,8].



**Legenda:**

Raw material storage – úložiště surového materiálu; Furnace – pec; Molten glass – roztavené sklo; Refiner – rafinérie; Forehearth – předpecí; Winders - navíječe

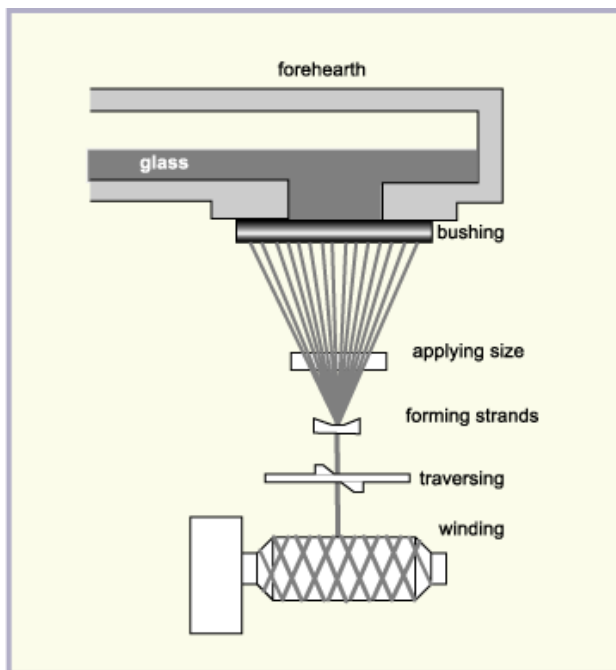
**Obrázek 2** - Tavní pec (Dávkování, tavení) [8]

### 2.5.3.2 Zvlákňování

Zvlákňování vláken zahrnuje dvě základní operace a to extruze a zeslabení. Při extruzi roztavené sklo prochází z předpecí průchodkou z protierozivní slitiny rhodia a platiny s velmi jemnými otvory v počtu od 200 do 8000. Průchodky se zahřívají elektronicky a jejich teplota je přesně řízena tak, aby udržovala konstantní viskozitu skla. Vodní trysky poté ochladí filameny, které jsou zahřáté na zhruba 1204 °C. Zeslabení je proces mechanického tvarování extrudovaného roztaveného skla do vláken z prkenných útvarů s průměrem od 4 μm do 34 μm. Vysokorychlostní navíječ zachycuje roztavené toky skla, a protože se otáčí obvodovou rychlostí 3 km/min (mnohem rychleji než sklovina opouští průchodky), napětím se sklo dlouží do tenkých vláken [8].

### 2.5.4 Apretace

V závěrečné fázi je aplikována chemická ochranná vrstva. Nanáší se obvykle v množství 0,5 – 2,0 hmotnostních procent. Zpravidla obsahuje lubrikanty, které chrání vlákna před abrazí a porušením při navíjení, balení a později například při tkaní. Další složkou mohou být pojiva nebo spojovací činidla, které napomáhají zvýšení afiny vlákna k pryskyřicím. [8]



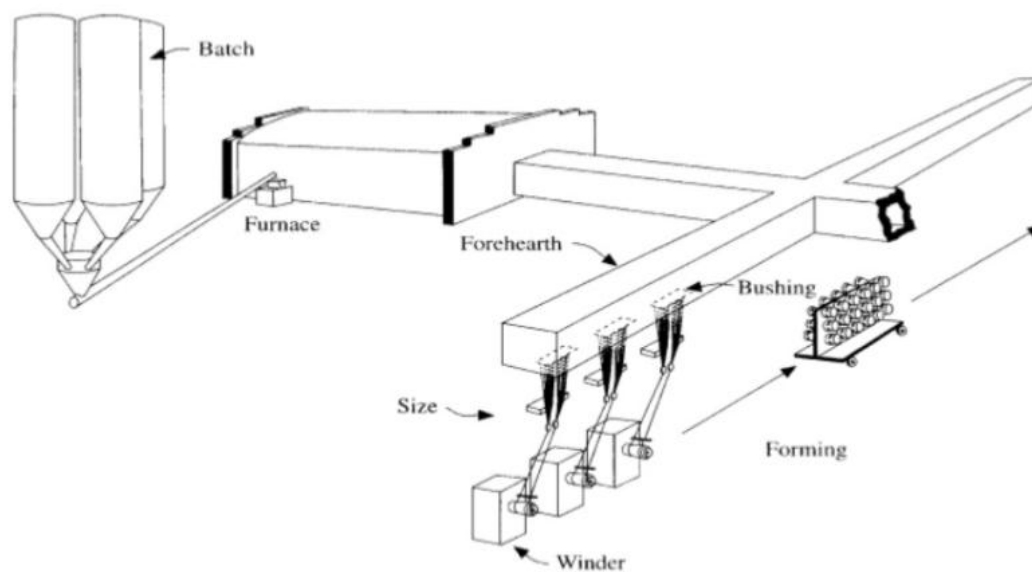
**Legenda:**

Glass – sklo; Forehearth – předpecí; Applying size – aplikování šlichty; Forming strands – formování pramenů; Traversing – rozvádění pramene; Winding - navíjení

**Obrázek 3** – Zvlákňování, nanášení ochranné vrstvy a navíjení [9]

### 2.5.5 Sušení a balení

Dloužená a apretovaná vlákna jsou shromažďována do svazku, který je tvořen cca 50 až 1600 filamenti. Tento pramen je navíjeno na buben do balíku, který se podobá cívce s nití. Tyto tvarovací balíky se pak suší v sušárně a poté jsou na paletách připraveny pro pozdější zpracování do sekaných vláken, přástů nebo přízí [8].



**Legenda:**

Batch – dávkování; Furnace – pec; Forehearth – předpecí; Size – apretace; Bushing – pouzdro s roztaveným sklem; Winder – navíječ; Forming - tvarování

**Obrázek 4** - Celý proces výroby skleněných vláken [6]

## 2.6 Výroba vláknenných kompozitů se skleněnou maticí

Vláknny vyztužené polymerní kompozity mají široké využití v mnoha průmyslových oblastech (automobilová, námořní a letecká doprava, stavebnictví, elektrotechnický a spotřební průmysl). Jejich užité vlastnosti závisí na materiálových vlastnostech vyztužujících vláken, polymerní matrice, ale také na tenkých hraničních vrstvách (mezivrstvách) na rozhraní mezi vyztužujícím vláknem a polymerní maticí [10].

Vláknna jsou účelově povrchově upravována nanášením tenkých vrstev s cílem zlepšit smáčivost jejich povrchu a adhezi vláken k maticí, a tím zajistit zvýšení užité vlastností kompozitu (pevnost, houževnatost). Komerční povrchové úpravy vláken mají svá omezení, a proto vzrůstá potřeba najít nové přístupy a technologie pro přípravu funkčních mezivrstev s vhodnými vlastnostmi [10].

Kompozit je materiál, ve kterém jsou specifickým způsobem kombinovány dvě nebo více komponent s výrazně se lišícími fyzikálními vlastnostmi. Kompozity tvoří jedna nebo více nespojitých fází, ponořených ve fázi spojitě. Nespojitá fáze je obvykle tužší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se výztuž, zatímco spojitá fáze se nazývá matrice. Úkolem matrice je jednak chránit výztuž před mechanickým a chemickým poškozením a jednak udržovat ji v požadovaném směru vůči namáhání a dále umožnit přenos vnějších napětí do výztuže. Nositelem pevnosti a tuhosti jsou u dlouhovláknenných (poměr délky vlákna k jeho průměru  $> 100$ ) polymerních kompozitů vyztužující vlákna a matrice k nim výrazněji nepřispívá. Tenké hraniční vrstvě na rozhraní vlákno-polymer se říká mezivrstva a společně s modifikovanou částí polymerní matrice tvoří kompozitní mezifázi [10].

Skleněná vlákna jsou nejčastější výztuž polymerních kompozitů. Hlavní výhody jsou nízká cena, vysoká pevnost v tahu, vysoká chemická odolnost a izolační vlastnosti. Nevýhodami jsou nízký modul pružnosti, relativně vysoká měrná hmotnost, citlivost k oděru a vysoká tvrdost. Nejčastěji je pro výztuž používáno E-sklo a S-sklo [10].

Účinnost výztuže v podstatě závisí na adhezi mezi maticí a vlákny, takže je klíčovým faktorem při určování konečných vlastností kompozitního materiálu, zejména mechanických vlastností. Vlákno-matrice adheze je omezena na oblast neboli "třetí fáze", známou jako mezifáze, kde dochází k přenosu napětí. Mezifáze je definována jako



3D oblast, která se nachází mezi vláknem a matricí. Považuje se za přechodovou oblast, neboli třetí fázi [11].

## 2.7 Aplikace kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu

V konstrukčních aplikacích, kompozity jsou obvykle používány jako výztuž, kvůli přizpůsobení zátěžové kapacity skrze vlákna. Nejvyšší zájem průmyslu dostávají termoplastické kompozity vyztužené textiliemi, mezi jejichž výhody patří rychlá a levná výroba. Textilní termoplastické kompozity jsou střídající se vrstvy textilie s polymerem v horkém lisu. Po zahřátí polymeru na bod tání se polotovar vylisuje do požadovaného tvaru, zchladí se a nechá ztuhnout. Výhody mají tzv. hybridní textilie vyrobené z výztužných vláken jako je sklo nebo uhlík a termoplastických vláken jako je např. polypropylen [12].

Cenově nejefektivnější řešení pro automobilový průmysl je kombinace právě skleněných vláken a polypropylenu. Používají se ve formě netkaných textilií, jako je např. Propylát<sup>®</sup>, tkanin a kombinace tkanin a pletenin [12].

Již zmíněný Propylát<sup>®</sup> společnosti Borgers se používá pro interiér vozidel např. pro zavazadlový prostor, do dveří nebo do přístrojových desek (viz Obrázek 4), anebo pro exteriér jako součást podběhů kol automobilu [13].



**Obrázek 4** – Části interiéru vozidla z Propylátu<sup>®</sup> [13]

## 2.8 Látky používané pro povrchovou úpravu a jejich vlastnosti

Povrchová úprava neboli šlichtování je nezbytnou součástí výroby skleněných vláken a rozhodující pro několik klíčových vlastností vláken, které určují další zpracování vláken. Apretace se neskládá pouze z jedné sloučeniny, je to směs několika komplexních chemikálií. Primární komponenty jsou filmotvorná a spojovací činidla [14].

Filmotvorné komponenty jsou určeny k ochraně a lubrikaci vláken, drží vlákna pohromadě ještě před jejich tvarováním, podporuje separaci vláken mezi sebou při tvorbě pramenů a též při kontaktu s pryskyřicí (při tvorbě kompozitů). Tyto filmotvorné komponenty jsou až na některé výjimky podobné pryskyřičné matici [14].

Spojovací složkou jsou téměř vždy alkoxyasilan sloučeniny a slouží v první řadě ke spojení vláken do matrice polymeru. Silany na jedné straně řetězce obsahují křemík, který se dobře váže na sklo a na straně druhé organickou skupinu, která se dobře váže na polymer [14].

Kromě těchto dvou hlavních složek, může apretace obsahovat též další přídavné lubrikanty nebo antistatická činidla [14].

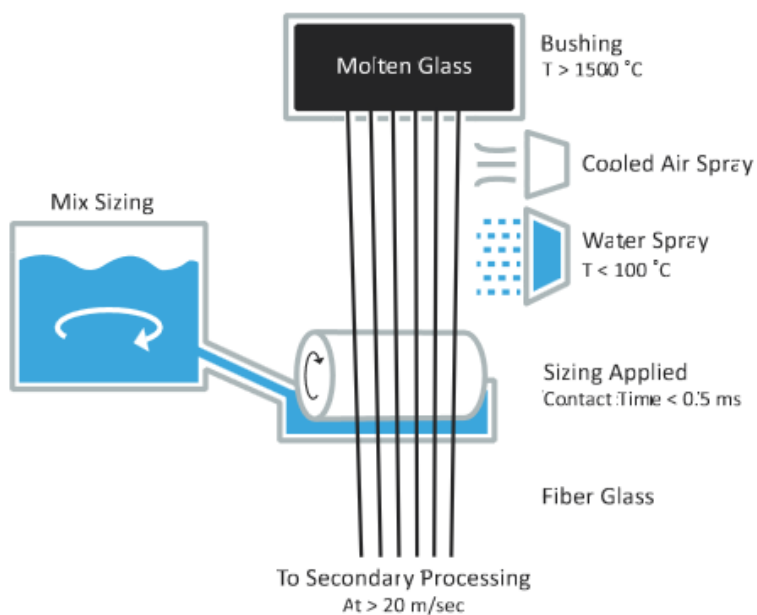
Apretace jsou základní prostředky výrobců vláken, kterými musí přizpůsobovat vlákna pro konkrétní aplikace a odlišit své produkty od konkurence. Výrobci jsou velmi zdrženliví v odhalování složení jejich produktů, šlichtování je tedy jednou z tzv. „tajných oblastí“ technologií kompozitů [14].

### 2.8.1 Textilní apretace

Textilní apretace mají velmi dobré lubrikantní, filmotvorné a antistatické vlastnosti. Jsou používány hlavně při textilním zpracování skleněných vláken. V Číně jsou nejrozšířenější parafinové apretace, ale mezinárodně se nejvíce uplatňují apretace na bázi škrobu a olejů. Před přípravou kompozitů ze skleněných vláken, by se měla apretace, zejména parafinová, účinně odstranit, aby nebránila spojení vláken s adhezivem. Hlavní složky parafinové apretace jsou parafinový vosk, vazelína, minerální olej, kyselina stearová, fixační činidlo, povrchově aktivní látky atd. U šlicht na bázi škrobu a olejů jsou to pak živočišné a rostlinné oleje, kationtové aminy, pryskyřice rozpustné ve vodě atd. [1].

### 2.8.2 Zpevňovací apretace

Tyto apretace byly vyvinuty pro vlákna sloužící jako výztuž v kompozitech, zejména ke zlepšení impregnace vláken pryskyřicí a zvýšení vazebných sil mezi nimi. Hlavní složkou této apretace je filmtvorné činidlo ve formě roztoku či emulze. Tímto činidlem může být polyester, epoxid, polyvinylacetát, polyuretan a polyakrylát. Ostatní složky této apretace mohou tvořit spojovací činidla, lubrikanty, smáčedla, antistatická činidla atd [1].



**Legenda:**

Molten glass – roztavené sklo; Mix sizing – míchání šlichty; Bushing – pouzdro s roztaveným sklem; Cooled air spray – chlazený vzduch; Water spray – postřik vodou; Sizing applied – aplikování apretace; Fiber glass – skleněná vlákna; To secondary processing – k sekundárnímu zpracování

**Obrázek 5** – Proces nanášení textilní apretace [15]

### 3. TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části budou rozebrány otázky, které pomohou v experimentální části k řešení cílených záležitostí, jako je vliv úprav vláken na zpracovatelnost a adhezi vláken v kompozitu, dále pak vliv vlhkosti vláken a vliv elektrostatického náboje.

#### 3.1 Vliv úprav na zpracovatelnost

Jelikož jsou textilní apretace nanášeny pouze pro lubrikaci vláken při výrobě, aby se zabránilo vzájemnému spojování a též abrazi vláken při jejich manipulaci (navíjení, balení, tkaní), v kompozitu by měly tyto úpravy spíše negativní účinky. Tudíž se tyto apretace musejí před tvorbou kompozitu účinně odstranit.

##### 3.1.1 Odstranění textilní apretace (např. parafínové)

Parafínová apretace brání adhezi mezi vlákny a matrixem v kompozitu, proto tyto apretace musí být předtím odstraněny. Apretace se může odstranit buď praním, nebo vysokou teplotou. Na vyprání této apretace se používá horká voda, alkálie, kyseliny, detergenty, organická rozpouštědla atd. podle složení apretace. Zbytková rezidua po praní se pohybují v rozmezí 0,3 - 0,5 % [1].

Odstranění apretace vysokou teplotou dělíme na nízkoteplotní (250 ~ 400 °C), středně teplotní (300 ~ 450 °C) a vysokoteplotní (> 450 °C). Čím je vyšší teplota a delší čas působení, tím je menší procento residuí a větší pokles pevnosti. Při teplotě 500 °C může po 1 minutě klesnout pevnost až o 40 ~ 50 % [1].

*Teplotní odstraňování apretace se může provádět v těchto procesech:*

a) Diskontinuální proces:

V tomto procesu se vlákna postupně zahřívají v peci na max. teplotu 300 °C po dobu 65 – 75 hod., zbytková rezidua se pohybují pod hranicí 0,5 %. Nevýhodou je, že vlákna po úpravě zhnědnou [1].

b) Dávkovací proces:

Zahřívání při dávkovacím procesu probíhá na horkém vařiči v několika fázích. První fáze je při 230 °C po dobu 10 – 20 hod., druhá fáze při 350 °C po dobu více než 60 hod. Zbytky residuí jsou méně než 0,1 %, vlákna jsou po úpravě bílá. (pevnost 40 ~ 60 %) [1].

c) Kontinuální proces:

Teplota v peci se při tomto procesu pohybuje v rozmezí 550 ~ 650 °C. Je to rychlé zahřátí pouze po několik sekund (3-8 m/min) a zbytky reziduí jsou též méně než 0,1 %. Vlákná jsou po úpravě bílá. (pevnost 30 ~ 50 %) [1].

Po tepelném zpracování skleněná vlákna snadno adsorbují vlhkost ve vzduchu; Proto by se měla povrstvit spojovacím činidlem co nejrychleji. [1]

Jelikož je teplotní odstraňování apretace energeticky hodně náročné, v našem případě budeme spíše přistupovat k odstraňování praním účinným tenzidem, který se používá na většinu syntetických vláken.

### 3.2 Vliv úprav na adhezi

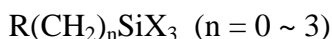
Druhá skupina tzv. zpevňovací apretace, napomáhající vyšší pevnosti a díky spojovacím činidlům vyšší adhezi vláken v kompozitu. Ovlivňují významně pevnost a povrchové vlastnosti vláken. Bylo dokázáno, že pevnost může být navýšena až o 20 %.

#### 3.2.1 Úprava vláken spojovacím činidlem

Použití spojovacího činidla se uplatňuje za účelem získání dobré adheze mezi vláknem a matricí [1].

Nejpoužívanější skupiny spojovacích činidel jsou tyto:

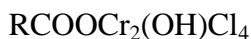
1. Siloxanové činidlo



X – hydrolytické skupiny (reagují s povrchem vlákna)

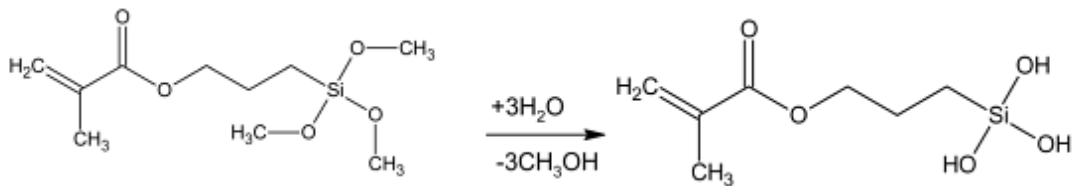
R – organické funkční skupiny (reagují s pryskyřičnou matricí)

2. Organický chromový komplex



##### 3.2.1.1 Siloxanová činidla

Siloxanová činidla neboli silany dokážou přemístit adsorbovanou vodu na povrchu vlákna a vytvořit silné chemické vazby mezi vlákny a matricí. Silanové činidlo musí být aktivováno vhodným katalyzátorem. Poté silanové alkoxy skupiny zreagují na alkoholové skupiny, které vytváří siloxanový film na vlákně. Silany mají organickou funkční skupinu (methakrylátovou), která velmi dobře reaguje s polymerními matricemi [16].



**Rovnice 1** – Aktivace 3-methakryloxypropyltrimethoxysilanu reagujícího s vodou a katalyzace  $\text{H}^+$  ionty [16]

### 3.2.1.2 Technologie povrchové úpravy spojovacím činidlem

Používají se tři hlavní metody [1]:

- Předúprava – při zvlákňování
- Metoda post-processing – první krok → odstranění textilní apretace nanesené při dloužení, druhý krok → nanést spojovací činidlo, vyprat a vysušit  
Všechna vlákna s textilní šlichtou.
- Migrační metoda – přidání spojovacího činidla do tekuté pryskyřice, úprava je horší než u předešlých metod, ale technologie je jednoduchá a nevyžaduje složité vybavení.

## 3.3 Vliv vlhkosti

Převládající teorií je ta, že když skleněná vlákna přetrvávají dlouhodobě blízko vody, mohou být poškozena. Důvodem je to, že obsahují oxidy alkalických kovů, které absorbují vodu a též jsou hydrolyzovatelné. Třebaže E-sklo a S-sklo jsou nejpoužívanější v inženýrství, obsahují jen malé množství těchto alkalických kovů, tudíž jsou vcelku odolná vůči vlhkosti [17].

Na druhou stranu, u polymerů zpevněných skleněnými vlákny, jako je třeba kompozit skleněné vlákno-pryskyřice, může dojít vlivem vlhkosti k poškození na jejich rozhraní. Vlhkost může snížit jejich pevnost až o několik desítek procent [17].

Jelikož se při výrobě Propylátu<sup>®</sup> též vlhčí, kvůli předcházení elektrostatického náboje a prašnosti, budou též provedeny experimenty s různou vlhkostí vláken. Protože je ale v provozu netkaná textilie před lisováním nahřívána, vysoká vlhkost by už v tomto procesu neměla být žádoucí (může to zvýšit čas nahřívání). Tudíž by se mělo dbát na to, aby textilie vstupovala do tohoto procesu suchá.

### 3.4 Vliv elektrostatického náboje

Další věc, která způsobuje problémy při zpracování netkané textilie v provozu je elektrostatický náboj. Může být způsoben třením a/nebo elektrostatickou indukcí. Tvoření elektrostatického náboje třením způsobuje migraci elektronů z jednoho materiálu na druhý, v našem případě ze skla na polypropylen nebo obráceně. Po oddálení obou povrchů je jeden nabit pozitivně a druhý negativně [18].

Dle triboelektrické řady, která uvádí pořadí polaritu přenosu náboje, když přijdou do kontaktu dva různé materiály. Čím větší je vzdálenost dvou materiálů v řadě, tím větší náboj mezi sebou vytvoří (viz Obrázek 6).



**Legenda:**

PA – polyamid; WO – vlna; SE – hedvábí; CO – bavlna; PES – polyester; PU – polyuretan; PE – polyetylen, PP - polypropylen

**Obrázek 6** – triboelektrická řada vybraných materiálů

Při tření skleněných a polypropylenových vláken získává tedy sklo více kladný náboj, kdežto polypropylen více záporný. V triboelektrické řadě je mezi nimi velká vzdálenost, tudíž třením bude vznikat vysoký elektrostatický náboj [18].

V textilním provozu může elektrostatický náboj způsobit narušení elektrických zařízení např. počítačů, ztěžuje spřádací, tkací a splétací procesy, přitahuje prach a vlákna atd. [18].

Elektrostatický náboj může být snížen antistatickými úpravami, které zvyšují povrchovou vodivost textilií, a tím brání vzniku elektrostatického náboje. Opačnou fyzikální veličinou je povrchový odpor, čím je nižší, tím vyšší je elektrostatický náboj. Hodnota povrchového odporu skla je cca  $10^{14} \Omega\text{m}$  a polypropylenu  $10^{15} \Omega\text{m}$ , tudíž při tření těchto materiálů je vysoká šance vzniku elektrostatického náboje. Se zvyšující se vlhkostí, vlákna elektrostatický náboj negenerují, tudíž elektrostatický náboj může být snížen též zvýšením relativní vlhkosti prostředí [18].

### 3.4.1 Chemická podstata antistatických prostředků

Z chemického hlediska jsou antistatické prostředky povrchově aktivní látky anionaktivní, kationaktivní, neionogenní nebo amfoterní. Tyto látky sorbují na povrchu vláken a vytvářejí orientovanou monomolekulární či polymolekulární vrstvu. Tím se vytváří na vláknech štít, který je schopen vzniklý náboj odvádět. Při kombinaci s olejem klesá též koeficient tření [19].

Ideální antistatický prostředek by měl zabezpečit [19]:

- Zvýšení elektrické vodivosti povrchu vláken
- Zmenšení rozdílu mezi výstupními energiemi elektronů
- Zvýšení mazací schopnosti a snížení koeficientu tření



## 4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části byly pomocí několika metod analyzovány materiály a vlastnosti kompozitu pro výrobu Propylátu®. Veškeré úpravy skleněných vláken a kompozitu byly testovány na tahové vlastnosti výsledného lisovaného kompozitu.

### 4.1 Používané metody analýz a zkoušení

Metody analýz a zkoušení, které byly použité v této práci, jsou: obrazová analýza na optickém a elektronovém mikroskopu, infračervená spektroskopie pro určení spektra vláken a povrchové úpravy, tahová zkouška na dynamometru pro určení mechanických vlastností kompozitu a stanovení elektrostatického náboje pomocí ručního měřicího přístroje Simco.

#### 4.1.1 Infračervená spektroskopie vláken

Infračervená spektroskopie je analytická metoda, kterou se identifikují a charakterizují organické sloučeniny a stanovují anorganické látky. Tato technika měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem [20].

Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0,78 – 1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů 13000 – 10 cm<sup>-1</sup>. Celá oblast bývá rozdělena na blízkou (13000 - 4000 cm<sup>-1</sup>), střední (4000 - 200 cm<sup>-1</sup>) a vzdálenou infračervenou oblast (200 - 10 cm<sup>-1</sup>), přičemž nejpoužívanější je střední oblast [20].

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně-vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Absorpční pásy mající vrcholy v intervalu 4000 – 1500 cm<sup>-1</sup> jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin (např. –OH, C=O, N-H, CH<sub>3</sub> aj. viz Tabulka I v přílohách). Je možné studovat jak kapalně vzorky, tak pevně vzorky (tenké filmy, namletý vzorek slisovaný do tenké tablety) [21].



**Obrázek 7** – Infračervený spektrometr Spectrum PerkinElmer 100 Series (Huntsman CoE)

#### **4.1.2 Tahová zkouška**

Mechanické vlastnosti netkané textilie (pevnost a prodloužení) byly zjišťovány pomocí zkoušky „Tahové vlastnosti plošných textilií“ a to bylo „Zjišťování maximální síly a prodloužení při maximální síle pomocí metody Strip“ dle normy ČSN EN ISO 13934-1.

Tento test byl realizován na zkušebním přístroji s konstantním přírůstkem prodloužení (CRE), což je trhací přístroj neboli dynamometr vybavený dvojicí svorek, z nichž jedna je pevná a druhá se pohybuje konstantní rychlostí po celou dobu zkoušky.

Z netkané textilie byly vystříženy zkušební vzorky tři v podélném směru a tři v příčném směru o šířce 50 mm a délce cca 200 mm. Na trhacím přístroji byla nastavena rychlost posuvu 100 mm/min a upínací délka 100 mm. Zkušební vzorek byl upnut do čelistí trhacího stroje a napínán při konstantní rychlosti do přetržení. Byla zaznamenána maximální síla a prodloužení při maximální síle.



**Obrázek 8** – Tahová zkouška na dynamometru

#### 4.1.3 Měření elektrostatického náboje

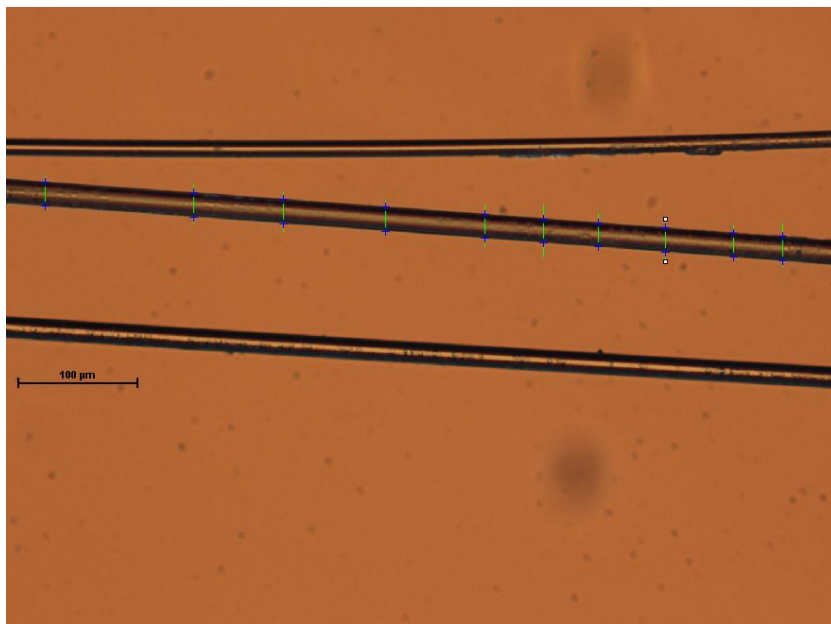
Měření elektrostatického náboje bylo prováděno pomocí ručního měřicího přístroje Simco Hand.e.stat electrostatic fieldmeter. Náboj byl měřen v jednotkách  $\text{kV} \cdot \text{inch}^{-1}$ .



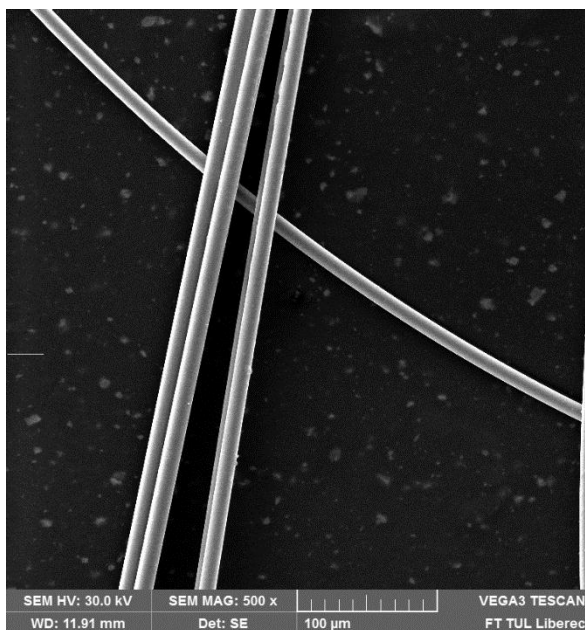
**Obrázek 9** - Simco Hand.e.stat electrostatic fieldmeter

## 4.2 Stanovení průměru a jemnosti vláken

Průměr vláken by změřen pomocí obrazové analýzy na optickém a rastrovacím elektronovém mikroskopu (SEM – scanning electron microscope). Pro zajištění vodivosti povrchu vzorků byly vzorky pro elektronový mikroskop pozlaceny.

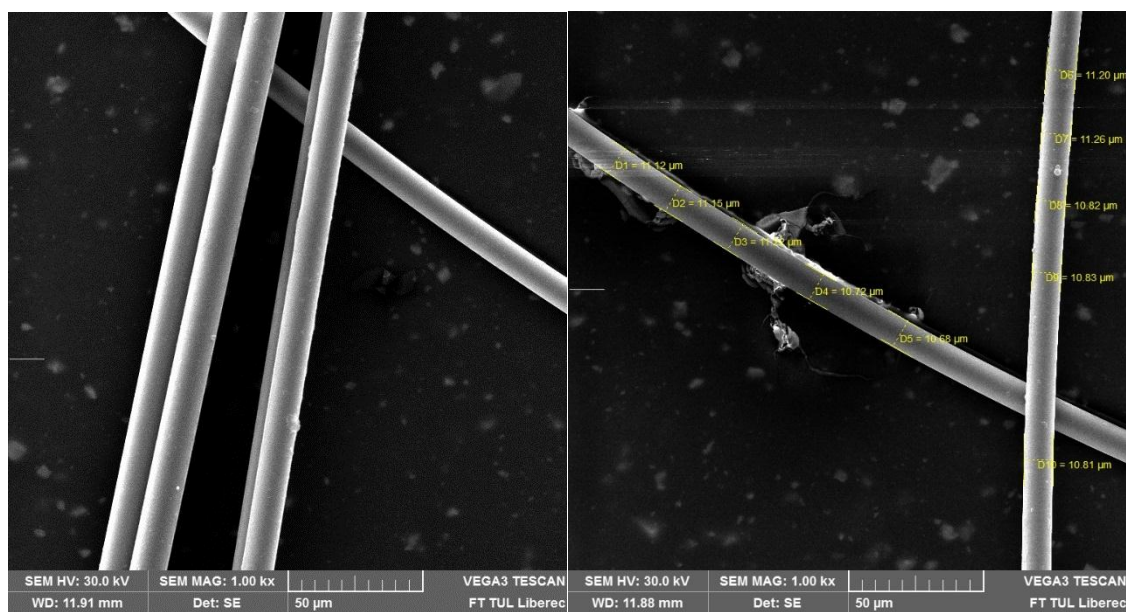


**Obrázek 10** – Skleněná vlákna na optickém mikroskopu při 500x zvětšení

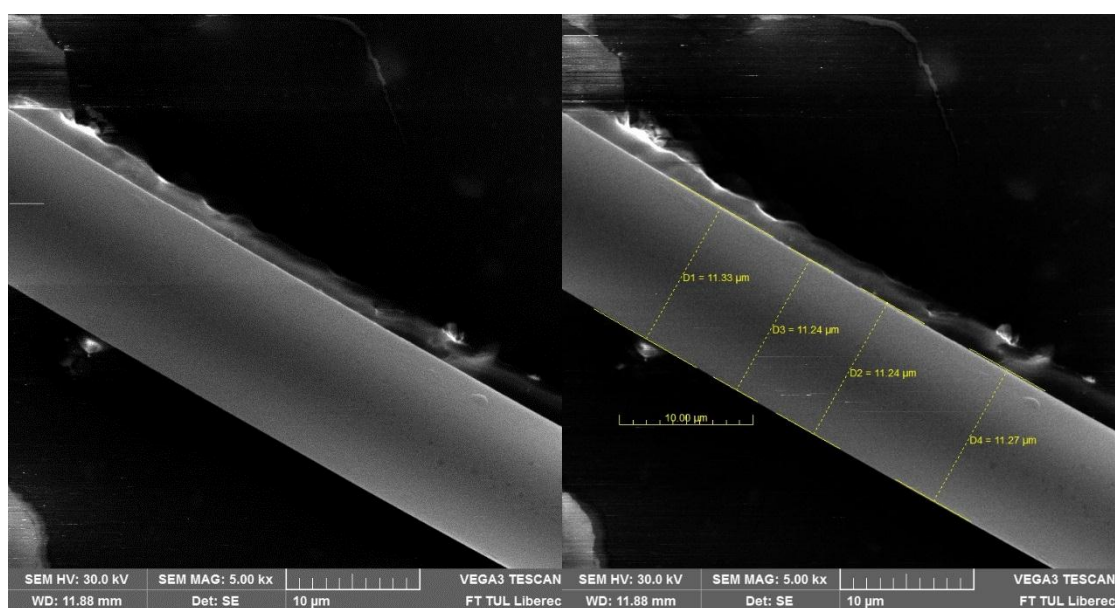


**Obrázek 11** – Skleněná vlákna na rastrovacím elektronovém mikroskopu při 500x zvětšení





Obrázek 12, 13 – Skleněná vlákna na rastrovacím elektronovém mikroskopu při 1000x zvětšení



Obrázek 14, 15 – Skleněná vlákna na rastrovacím elektronovém mikroskopu při 5000x zvětšení

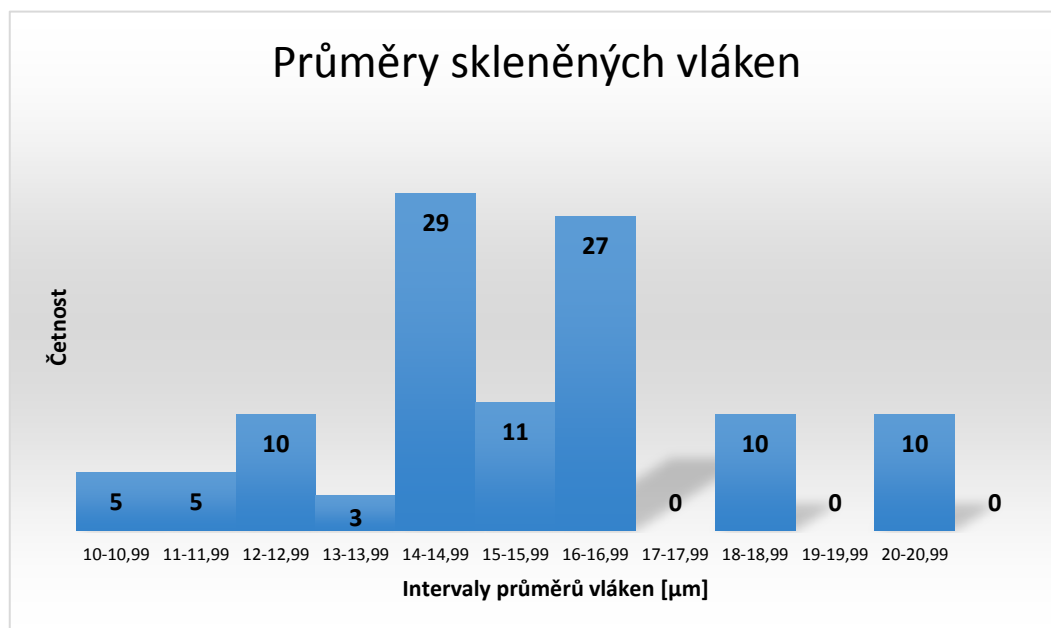
V přílohách v Tabulce II jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty vláken a jejich statistická data. Celková statistika středních hodnot vláken je zobrazena v Tabulce 1.

**Tabulka 1** – Celková statistika průměrů vláken

Střední hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	15,37
Rozptyl [ $\mu\text{m}^2$ ]	6,11
Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	2,47
Variační koeficient [%]	16,1
Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	10,68
Maximum [ $\mu\text{m}$ ]	20,72
95% interval spolehlivosti [ $\mu\text{m}$ ]	14,91-15,83

**Tabulka 2** – Intervaly průměrů vláken a jejich četnosti

Intervaly průměrů vláken	Hranice intervalů	Četnost
10-10,99	10,99	5
11-11,99	11,99	5
12-12,99	12,99	10
13-13,99	13,99	3
14-14,99	14,99	29
15-15,99	15,99	11
16-16,99	16,99	27
17-17,99	17,99	0
18-18,99	18,99	10
19-19,99	19,99	0
20-20,99	20,99	10



Graf 1 – Histogram četností průměrů skleněných vláken

Vzorec pro výpočet jemnosti vláken podle Taylorova rozvoje:

$$\bar{T} = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_{vk} \cdot \left( [\bar{d}]^2 + \frac{n-1}{2n} \cdot s_d^2 \right) \cdot 10^6$$

$\rho_{vk}$  (hustota skleněných vláken) = 2500 kg·m<sup>-3</sup>

$\bar{d}$  (průměrný průměr vláken v m)

$n$  (počet měření)

$s_d$  (směrodatná odchylka průměrů vlákna)

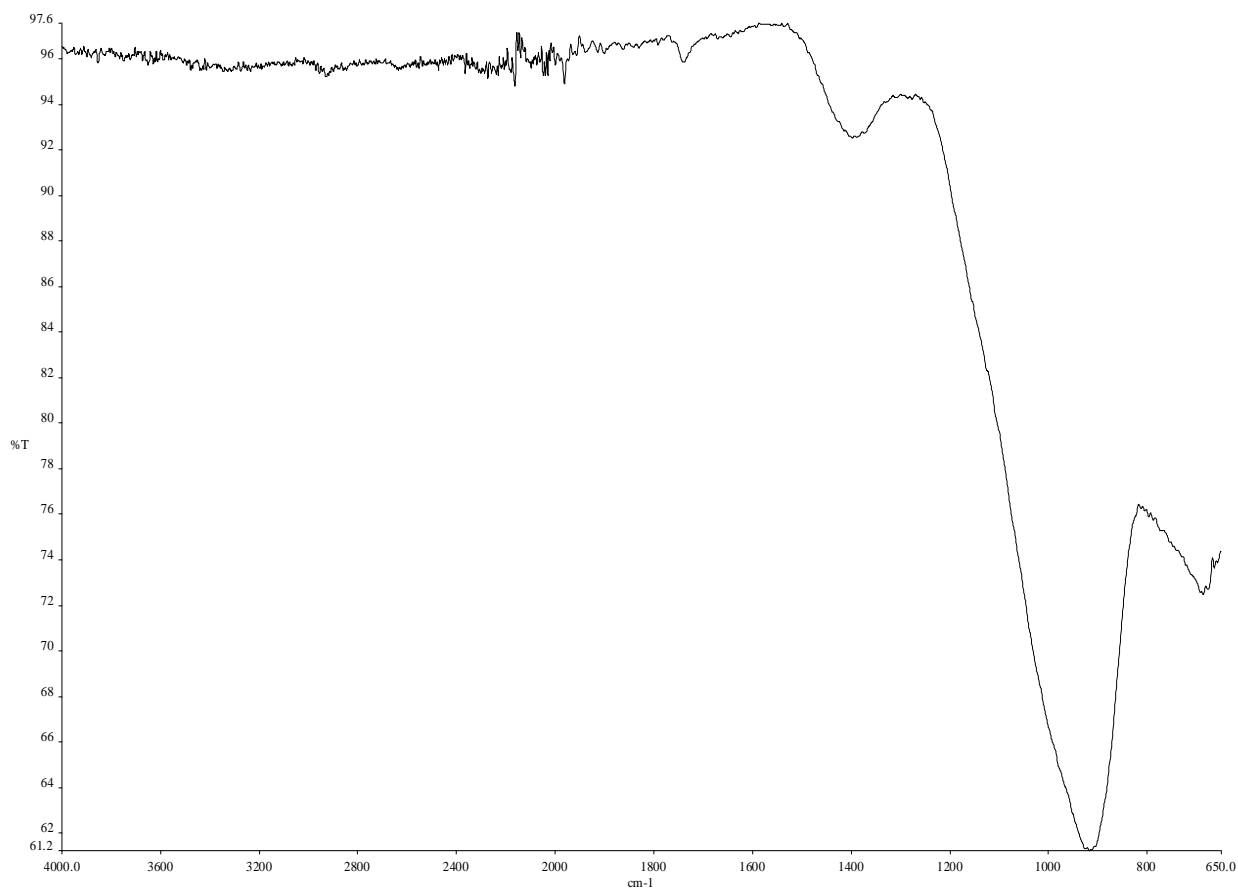
Příklad vzorce po dosazení a výpočet:

$$\bar{T}_1 = \frac{\pi}{4} \cdot 2500 \cdot \left( [14,46 \cdot 10^{-6}]^2 + \frac{10-1}{2 \cdot 10} \cdot [0,58 \cdot 10^{-6}]^2 \right) \cdot 10^6 = 0,41 \text{ tex}$$



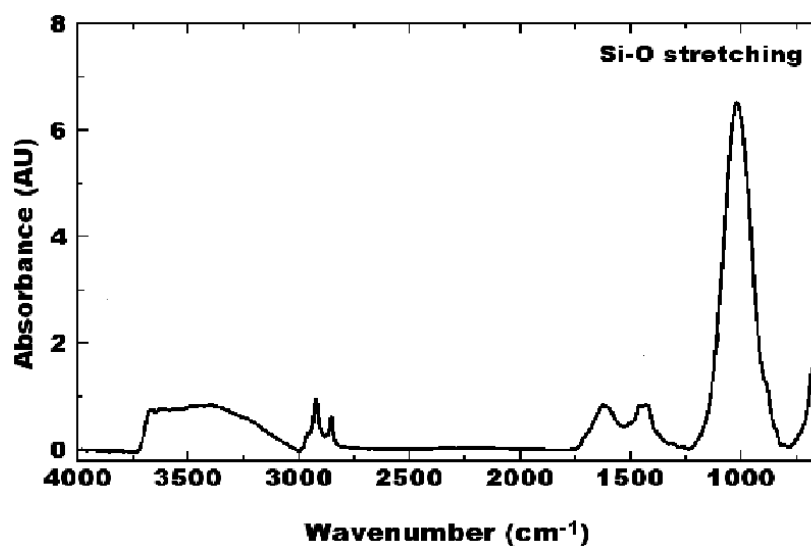
**Tabulka 3** – Průměrné jemnosti jednotlivých vláken a statistická data

Vlákno č.	Jemnost [tex]
1	0,41
2	0,81
3	0,65
4	0,53
5	0,53
6	0,31
7	0,39
8	0,51
9	0,41
10	0,44
11	0,24
Střední hodnota[ $\mu\text{m}$ ]	0,48
Rozptyl [ $\mu\text{m}^2$ ]	0,022
Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	0,15
Variační koeficient [%]	31,3
Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	0,24
Maximum [ $\mu\text{m}$ ]	0,81
95% interval spolehlivosti [ $\mu\text{m}$ ]	0,39-0,57



Graf 2 – IR spektrum skleněného vlákna

Jelikož sklo obsahuje převážně oxid křemičitý, tedy vazby Si-O, projevilo se to tudíž i na IR spektru, kde je vlnčet vazby přibližně  $900\text{ cm}^{-1}$ . Pro porovnání je dále zobrazen graf, kde má absorbující vazba Si-O vlnčet cca  $1000\text{ cm}^{-1}$ .



Graf 3 – Vlnčet absorbující vazby Si-O [22]

### **4.3 Kvalitativní a kvantitativní analýza aplikované povrchové úpravy**

Jelikož se na skleněná vlákna, jak už bylo uvedeno v rešerši, nanášejí lubrikace a povrchové apretace, ať už k zamezení odírání vláken při jejich manipulaci nebo ke zvýšení adheze v kompozitu (především v kompozitu s pryskyřicí). Tudíž byla vlákna podrobena analýze aplikované povrchové úpravy.

#### **4.3.1. Extrakce skleněných vláken – kvantitativní analýza**

Analýza skleněných vláken byla provedena pomocí extrakce v petroletheru o teplotě 40 – 65 °C a infračervené spektroskopie vyextrahované látky.

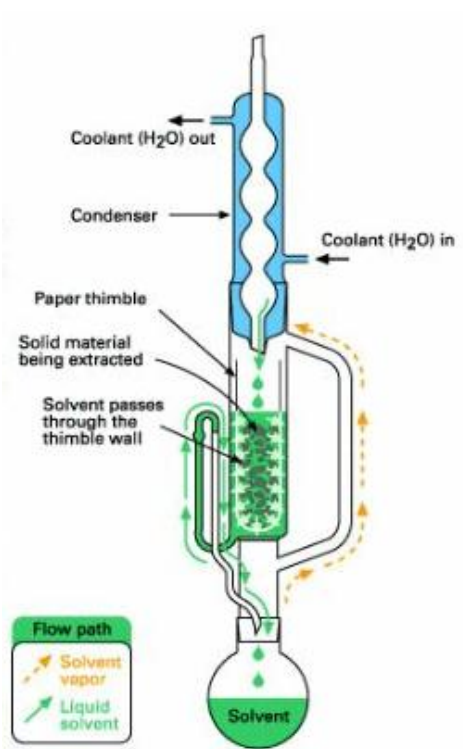
*Postup extrakce skleněných vláken:*

V první řadě byla extrakční baňka vysušena po dobu 1 h při 105 °C, nechána 1 h v exsikátoru a poté zvážena. To samé bylo provedeno s váženkou s víčkem, do které se poté přidaly 2 g testovaných vláken (k určení sušiny). Váženka se vzorkem se opět vysušila, nechala v exsikátoru, zvážila, nechala 14 h v aklimatizační místnosti a poté znovu zvážila.

Cca 5 g skleněných vláken použitých na extrakci bylo také necháno po 14 h v aklimatizační místnosti a zváženo.

Extrakce byla uskutečněna pomocí 150 ml petroletheru, který byl nalit do extrakční baňky. Vzorek vláken byl vložen do patrony z filtračního papíru a poté dán do extraktoru SOXHLET (viz obrázek 16) aparatury. Vzorek byl extrahován po dobu 4 h, 5-6 cyklů za hodinu.

Po 4 hodinách byl vzorek vyjmut a nechal se vyprchat petrolether. Byl proveden ještě jeden cyklus bez vzorku. Skoro všechen petrolether, který zůstal v extraktoru, byl přelit do příslušné láhve (na použitý petrolether). Zbytek petroletheru v extrakční baňce byl ponechán v digestoři, aby vyprchal. Baňka s obsahem residuí byla poté zvážena a následně vypočítán procentuální obsah residuí.



*Legenda:*

**Coolant (H<sub>2</sub>O) out** – výstup chladicí kapaliny (voda); **Coolant (H<sub>2</sub>O) in** – vstup chladicí kapaliny (voda); **Condenser** – kondenzátor; **Paper thimble** – papírová patrona; **Solid material being extracted** – extrahovaný pevný materiál; **Solvent passes through the thimble wall** – rozpouštědlo prochází skrz papírovou stěnu; **Solvent** – rozpouštědlo; **Flow path** – dráha proudění; **Solvent vapor** – výpary rozpouštědla; **Liquid solvent** – tekuté rozpouštědlo

**Obrázek 16** – SOXHLET aparatura

*Výpočet suché hmotnosti vzorku k extrakci:*

$$M = \frac{M_{test}}{\frac{M_{klima}}{M_{suchý}}} = \frac{4,9995}{\frac{2,0324}{2,0312}} = 4,996548 \text{ g}$$

M – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

M<sub>test</sub> – hmotnost klimatizovaného vzorku k extrakci [g]

M<sub>klima</sub> – hmotnost klimatizované vzorku k určení sušiny [g]

M<sub>suchý</sub> – hmotnost suchého vzorku k určení sušiny [g]

Výpočet % obsahu residuí:

$$\% \text{ obsah mastných residuí} = \frac{M_{\text{extrakt}}}{M} \cdot 100 = \frac{0,0135}{4,996548} \cdot 100 = \mathbf{0,27 \%}$$

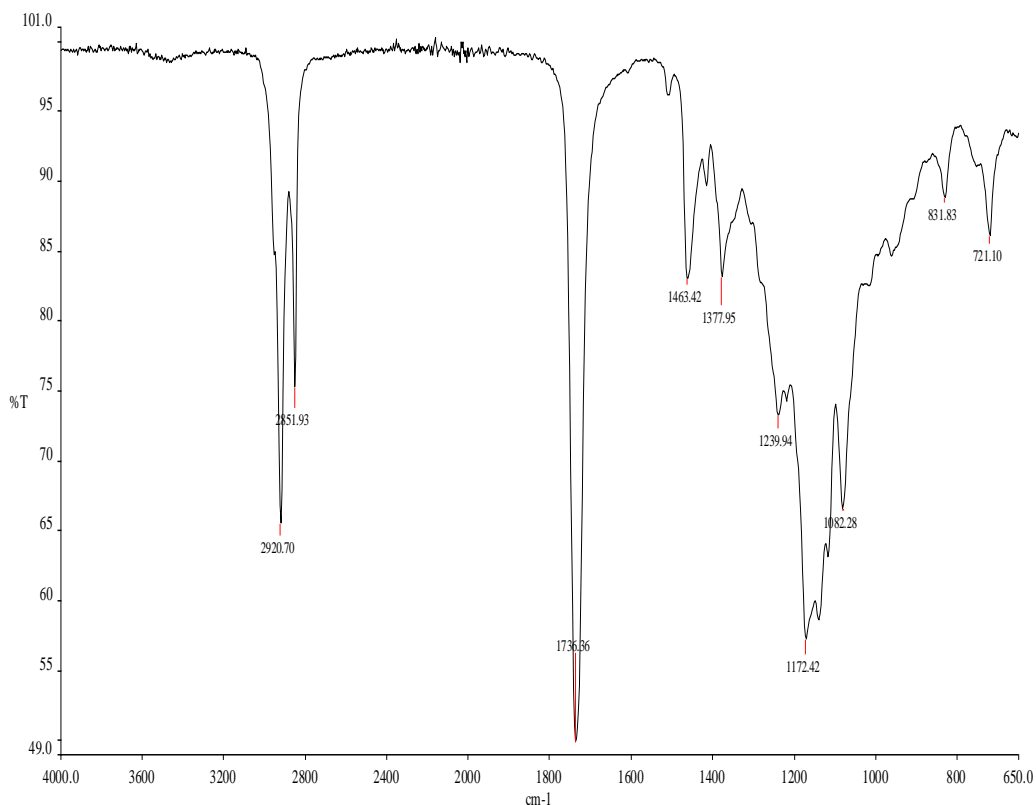
$M_{\text{extrakt}}$  – hmotnost extraktu [g]

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

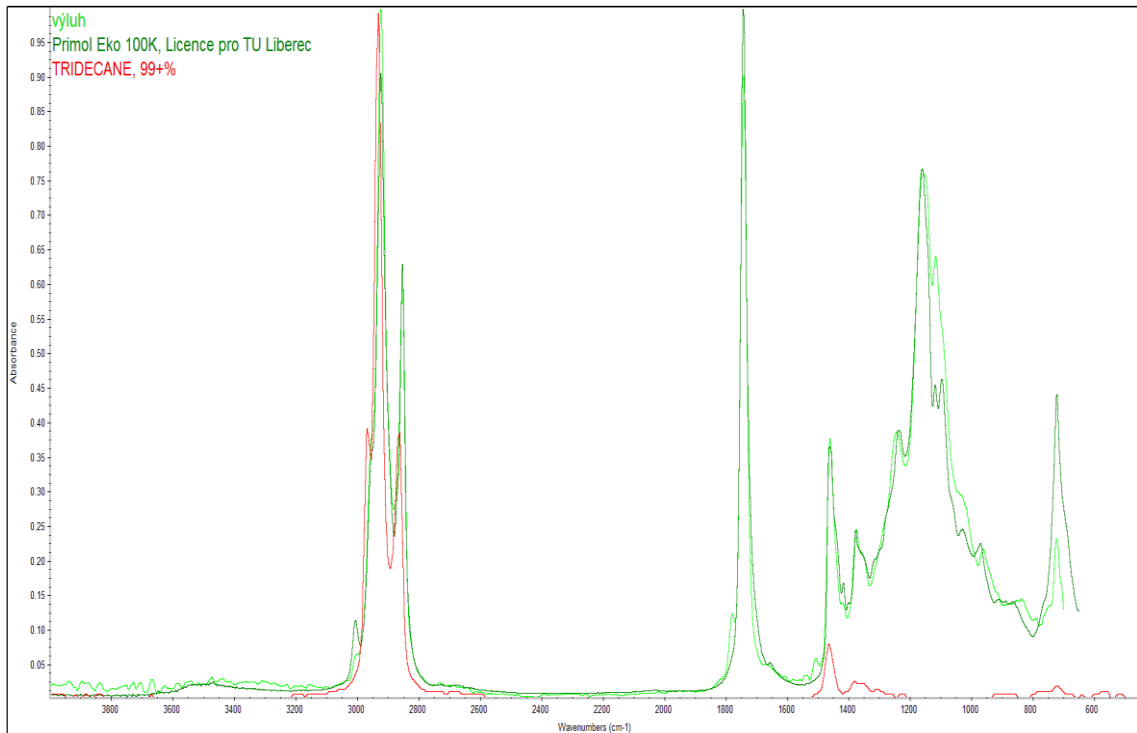
#### 4.3.2 Analýza extraktu ze skleněných vláken – kvalitativní analýza

Extrakt, též jako samotná vlákna, byl podroben kvalitativní analýze na infračerveném spektrometru značky PerkinElmer Spectrum. Spektrum extraktu, zobrazené v grafu 4, bylo porovnáváno se spektry známých látek, dokud nebylo dosaženo nejvyšší shody. Ze samotného grafu však můžeme vyčíst, že dle peaku s nejsilnější intenzitou (vlnčet  $1736,36 \text{ cm}^{-1}$ ) extrahovaná látka obsahuje esterové skupiny.

Nejvyšší shoda byla dle grafu 5 dosažena s látkami Primol Eko 100K a tridekanem. Látka Primol Eko 100K je příklad rostlinného oleje. Můžeme tedy říci, že se jedná o textilní šlichtu na bázi olejů.



**Graf 4** - Spektrum extrahované látky ze skleněných vláken



**Graf 5** - Graf spekter výluhu (extraktu) a látek Primol Eko 100K a tridekanu

#### 4.3.3 Extrakce vypraných skleněných vláken – kvantitativní analýza

Skleněná vlákna, na kterých byla identifikována povrchová úprava, byla vyprána v lázni obsahující 2 g/l anionaktivního detergentu a 1 g/l anionaktivního odšlichtovacího prostředku při 80 °C po dobu 30 minut.

Byla též provedena kvantitativní analýza (extrakce v petroletheru) ke zjištění procentuálního obsahu residuů.

*Výpočet suché hmotnosti vzorku k extrakci:*

$$M = \frac{M_{test}}{\frac{M_{klima}}{M_{suchý}}} = \frac{4,9991}{\frac{2,0352}{2,0350}} = 4,998609 \text{ g}$$

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci[g]

$M_{test}$  – hmotnost klimatizovaného vzorku k extrakci[g]

$M_{klima}$  – hmotnost klimatizované vzorku k určení sušiny[g]

$M_{suchý}$  – hmotnost suchého vzorku k určení sušiny[g]

Výpočet % obsahu residuí:

$$\% \text{ obsah mastných residuí} = \frac{M_{\text{extrakt}}}{M} \cdot 100 = \frac{0,006}{4,998609} \cdot 100 = \mathbf{0,12 \%}$$

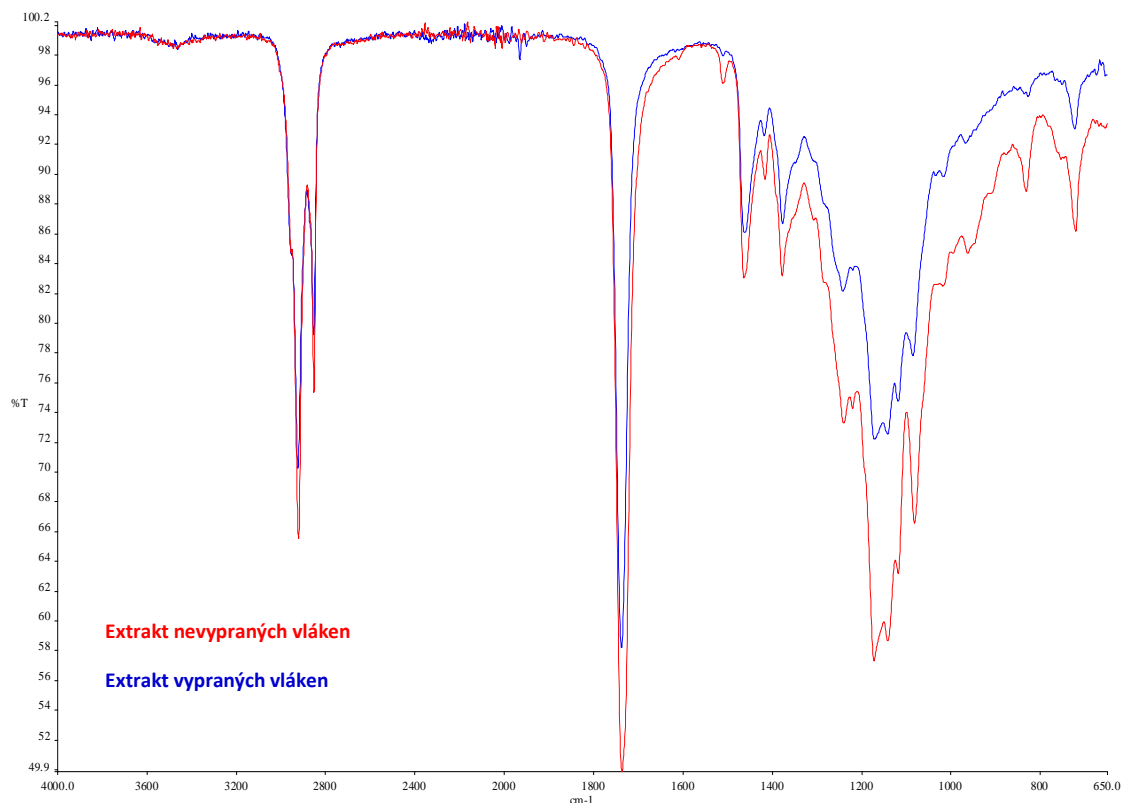
$M_{\text{extrakt}}$  – hmotnost extraktu [g]

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

Po kvalitativní analýze bylo zjištěno, že po vyprání vláken se obsah residuí snížil z 0,27 % na 0,12 %, tudíž na méně než polovinu.

#### 4.3.4 Analýza extraktu z vypraných skleněných vláken – kvalitativní analýza

Na kvalitativní analýze můžeme pozorovat, zdali je intenzita peaků spekter lubrikační látky nevypraných vláken a vypraných stejná. Jak můžeme vidět v grafu 6, intenzita peaku spektra látky extrahované po vyprání vláken, se snížila.



**Graf 6** – Spektra extrahované látky nevypraných a vypraných vláken

#### 4.3.5 Extrakce netkané textilie – kvantitativní analýza

Jelikož se tato skleněná vlákna používají do vpichované netkané textilie s 60 % polypropylenových vláken a 40 % skleněných vláken, byly předešlé analýzy aplikovány i na třech vzorcích této netkané textilie, a to na nevypraném vzorku, vypraném vzorku pouze ve vodě a vypraném vzorku v lázni s detergentem. Vyprání bylo uskutečněno se stejnými prostředky jako u skleněných vláken, při 80 °C po dobu 30 minut.

Extrakce u všech tří vzorků byla provedena pomocí petroetheru jako u předešlých analýz skleněných vláken.

*Výpočet % obsahu residuí - nepraný vzorek:*

$$\% \text{ obsah mastných residuí} = \frac{M_{\text{extrakt}}}{M} \cdot 100 = \frac{0,0423}{5,0001} \cdot 100 = \mathbf{0,85 \%}$$

$M_{\text{extrakt}}$  – hmotnost extraktu [g]

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

*Výpočet % obsahu residuí - vypraný vzorek ve vodě:*

$$\% \text{ obsah mastných residuí} = \frac{M_{\text{extrakt}}}{M} \cdot 100 = \frac{0,0339}{5,0014} \cdot 100 = \mathbf{0,68 \%}$$

$M_{\text{extrakt}}$  – hmotnost extraktu [g]

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

*Výpočet % obsahu residuí - vypraný vzorek s detergentem:*

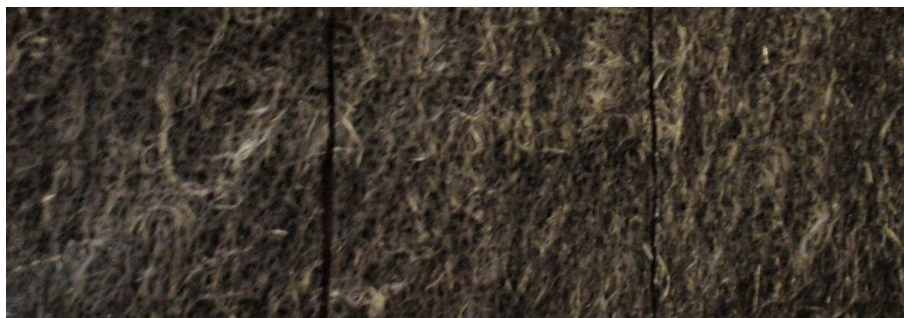
$$\% \text{ obsah mastných residuí} = \frac{M_{\text{extrakt}}}{M} \cdot 100 = \frac{0,0446}{5,0001} \cdot 100 = \mathbf{0,89 \%}$$

$M_{\text{extrakt}}$  – hmotnost extraktu [g]

$M$  – vypočtená suchá hmotnost vzorku k extrakci [g]

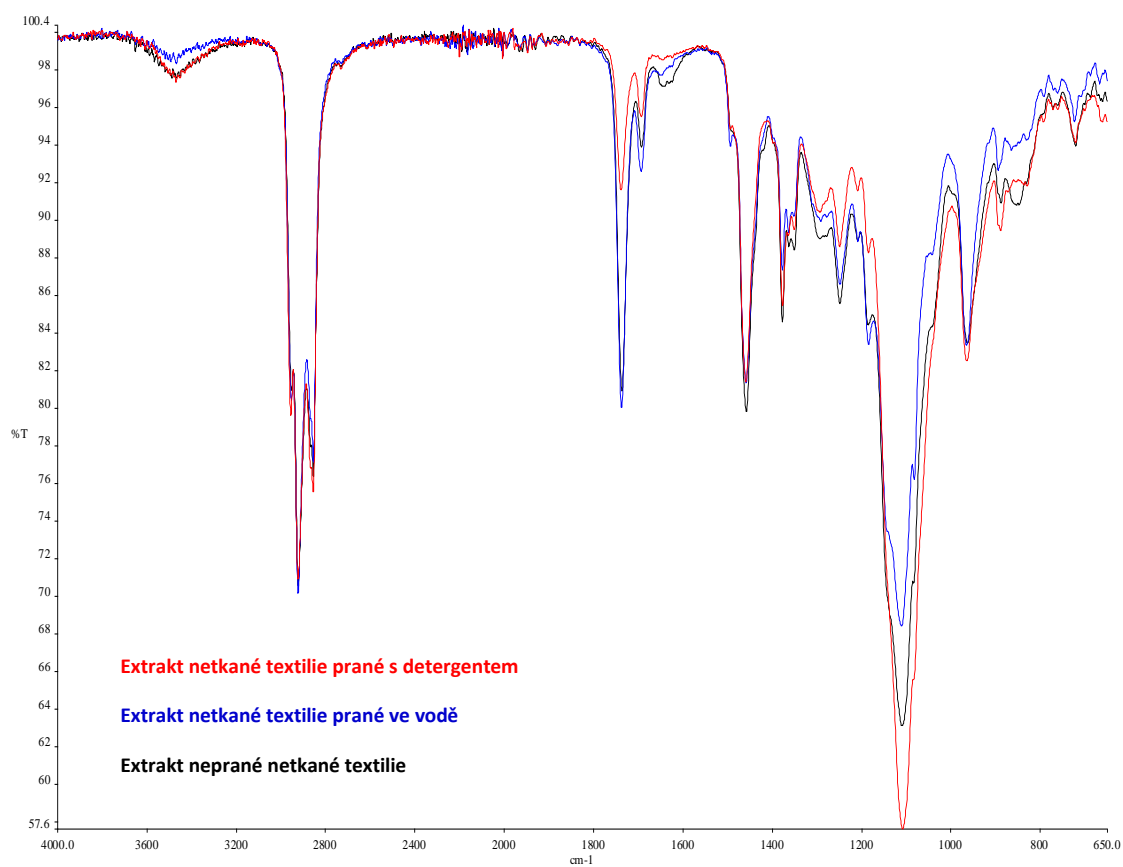
Z kvantitativní analýzy netkané textilie můžeme usoudit, že v kombinaci s PP vlákny není průkazná. Procentuální obsahy residuí jsou vyšší než u samotných vláken, tudíž můžeme říci, že PP též obsahuje povrchovou úpravu. Další důvod neprůkaznosti může být například ten, že vlákna nejsou v 5g vzorku zastoupena v přesném procentuálním poměru 60/40, tudíž v každém vzorku může být jiné množství jak skleněných vláken, tak polypropylenu (viz Obrázek 17)





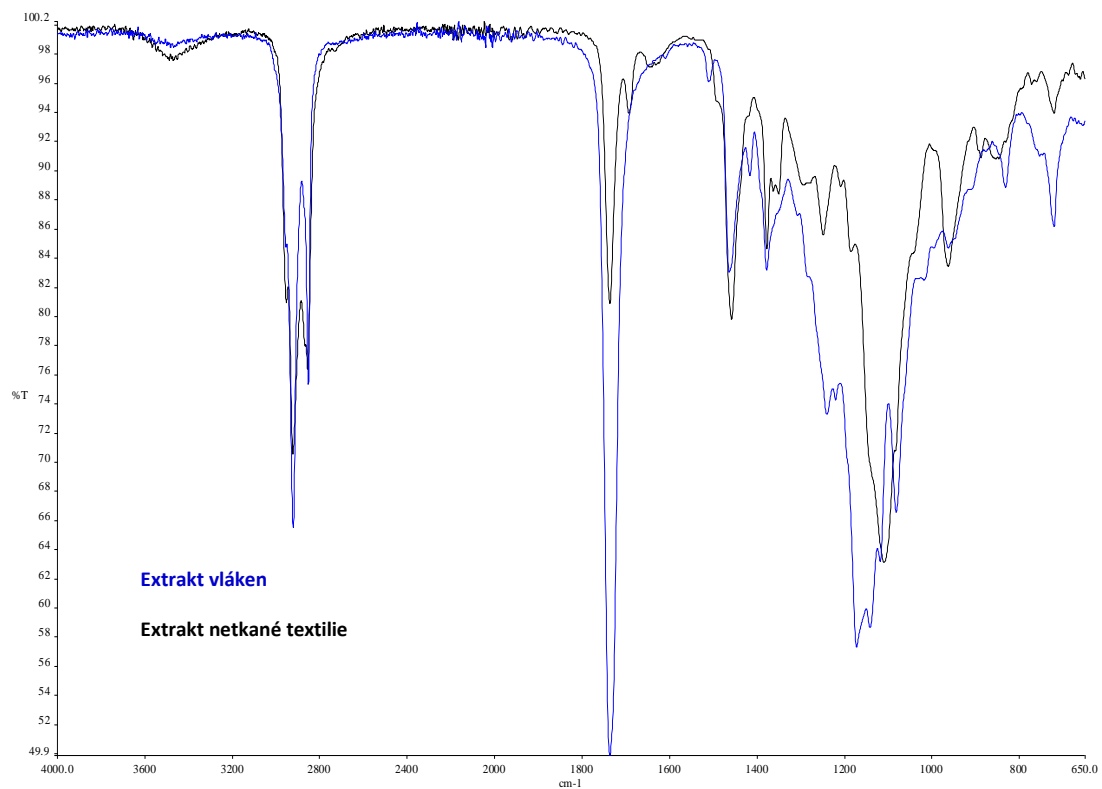
**Obrázek 17** – Vzorokly nasměšované netkané textilie

#### 4.3.6 Analýza extraktů netkané textilie – kvalitativní analýza



**Graf 7** – Spektra extraktů vzorků netkané textilie

Když porovnáme graf spektra extraktu ze skleněných vláken a graf spektra extraktu z netkané textilie (viz graf 8), můžeme pozorovat, že se v určitých částech liší, tudíž i potvrdit hypotézu, že extrakt obsahoval jak povrchovou úpravu skleněných vláken, tak polypropylenových vláken.



**Graf 8** – Spektra extraktů vláken a netkané textilie (nepraných)

#### 4.4 Stanovení vlivu povrchové úpravy na mechanické vlastnosti netkané textilie

Jako první byla porovnávána pevnost surové nelisované textilie. Stejná zkouška byla provedena i na prané netkané textilii aby se zjistilo, zda má povrchová úprava vláken pozitivní či negativní vliv na jejich adhezi a tím pádem i pevnost netkané textilie.

**Tabulka 4** – Hodnoty maximální síly a prodloužení neprané netkané textilie, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	59,3	408,38	128,89	163,7
2	62,56	467,18	133,19	170,26
3	63,91	451,73	117,7	166,49
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	61,92	442,43	126,59	166,81
Směrodatná odchylka [mm, N]	2,37	30,48	8	3,29
Variační koeficient [%]	3,83	6,89	6,32	1,97
Minimální hodnota [mm, N]	59,3	408,38	117,7	163,7
Maximální hodnota [mm, N]	63,91	467,18	133,19	170,26

**Tabulka 5** - Hodnoty maximální síly a prodloužení prané netkané textilie, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	57,92	595,01	139,74	263,3
2	65,26	605,92	124,07	210,24
3	64,6	731,81	119,06	233,46
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	62,59	644,25	127,62	235,67
Směrodatná odchylka [mm, N]	4,06	76,03	10,79	26,6
Variační koeficient [%]	6,49	11,8	8,45	11,29
Minimální hodnota [mm, N]	57,92	595,01	119,06	210,24
Maximální hodnota [mm, N]	65,26	731,81	139,74	263,3

Jako další krok byly porovnávány mechanické vlastnosti lisované netkané textilie prané a neprané. Nastříhané vzorky z obou typů pro účely trhání, tzn. tři v podélném a tři v příčném směru byly dle podmínek v provozu nejprve nahřány v tepelné komoře na 200°C po dobu dvou minut, aby se roztavil polypropylen, a poté za studena vylisovány na šířku 3 mm. Takto vylisované vzorky byly zkoušeny na tahové vlastnosti.

Vzorky po vylisování viditelně změnily svůj tvar. Mohlo by to způsobovat nerovnoměrné promíchání PP a skleněných vláken, a jelikož se taví pouze PP, následkem toho vzniknou nerovné vzorky.



**Obrázek 18** – Vzorky netkané textilie před lisováním



**Obrázek 19** – Vzorky netkané textilie po lisování

**Tabulka 6** – Hodnoty maximální síly a prodloužení neprané lisované textilie, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	40,6	489,81	84,93	241,09
2	47,33	809,15	130,86	253,59
3	55,16	583,1	36,89	330,12
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	47,7	627,35	84,23	274,93
Směrodatná odchylka [mm, N]	7,29	164,21	46,99	48,2
Variační koeficient [%]	15,28	26,17	55,79	17,53
Minimální hodnota [mm, N]	40,6	489,81	36,89	241,09
Maximální hodnota [mm, N]	55,16	809,15	130,86	330,12

**Tabulka 7** – Hodnoty maximální síly a prodloužení prané lisované textilie, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	62,12	592,74	54,12	579,46
2	54,42	541,01	68,86	269,01
3	43,8	720,38	94,44	158,97
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	53,45	618,04	72,47	335,82
Směrodatná odchylka [mm, N]	9,2	92,32	20,4	218,06
Variační koeficient [%]	17,22	14,94	28,15	64,93
Minimální hodnota [mm, N]	43,8	541,01	54,12	158,97
Maximální hodnota [mm, N]	62,12	720,38	94,44	579,46

## 4.5 Stanovení vlivu vlhkosti

Jelikož jsou skleněná vlákna v průběhu procesu vlhčena, bylo provedeno porovnání, jaký vliv má vlhkost vláken na lisování kompozitu a též na jeho pevnost. Netkané textilie byly nejprve připraveny na trhací zkoušku, byly tedy nastříhány sady po třech kusech ve dvou směrech o rozměrech 50 x 200 mm. Takto připravené sady byly ponechány v exsikátorech o relativní vlhkosti 0 %, 66 % po dobu 24 hodin. Po vyjmutí byly uzavřeny do uzavíratelných sáčků (zip-lock), které zajistily uchování konstantní vlhkosti po dobu přepravy. Po vyjmutí ze sáčků byly textilie ihned nahřívány a poté lisovány.

**Tabulka 8** – Hodnoty maximální síly a prodloužení lisované textilie ponechané v 0% vlhkosti, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	48,51	547,41	65,47	222,16
2	52,19	479,94	35,12	288,46
3	52,55	643,1	83,12	215,24
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	51,08	556,82	61,24	241,96
Směrodatná odchylka [mm, N]	2,23	81,99	24,27	40,43
Variační koeficient [%]	4,37	14,72	39,64	16,71
Minimální hodnota [mm, N]	48,51	479,94	35,12	215,24
Maximální hodnota [mm, N]	52,55	643,1	83,12	288,46

**Tabulka 9** – Hodnoty maximální síly a prodloužení lisovaného textilie ponechané v 66% vlhkosti, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	47,01	508,32	87,66	252,71
2	56,86	477,76	94,34	224,85
3	49,03	553,13	91,38	199,56
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	50,97	513,07	91,13	225,71
Směrodatná odchylka [mm, N]	5,2	37,91	3,35	26,59
Variační koeficient [%]	10,2	7,39	3,67	11,78
Minimální hodnota [mm, N]	47,01	477,76	87,66	199,56
Maximální hodnota [mm, N]	56,86	553,13	94,34	252,71

Z toho důvodu, že polypropylen i sklo jsou hydrofobní materiály, nebyl u textilií zaznamenán hmotnostní přívažek či úbytek (změna vlhkosti) po vyjmutí z exsikátoru. Vlákna ale adsorbují vodu na povrchu a díky vysokému měrnému povrchu vláken v netkané textilií může hmotnostní přívažek dosáhnout až 200 %. Netkaná textilie byla tedy ponechána též v 100% vlhkém prostředí (vodní páry), kde hmotnostní přívažek dosáhl 50 % a poté nahřána a lisována. Díky této vlhkosti se textilie nestačila při 200 °C po dobu 2 minut vysušit, tudíž nedošlo k roztavení polypropylenu a k pojení lisované textilie.

**Tabulka 10** – Hodnoty maximální síly a prodloužení textilie ponechané v 100% vlhkosti, statistická data

Vzorek č.	$A_{max}$ MD	$F_{max}$ MD	$A_{max}$ CD	$F_{max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	58,67	399,54	124,96	140,89
2	63,44	471,95	139,08	164,82
3	52,45	342,4	134,23	191,31
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	58,19	404,63	132,76	165,67
Směrodatná odchylka [mm, N]	5,51	64,93	7,18	25,22
Variační koeficient [%]	9,47	16,05	5,41	15,22
Minimální hodnota [mm, N]	52,45	342,4	124,96	140,89
Maximální hodnota [mm, N]	63,44	471,95	139,08	191,31

## 4.6 Stanovení vlivu antistatického prostředku

Tak jako u povrchových úprav, i zde byl pozorováno, zda může mít antistatický prostředek vliv na mechanické vlastnosti lisovaného kompozitu.

### 4.6.1 Snižování elektrostatického náboje

Jak už bylo řečeno, během zpracování netkané textilie dochází ke zvyšování elektrostatického náboje vlivem tření, tudíž bylo provedeno několik experimentů k jeho snížení, jako navlhčení textilie nebo použití antistatického prostředku.

Jako první byl změřen elektrostatický náboj netřené textilie a poté náboj, který vznikne jejím třením. Měření bylo prováděno vždy pětkrát na různých místech textilie. Generování elektrostatického náboje je vidět na Obrázku 17.





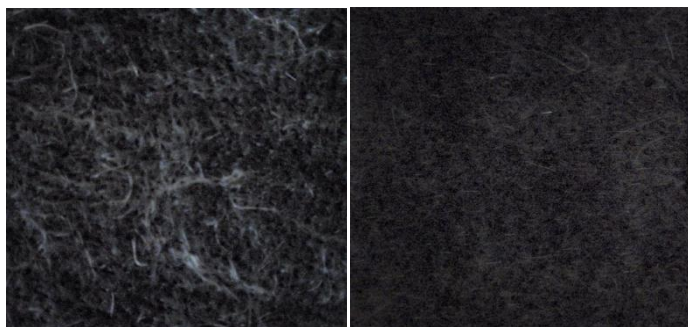
**Obrázek 20** – Generování elektrostatického náboje

**Tabulka 11** – Hodnoty elektrostatického náboje suché textilie netřené a třené

Č. měření	Netřená textilie [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Třená textilie [kV · inch <sup>-1</sup> ]
1.	0,07	1,90
2.	0,14	2,20
3.	0,01	2,60
4.	0,12	2,90
5.	0,18	2,60
Průměrná hodnota [mm, N]	0,104	2,440
Směrodatná odchylka [mm, N]	0,059	0,350
Variační koeficient [%]	56,592	14,338
Minimální hodnota [mm, N]	0,010	1,900
Maximální hodnota [mm, N]	0,180	2,900

Jak můžeme vyčíst z tabulky, hodnoty elektrostatického náboje se třením mnohonásobně zvýšily. Elektrostatický náboj je kladný, tudíž dle triboelektrické řady můžeme říci, že se nabíjí spíše sklo, než polypropylen i když má ve směsi menší zastoupení. Důvodem může být nerovnoměrné promíchání vláken (viz Obrázek 21), kde na jedné straně netkané textilie je více skla než na druhé.





**Obrázek 21** – nasměsováná netkaná textilie z obou stran

Jako další krok byla textilie vlhčena vodou pro snížení elektrostatického náboje, vždy s různými mokřými přivažky.

**Tabulka 12** – Hodnoty elektrostatického náboje navlhčené třené netkané textilie

Č. měření	Textilie s mokřým přivažkem 4 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 8 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 20 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]
1.	0,03	0,11	0,08
2.	0,23	0,06	0,06
3.	0,14	0,05	0,02
4.	0,13	0,11	0,08
5.	0,12	0,07	0,08
Průměrná hodnota [mm, N]	0,130	0,080	0,064
Směrodatná odchylka [mm, N]	0,064	0,025	0,023
Variační koeficient [%]	48,893	31,623	36,443
Minimální hodnota [mm, N]	0,030	0,050	0,020
Maximální hodnota [mm, N]	0,230	0,110	0,080

Navlhčením textilie se elektrostatický náboj opět snížil na minimum, ale jelikož při její výrobě v provozu dochází k vysychání, není to nejvhodnější řešení. Textilie se tedy buď musí vlhčit opakovaně, nebo s vyšším mokřým přivažkem (v tomto případě ale textilie před nahříváním a lisováním nemusí zcela vyschnout, což by bylo nežádoucí), anebo se použije antistatický přípravek.

Pro účely tohoto experimentu byl použit anionaktivní antistatický prostředek v koncentracích 10 g/l, 30 g/l a 60 g/l. Přípravek byl nanášen klocováním s mokřým přivažkem cca 120 % a zasušen při teplotě 100 °C.

**Tabulka 13** – Hodnoty elektrostatického náboje třené netkané textilie s antistatickým prostředkem

Č. měření	Koncentrace 10 g/l [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Koncentrace 30 g/l [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Koncentrace 60 g/l [kV · inch <sup>-1</sup> ]
1.	0,04	0,05	0,13
2.	0,02	0,06	0,06
3.	0,01	0,05	0,05
4.	0,01	0,04	0,05
5.	0,04	0,06	0,05
Průměrná hodnota [mm, N]	0,024	0,052	0,068
Směrodatná odchylka [mm, N]	0,014	0,007	0,031
Variační koeficient [%]	56,519	14,391	45,943
Minimální hodnota [mm, N]	0,010	0,040	0,050
Maximální hodnota [mm, N]	0,040	0,060	0,130

Antistatický prostředek snížil opět elektrostatický náboj na minimální hodnoty u všech koncentrací, a tudíž by to mohl být vhodný způsob jak zabránit nabíjení vláken. Dalším problémem při zpracování skleněných vláken byla jejich prašnost. Jelikož vlákna v procesu příliš rychle vysychají, byl proveden experiment, zda vlákna naklocovaná antistatickým prostředkem schnou stejně rychle jako vlákna naklocovaná pouze vodou.

Byly použity vzorky o váze 8 g a roztok s antistatickým prostředkem o koncentracích 10, 30 a 60 g/l. Vzorky byly naklocovány vodou a antistatickými roztoky na stejný mokrý přivažek (130 %) a nechaly se schnout při pokojové teplotě. Po 15 hodinách byly opět zváženy. Výsledkem bylo, že textilie naklocované vodou a roztokem s antistatickým prostředkem o koncentraci 10 g/l byly již úplně suché (hmotnost 8 g), textilie s antistatickým prostředkem o koncentraci 30 g/l obsahovala cca 6 % vlhkosti (hmotnost 8,5 g) a textilie s antistatickým prostředkem o koncentraci 60 g/l cca 13 % vlhkosti (hmotnost 9 g).

Jelikož nanášení antistatického prostředku v provozu klocováním je značně obtížné a též energeticky náročné, roztok s antistatickým prostředkem o koncentraci 10 g/l (z předchozího experimentu je zřejmé, že stačí tato nejnižší koncentrace ke snížení náboje) byl nanesen též postřikem s několika mokrymi přivažky, kvůli případné co nejnižší spotřebě vody. Byl opět sledován elektrostatický náboj.

**Tabulka 14** – Hodnoty elektrostatického náboje třené netkané textilie s antistatickým prostředkem naneseným postříkem s různými mokřými přivažky

Č. měření	Textilie s mokřým přivažkem 30 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 20 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 15 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]
1.	0,22	0,23	0,19
2.	0,20	0,25	0,18
3.	0,19	0,14	0,10
4.	0,21	0,27	0,15
5.	0,22	0,14	0,14
Průměrná hodnota [mm, N]	0,208	0,206	0,152
Směrodatná odchylka [mm, N]	0,012	0,055	0,032
Variační koeficient [%]	5,607	26,871	20,970
Minimální hodnota [mm, N]	0,190	0,140	0,100
Maximální hodnota [mm, N]	0,220	0,270	0,190

**Tabulka 15** – Hodnoty elektrostatického náboje třené netkané textilie s antistatickým prostředkem naneseným postříkem s různými mokřými přivažky

Č. měření	Textilie s mokřým přivažkem 10 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 5 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]	Textilie s mokřým přivažkem 2 % [kV · inch <sup>-1</sup> ]
1.	0,24	0,07	0,5
2.	0,16	0,30	0,44
3.	0,27	0,20	0,52
4.	0,13	0,23	0,67
5.	0,23	0,22	0,80
Průměrná hodnota [mm, N]	0,206	0,204	0,586
Směrodatná odchylka [mm, N]	0,052	0,075	0,131
Variační koeficient [%]	25,429	36,761	22,370
Minimální hodnota [mm, N]	0,130	0,070	0,440
Maximální hodnota [mm, N]	0,270	0,300	0,800

Elektrostatický náboj se sice nepodařilo snížit téměř až nulovým hodnotám jako u klocování textilie antistatickým prostředkem, ale ani toto snížení není zanedbatelné. Antistatický prostředek působí ještě při mokřém přivažku 5 %, avšak při 2 % se elektrostatický náboj opět zvyšuje. Tedy nejnižší možné množství antistatického prostředku, které lze použít postříkem je 0,05 % z hmotnosti textilie. Tudíž je ho potřeba méně než olejové apretace při výrobě vláken, kde bylo vyextrahováno 0,27 %

Pro porovnání bude uveden výpočet tloušťky vrstvy povrchové apretace na vlákně a tloušťky vrstvy antistatického prostředku.

*Výpočet tloušťky vrstvy apretace na vlákně:*

$$\frac{V_{ap}}{V_{vl}} = \frac{\frac{m_{ap}}{\rho_{ap}}}{\frac{m_{vl}}{\rho_{vl}}} = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2-d^2) \cdot l}{\frac{\pi}{4}d^2 \cdot l} \rightarrow \frac{\frac{0,0027 \cdot m_{vl}}{0,9}}{\frac{m_{vl}}{2,5}} = \frac{(D^2-d^2)}{d^2} \rightarrow D = \sqrt{\left(\frac{0,0027}{\frac{1}{2,5}} \cdot d^2\right) + d^2} =$$

$$= \sqrt{\left(7,5 \cdot 10^{-3} \cdot (15,37 \cdot 10^{-4})^2\right) + (15,37 \cdot 10^{-4})^2} = 1,543 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 15,43 \text{ } \mu\text{m}$$

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{15,43-15,37}{2} = \mathbf{0,03 \text{ } \mu\text{m}}$$

*Výpočet tloušťky vrstvy antistatického prostředku na vlákně:*

$$\frac{V_{ant}}{V_{vl}} = \frac{\frac{m_{ant}}{\rho_{ant}}}{\frac{m_{vl}}{\rho_{vl}}} = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2-d^2) \cdot l}{\frac{\pi}{4}d^2 \cdot l} \rightarrow \frac{\frac{0,0005 \cdot m_{vl}}{1,1}}{\frac{m_{vl}}{2,5}} = \frac{(D^2-d^2)}{d^2} \rightarrow D = \sqrt{\left(\frac{0,0005}{\frac{1}{2,5}} \cdot d^2\right) + d^2} =$$

$$= \sqrt{\left(1,14 \cdot 10^{-3} \cdot (15,37 \cdot 10^{-4})^2\right) + (15,37 \cdot 10^{-4})^2} = 1,538 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 15,38 \text{ } \mu\text{m}$$

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{15,38-15,37}{2} = \mathbf{0,005 \text{ } \mu\text{m}}$$

$V_{ap}$  = objem apretace [cm<sup>3</sup>]

$V_{ant}$  = objem antistatického prostředku [cm<sup>3</sup>]

$V_{vl}$  = objem vláken [cm<sup>3</sup>]

$m_{ap}$  = hmotnost apretace [g]

$m_{ant}$  = hmotnost antistatického prostředku [g]

$m_{vl}$  = hmotnost vláken [g]

$\rho_{ap}$  = hustota apretace = 0,9 g·cm<sup>-3</sup>

$\rho_{ant}$  = hustota antistatického prostředku = 1,1 g·cm<sup>-3</sup>

$\rho_{vl}$  = hustota vláken = 2,5 g·cm<sup>-3</sup>

$l$  = délka vláken [m]

$d$  = průměr vláken (střední hodnota) = 15,37 μm

$D$  = celkový průměr vláken s apretací (antistatickým prostředkem) [μm]

$t$  = tloušťka vrstvy apretace (antistatického prostředku) [μm]

Pomocí výpočtů bylo zjištěno, že tloušťka vrstvy apretace na vlákně je šestkrát větší než tloušťka vrstvy antistatického prostředku, který by byl potřeba nanést.

#### 4.6.2 Mechanické zkoušky

Jako u předchozích experimentů, i zde byl sledován vliv na mechanické vlastnosti lisovaného kompozitu. Byla porovnáována pevnost vzorků s 10 g/l, 30 g/l a 60 g/l antistatického prostředku, které byly nanášeny klocováním, a dále pak pevnost vzorku s 10 g/l antistatického prostředku nanášeným postřikem.

**Tabulka 16** – Hodnoty maximální síly a prodloužení textilie s 10 g/l naklocovaného antistatického prostředku, statistická data

Vzorek č.	$A_{max}$ MD	$F_{max}$ MD	$A_{max}$ CD	$F_{max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	47,34	338,21	53,22	222,13
2	43,37	286,29	93,31	276,97
3	47,41	361,26	83,61	194,33
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	46,04	328,58	76,71	231,14
Směrodatná odchylka [mm, N]	2,31	38,4	20,92	42,05
Variační koeficient [%]	5,01	11,69	27,26	18,19
Minimální hodnota [mm, N]	43,37	286,29	53,22	194,33
Maximální hodnota [mm, N]	47,41	361,26	93,31	276,97

**Tabulka 17** – Hodnoty maximální síly a prodloužení textilie s 30 g/l naklocovaného antistatického prostředku, statistická data

Vzorek č.	$A_{max}$ MD	$F_{max}$ MD	$A_{max}$ CD	$F_{max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	44,51	428,15	63,8	189,27
2	50,48	439,74	52,55	176,99
3	56,69	414,32	53,73	252,16
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	50,56	427,4	56,69	206,14
Směrodatná odchylka [mm, N]	6,09	12,73	6,18	40,32
Variační koeficient [%]	12,05	2,98	10,9	19,56
Minimální hodnota [mm, N]	44,51	414,32	52,55	176,99
Maximální hodnota [mm, N]	56,69	439,74	63,8	252,16

**Tabulka 18** – Hodnoty maximální síly a prodloužení textilie s 60 g/l naklocovaného antistatického prostředku, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	46,4	522,28	101,13	129,07
2	55,63	607,29	118,39	182,48
3	40,47	549,65	111,71	164,88
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	47,5	559,74	110,41	158,81
Směrodatná odchylka [mm, N]	7,64	43,39	8,7	27,22
Variační koeficient [%]	16,08	7,75	7,88	17,14
Minimální hodnota [mm, N]	40,47	522,28	101,13	129,07
Maximální hodnota [mm, N]	55,63	607,29	118,39	182,48

**Tabulka 19** – Hodnoty maximální síly a prodloužení textilie s 10 g/l antistatického prostředku naneseného postříkem, statistická data

Vzorek č.	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
1	55,46	437,27	100,96	186,67
2	46,74	481,11	77,97	252,78
3	56,6	441,43	119,46	197,74
Počet zkoušek	3	3	3	3
Průměrná hodnota [mm, N]	52,93	453,27	99,46	212,40
Směrodatná odchylka [mm, N]	4,40	19,76	16,97	28,91
Variační koeficient [%]	8,32	4,36	17,06	13,61
Minimální hodnota [mm, N]	46,74	437,27	77,97	186,67
Maximální hodnota [mm, N]	56,6	481,11	119,46	252,78

## 4.7 Celkové zhodnocení mechanických vlastností

**Tabulka 20** – Průměrné hodnoty maximální síly a prodloužení všech otestovaných vzorků

Vzorek	$A_{\max}$ MD	$F_{\max}$ MD	$A_{\max}$ CD	$F_{\max}$ CD
	mm	N	mm	N
Nepraná NT nelisovaná	61,92	442,43	126,59	166,81
Praná NT nelisovaná	62,59	644,25	127,62	235,67
Nepraná NT lisovaná	47,7	627,35	84,23	274,93
Praná NT lisovaná	53,45	618,04	72,47	335,82
NT v 0% vlhkosti prostředí lisovaná	51,08	556,82	61,24	241,96
NT v 66% vlhkosti prostředí lisovaná	50,97	513,07	91,13	225,71
NT v 100% vlhkosti prostředí lisovaná	58,19	404,63	132,76	165,67
NT klocovaná 10 g/l antistatického prostředku lisovaná	46,04	328,58	76,71	231,14
NT klocovaná 30 g/l antistatického prostředku lisovaná	50,56	427,4	56,69	206,14
NT klocovaná 60 g/l antistatického prostředku lisovaná	47,5	559,74	110,41	158,81
NT s 10 g/l antistatického prostředku naneseným postříkem - lisovaná	52,93	453,27	99,46	212,40

První poznatek z tahových zkoušek kompozitů, který se projevil u všech zkoušek, je vyšší pevnost netkaných textilií a nelisovaných i lisovaných v podélném směru, než ve směru příčném.

U lisovaných textilií je pevnost vyšší než u nelisovaných avšak nastává velká variabilita mezi jednotlivými zkouškami. To může být opět způsobeno nerovnoměrným promícháním polypropylenových vláken se skleněnými a tudíž i nerovnoměrným zastoupením matrice. Proto je porovnání vlastností vzorků pomocí tahových zkoušek

obtížné (viz pracovní grafy v přílohách). Aby byl zjištěný problém odstraněn, bylo by nutné používat výrazně větší množství vzorků, než je obvyklé, což je z důvodu jejich složité přípravy v našich podmínkách nerealizovatelné. Zkoušky by se také mohly provádět na vzorcích větších šíří, byla však potlačena jejich lokální nerovnoměrnost.



## 5. Diskuze

V této části budou shrnuty všechny poznatky a výsledky celé práce, které budou následně využity v návrzích a doporučení pro firmu Borgers.

Nejprve byl pomocí obrazové analýzy změřen průměr a následně vypočítána jemnost skleněných vláken používaných na výrobu Propylátu®. V Tabulce II v přílohách jsou uvedeny naměřené hodnoty průměrů a statistická data. Pohybují se v rozmezí cca 11 – 20  $\mu\text{m}$ , což je sice vysoký rozptyl, ale na funkci a vlastnosti výsledného kompozitu by to nemělo mít významný vliv.

Vlákna byla dále zanalyzována pomocí infračervené spektroskopie, kde bylo pouze potvrzeno, že hlavní složkou vláken je oxid křemičitý. Důležitější byla analýza povrchové úpravy na vláknech pomocí extrakce v petroletheru a infračervenou spektroskopii. Byla zde identifikována úprava obsahující tridekan a Primol Eko 100K, což odpovídá rostlinnému oleji. Tato apretace by mohla mít vliv na výrobu a vlastnosti kompozitu tudíž byla její část (cca 56 %) odstraněna praním v detergitech určených pro odstraňování apretací ze syntetických vláken. Bylo by možné i tepelné odstranění apretace, ale tento způsob je velice energeticky náročný a vysoká teplota (300 – 650 °C) by měla za následek snížení pevnosti skleněných vláken. Jelikož se skleněná vlákna používají do netkané textilie s polypropylenem, byla provedena extrakce i na vzorku této netkané textilie. Bylo zjištěno kvantitativní i kvalitativní analýzou, že i polypropylen obsahuje povrchovou úpravu podobnou jako je na skleněných vláknech. Avšak z důvodu možné nerovnoměrnosti promíchání obou materiálů, se nepodařilo kvantitativně určit, zda prací proces odstraňuje apretaci na všech vláknech v netkané textili. Vzhledem k tomu, že polypropylen má větší afinitu k oleji než skleněné vlákno, bude jeho odstranění náročnější.

Na netkané textili byla též studována intenzita elektrostatického náboje, který vzniká mechanickým namáháním materiálu, především třením a tedy i zpracováním tohoto kompozitu v provozu. Dosahuje hodnot téměř 3 kV.inch<sup>-1</sup>. Tento problém je výrobcem řešen pomocí vlhčení netkané textilie, která ale během zpracování vysychá a proto dochází k tvorbě náboje v pozdějších fázích zpracování. Z tohoto důvodu byla v práci studována možnost aplikace trvalejšího rázu a to i po vysušení. V této práci byl kromě vlhčení aplikován i antistatický prostředek, který vytváří povrchově vodivou vrstvu a tím umožní odvod elektrostatického náboje i po odstranění vodné fáze

(vysušení). Nejprve byl tento prostředek aplikován klocováním v několika koncentracích a provedené experimenty prokázaly, že se náboj nevytváří (viz Tabulka 13). Přestože tento postup se jeví jako velmi efektivní, v praxi by byl obtížně použitelný, a to bez ohledu na stav zpracovávaného materiálu (jednotlivá vlákna, round nebo netkaná textilie). Důvodem je nutnost další technologie a také energetická náročnost vysoušecího procesu. Odstranění vody pouhým odmačkem by nebylo dostačující a navíc by mohlo dojít k mechanickému poškození skleněných vláken. Z tohoto důvodu byl navržen a ověřen jiný způsob nanášení, a to postřikem na povrch netkané textilie. Postřikem antistatického prostředku sice nebyl snížen náboj až k nulovým hodnotám jako u vlhčení nebo nanášením prostředku klocováním, nicméně po vysušení se snížil až na hodnoty kolem  $0,2 \text{ kV}\cdot\text{inch}^{-1}$ , což už zajistí dobrou zpracovatelnost.

Vliv všech provedených úprav byl testován pomocí stanovení mechanických vlastností lisovaného kompozitu. Jelikož byla pozorována vysoká variabilita v hodnotách maximální síly a prodloužení při maximální síle mezi jednotlivými zkouškami, nemůžeme je pokládat za průkazné. Důvodem by mohlo být nerovnoměrné zastoupení polypropylenové matrice, která má větší podíl na výsledné pevnosti. I v tomto případě by to mohlo způsobovat nedostatečné promíchání polypropylenu se skleněnými vlákny.

Pro postřik byl nalezen vhodný typ antistatického prostředku a jeho koncentrace zajišťující dostatečné odstranění elektrostatického náboje i po vysušení. Další výhodou může být skutečnost, že přídavek povrchově aktivní látky zlepší vazbu mezi povrchem vlákna opatřeným olejovou složkou a matricí. To by mělo zajistit lepší mechanické vlastnosti kompozitu.

Zásadní pro výsledné vlastnosti se jeví dostatečné promíchání vláken kompozitu, které zajistí rovnoměrnost vlastností zejména pevnost a tažnost, která je pro další zpracování textilie klíčová.

## 6. Závěr s návrhy a doporučeními

V této práci bylo provedeno mnoho experimentů, které by měly přinést snazší zpracování vlákenných materiálů v provozu společnosti Borgers. Ke zlepšení vlastností kompozitu zajisté povede rovnoměrnější promíchání skleněných a polypropylenových vláken. Týká se to např. rovnoměrněji rozložené matrice, která má pak vliv na mechanické vlastnosti kompozitu.

Olejová apretace použitá na vláknech zásadně neovlivňuje zpracování a mechanické vlastnosti, tudíž z hlediska energetické úspory nemusí být pro použití v tomto kompozitu odstraňována.

Každopádně mezi doporučení patří použití antistatického prostředku, který sníží elektrostatický náboj i po vysušení textilie. Jak už bylo řečeno, nejjednodušší způsob nanášení lze realizovat postřikem tohoto prostředku. Jelikož elektrostatický náboj vzniká už při prvotním tření skleněných a polypropylenových (mísení vláken, mykání), a dle triboelektrické řady není tento náboj zanedbatelný, bylo by vhodné zařadit tuto operaci ještě před směsováním vláken.

Pokud výrobce zvolí použití antistatického prostředku, nemusí to být prostředek pro trvalou úpravu (odolný vůči praní), poněvadž tato textilie neprochází pracím procesem.

### Citovaná literatura

- [1] WANG, Rumin, Shuirong ZHENG a Yaping ZHENG. *Polymer matrix composites and technology*. Beijing: Science Press, 2011, xiii, 555 p. Woodhead Publishing in materials. ISBN 08-570-9221-9.
- [2] GRÉGR, Jan. Skleněná vlákna - historie a současnost. *Glassrevue* [online]. 2003, č. 4 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.glassrevue.com/news.asp@nid=1678&cid=6.html>
- [3] Global and China Glass Fiber Industry Report, 2012-2015. *Reportlinker* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.reportlinker.com/p0694459-summary/Global-and-China-Glass-Fiber-Industry-Report.html>
- [4] Glass Fibers. In: *Slideshare* [online]. 2013 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/0910026655/glass-fibers-composite-manufacturing-processes?related=1>
- [5] NOGALES, Nathan. Fiberglass a.k.a. Glass-reinforced plastic (GRP)Glass-fiber reinforced plastic (GFRP). In: *Slideshare* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/breaker561994/fiberglass-14153803?related=2>
- [6] PERIYASAMY, Aravin. Glass fiber Manufacture and Applications. In: *Slideshare* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/abiramprince/glass-fiber-manufacture-and-applications?related=2>
- [7] ŠVÉDOVÁ, Jarmila. *Technické Textilie: Příručka Pro Odborníky Z Textilního Průmyslu a Všech Průmyslových a Výrobních Odvětví, Která Používají Nebo Budou Používat Technické Textilie* 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1978.
- [8] The making of glass fiber. GARDINER. *Composites world* [online]. 2009 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
- [9] TARR, Martin. Basic board materials. *Creative Commons* [online]. 2007 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0232\\_bbm/#2](http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0232_bbm/#2)

[10] ČECH, Vladimír. Povrchové úpravy vláken pro polymerní kompozity. *Glassrevue* [online]. 2006, č. 26 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z:

<http://www.glassrevue.com/news.asp@nid=5396&cid=6.html>

[11] ETCHEVERRY, Mariana a Silvia E. BARBOSA. Glass Fiber Reinforced Polypropylene Mechanical Properties Enhancement by Adhesion Improvement. In: *Materials* [online]. 2012, s. 1084-1113 [cit. 2015-05-03]. DOI: 10.3390/ma5061084.

Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/5/6/1084>

[12] HUFENBACH, W., R. BÖHM, M. THIEME, A. WINKLER, E. MÄDER, J. RAUSCH a M. SCHADE. Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications. In: *Science Direct* [online]. 2011, s. 1468-1476 [cit. 2015-05-03]. ISSN 02613069. DOI: 10.1016/j.matdes.2010.08.049. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306910005388>

[13] *Borgers AG* [online]. 2013 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z:

<http://www.borgers.de/propylat-trim.html?&L=1>

[14] Sizing Up Fiber Sizings. In: MASON, Karen. *Composites world* [online]. 2006 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.compositesworld.com/articles/sizing-up-fiber-sizings>

[15] Glass Fibre Manufacturing and Sizing Stability. In: *Azo Materials* [online]. 2013 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=7561>

[16] MITTAL, K.L. *Silanes and other coupling agents*. USA: CRC Press, 2009, v. ISBN 9789004165915.

[17] KEW, Hsein Y . a Mukesh C . LIMBACHIYA. *Excellence in Concrete Construction through Innovation*. UK: CRC Press, 2008. ISBN 978-0-415-47592-1.

[18] HUNTSMAN. *Comfort & Easy care*.

[19] PASTRNEK, Rudolf a Petr VLACH. *Finální úpravy textilií* [online]. 2002 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-16/12-38-58.pdf>

[20] OTYEPKOVÁ, Eva, Libor KVÍTEK, Michal OTYEPKA a Aleš PANÁČEK. Infračervená spektroskopie. In: *Cvičení z vybraných fyzikálně-chemických metod* [online]. 2004 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/ir/ir\\_teorie.htm](http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/ir/ir_teorie.htm)

[21] KOŠŤÁKOVÁ, Eva. Testování nanovlákných materiálů. In: *Nano[studijní] materiály* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/689/course/section/286/Predn%C3%A1ska%20%2010\\_TNA\\_E.Kostakova%20KNT,FT,TUL.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/689/course/section/286/Predn%C3%A1ska%20%2010_TNA_E.Kostakova%20KNT,FT,TUL.pdf)

[22] *Astronomy & Astrophysics* [online]. 2005 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.aanda.org/articles/aa/full/2005/01/aa1365/aa1365.html>

## Přílohy

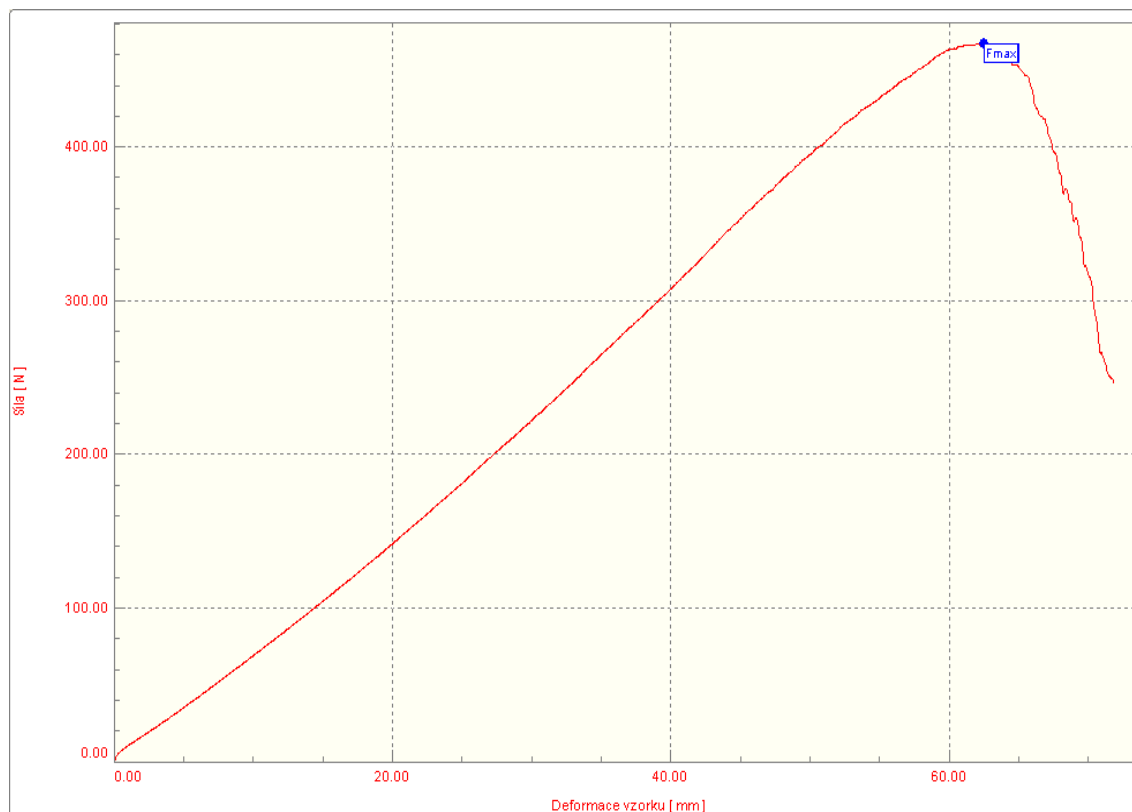
Tabulka I – Vybrané valenční vibrace vazeb [20]

Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm <sup>-1</sup> )	Intenzita píku a vzhled
O-H volná	3600	Střední
O-H (alkoholy, fenoly), vázaná intermolek. H-mostem	3500 – 3100	Silná, široký pás
O-H (alkoholy, fenoly), vázaná intramolek. H-mostem	3400 – 2500	Silná
N-H (aminy primární)	3500 – 3000	Střední, zdvojený pás
N-H (aminy sekundární)	3500 – 3000	Střední
N-H (amidy primární)	3500 – 3300	Střední, zdvojený pás
N-H (aminy sekundární, laktamy)	3450 – 3300	Střední
C-H (alkany)	2980 – 2850	Slabá, zdvojený pás
C-H (alkiny)	3300	Silná
C-H (alkeny)	3100 – 3000	Slabá
C-H (aromatické)	3050 – 2950	Velmi slabá
C-H (aldehydické)	2900 – 2700	Slabý, zdvojený pás
C-trojná-C	2250 – 2100	Slabá až střední
C-trojná-N	2270 – 2200	Silná, velmi ostrý
C=O (anhydridy)	1850 – 1800 a 1790 – 1740	Silná
C=O (chloridy kyselin)	1820 – 1790	Silná
C=O (estery)	1750 – 1730	Silná
C=O (amidy primární)	1690 – 1600	Silná
C=O (amidy sekundární)	1700 – 1670 a 1550 – 1500	Silné
C=O (aldehydy, ketony)	1740 – 1695	Silná
C=O (ketony cyklické šestičlenné)	1730 – 1700	Silná
C=O (ketony cyklické pětičlenné)	1750 – 1740	Silná
C=C (alkeny)	1680 – 1640	Slabá
C=C (dieny)	1650 – 1600	Silná, zdvojený pás
C=C (aromáty)	1600 – 1500	Střední, zdvojený až ztrojený pás
C=N	1700 – 1620	Střední až silná
NO <sub>2</sub>	1550 a 1350	Silná
C-O (alkoholy, ethery, estery)	1300 – 1100	Silná
C-F	1400 – 1000	Střední
C-Cl	800 – 600	Střední
C-Br	600 – 500	Střední
C-I	500 – 400	Střední

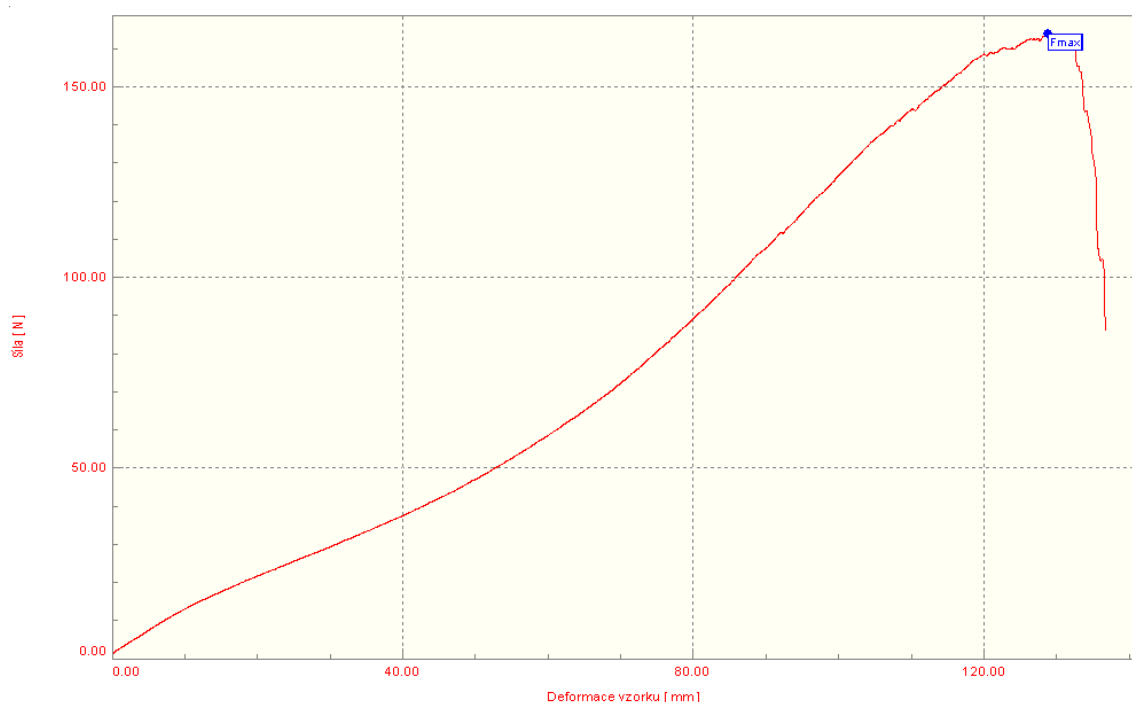
**Tabulka II** – Naměřené hodnoty průměrů vláken [ $\mu\text{m}$ ] a statistická data

Měření	Vlákno 1 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 2 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 3 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 4 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 5 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 6 [ $\mu\text{m}$ ]
1.	14,12	20,37	18,21	16,39	16,27	12,52
2.	14,38	20,33	18,84	16,44	16,36	12,41
3.	13,99	20,30	18,41	16,43	16,33	12,44
4.	14,07	20,24	18,14	16,48	16,59	12,44
5.	14,07	20,24	18,04	16,71	16,36	12,56
6.	14,29	20,40	18,26	16,44	16,42	12,43
7.	14,51	20,72	18,19	16,39	16,44	12,40
8.	15,61	20,42	18,15	16,42	16,28	12,73
9.	14,02	20,25	18,11	16,46	16,38	12,46
10.	15,52	20,32	18,21	16,37	16,59	12,47
<b>Střední hodnota [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,46	20,36	18,26	16,45	16,40	12,49
<b>Rozptyl [<math>\mu\text{m}^2</math>]</b>	0,336	0,020	0,048	0,008	0,012	0,008
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,58	0,14	0,22	0,09	0,11	0,09
<b>Minimum [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	13,99	20,24	18,04	16,37	16,27	12,40
<b>Maximum [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	15,61	20,72	18,84	16,71	16,59	12,73
<b>95% interval spolehlivosti [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,10-14,82	20,27-20,45	18,12-18,40	16,39-16,51	16,33-16,47	12,43-12,55
Měření	Vlákno 7 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 8 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 9 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 10 [ $\mu\text{m}$ ]	Vlákno 11 [ $\mu\text{m}$ ]	
1.	14,11	16,20	14,19	14,96	11,12	
2.	14,24	16,08	14,43	15,13	10,81	
3.	14,34	15,99	14,43	15,02	11,15	
4.	14,03	16,09	14,39	15,03	11,22	
5.	14,12	16,03	14,53	15,02	10,72	
6.	13,96	15,93	14,39	14,93	10,68	
7.	14,15	16,01	14,48	15,02	11,20	
8.	14,53	16,11	14,37	15,03	11,26	
9.	14,15	15,89	14,72	14,99	10,82	
10.	13,97	16,14	14,95	14,94	10,83	
<b>Střední hodnota [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,16	16,05	14,49	15,01	11,04	
<b>Rozptyl [<math>\mu\text{m}^2</math>]</b>	0,029	0,008	0,040	0,004	0,053	
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,17	0,09	0,20	0,06	0,23	
<b>Minimum [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	13,96	15,89	14,19	14,93	10,68	
<b>Maximum [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,53	16,20	14,95	15,13	11,26	
<b>95% interval spolehlivosti [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,05-14,27	15,99-16,11	14,37-14,61	14,97-15,05	10,90-11,18	

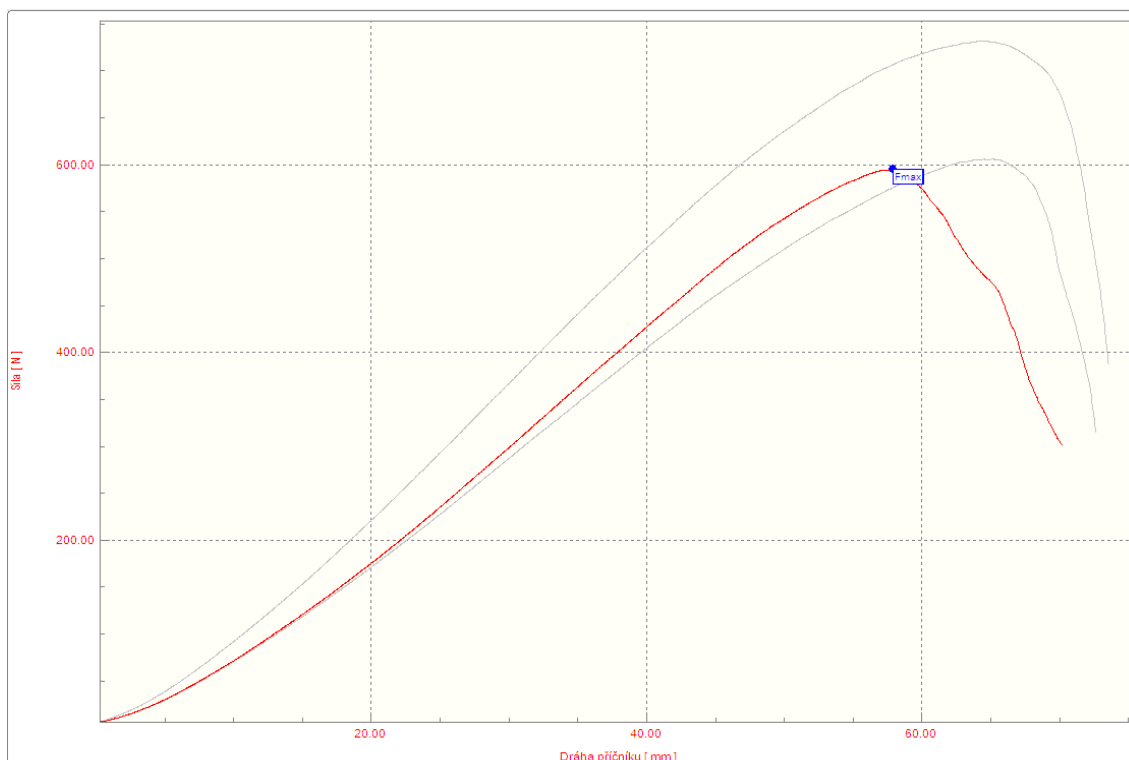




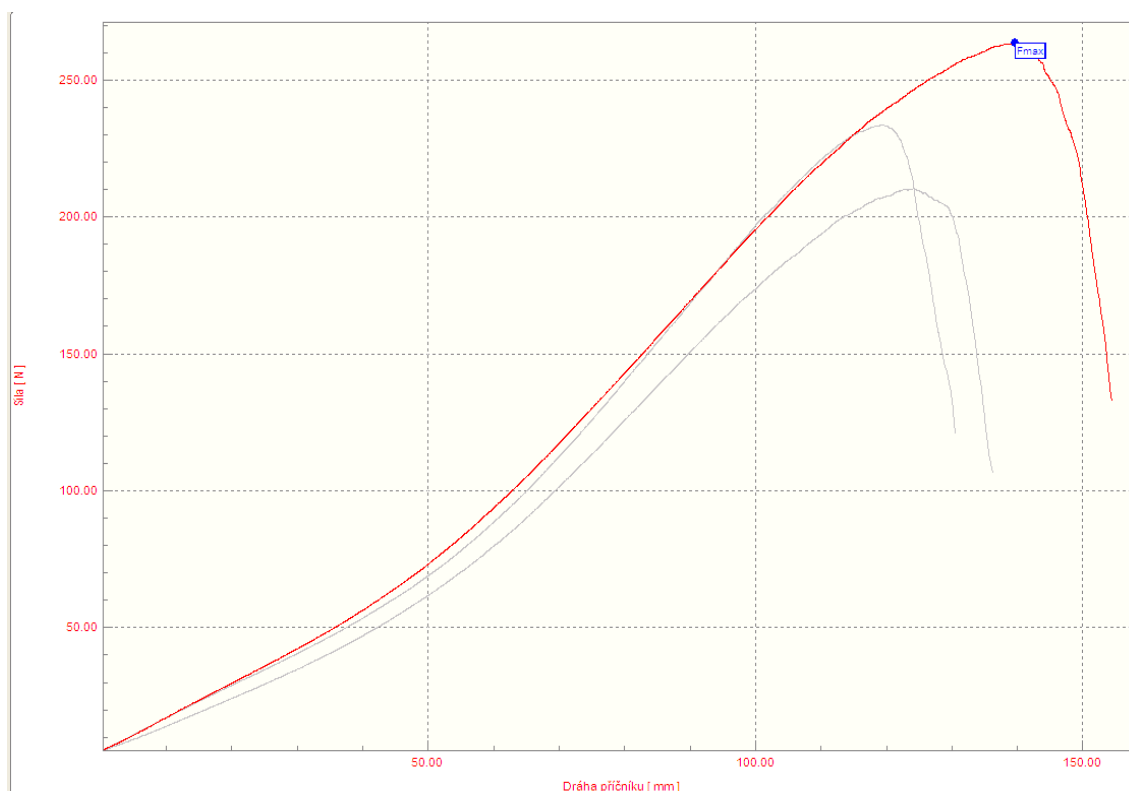
**Graf I** – Pracovní graf neprané netkané textilie - podélný směr



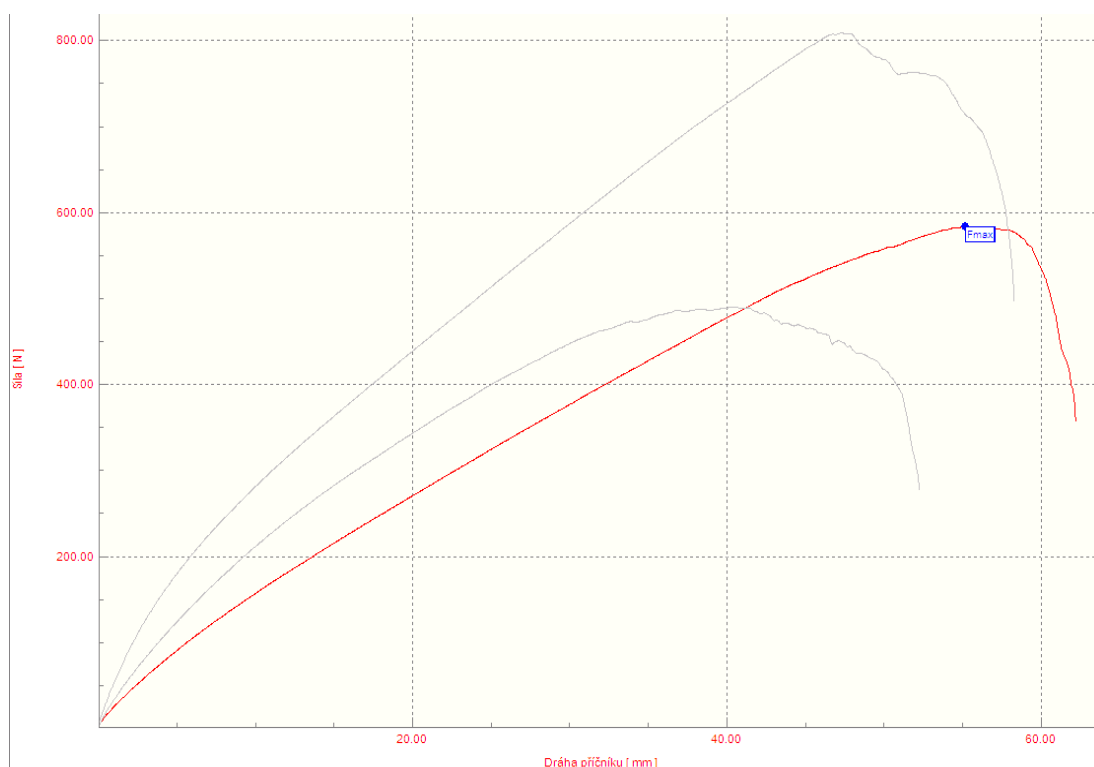
**Graf II** – Pracovní graf neprané netkané textilie - příčný směr



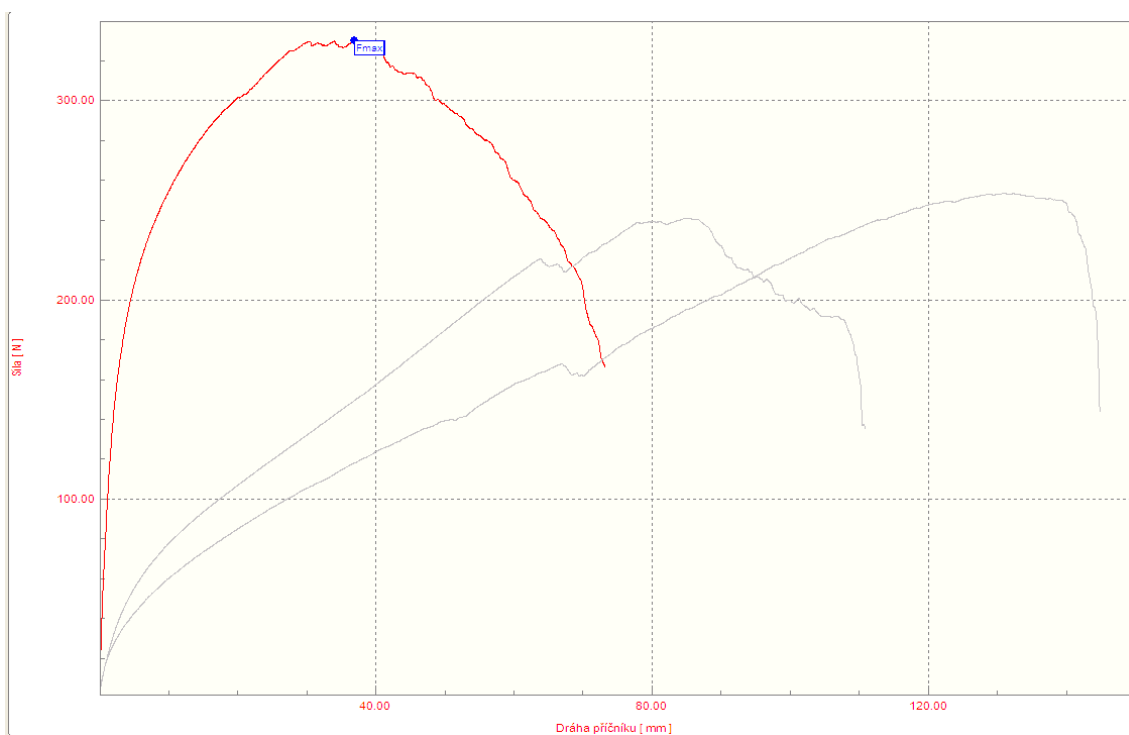
**Graf III** – Pracovní graf prané netkané textilie - podélný směr



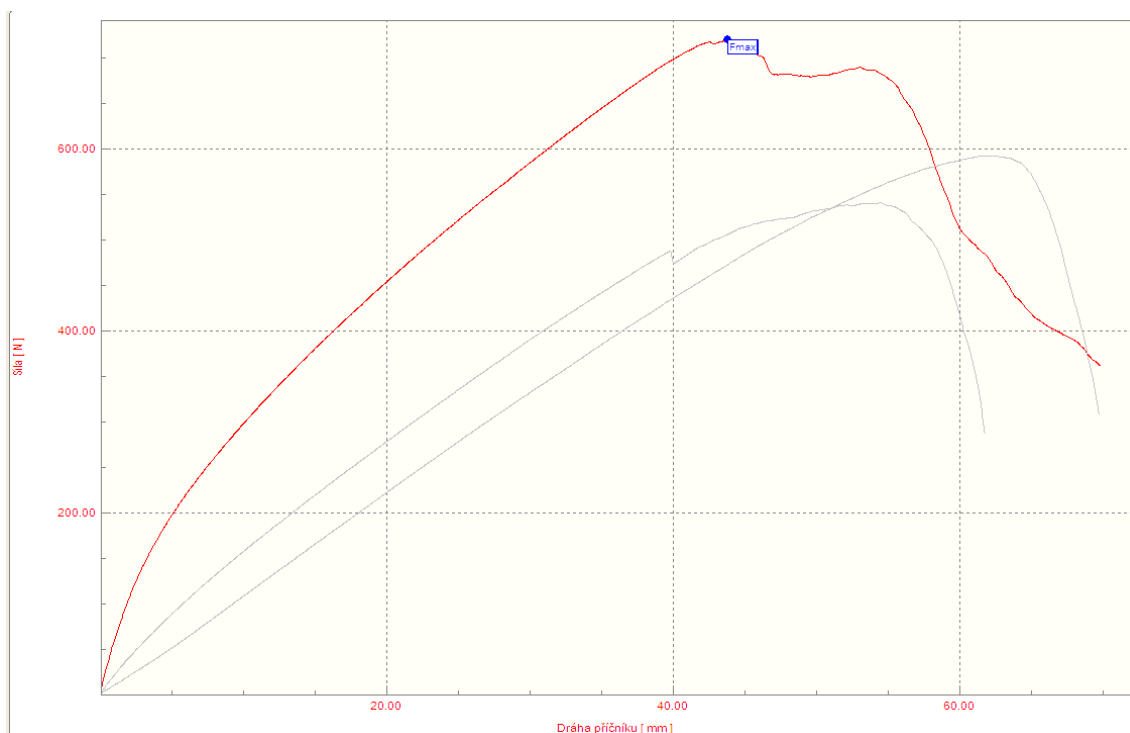
**Graf IV** – Pracovní graf prané netkané textilie - příčný směr



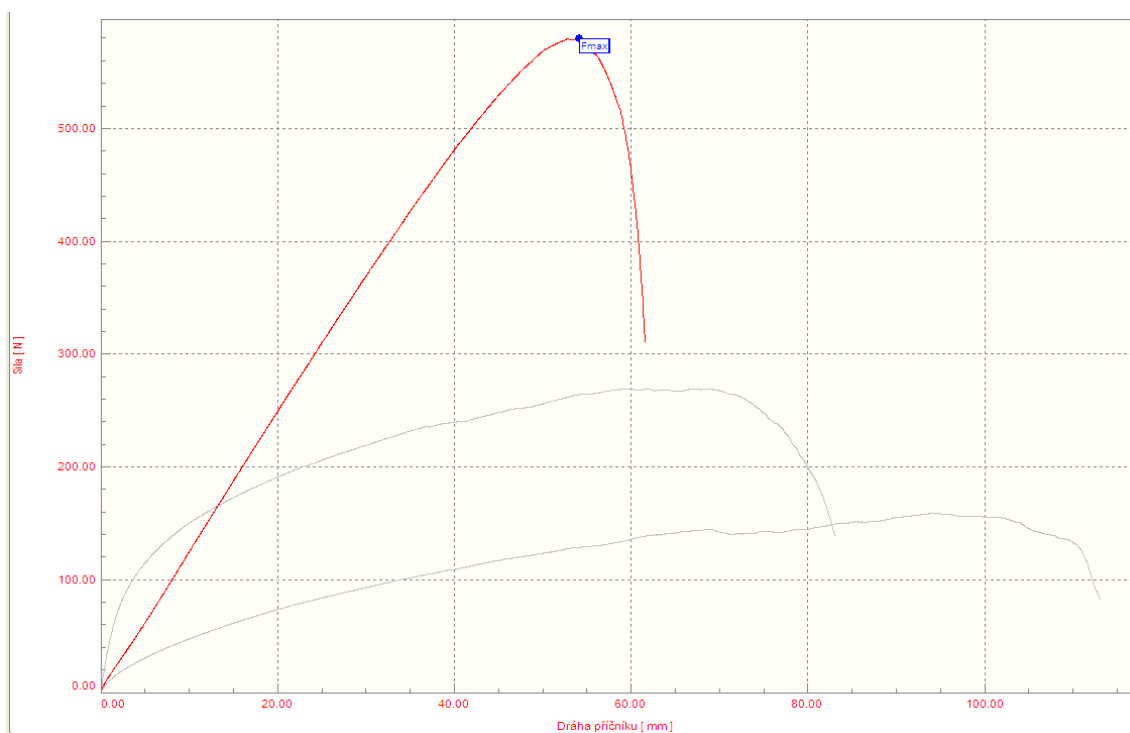
**Graf V** - Pracovní graf neprané lisované NT - podélný směr



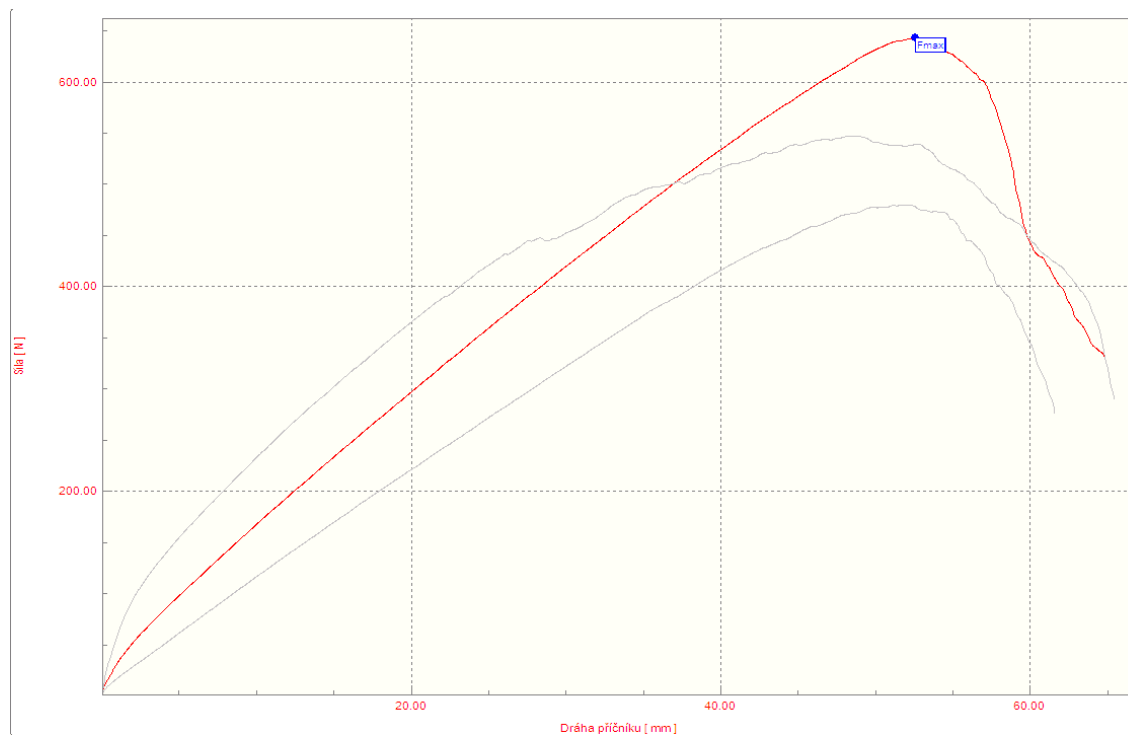
**Graf VI** - Pracovní graf neprané lisované NT - příčný směr



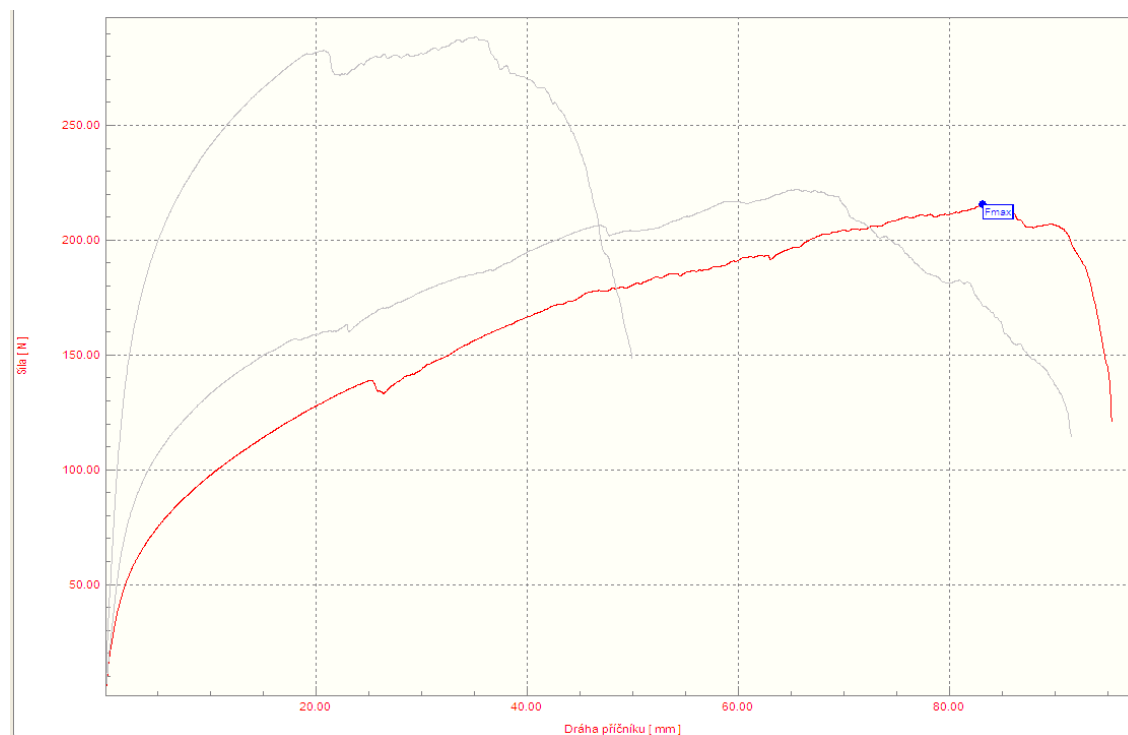
**Graf VII** - Pracovní graf prané lisované NT - podélný směr



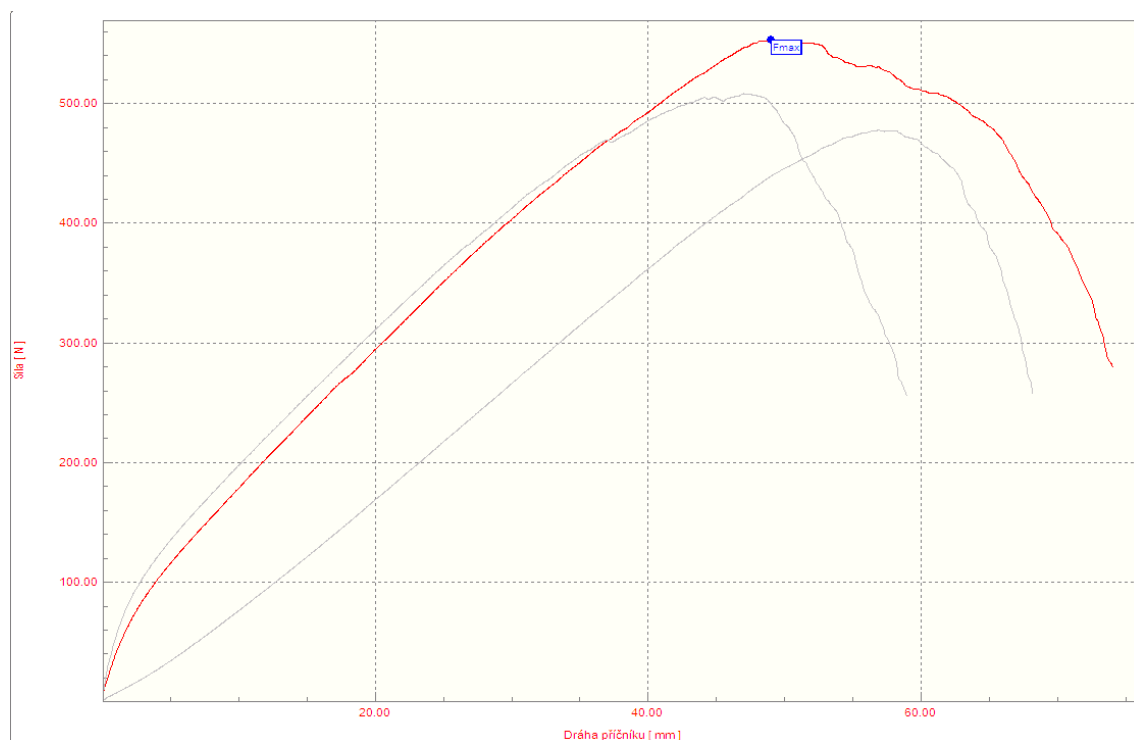
**Graf VIII** - Pracovní graf prané lisované NT - příčný směr



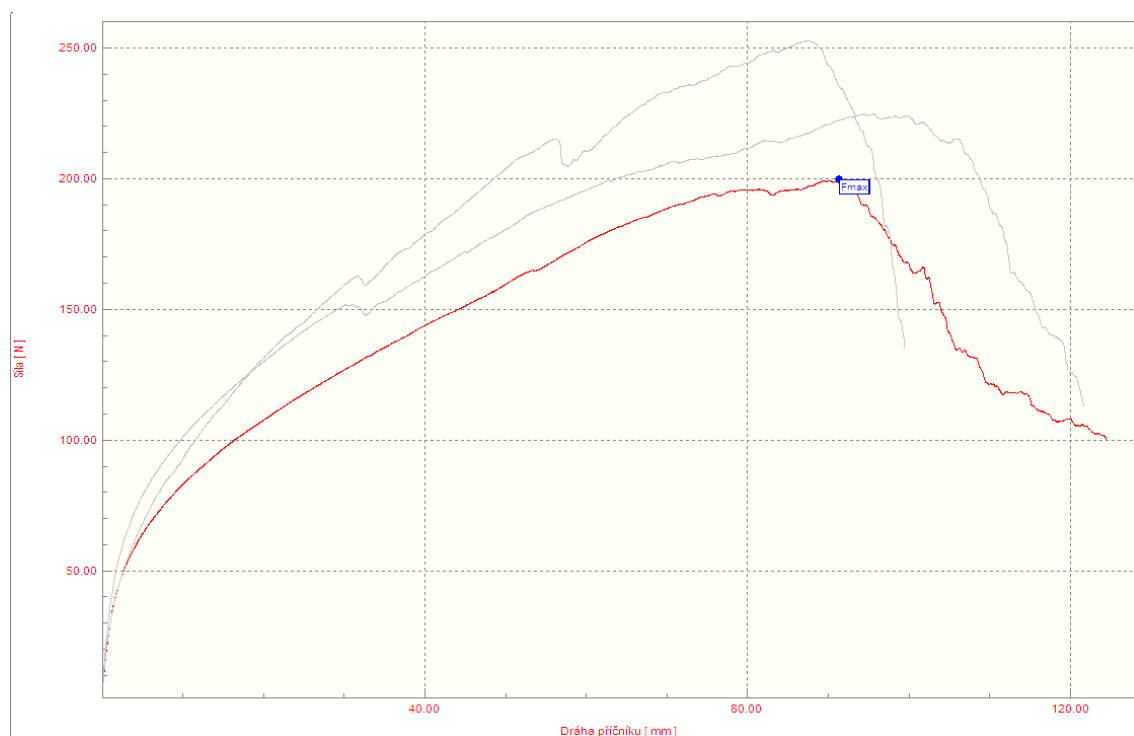
**Graf IX** - Pracovní graf lisované NT ponechané v 0% vlhkosti - podélný směr



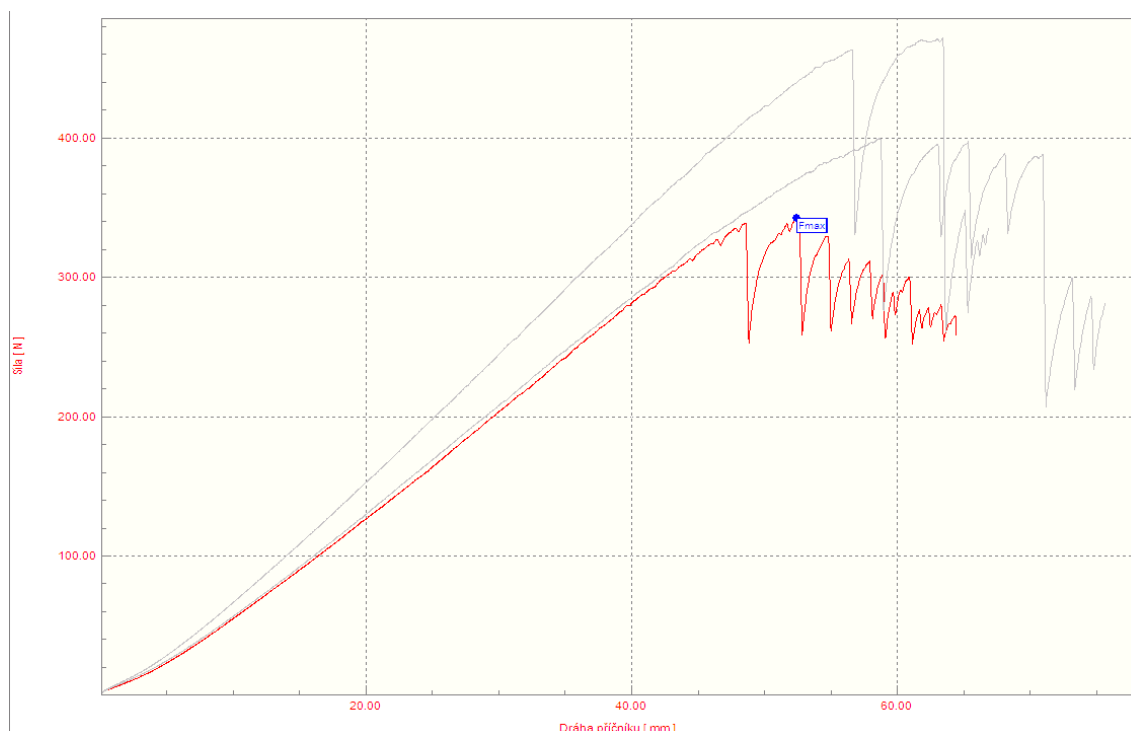
**Graf X** - Pracovní graf lisované NT ponechané v 0% vlhkosti - příčný směr



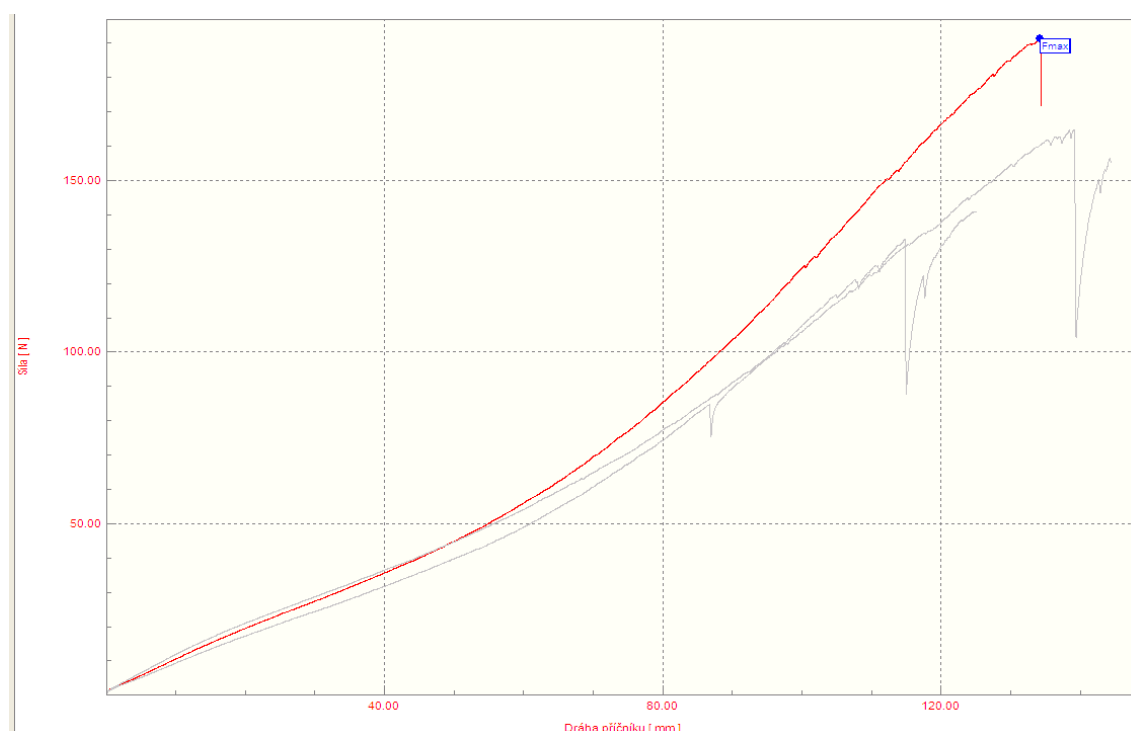
**Graf XI** - Pracovní graf lisované NT ponechané v 66% vlhkosti - podélný směr



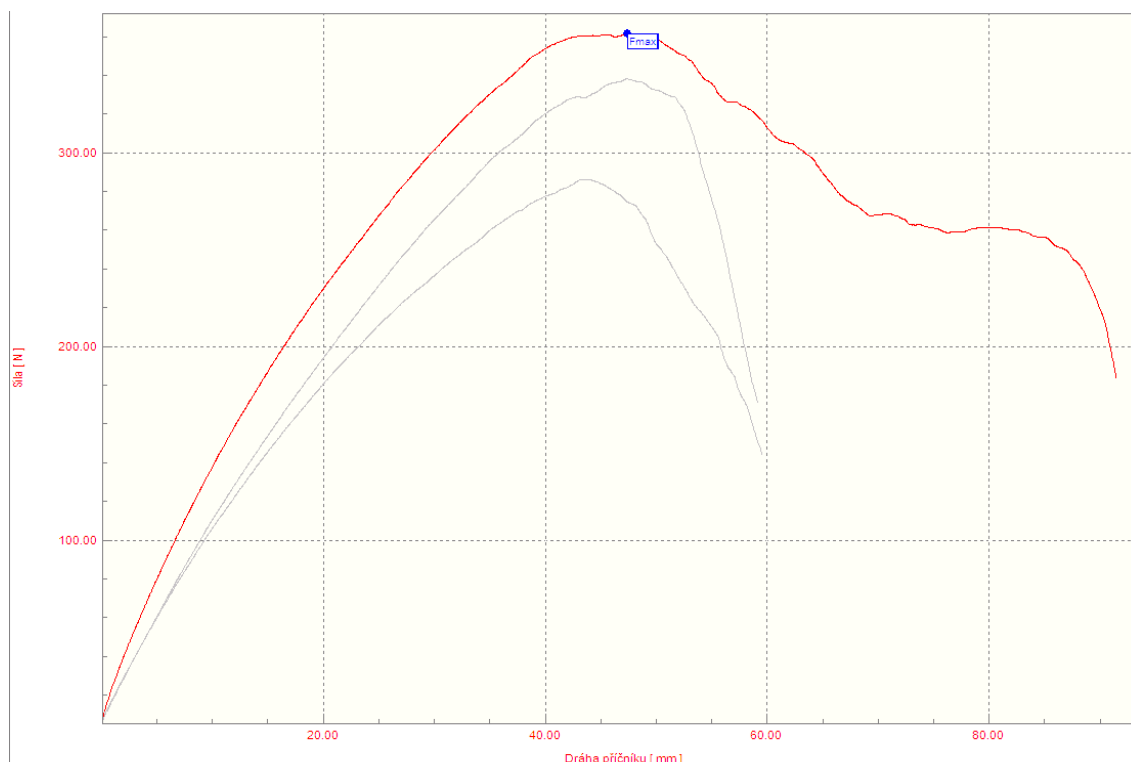
**Graf XII** - Pracovní graf lisovaného textílie ponechané v 66% vlhkosti - příčný směr



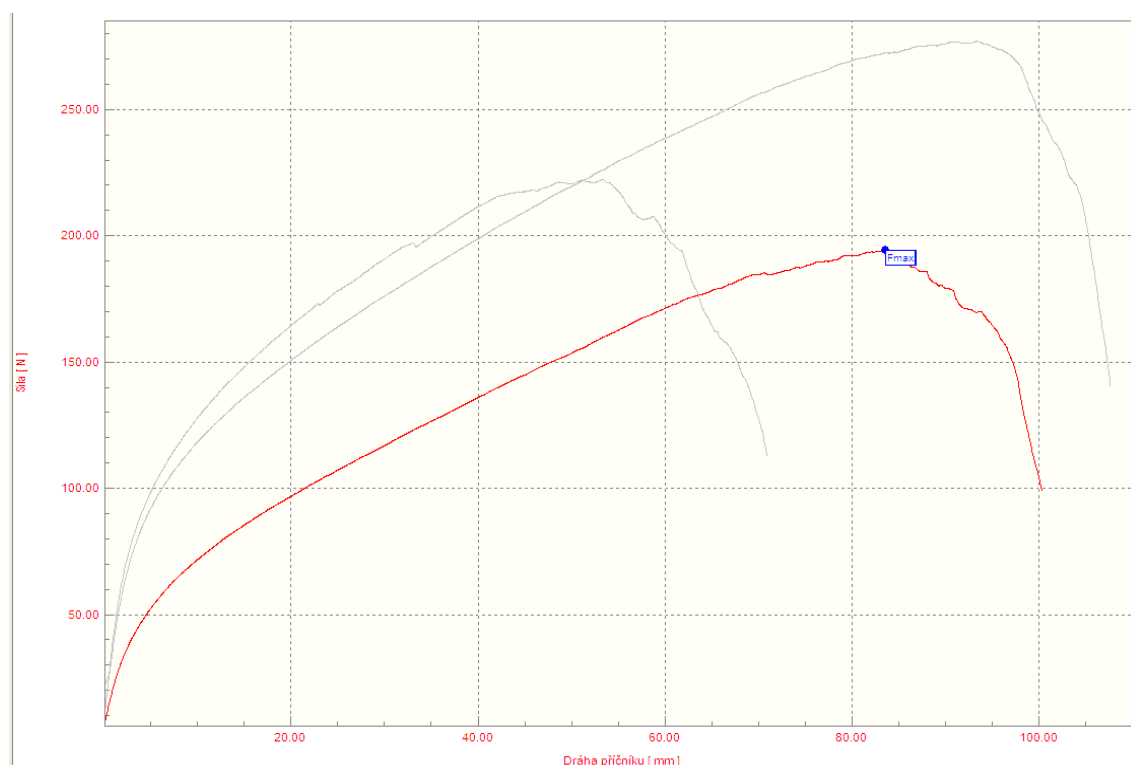
**Graf XIII** - Pracovní graf NT textilie ponechané v 100% vlhkosti – podélný směr



**Graf XIV**- Pracovní graf NT textilie ponechané v 100% vlhkosti – příčný směr

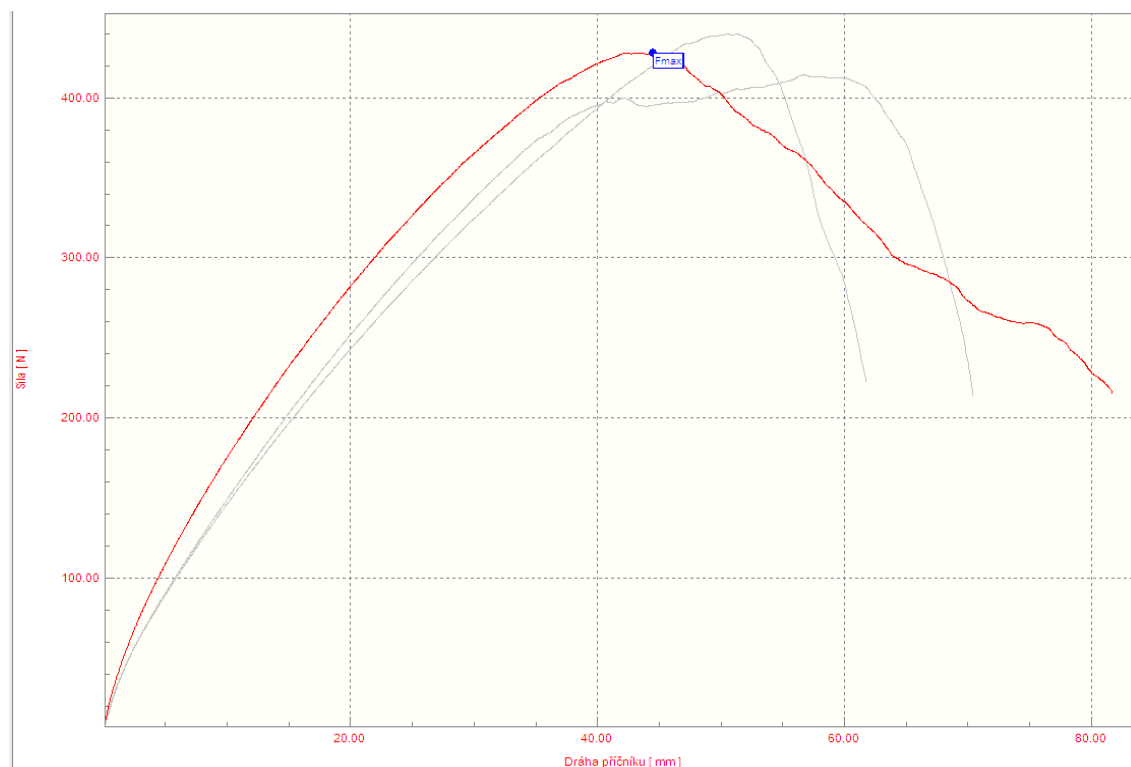


**Graf XV** - Pracovní graf NT s 10 g/l naklocovaného antistatického prostředku – podélný směr

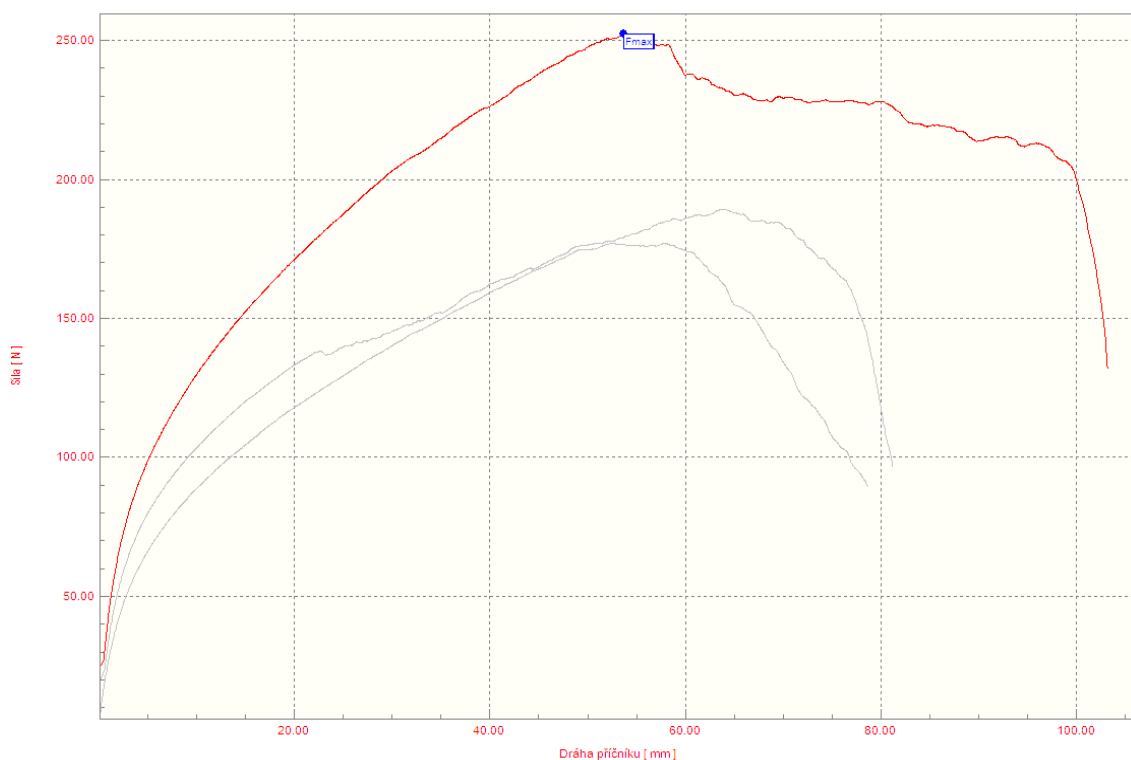


**Graf XVI** - Pracovní graf NT s 10 g/l naklocovaného antistatického prostředku – příčný směr

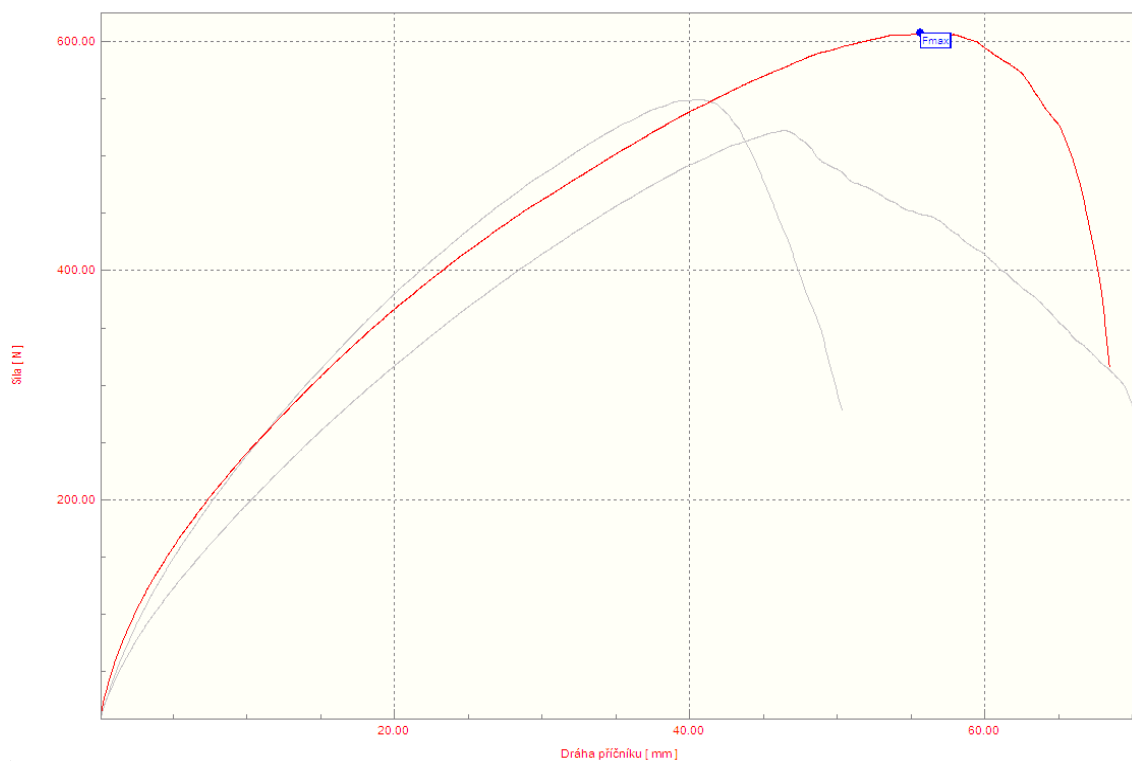




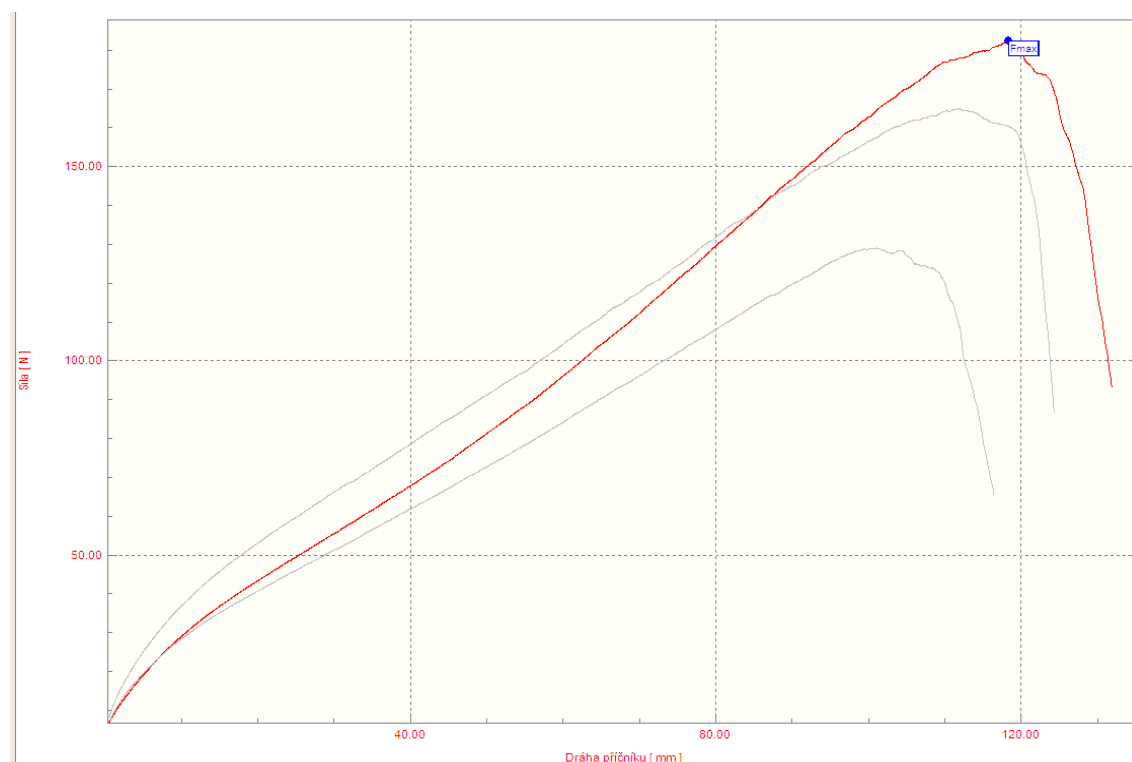
**Graf XVII** - Pracovní graf NT s 30 g/l naklocovaného antistatického prostředku – podélný směr



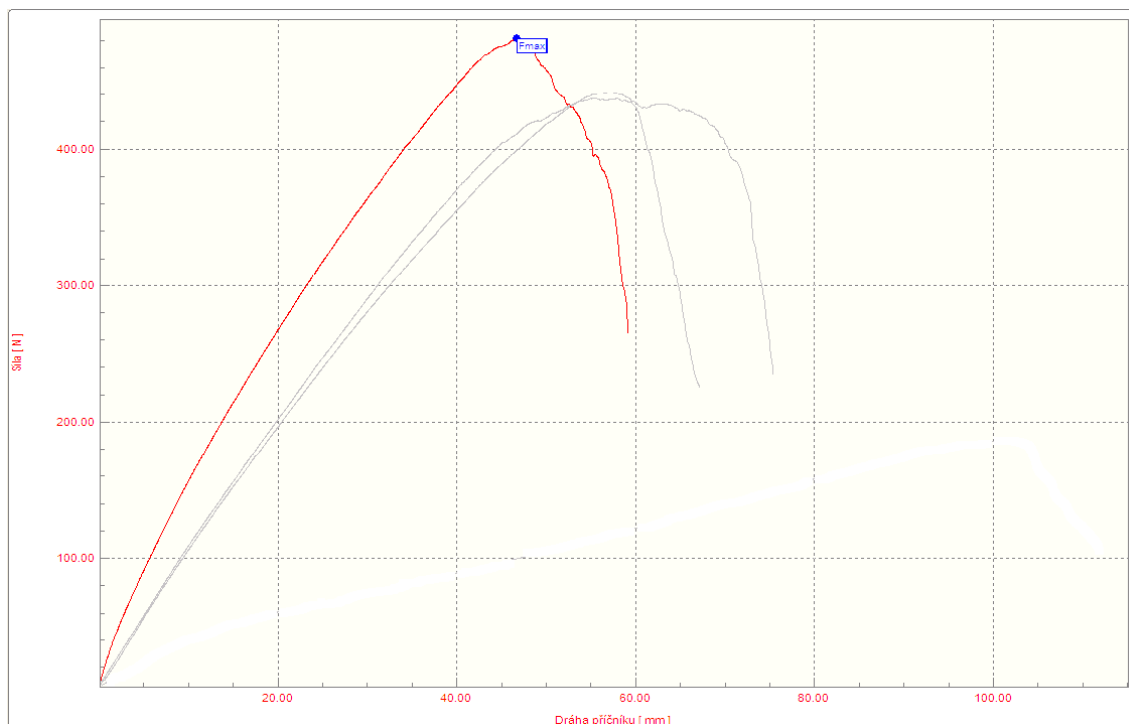
**Graf XVIII** - Pracovní graf NT s 30 g/l naklocovaného antistatického prostředku – příčný směr



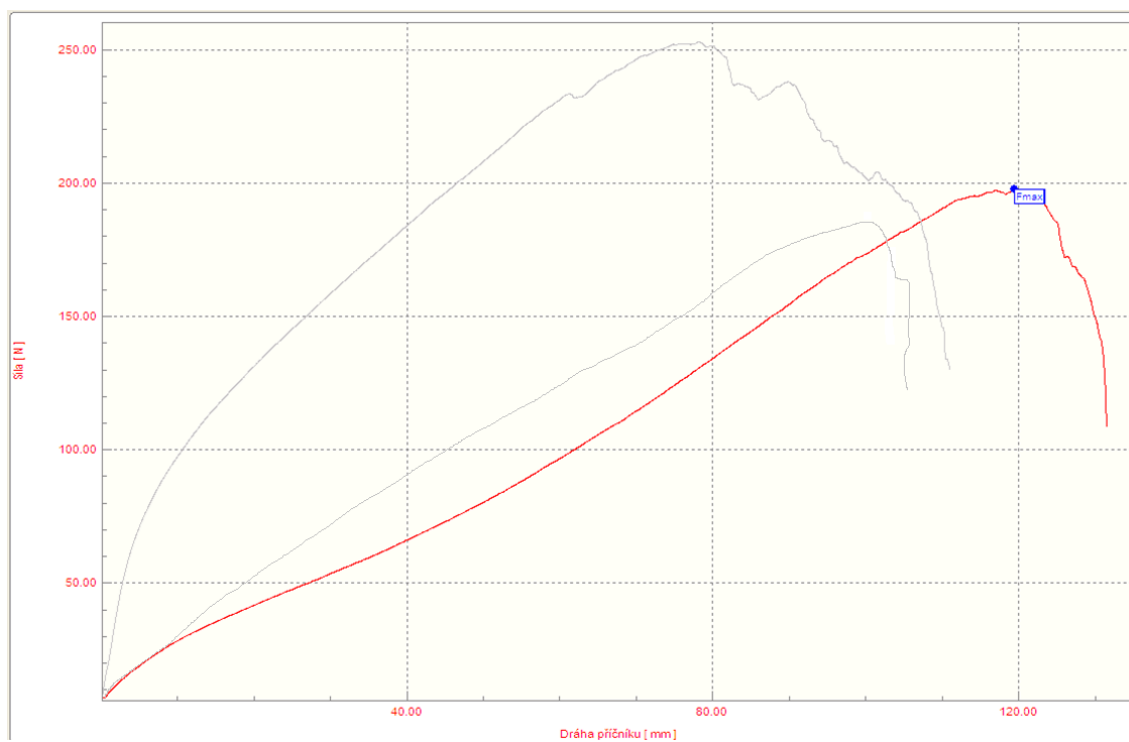
**Graf XIX** - Pracovní graf NT s 60 g/l naklocovaného antistatického prostředku – podélný směr



**Graf XX** - Pracovní graf NT s 60 g/l naklocovaného antistatického prostředku – příčný směr



**Graf XXI** - Pracovní graf NT s 10 g/l antistatického prostředku naneseného postřikem – podélný směr



**Graf XXII** - Pracovní graf NT s 10 g/l antistatického prostředku naneseného postřikem – příčný směr