

Úprava polypropylenových vláken pomocí ozonu

Diplomová práce

Studijní program:

N3957 Průmyslové inženýrství

Studijní obor:

Produktové inženýrství

Autor práce:

Bc. Karolína Roušalová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství





Zadání diplomové práce

Úprava polypropylenových vláken pomocí ozonu

Jméno a příjmení: Bc. Karolína Roušalová
Osobní číslo: T19000018
Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na téma polypropylenových vláken, netkaných textilií a jejich úprav.
2. Definované vzorky vlákněných vrstev z polypropylenových vláken vystavte působení ozonu.
3. Sledujte vliv doby působení ozonu na vlastnosti polypropylenových vzorků a stabilitu pozorovaných změn a pozorované jevy se pokuste vysvětlit.
4. Výsledky diskutujte s ohledem na praktické využití vlákněných vrstev upravených ozonem.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

50 – 60 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

[1] LIPPERT, E., ed. Ozonová vrstva Země: vznik, funkce, poškozování a jeho důsledky, možnosti nápravy. Praha: Vesmír, 1995. ISBN 80-901131-5-X

[2] PINNER, S. H. Poveternostné starnutie a degradácia plastických hmot. Bratislava: Alfa, 1973

[3] SCHNABEL, W. Polymer degradation: Principles and practical applications. Berlin: Akademie-Verlag, 1981

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

1. září 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. srpna 2020

Bc. Karolína Roušalová

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce, prof. Ing. Jakobovi Wienerovi, Ph.D za jeho cenné rady, ochotu, konzultace a za veškerý čas, který mi věnoval.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a blízkým, kteří mi byli po celou dobu studia velikou oporou.

Anotace

Cílem této diplomové práce je ověřit, zda je možné využívat působení ozonu na úpravu polypropylenových vláken a jejich další využití pro zpevnování netkaných textilií. Teoretická část se zabývá ozonem a jeho vznikem, výrobou, výskytem v zemské atmosféře, využitím, aplikací a jeho využitím v textilním průmyslu. V další části práce jsou uvedena polypropylenová vlákna, výroba netkaných textilií a jejich výroba a zpevnování. Následující kapitola je zaměřena na degradaci polymerů, jejich rozdělení a v poslední části na interakci ozonu s polymery. Poslední kapitola je zaměřena na antimikrobiální textilie a mikrobiální účinnost ozonu. V druhé polovině práce navazuje experimentální část, kde je popsán vstupní materiál, použité přístroje a průběh ozonizace. Následuje popis průběhu degradací, které jsou analyzovány pomocí infračervené spektroskopie, změn tepelných vlastností, elektronové mikroskopie a změn mechanických vlastností.

Klíčová slova: ozon, polypropylen, degradace, pevnost

Annotation

The aim of this master thesis is to verify whether it is possible to use the effect of ozone on the treatment of polypropylene fibers and their further use for strengthening nonwovens. The theoretical part deals with ozone and its formation, production, occurrence in the Earth's atmosphere, use, applications and its use in the textile industry. Furthermore, the thesis presents polypropylene fibers, production of nonwovens and their production and strengthening. Furthermore, the work is focused on the degradation of polymers, their distribution and in the last part on the interaction of ozone with polymers. The final chapter focuses on antimicrobial textiles and microbial ozone efficiency. It is followed by the experimental part where the input material, used devices and the course of ozonization are described. The following is a description of the course of degradation, which is analyzed by infrared spectroscopy, changes in thermal properties, electron microscopy and changes in mechanical properties.

Key words: ozone, polypropylene, degradation, strenght

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	9
Úvod.....	10
1. Ozon a jeho vlastnosti.....	11
1.2. Vznik a výroba ozonu.....	13
1.3. Ozon v zemské atmosféře.....	14
1.3.1. Stratosférický ozon.....	15
1.3.2. Troposférický ozon.....	15
1.4. Využití a aplikace ozonu.....	16
1.4.1. Využití ozonu v textilním průmyslu.....	17
2. Polypropylenová vlákna.....	18
2.1 Oblasti využití polypropylenových vláken.....	19
3. Netkané textilie a jejich výroba.....	20
3.1. Příprava vlákenné vrstvy.....	21
3.1.1. Mechanická příprava vlákenné vrstvy.....	21
3.1.2. Válcový(vlnářský) mykací stroj.....	21
3.2. Zpevňování vlákenné vrstvy.....	22
3.2.1. Mechanické způsoby zpevňování.....	22
3.2.2. Chemické způsoby zpevňování.....	23
3.2.3. Termické způsoby zpevňování.....	24
4. Degradace polymerů.....	25
4.1. Rozdělení degradace polymerů.....	25
4.1.1. Termická degradace	25
4.1.2. Fotodegradace polymerů.....	26
4.2. Interakce ozonu s polymery.....	26
4.2.1. Studium působení ozonu na polymery.....	27
5. Antimikrobiální textilie.....	29
5.1 Způsoby antimikrobiální úpravy.....	31
5.2 Mikrobiální účinnost ozonu.....	31
6. Experiment.....	34
6.1. Vstupní materiál.....	34
6.2. Použité přístroje.....	36

6.3. Příprava vzorků.....	44
6.4. Průběh ozonizace vzorků.....	45
6.5. Průběh experimentů.....	47
7. Vyhodnocení výsledků.....	53
7.1. Vliv ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.1 PP netkané textilie.....	53
7.2. Vliv ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.4 Polypropylenové netkané textilie....	56
7.3. Vliv ozonu na změnu povrchu polypropylenu.....	57
7.4. Vliv ozonu na změnu tepelných projevů PP materiálu.....	61
7.5. Vliv ozonu na změnu chemického složení PP vzorku č.1 a vzorku č.2.....	62
7.6. Vliv ozonu na vznik antibakteriální úpravy u vzorku č.1.....	63
7.7. Diskuze výsledků s ohledem na praktické využití vlákných vrstev upravených ozonem.....	65
Závěr.....	66
Seznam zdrojů.....	67
Seznam obrázků.....	70
Seznam tabulek.....	71
Přílohy.....	72

Seznam použitých zkratek

ANOVA – analýza rozptylu

atd. - a tak dále

cca – přibližně

dB – decibel (jednotka pro měření hladiny intenzity zvuku)

DSC – diferenční skenovací kalorimetrie

FTIR – infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací

Hz – Hertz – jednotka frekvence

K – Kelvin

kPa – kilopascal (jednotka tlaku)

mA – miliampér (jednotka elektrického proudu)

mbar – milibar (jednotka tlaku)

N – Newton

NaCl – chlorid sodný

Nujol – parafinovaný olej

PP – polypropylen

PPM – parts per milion (počet dílů či částic na jeden milion)

SEM – skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop

V – Volt (jednotka elektrického napětí)

VOC – Volatile Organic Content – Těkavé organické látky

Úvod

Hlavním tématem této diplomové práce je vliv působení ozonu na polypropylenová vlákna a jejich úpravy. V poslední době jsou polypropylenová vlákna nejčastější surovinou pro výrobu netkaných textilií. Jelikož jsou vlákna málo odolná proti UV záření a mají nízkou schopnost zotavení se po deformaci, tak byl použit ozon pro úpravu vláken. Ozon je nenahraditelnou součástí Země a nachází se jak v dolní části tak horní části atmosféry. Je to nestabilní plyn, který se po určitém čase rozpadá zpět na kyslík. Hlavním potenciálem ozonu je, že je to velmi silné oxidační činidlo, proto nachází své uplatnění v mnoha různých odvětvích. Nejvíce se využívá pro úpravu pitné vody ve vodárnách, poté jako sterilizování flašek ve stáčírnách, pivovaru, ale také jako dezinfekce v bazénech a mnoha dalších zaměřeních. V textilním průmyslu je využíván pro své dezinfekční účinky a využívá se pro odstranění veškerých bakterií, virů ale i parazitů a plísní. Hlavní zaměření je v textilním bělení a použití v prádelnách.

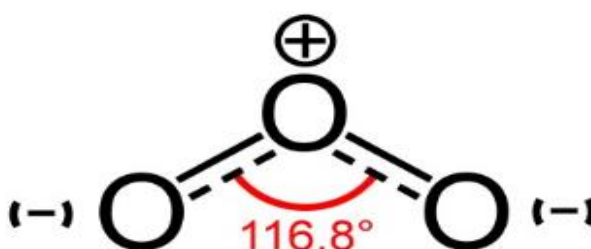
Teoretická část se nejdříve zabývá popisem co to je ozon a jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Následuje popis dvou metod výroby ozonu a to výroba ozonu pomocí UV lamp a výroba ozonu pomocí koronového výboje, který bude využit v této práci. Poté je kapitola zaměřena na využití a aplikace ozonu v různých odvětvích. V závěru kapitoly je pojednáno o využití ozonu v textilním průmyslu. V další části práce je popsáno polypropylenové vlákno a jeho vlastnosti. Poté je zaměřeno na netkané textilie a jejich výrobu. Tato kapitola je rozčleněna na popis přípravy vlákenné vrstvy a dále její zpevňování. Následuje kapitola která je zaměřena na degradaci polymerů, jejich rozdělení a v poslední řadě je popsána interakce ozonu s polymery. Poslední kapitola v rešeršní části je zaměřena na antimikrobiální textilie, jejich antimikrobiální úpravy a v poslední části je zaměřena na mikrobiální účinnost ozonu na textilie.

Experimentální část této práce se zaměřuje na působení ozonu a jeho využití na úpravu polypropylenových vláken a polypropylenové vlákenné vrstvy. V této části práce je popisován vstupní materiál, který je použit při vystavení ozonu a pro další zkoumání jeho vlastností. Poté jsou popsány použité přístroje potřebné k ozonizaci a dalšího zkoumání změn polypropylenových vláken. Dále je zde popsána příprava vzorků a průběh jejich vystavení ozonu. Tato práce je zaměřena především na změnu polypropylenových vláken pomocí ozonu, proto se poslední část experimentu zaměřuje na průběh zjišťování mechanických vlastností, zjišťování povrchových změn polypropylenového vlákna a také jeho stálost úpravy pomocí ozonu. Dále byl popsán průběh zjištění tepelné změny a změny chemické. V poslední části byl popsán průběh experimentu na antimikrobiální účinky vzniklé použitím ozonu na PP vlákna.

Výsledky této práce by mohly být dále zkoumány pro účely dezinfekce a jeho ekologického zneškodnění polypropylenových textilií.

1 Ozon a jeho vlastnosti

Je to přírodní téměř bezbarvý plyn, který se ve vyšších koncentracích jeví jako namodralý. Přirozeně se vyskytuje ve stratosféře, která se nachází ve výšce 10-40 km nad povrchem země. V této výšce se tvoří tzv. ozonová vrstva. Množství ozonu je ve stratosféře poměrně konstantní, nicméně se z důvodu ročního období mění jeho poloha. Tento plyn se skládá ze 3 atomů kyslíku a značí se značkou O_3 (Obr. 1). Molekula ozonu je lomená a úhel, který svírají vazby mezi atomy kyslíku, je $116,8^\circ$. Na prostředním atomu je kladný parciální náboj a na obou krajních atomech je náboj negativní. [1]



Obr. 1: Struktura ozónu [1]

Jelikož obsahuje o jeden atom kyslíku více než kyslík ve stabilní formě O_2 , nazýváme ho také jako „aktivní kyslík“. [1]

Ozon se v přírodě vyskytuje přirozeně v horských oblastech, u moře nebo se také vyskytuje ve vzduchu při letní bouřce, kde se dá rozpoznat lidským čichem, jelikož jeho typickou svěží vůni lze cítit již ve velmi malé koncentraci. Dále tato jeho typická vůně se vyskytuje také při svařování elektrickým proudem.

Molekula ozonu je vzhledem k nahromaděné energii velmi nestabilní a po 45 minutách při $20^\circ C$ a tlaku 101,3 kPa se opět samovolně rozpadá na kyslík (O_2). Ovšem při $30^\circ C$ a stejném tlaku je poločas rozpadu ozonu pouze 20 minut, to znamená že čím je větší teplota, tím je poločas rozpadu kratší. Ozon je velmi silné oxidační činidlo, které má přírodní čistící a dezinfekční vlastnosti. Využívá se v mnoha různých oborech jako je lékařství, zemědělství, potravinářský průmysl, textilní průmysl a mnoho dalších. Používá se například při úpravě vzduchu (dezinfekce, odstranění zápachu atd.), protože ozon má dezodorační efekt, což znamená redukování nežádoucích zápachů v prostředí (pot, cigaretový kouř, zápach zvířat, atd.). Hlavní vlastností ozonu je, že plyn nemaskuje příčiny zápachu, ale zcela je odstraňuje z prostředí. Ozon po aplikaci nezanechává žádné stopy a nezpůsobuje žádné alergické potíže.

[1][2][3][4]

Fyzikální a chemické vlastnosti ozonu

Ozon je složen ze tří atomů kyslíku, v plynné podobě je bezbarvý, ale při jeho vysoké hustotě má zmodralou barvu. Zato v tekuté podobě se ozon zbarvuje do tmavě modré až černé barvy a v pevném skupenství je zbarven do modré až fialové barvy. Vyznačuje se typickou elektrickou vůní, která je čichem pozorovatelná již při koncentracích 0.012 PPM. Ozon je velmi nestabilní a reakcí $2\text{O}_3 \rightarrow 3\text{O}_2$ se rozkládá na obyčejný kyslík. Je rozpustný ve vodě, a jeho rozpustnost je ovlivněna tlakem, teplotou a úrovní znečištění vody. Jeho fyzikální vlastnosti lze vidět v Tab.1. [1][3]

Tab. 1: Fyzikální a chemické vlastnosti ozonu

Chemická značka	O_3
Bod tání	-192,5°C
Bod varu	-111,9°C
Molekulární váha	48 g/mol
Úhel vazby	116,8°
Délka vazba	0,126/0,224 nm
Dipólový moment	0,55 Debye
Magnetické vlastnosti	Diamagnetický
Hustota při 0°C, 101,3 kPa (vzduch 1,29g)	2,143 g/l
Rozpustnost ve 100 ml H_2O při 0°C, 101,3 kPa	49,4 ml (106 mg)
Přebytek energie při 0°C, 101,3 kPa	142 kJ/Mol
Elektrický potenciál	2,07 V
Hustota	2,144 mg/cm ³
Index lomu světla	1,2226

Optické vlastnosti

Optické vlastnosti jsou velmi důležité jak v přírodě a během přírodních jevů, tak také u jeho aplikacích v průmyslu. Ozon v plynném stavu absorbuje infračervené, viditelné i ultrafialové světlo stejným způsobem. Absorpční pásy zachycují vlnové délky od 14,2 μm do 220 nm. Absorpce je obzvláště velmi silná v oblasti ultrafialového záření, kde dosahuje absorpční konstanta svého maxima při vlnové délce 225,3 nm.

Nejdůležitějším absorpcí je Hartleyův pás, který je zodpovědný za absorpci UV C ve stratosféře. Díky této vlastnosti je chráněn život na Zemi před devastujícím zářením.

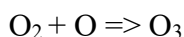
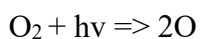
Viditelné spektrum ozonu vykazuje absorpční pás maxima při 600 nm, což je odpovědné za modré zbarvení ve všech skupenstvích ozonu. [5][6]

1.2 Vznik a výroba ozonu

Ozon je plyn, který se běžně vyskytuje v přírodě. Vzniká v letních obdobích při bouřkách a pomocí působení UV slunečního záření. Vzniká také v přízemních výškách vlivem působení záření a smogu. Jelikož je ozon nestabilní plyn a není možnost ho skladovat, využívají se v dnešní době tři typy umělé výroby. Ozon se vyrábí pomocí UV lampy, koronovými vysokonapěťovými výboji a elektrolyticky přímo ve vodě. [4][7]

Výroba ozonu pomocí UV lamp

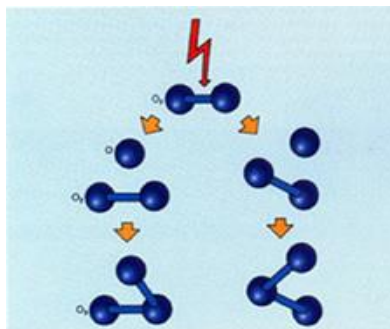
Technologie výroby je založená na UV záření, které štěpí molekuly kyslíku O_2 na jednoatomové radikály, které se spojují s molekulami kyslíku a tím pádem vznikají molekuly ozonu.



Nevýhodami této výroby ozonu je malý výkon generace ozonu a malá koncentrace ozonu. Jako další nevýhoda je poměrně vysoký příkon elektrické energie. Jejich uplatnění se nachází v laboratořích a nebo jako kalibrátory ozonu. [7][8]

Výroba ozonu pomocí koronového výboje

Tento typ výroby ozonu je založen na proudění vzduchu nebo kyslíku přes elektrické pole v němž vzniká tzv. „tichý výboj“. Elektrický proud tichého výboje štěpí molekuly kyslíku na jednoatomové radikály, které se tímto spojují s molekulami kyslíku a tím pádem vznikají molekuly ozonu. Tento proces lze vidět na Obr. 2. [8]



Obr. 2: Výroba ozonu pomocí koronového výboje [8]

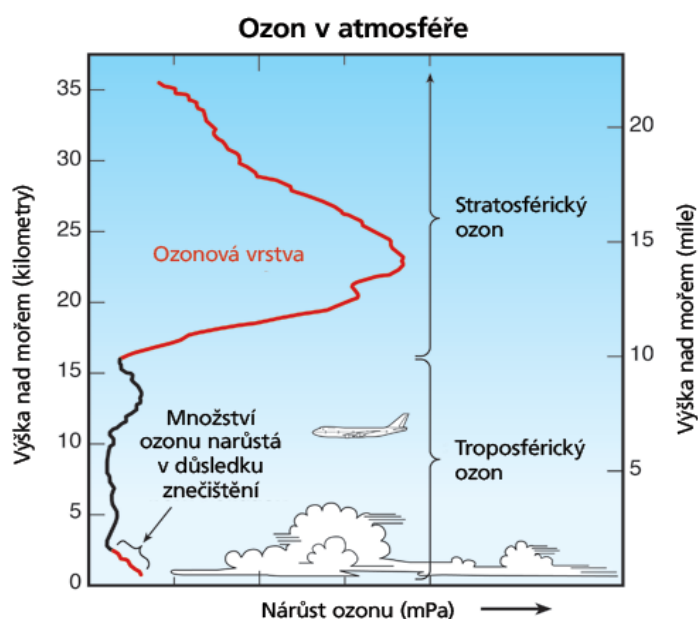
Tuto technologii výroby ozonu lze dělit na 3 typy podle frekvence přiváděného napětí:

- Generace ozonu při nízké frekvenci 50-100 Hz
- Generace ozonu při střední frekvenci 100-1000 Hz
- Generace ozonu při vysoké frekvenci 1000-30000 Hz

Výhoda této výroby ozonu je, že generátory poskytují velké výkony od pár gramů po několik desítek kilogramů ozonu za hodinu. Tímto umožňují jeho využití ve všech technologických aplikacích ozonu. [7][8]

1.3 Ozon v zemské atmosféře

Výskyt ozonu v zemské atmosféře se dělí na 2 části: stratosférický ozon a troposférický (přízemní) ozon. Stratosférický ozon je zastoupen v 80-90 % veškerého ozonu v atmosféře a troposférický je zastoupen jen v 10-20 %. Výskyt těchto dvou ozónů lze vidět na Obr. 3.



Obr. 3: Výskyt ozonu v zemské atmosféře[9]

1.3.1 Stratosférický ozon

Jednou z nejdůležitějších vlastností stratosférického ozonu je taková, že chrání naši Zeměkouli před Slunečním zářením. Vzniká působením UV záření. Toto záření naráží na molekuly kyslíku O_2 a tím se rozbíjejí na dva atomy kyslíku. Takto volné atomy reagují s O_2 a tím vytvářejí molekuly ozonu.

UV záření pohlcují také samotné atomy ozonu a tím se opět dělí na molekuly kyslíku O_2 a volný atom kyslíku O. Poté se volný atom kyslíku O váže na další kyslík a tím se uzavírá celý cyklus. Při tomto cyklu je pohlcováno veliké množství UV záření a tím je přeměňováno na teplo.

Volné atomy kyslíku (O) a ozon jsou velmi nestabilní a velmi jednoduše mohou reagovat s ostatními prvky jako jsou dusík (N), vodík (H), chlór (Cl) nebo také bróm (Br). Tyto prvky se přirozenou cestou běžně dostávají do zemské atmosféry. Tento výskyt ozonu se objevuje jen tehdy, když je ve stratosféře přítomno sluneční ultrafialové záření nebo vulkanické procesy. [4][10][11]

1.3.2 Troposférický ozon

Troposférický ozon, také znám jako „přízemní ozon“, se nachází ve výškách do cca 10 km nad zemským povrchem (Obr.4) a vzniká hlavně ve velmi znečištěném prostředí, které se nachází pár desítek až 1 km nad povrchem zemským. Vzniká v prostředí reakcí oxidů dusíků a uhlovodíků při intenzivním slunečním záření, které se vyskytuje zejména za slunečních letních dní. Hlavními znečišťujícími plyny, které mají podíl na vzniku troposférického ozonu jsou oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické sloučeniny, oxid uhelnatý (CO) a také mezi ně patří methan. Troposférický ozon vzniká především provozem automobilů, spalováním fosilních paliv a dalšími jinými technickými procesy. Tento typ ozonu je nebezpečný nejen pro lidi, ale také pro ostatní živé organizmy a rostliny. První obtíže se objevují při překročení průměrné hodinové koncentrace $160 \mu g/m^3$, kterou uvádí Světová zdravotnická organizace (WHO). Při vyšších koncentracích a delším vystavení způsobuje ozon pálení očí a nosu, kašel, bolest hlavy a pocit tlaku na hrudi. V nejhorších případech může ale také ozon způsobit smrt. [4][11][12]

1.4 Využití a aplikace ozonu

Pokud je ozon správně používán, tak je schopen velice dobře se zbavit většiny bakterií, virů, parazitů a plísní. Je to velice účinný dezinfekční prostředek pro vodu a vzduch. Pokud je správně použit, tak je pro svoji zdravotní nezávadnost používán v potravinářském průmyslu pro výrobu potravin a nápojů. Tento plyn je mnohem účinnější jak chlór nebo bróm. Také jeho velkou výhodou je tzv. dezodorační schopnost, což znamená, že má za následek rozklad zapáchajících látek, tudíž odstranění zápachů. Ozon se také využívá ve velkém rozsahu v textilním průmyslu a nejen v něm, ale za pomoci ozonování se také využívá v mnoha dalších oblastech jako např. [3][8]

- Vodárny – pitná voda
- Nápojový průmysl – stáčírny, plnárny, pivovary, vinařské závody
- Bazény a vířivky
- Čistírny odpadních vod
- Chov vodních živočichů – např. chov zvířat v ZOO, rybí a krabí farmy atd.
- Pohřební a sanační služby
- Hotely, gastro a fitness – např. restaurace, bary, ubytovny, šatny, sauny, solária atd.
- Zdravotnická zařízení – např. operační sály, ambulance, čekárny, laboratoře atd.
- Úklidové služby – např. čištění interiéru automobilu a mnoho dalších
- Potravinářský průmysl – mlékárenský, masový, mrazírenský atd.
- Chov drůbeže, prasat a skotu
- Vzduchotechnika
- Domácnosti
- Kosmetika a dermatologie

Tento plyn také velice dobře likviduje patogeny, které jsou odolné vůči působení chlórových přípravků. Jeho velkou výhodou je, že proniká jako plyn proniká do všech koutů a skulin, ale také do pórů nejrůznějších materiálů jako např. textilie, podlahy, nábytek, stěny, koberce a mnoho dalších. Jelikož nezanechává po sobě žádné špatné odpadní látky tak je velice ekologický. [3][8][13]

1.4.1 Využití ozonu v textilním průmyslu

Hlavním zdrojem znečišťujících látek v životním prostředí je textilní průmysl. Hlavním zdrojem emisí z potisku textilií, které se dostávají do ovzduší, jsou z dekorativní textilie, na kterou jsou aplikovány různé způsoby sítotisku. Tento výrobní proces vede k nepřekonatelným molekulám ve výrobních odpadních vodách, tak ale také k plynu s obsahem VOC (Těkavé organické látky). [13][14]

Textilní bělení ozonem

V mnoha zařízeních je oblečení nebo nejčastěji denim běleny pomocí oxidace chemikáliemi, aby se vytvořil tzv. „sepraný“ vzhled. Vysoce oxidační vlastnosti ozonu umožňují udržitelné bělení bez nadměrné chemické manipulace a nákladů.

Nejčastěji se bělí bavlna, která není 100% bílá, pro zbavení jejích různých odstínů. Ozonování bavlny je velmi krátký proces, při kterém se používá běžná teplota vody. Při dosažení požadované bělosti se spotřebuje minimum vody a tento proces po sobě nezanechává téměř žádné zbytkové chemikálie. [14]

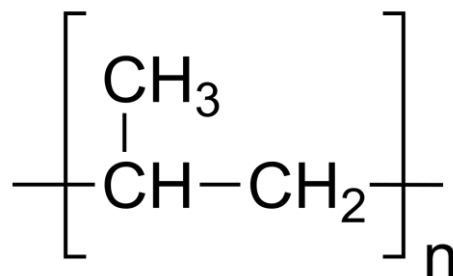
Použití ozonu v prádelnách

Studená a čistá voda s rozpuštěným ozonem má velmi dobrý čistící efekt při praní všech jednobarevných textilií, proto je také nejvhodnější do prádelny v nemocnicích, věznicích, hotelech atd. A to hlavně proto, jelikož se tam nejčastěji perou bílé nebo jakékoliv jednobarevné textilie. [14]

Jelikož ozon ve studené vodě odstraňuje střední znečištění tak tím dochází k velkým úsporám na ohřevu vody a pracích prostředcích. Další výhodou je také ta, že ozon není tak „tvrdý“ na textilie jako běžné prací prostředky. [14]

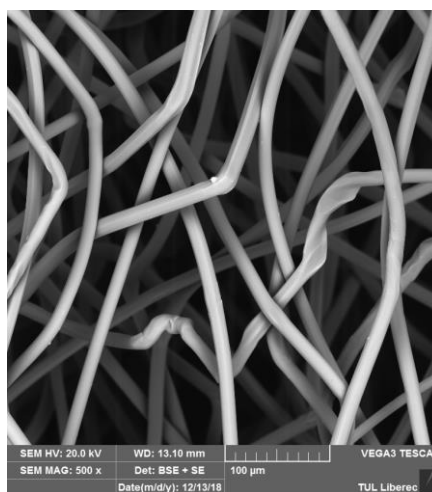
2 Polypropylenová vlákna

Polypropylenové vlákno (Obr. 4) bylo představeno v 70. letech 20. století a řadí se jako důležitý mezi syntetickými vlákny. Vlákna jsou složena z nekystalických a kystalických oblastí. Většina vyrobeného polypropylenového vlákna se využívá spíše pro průmyslové aplikace než pro oděvní a domácí textil.



Obr. 4: Vzorec PP vlákna

Polypropylenové vlákno (Obr. 5) je zvlákňováno z předem připraveného polymeru z taveniny kruhovými tryskami do šachty a větší rozměry (např. pásy) jsou zvlákňovány do vodní lázně. Vlákna jsou z většiny kruhového průřezu.



Obr. 5: Polypropylenové vlákno

Teplota měknutí vlákna je 140 °C a jeho teplota tání je 165-170 °C. Polypropylen má vynikající pružnost při teplotách nižších jak -70 °C a méně a při vyšších teplotách do 120 °C zůstávají téměř normální mechanické vlastnosti. Vlákna mají nejnížší tepelnou vodivost a proto v tomto ohledu je to na dotyk nejteplejší vlákno. Polypropylenová vlákna jsou známa tím, že mají vysokou chemickou odolnost proti kyselinám a zásadám, odolnost proti hmyzu (škůdcům) a vysokou odolnost proti oděru. Nízká absorpce vlhkosti napomáhá rychlé přepravě vlhkosti. Je to nejlehčí syntetické vlákno o hustotě 0,91 g/cm³, tudíž jako jediné plave na hladině vody.

Nevýhodou vláken je nízká teplota tání(zabránění žehlení), nízká odolnost vůči UV záření, nízká tepelná stabilita, nižší schopnost zotavení se po deformaci a nemožnost povrchového barvení(barvení se provádí z taveniny polymeru). [15][16]

2.1 Oblasti využití polypropylenových vláken

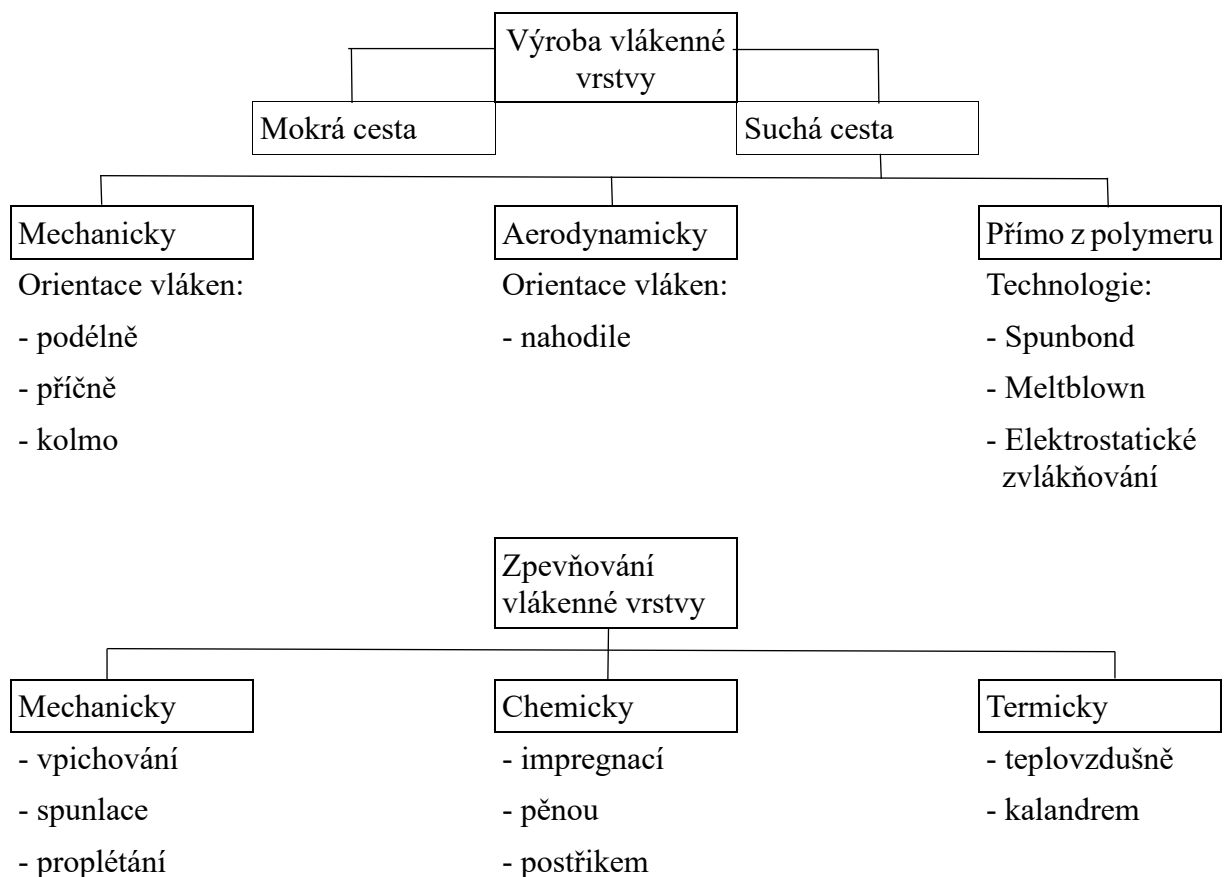
Využití polypropylenových vláken je spíše v technických oblastech. Používá se jako páskovina do podkladových tkanin pro výrobu kobereců, ale největší využití nachází při výrobě netkaných textilií. Jejich základní vlastnosti jsou bariérové vlastnosti, kvůli kterým se výroba netkaných polypropylenových textilií používá pro jednorázové využití. Tyto netkané textilie se využívají v mnoha odvětvích jako je například medicína (dětské pleny, dámské hygienické výrobky, inkontinentní vložky nebo pleny), zemědělství a stavebnictví(například umělé trávničky, půdní drenáže, geotextili a mnoho dalších), sportovní potřeby (například běžecké dráhy, sportovní potřeby a tak dále) až třeba po automobilový průmysl. [16]

3 Netkané textilie a jejich výroba

Definice netkaných textilií je „*Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním.*“. Vrstva z jednosměrně orientovaných vláken má anizotropní vlastnosti a vrstva z náhodně orientovaných vláken má izotropní vlastnosti. Koheze znamená soudržnost vláken a adheze je buď chemické nebo termické pojení. [15]

Netkaná textilie je vyráběná buď ze staplových vláken nebo z taveniny polymeru. Nejdříve se připraví vlákenné suroviny, z kterých se dále vytváří vlákenná vrstva, která je dále zpevňována. V posledním kroku se provádí konečné úpravy mnoha různými způsoby. Celý výrobní proces je přehledně uveden v Tab. 2. [17]

Tab. 2: Postup výroby a zpevňování netkané textilie



Konečná úprava netkaných textilií se může provádět buď povrstvováním, natavováním, krečováním a mnoha dalšími způsoby. [17][18]

3.1 Příprava vlákně vrstvy

Příprava vlákně vrstvy probíhá několika způsoby, které lze vidět v Tab. 2. V této práci bude uvedena detailně pouze mechanická příprava vlákně vrstvy. [18]

3.1.1 Mechanická příprava vlákně vrstvy

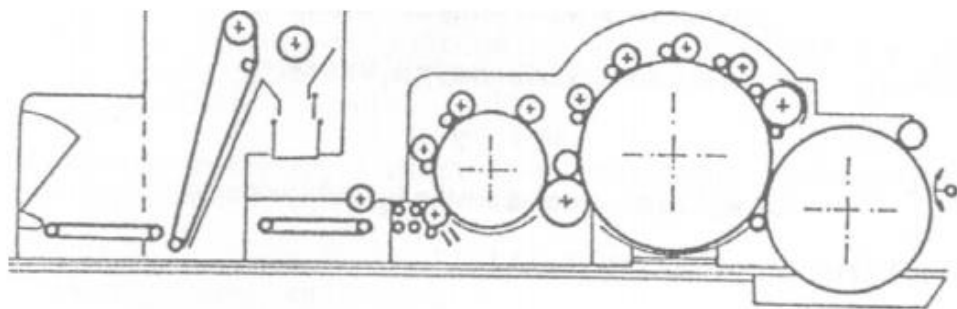
Mechanický způsob přípravy spočívá ve vytvoření vlákně pavučiny a jejím vrstvení. Tyto vrstvy se vyrábějí pomocí mykacích strojů popřípadě pomocí mykacích zařízení vyvinutých speciálně pro výrobu NT. Klasicky se využívají mykací stroje víčkové(bavlnářské) a válcové(vlnářské).

Vlnářské stroje jsou používány častěji a to pro jejich větší šíři (1,5-3,5 m) a větší výkon(200-1000 kg/hod – dříve 30-50 kg/hod). Vysvětlen zde bude jen válcový mykací stroj. [18]

3.1.2 Válcový(vlnářský) mykací stroj

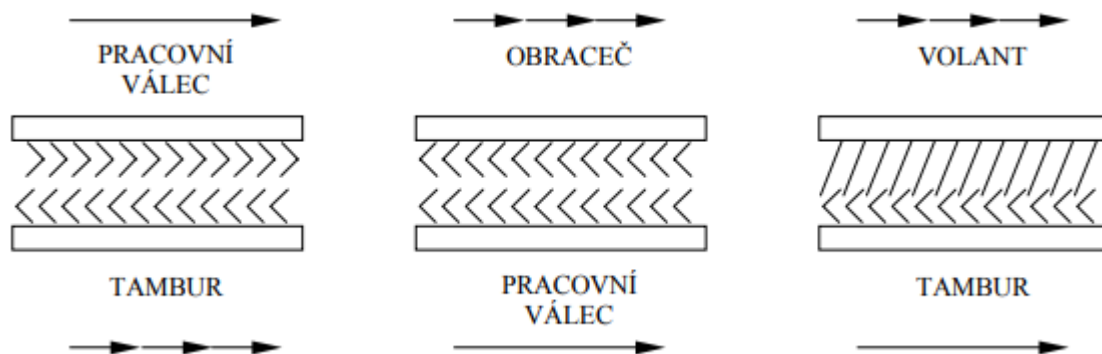
Mykací stroje vyrábějí co nejstejněmější pavučinu(tzv. Mykanec). Na těchto mykacích strojích probíhá jemné rozvolňování, čištění, ojednocování vláken, promísení, urovnání vláken do podélného směru a nakonec vytvoření rovnoměrné vlákně vrstvy(pavučiny), která je stahována a lisovaná do délkové textilie.

Základ vlnářského mykacího stroje (Obr. 6) je soustava několika válců, které jsou opatřeny pilkovými nebo drátkovými pracovními povlaky, které působí přímo na vlákně materiál a tím zajišťují celý proces mykání. [18]



Obr. 6: Schéma válcového mykacího stroje[18]

Drátky pilkových povlaků jsou na válcích ve vzájemném postavení na mykání(pracovní válec-tabur), na snímání(obrabeč-pracovní válec) a nebo na povytažení(volant-tambur). Toto rozdělení lze vidět na Obr. 7, kde jsou také pomocí šipek znázorněny rychlosti válců. [17][18]



Obr. 7: Vzájemné postavení pracovních potahů u válcového mykacího stroje [18]

Pracovní povlaky drátkové se vzájemně liší tloušťkou drátků, typem drátků, jejich tvarem a také počtem drátků na plochu potahu. Zato pilkové povlaky se v poslední době používají ve větším množství pro svoji dlouhou životnost. Dělí se na dva různé druhy povlaků a to povlaky s vinutím do drážky nebo povlaky samosvorné, které se dále dělí buď na zavírací nebo zaklíněné. Povlaky s vinutím do drážky se zatlačují do drážky na mykacích válcích. Jejich opakovaná výměna vede k poškozování drážky ve válcích. Jelikož je ale uložení v drážce pevnější, tak se využívá u více namáhaných povlaků jako například u vstupních ústrojí. Jemnost povlaků souvisí s jemností zpracovávaných vláken. K tvorbě nopků dochází při mykání jemných vláken hrubými povlaky a k poškozování povlaků dochází při mykání hrubých vláken na jemných povlacích.

Hlavní podstatou válcových mykacích strojů je postupné ojednocování vláken a jejich uspořádání převážně ve směru vystupující pavučiny, což se takovéto uspořádání nazývá anizotropické. [18]

3.2 Zpevňování vlákenné vrstvy

Zpevnění připravené vlákenné vrstvy se provádí buď mechanickými (vpichování, spunlace, proplétání), chemickými (impregnací, pěnou, postřikem) nebo termickými (tepl vzdušně, kalandrem) způsoby. Tyto metody jsou většinou časově a energeticky náročné. [18]

3.2.1 Mechanické způsoby zpevňování

Vpichování

Vpichování je jedna z nejstarších a do dnešní doby nejrozšířenější metoda zpevňování vlákenných vrstev. Je to především náhrada za plstění.

Hlavní podstata vpichování je provazování vlákenné vrstvy svazkem vláken vzniklými

přeorientací části vláken účinkem průniku jehel, které mají na sobě ostny. V průběhu operace dochází k velké změně tloušťky vláknenné vrstvy, přeorientování vláken ve vrstvě a také dochází k výrazné změně šířky a délky vláknenné vrstvy. [17][18]

Spunlace (zpevňování paprsky vody)

Tato technologie je proces zpevňování, kde se využívá proudu vody k provázání jednotlivých vláken v pavučině a následného odvodnění a sušení. Při této operaci se nepoužívají žádné chemikálie ke zpevnění. Soudržnost netkané textilie zajišťuje třecí síla mezi vlákny. Touto technologií lze zpevňovat netkané textilie vyrobené jakoukoliv technologií z různých typů vláken, které mají jemnost 1-4 dtex a délku 20-60 mm o typické plošné hmotnosti 10-100 g/m². Spunlace umožňuje výrobu široké škály textilií. [17][18]

Proplétání

Princip technologie proplétání je mechanické provázování vláknenné vrstvy soustavou vazných(osnovních) nití. Netkané textilie zpevňovány proplétání se nazývají proplety. Je to vlastně výplňková osnovní pletenina, kde výplněk je vláknenná vrstva. [17][18]

3.2.2. Chemické způsoby zpevňování

Impregnace

Impregnace se nanáší buď na nezpevněnou, předzpevněnou nebo zpevněnou vláknennou vrstvu, která je vedena přes nádrž s disperzí pojiva, kde dojde k prosycení vrstvy disperzí. Dále se vláknenná vrstva protahuje dvojicí válců, kde je mezi nimi odždímána. Poté je vyvolána koagulace pojiva, odstranění vody a případné síťování. [17][18]

Nános pojiva postřikem

Hlavní podstatou této technologie je rozstříkávání pojiva nad vláknennou vrstvou. Kapičky pojiva postupně dopadají na povrch vláken ve vrstvě, kde ulpívá převážně na povrchu vláken. Aby se dosáhlo rovnoměrného rozložení pojiva, tak se postřikování provádí z obou stran vrstvy současně kombinací s podtlakovým prosáváním.

K rozstříku se využívá stříkacích pistolí nebo zařízení určených k rozstříkování rotujícím kartáčem nebo hladkým válcem. Používá se buď jedna pistole nebo soustava pistolí. Hlavním cílem je rovnoměrné rozprostření pojiva na vláknenné vrstvě. [17][18]

3.2.3 Termické způsoby zpevňování

Pojení kalandrem

Při zpevňování vlákenné vrstvy pomocí kalandrem probíhá vlákenná vrstva s pojivem mezi dvěma válci. Buď je vyhříván jen jeden válec nebo jsou vyhřívány oba dva válce. Mezi válci dochází ke stlačování vlákenné vrstvy a ohřevu na takovou teplotu kdy se pojiva začíná tavit. Dále se vrstva postupně ochlazuje a tím dochází ke zpevnění.

Kalandry jsou nejčastěji dvouválcové ocelové o průměru 150-300 mm. Válce jsou vytápěny buď olejem, přehřátou vodou nebo jiným kapalným médiem. Jsou ohřívány buď elektricky, parou, plynem nebo jiným způsobem. Jsou vyráběny tak, aby vydržely max. teplotu 300 °C, přítlak válců do 400 000 N/m a pracovní rychlost do 400 m/min. [17][18]

Teplovzdušné pojení

Při teplovzdušném pojení se zpracovává vlákenná vrstva, která je připravena ze směsi základních vláken a vláken pojivých (které se pod teplotou roztaví). Ovšem jsou i další možnosti a to buď folie nebo mřížka z termoplastického polymeru, která je vložena mezi dvěma vrstvami textilie. Hlavní podmínkou této technologie je propustnost zpracovávané vlákenné vrstvy.

Textilie s pojivem je protahována horkovzdušnou pojící komorou, kde cirkuluje horký vzduch. Teplota horkého vzduchu je udržována vhodným ohřevným a regulačním systémem na hodnotu, která postačuje k roztavení pojiva. Vzduch je vrstvou proháněn pomocí ventilátoru. Při teplovzdušném pojení je čas potřebný na ohřátí vrstvy velmi malý a to okolo 10s. U ostatních ohřevů jde o čas od 1 min až po dobu 5-ti minut. [17][18]

4. Degradace polymerů

Při dlouhodobém vystavení polymerů ve vnějším prostředí dochází ke změně vlastností, ale také k jejich stárnutí (atmosférická koroze). Změny, ke kterým dochází při vystavování povětrnostním vlivům, se projevují buď změnou barvy, povrchovým popraskáním, ztrátou lesku nebo také k průhlednosti. [19][20]

Polymerní materiály nikdy při svém praktickém použití nejsou vystaveny vlivu izolovaného faktoru, ale jejich kombinaci, podle daných podmínek. Některé z těchto faktorů mohou polymer poškozovat jak chemicky, tak fyzikálně či fyzikálně-chemicky, a to současně. Některé faktory působí na polymer protichůdně a při jejich spojení je výsledné poškození polymeru menší, než když tyto faktory působí odděleně. Degradace je nežádoucí změna vlastností polymerního materiálu v průběhu jeho skladování, zpracování a používání, spojená většinou se změnou struktury a nebo molekulové hmotnosti polymeru. [20][21] Hlavními činiteli, které způsobují degradaci polymerů jsou světlo, teplo, kyslík, voda, ozon, atmosférické nečistoty, ale mohou to být také mikroorganismy.

Degradace probíhá ve dvou základních fázích životnosti polymerů, a to:

- a) první fáze je při výrobě, kde jsou materiály při zpracovatelských procesech, jako je lisování nebo vytlačování, vystaveny vysokým teplotám za přítomnosti vzduchu.
- b) druhá fáze probíhá již při používání hotového výrobku, když je vystavený více či méně účinkům vzduchu a světla. [21]

4.1. Rozdělení degradace polymerů

Degradaci polymerů lze rozdělit na několik různých druhů jako termickou, oxidační, fotochemickou, chemickou, mechanickou, biologickou a radiační. Může nastávat také jejich kombinace a to např. termo-oxidační, foto-chemická atd. [20][21]

4.1.1. Termická degradace

U polymerů při zvýšení teploty dochází k jejich měknutí a případně také k tání. Při dalším zvyšování teploty dochází ke změně struktury polymeru, přičemž dochází k jeho rozkladu – degradaci.

Degradační proces je nevratný a probíhá podle tří způsobů:

- Depolymerací – polymery se štěpí na nízkomolekulární látku, popřípadě monomer, aniž by nastala změna v jejich chemickém složení
- Destrukci – dochází k rozštěpení libovolné vazby v řetězci, odštěpování

nízkomolekulárních látek, kde dochází ke změně chemického složení polymeru a k prudkému poklesu molární hmotnosti.

- Degradačním síťováním – převládá nad štěpnými reakcemi [19][21][22]

4.1.2. Fotodegradace polymerů

Pokud jsou polymery vystaveny UV záření, tak se v průběhu času mění. Změny jsou výsledkem fotolýzy a fotooxidace. Odolnost proti UV se u nechráněných polymerů značně liší a závisí na jejich struktuře a složení. Polymery s vysokou vazebnou energií a bez UV citlivých skupin jsou stabilní, ale polymery se slabými vazbami a vysokou koncentrací chromoforických skupin jsou velmi citlivé na degradaci pomocí UV. [21][23]

4.2. Interakce ozonu s polymery

Polymery účinkem ozonu (kyslíku) oxidují a jejich rychlost oxidace závisí na struktuře, teplotě, mechanického namáhání, spolupůsobení UV záření a katalyzátorů.

Současné působení ozonu (nebo také kyslíku) a mechanického namáhání oxidaci urychlují. V jeho důsledku může dojít také k roztržení chemické vazby mezi atomy polymerního řetězce. Mechanické namáhání také usnadňuje reakci polymeru s prostředím. Při mechanickém namáhání polymeru může také dojít k porušení povrchu.

Probíhající reakce v polymerech se řídí zákonitostmi reakcí nízkomolekulárních látek. U makromolekulárních látek ale nejsou všechny funkční skupiny a vazby citlivé na reakci přístupné a tudíž se všechny reakce nezúčastní. Řídící děj kinetiky těchto reakcí je difúze chemického činidla do polymeru. Nízkomolekulární chemikálie se dostávají do polymeru mechanismem difúze, která je podmíněna tepelným pohybem segmentů makromolekuly a také přítomností děr v polymeru. Tyto volné prostory v polymerech vznikají a zanikají následkem tepelného pohybu segmentů.

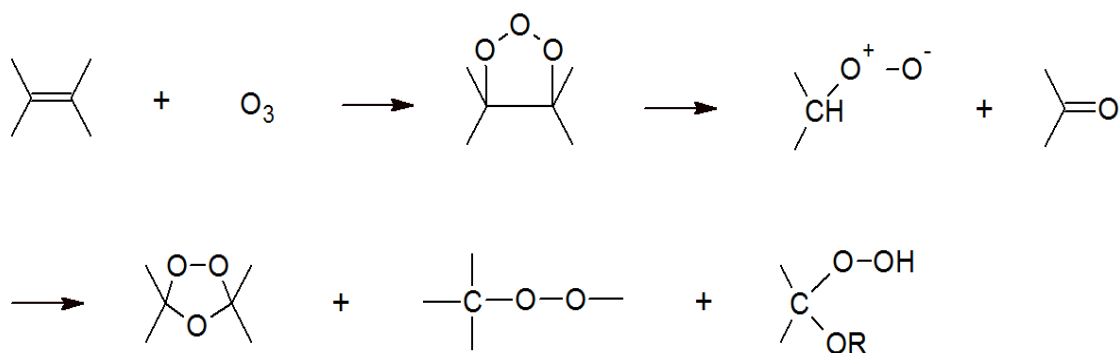
Působení plynů a chemikálií na polymery, lze rozdělit na několik částí:

- difúze do polymeru
- interakce s polymerem – fyzikální nebo chemická
- sorpce na povrchu polymeru
- difúze reakčních produktů na povrch polymeru

Polymery jsou často vystavovány působení tzv. plynných polutantů. Nejvýznamnější z nich je ozon, oxid dusíku a síra. Polymery jsou ozonem oxidovány a jejich rychlost oxidace je mnohem vyšší než oxidace polymeru vlivem kyslíku. [24][25]

Polymery s vysokou nenasyčeností (Kaučuky) budou trpět degradací ozonu, protože dvojně vazby v polymerech nenasyčených snadno reagují s ozonem. Ozon ale také reaguje s polymery nasycenými, ovšem v relativně pomalejší míře jak tomu je u polymerů nenasyčených, jelikož jsou proti působení ozonu při zemské koncentraci povrchu poměrně odolné. [24]

Obecný mechanismus degradace ozonem je uveden na Obr. 8



Obr. 8: Obecný mechanismus degradace ozonem [24]

Při reakci ozonu s dvojnými vazbami polymeru dochází ke štěpení řetězce, kde poté dochází ke snížení hustoty zesílení, distribuci molekulové hmotnosti nebo ke změně složení.

Když se překročí kritická hodnota napětí, tak jsou obvykle pozorovány povrchové trhliny, které jsou v kolmém směru na použité napětí. Při velmi vysokých hodnotách jsou pozorovány početnější a jemnější trhliny, zato ale pokud je hodnota napětí těsně nad kritickou, tak se trhliny projevují jako dlouhé a hluboké. Hlavním vlivem na velikost odolnosti degradace polymeru bude jeho chemické složení. [24][25]

4.2.1. Studium působení ozonu na polymery

Pro mnoho aplikací v plastikářském průmyslu je zapotřebí povrch polypropylenu upravit tak, aby se zlepšily jeho adhezní vlastnosti a smáčivost. Jednou z technik, která je využívána k úpravě povrchu je vystavení daného polymeru ozonu za přítomnosti UV světla. Tato úprava materiálu vede ke zvýšení povrchové energie polymeru, a to přerušením molekulárních vazeb na povrchu a přidáním polárních atomů kyslíku.

Na výše uvedenou metodu úpravy byla prováděna studie na mikroskopické atomové síly na polypropylenových površích, které byly ošetřeny UV světlem a ozonem, kde byla zkoumána změna morfologie a adhezní síly.

Výše uvedená studie se zabývala vystavením polypropylenu (PP) ozonu za přítomnosti UV

světla, což je jednoduchý a účinný způsob modifikace povrchu, aby se zlepšila jeho smáčivost a přilnavost.

Závěr studie byl takový, že u polypropylenu, který byl vystaven ozonu za současného působení UV světla, došlo ke vzniku mohyl, které vznikají při tvorbě oxidovaných materiálů s nízkou molekulovou hmotností. Mikroskopie atomové síly prokázala dramatickou změnu v morfologii, kde je jasné zvýšení adhezní síly, která vyplívá z modifikace polypropylenu vystavením ozonu a UV světlu. V závěru byl také prokázán vztah mezi změnou povrchové energie a adhezní síly. [26]

Další metodou byl zkoumán vliv ozonu na degradaci polymeru v polymerních jádrových kompozitních vodičích. Matricovým materiálem vysokonapěťových polymerních jádrových kompozitních vodičů používaných v přenosech energie příští generace je obvykle epoxid s mírně vysokou teplotou, který má potenciál zažít v provozu extrémní účinky stárnutí, včetně závažné degradace ozonem. Byl zkoumán účinek stárnutí v ozonu při pokojové teplotě vysokoteplotní epoxidové pryskyřice.

V závěru této studie bylo prokázáno, že v počátku expozice do jednoho týdne dominoval mechanismus zesíťování, což vedlo ke zvýšení zatížení a mírnému ztuhnutí polymeru. V rámci stárnutí úpravy docházelo, že mechanismus štěpení se stal dominantní, ale v určitém momentu však byly řetězce materiálu tak poškozeny, že nemohly nést velké zatížení a tím došlo ke snížení pevnosti při ohybu. [27]

5. Antimikrobiální textilie

Antimikrobiální textilie mohou působit na mikroorganismy buď kontaktem nebo difúzí.

- **Kontaktem** - mikroorganismy jsou v kontaktu s vlákny mající v sobě antimikrobiální prostředek, který nemůže migrovat
- **Difúzí** - antimikrobiální prostředek migruje pomaleji či rychleji z povrchu nebo z vlákna vlhkým prostředím k mikroorganismům a zastavují jejich růst [29]

Výroba těchto antimikrobiálních textilií se dělí na dvě kategorie:

- **Pre – příprava** - antimikrobiální látky se přidávají přímo do polymeru před jeho zvláknováním (antimikrobiální vlákna)
- **Post – příprava** - vlákna nebo textilie se upravují v průběhu zušlechťovacích operací (vlákna s antimikrobiální úpravou, textilie s antimikrobiální úpravou) [29]

Antimikrobiální úprava zabíjí nebo zastavuje růst mikroorganismů, jako jsou například houby, prvoky nebo bakterie. Tato úprava se dělí na dva typy účinku:

- **Bakteriostatický** - zastavení buněčného růstu, buňky se nedělí a počet buněk se nezvyšuje
- **Baktericidní** - zastavení buněčného cyklu (růst, dělení), ztráta životaschopnosti buněk, odumírání buněk [29]

Antimikrobiální prostředky omezují růst nebo ničí mikroorganismy pomocí poškození buněčné stěny, ovlivněním permeability buněčné stěny, inhibicí syntézy proteinů a nukleových kyselin, inhibicí aktivity enzymů a inhibicí syntézy na buněčné stěně. Do základních tříd antimikrobiálních prostředků se zařazují: kovy a soli kovů (deaktivace proteinů), kvarterní amoniové soli (poškození buněčné stěny), N-Halaminy (oxidativní poškození) a dále třeba organické molekuly a přírodní sloučeniny (chitosan a další). [29]

Hlavními požadavky na antibakteriální textilie, které musí zajistit jsou:

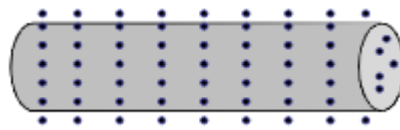
- Kompatibilita s ostatními zušlechťovacími prostředky
- Akceptovatelná schopnost transportu vlhkosti
- Aplikovatelnost bez nežádoucího vlivu na textilií
- Efektivní kontrolu bakterií, plísní a hub

- Selektivní aktivitu směřovanou na nežádoucí mikroorganismy
- Jednoduchá aplikace, kompatibilita se stávajícími textilními technologiemi
- Absence toxických účinků na výrobce i zákazníka, stálost v praní a také chemické čištění [29]

Antimikrobiální úpravy se vyrábí třemi technologiemi:

- Antimikrobiální prostředek zasazen do hmoty vlákna

Tento proces se používá při výrobě syntetických vláken, kdy je antimikrobiální prostředek přidáván do daného polymeru (Obr. 9) v průběhu jeho zvlákňování. [29]



Obr. 9: Antimikrobiální prostředek ve vlákne [29]

- Povrchová aplikace

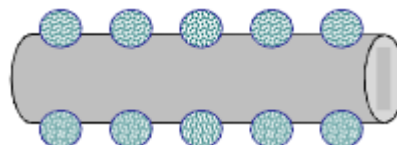
Tento proces úprav je použitelný pro všechna vlákna, ale jeho stálost v praní závisí na afinitě textilního materiálu. Tato povrchová aplikace (Obr. 10) může také ovlivnit omak vlákna nebo textilie. [29]



Obr. 10: Antimikrobiální prostředek na povrchu vláken [29]

- Chemická vazba

Tato aplikace vyžaduje odpovídající chemické skupiny na vlákne (Obr. 11) nebo textilií. Tato technologie dosahuje nejvyšší stálosti. [29]



Obr. 11: Antimikrobiální prostředek přichycen na povrchu vlákna pomocí chemické vazby [29]

5.1. Způsoby antimikrobiální úpravy

K výrobě textilií s antimikrobiálními vlastnostmi bylo dosaženo řadou chemických úprav. Textilie se dají rozdělit na dva typy. První typ chemické úpravy je takový, že se postupně vyplavuje na povrch vlákna nebo dovnitř. Tento typ úpravy je velmi účinný proti mikrobům na povrchu vlákna nebo v jeho okolním prostředí. Nevýhodou je ale to, že tato úprava není stálá a po čase vymizí. Druhým typem chemické úpravy je, že se antimikrobiální provedení skládá z molekul, které jsou vázány vazbou na povrch vlákna. [29]

Výroba antimikrobiální úpravy pomocí systému s řízeným dávkováním

Do této úpravy patří výroba:

- mikrokapslí - uvnitř inertní kapsle je aktivní prostředek, který umožňuje difúzi stěnou kapsle
- mikrogranule - aktivní mikrobiální prostředek je dispergován nebo rozpuštěn v inertním polymeru
- cycling molecules - aktivní mikrobiální prostředek je zachycen uvnitř dutiny cyklické molekulární struktury

Výroba mikrokapslí nebo mikrogranulátu se provádí buď odpařováním rozpouštědel, precipitační polymerizací, suspenzí zesíťování nebo separací fází. Důležitými parametry procesu výroby jsou: typ a koncentrace polymeru, poměr objemů dispergované fáze a disperzního prostředí, teplota přípravy mikrogranulátů, typ a koncentrace emulgátoru a rychlost míchání. [30]

5.2 Mikrobiocidní účinnost ozonu

Ozon je znám, pokud je správně aplikován, svojí účinností likvidovat většinu nám známých bakterií, virů, plísní a parazitů. Pro svoji zdravotní nezávadnost a své schopnosti je ozon velmi často využíván v potravinářském průmyslu při zpracování potravin a nápojů.

Ozon je mnohem účinnější dezinfekční prostředek než běžně používané látky na úpravu vody jako jsou chlór nebo bróm.

Mikroorganismy, které je ozon schopen likvidovat:

- Prvoci - Paramecium, Nematoda, všechny patogenní i nepatogenní formy prvoků
- Řasy - Chlorella vulgaris, Thamnidium, Trichoderma viride, Verticillium albo-atrum, Verticillium dahliae
- Kvasinky- Candida albicans, Saccharomyces bayanus, Saccharomyces boulardii

- Houby - Aspergillus – candidus, flavus, glaucus, niger, terreus

Penicillium – digitatum, glaucum, expansum, egyptiacum, roqueforti

Rhizopus – nigricans, stolonifer

- Viry - E.coli (Bakteriophage), Echovirus (1, 5, 12, 29), Hepatitis A, HIV, Rotavirus, Tobacco mosaic, Vesicular stomatitis
- Bakterie - V. Parahaemolyticus, Streptococcus - 'C' , faecalis, hemolyticus, lactis, salivarius, viridans Salmonella – choleraesuis, enteritidis, typhimurium, typhosa, paratyphi

a mnoho dalších druhů.

Bakterie mají nejvíce zastoupení a to 60 zástupců, viry mají 16 zástupců, houby plísně a jejich spory mají 21 zástupců, kvasinky 4, prvoci 2 a více a řasy mají 5 zástupců. [14]

Hodnocení antimikrobiálních povrchových úprav

K hodnocení úprav je nejpoužívanější metoda založená na pozorování zastavení nebo snížení růstu zkušebních mikroorganismů naočkovaných na živnou půdu v Petriho miskách po vložení koleček testované, upravené tkaniny. [28][31]

V této diplomové práci byly použity dvě metody hodnocení:

AATCC Test Method: 147-2004 – Antibacterial Activity Assesment od Textile materials: Parallel Streak Method

Tato metoda je obecně známá jako Parallel Streak, tedy je navržena tak, aby kvalitativně vyhodnotila antibakteriální aktivitu difuzovatelných antimikrobiálních činidel na ošetřených textilních materiálech. Jinak řečeno, testuje schopnost ošetřené textilie inhibovat růst mikroorganismů, tedy být bakteriostatická.

Metoda je kvalitativní, orientační a měla by předcházet metodě AATCC 100. Antibakteriálně ošetřený vzorek je umístěn na agar, na kterém je v několika pruzích inokulována bakterie. Po 24 hodinách inkubace je hodnocen jednak růst bakterií pod testovaným vzorkem a zároveň inhibiční (halo) zóna.

Modifikací této metody je inokulovat bakterie v celé ploše (je možné vycházet z vhodného ředění bakterií). Hodnotí se totéž – nárůst bakterií pod vzorkem a halo zóna. Pro testy v této diplomové práci byla zvolena modifikace metody. [28]

AATCC Test Method: 100-2004 – Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assessment of Method

Jedná se o kvantitativní metodu AATCC 100, kde je hodnocen faktor redukce, který udává o kolik procent došlo ke snížení inokulované koncentrace bakterií. Test v této diplomové práci probíhá na bakteriích *Escherichia coli* a na *Staphylococcus aureus* a na kvasince *Candida albicans*. Výsledkem je počet přeživších bakteriálních kolonií (CFU) a poté se vypočte R (redukce v %). Výsledek je vždy porovnán s neošetřeným vzorkem (standardem). [28]

6. Experiment

Cílem experimentu bylo provedení úpravy polypropylenových vláken pomocí ozonu a sledování změny vlákenné vrstvy. Experiment byl zaměřen na sledování vlivu ozonu u polypropylenových vláken a jejich mechanickou a chemickou změnu. Nejdříve byla vyrobena vstupní vlákenná vrstva (pavučina), která byla vyrobena pomocí válcového mykacího stroje. Vlákenná vrstva byla protažena strojem 2x, aby se dostalo k více rovnoměrnému rozložení vláken po celé ploše. Ze vstupního materiálu byly připravovány vzorky, které byly vystavovány působení ozonu po dobu 4h. Poté byly připraveny vzorky z polypropylenové fólie a při působení ozonu byl přidán chlorid sodný (rozemletý na velmi jemný prášek). NaCl byl zvolen kvůli své krystalické struktuře. Dále byly vytvořeny vzorky jednotlivých vláken, na kterých byl vytvořen ne zcela utažený uzlík. Takto připravené vzorky byly vystaveny ozonu po dobu 4h a byla sledována jejich chemická změna na skenovacím mikroskopu. U vzorků vystavených ozonu byly sledovány mechanické vlastnosti a jejich změny na přístroji měřícím pevnost, na diferenční skenovací kalorimetrii a na infračervené spektroskopii s Fourierovou transformací. V poslední řadě byl prováděn experiment na vlákenné netkané textilii z mikrovláken polypropylenu, na které byla zkoumána změna mechanických vlastností na přístroji, který měří pevnost.

6.1. Vstupní materiál

Vzorek č.1

Polypropylenová netkaná textilie

- tloušťka 0,4 mm
- staplová polypropylenová vlákna
- délka vláken 3-4 cm
- tloušťka vláken 15 μm
- jemnost vláken 1,6 dtex
- nezpevněná



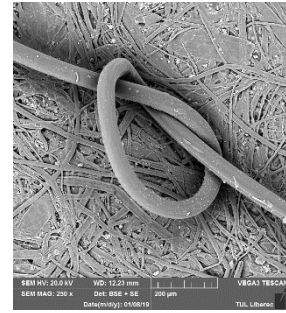
Obr. 12: Polypropylenová netkaná textilie

Vzorek č.1 byl použit pro sledování mechanických změn na přístroji pro zjištění pevnosti, pro sledování povrchových změn na skenovacím elektronovém mikroskopu, pro sledování změny tepelných vlastností na diferenční skenovací kalorimetrii a pro sledování změny chemického složení na infračervené spektroskopii s Fourierovou transformací. Vzorek č.1. byl z volných vláken připraven na FT TUL v rámci této diplomové práce.

Vzorek č.2

Polypropylenové vlákna

- délka 7 cm
- tloušťka vláken 55 μm
- jemnost vláken 21,6 dtex
- žádná speciální úprava vláken



Obr. 13: Polypropylenové vlákna

Vzorek č.2 byl použit pro znázornění povrchové změny na skenovacím elektronovém mikroskopu a na infračervené spektroskopii s Fourierovou transformací.

Vzorek č.3

Polypropylenová fólie

- Tloušťka fólie 0,5 mm
- průhledná



Obr. 14: Polypropylenová fólie

Vzorek č.4 byl použit pouze na sledování povrchové změny na skenovacím elektronovém mikroskopu.

Vzorek č.4

Polypropylenová netkaná textilie

- tloušťka 0,36 mm
- polypropylenová vlákna z polymeru
- tloušťka vláken cca 1,5-6 μm



Obr. 15: Polypropylenová netkaná textilie

Vzorek č.5 byl použit pro sledování mechanických změn na přístroji měřící pevnost a na skenovacím elektronovém mikroskopu.

6.2. Použité přístroje

Laboratorní váha – typ AV513 značky OHAUS

max – 510 g

min – 0,02 g

Laboratorní váha je viděna na Obr. 16



Obr. 16: Laboratorní váha

Válcový mykací stroj

Mykací stroj (Obr.17) zajišťuje ojednocení vláken a tvorbu pavučinky. Toto zařízení je kompaktních rozměrů, tudíž se v praxi velice dobře hodí pro experimentální činnosti a tvorbu vstupního vlákenného materiálu, který bude dále zpevňován ve vpichovacím stroji.

Stroj se nachází na katedře netkaných textilií v laboratoři poloprovozu.



Obr. 17: Mykací stroj

Kröber O2 – kyslíkový koncentrátor

Kröber O2 je kyslíkový koncentrátor (Obr. 18), který byl optimalizován pro přívod kyslíku pacientům na doma. Elektronicky řízený kyslíkový koncentrátor odděluje kyslík od okolního vzduchu a dodává pomocí nosní kanyly, kterou má pacient připevněnou u nosu, vysoce koncentrovaný kyslík. [32]

Technické parametry přístroje

Provozní napětí:	230 V, 50 Hz
Provozní teplota okolí:	provoz: +10 °C - +40 °C, skladování: -20 °C - +70 °C
Příkon:	360 W
Koncentrace O ₂ :	1 – 4 l/min 95% -3% 4 – 5 l/min 85% +/- 3% 5 – 6 l/min 75% +/- 3%
Doporučený max objemový průtok:	6 l
Max. Výstupní tlak:	70 kPa [32]



Obr. 18: Kyslíkový koncentrátor Kröber O2 [32]

TRIOTECH GO 5LAB-K

Generátor ozonu GO 5LAB-K (Obr.19) je navržen především k výrobě ozonu pro laboratorní účely. V přístrojové krabici se nachází blok generující ozon, vysokonapěťový zdroj s regulací a kompresor odolný ozonu. Tato všechna zařízení jsou dána do hliníkové skříňky s modulem 6U. Přístroj je určen pro generování ozonu. V jeho pravé části se nachází kompresor s odpruženým rámem a v levé části se nalézá vysokonapěťový zdroj s regulací a generátor generující ozon. Tento generátor je ochlazován vzduchem za pomoci ventilátoru. Generátor ozonu je ovládán a nastavován prostřednictvím „nastavení výkonu“ a průtokoměru se škrtícím ventilem. Generátor se uvádí do činnosti pomocí „hlavního vypínače“. Ozon je vytvářen pomocí kompresoru, který tlačí vzduch přes sušičku do výbojového prostoru generátoru ozonu. Z výstupu generátoru ozonu vychází ozon, který dále pomocí trubiček prochází do testované

plastové krabičky, kde se nacházejí zkoumané vzorky za sucha. Krabička je uzavřena a tudíž bez přístupu vzduchu a bez úniku ozonu ven. Dále ozon postupně probublává přes nádoby s vodou, za kterými je připojena další krabička se zkoumanými vzorky za mokra. Na hadičce, která je na výstupu z krabičky je připojen analyzátor koncentrace ozonu, který vyhodnocuje množství spotřebovaného ozonu. Za analyzátozem je připojen destruktor ozonu, který je naplněn granulovaným aktivním uhlím a tím slouží k destrukci přebytečného ozonu po ukončení pokusu. [33]



Obr. 19: Generátor ozonu GO 5LAB-K

Technické údaje generátoru ozonu:

Produkce ozonu:	0,1 – 5,76 g O ₃ /h
Koncentrace ozonu:	32 – 60 mg O ₃ /l
Řízení výkonu:	20 – 100 %
Napájení:	230 V / 50 Hz
Rozměry přístroje (š x v x h):	450 x 280 x 330 mm
Požadavky pro provoz:	Generátor musí být umístěn v čistém a suchém prostoru (laboratorní stůl nebo digestoř) a okolní teplota vzduchu musí být 5 – 40 °C. [33]

Analyzátor koncentrace ozonu LF2000

Analyzátor koncentrace ozonu (Obr.20) je určený pro kontinuální měření koncentrace ozonu ve vzduchu. Přístroj obsahuje automatickou kalibraci nuly. [34]



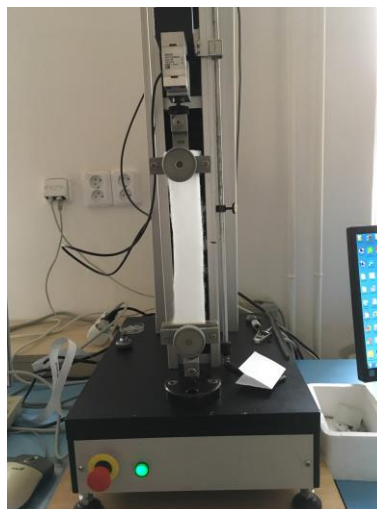
Obr. 20: Analyzátor koncentrace ozonu [34]

Technické údaje analyzátoru koncentrace ozonu:

Rozsah měření:	0 – 200 mg/L
Rozlišení displeje:	0,1 mg/L
Mez chyby:	+ - 3%
Metoda výstupu:	diferenciální 4 – 20 mA, lineární
Průtok vstupního plynu:	1,0 +- 0,3 L/min
Vstupní tlak plynu:	MAX 1 bar (0,1 MPa)
Napájení:	220 V +- 10%, 50 Hz [33]

Měřicí přístroj pevnosti LabTest 4.050

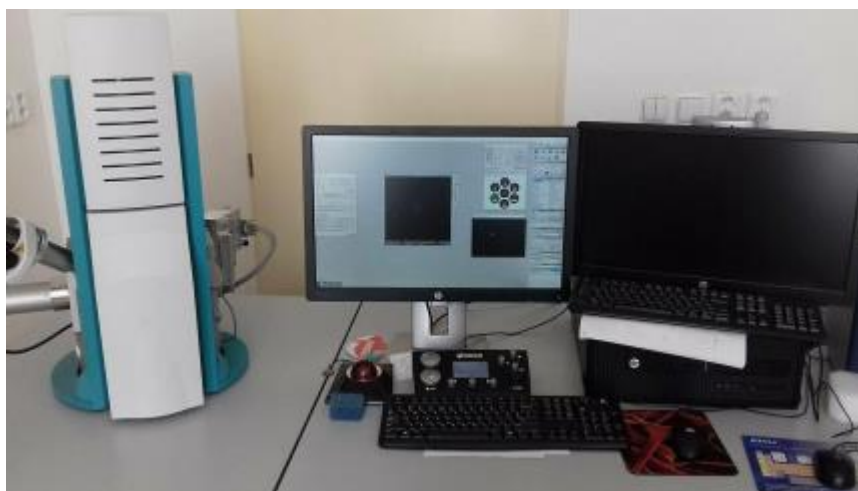
Zkušební vzorky č.1 a č.4 byly měřeny na zkušebním přístroji LabTest 4.050, který je na Obr. 18. Měřicí přístroj pevnosti byl připojen k počítači, který má nainstalovaný program LabTest v.3 od firmy LaborTech. U zkoumaných vzorků byla stanovena pevnost až do jejich přetrhu.



Obr. 21: Měřicí přístroj pevnosti

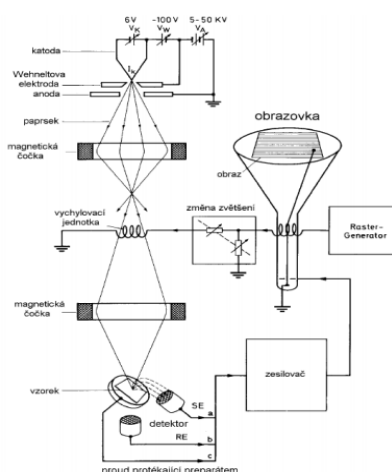
Skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM)

Pro skenovací elektronovou mikroskopii je charakteristická jednoduchá příprava preparátu, ale složité pracovní zařízení. Příprava preparátu spočívá v připevnění zkoumaného vzorku na pracovní stolek. Takto upravený vzorek se pokryje (popráší) tenkou vrstvou 10-30 nm Au. Tato úprava se provádí, aby se zamezilo nabíjení vlákných vzorků. Primární paprsek elektronů, které jsou produkovány žhavenou katodou (tj. elektroda se záporným napětím), se pohybuje (tj. Rastruje) po řádcích po preparátu a vyráží sekundární elektrony. Ty jsou snímány sondou, dále jsou převáděny na videosignál a zobrazeny na monitoru. Většinou se experiment provádí za vakua (cca 10^{-2} Pa). Skenovací elektronový mikroskop se používá k několikanásobnému zvětšení zkoumaného vzorku pro zobrazení povrchových struktur. Tento elektronový mikroskop dosahuje zvětšení v rozmezí 20-50 000 krát. SEM analýza byla provedena na elektronovém mikroskopu VEGA3 LM od firmy VEGA (Obr. 22). [35] Schéma elektronového skenovacího mikroskopu lze vidět na Obr. 23.



Obr. 22: Skenovací elektronový mikroskop

Schéma elektronového skenovacího mikroskopu lze vidět na Obr. 20.



Obr. 23: Schéma skenovacího elektronového mikroskopu [35]

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)

Diferenční skenovací kalorimetrie je experimentální metoda, pomocí níž lze studovat tepelné projevy fyzikálních dějů probíhajících v materiálu. Tyto tepelné procesy mohou být studovány v závislosti na teplotě nebo čase během definovaného teplotního programu.

Měření teplot přechodů (tání, skelný přechod, krystalizace), stanovení stupně krystalinity a tepelného zabarvení, hodnocení entalpie tání, entalpie síťování a vytvrzování, reakční kinetika, účinnost antioxidantů, analýza kopolymerů a směsí polymerů.

K testování je potřeba pouze malé množství zkoumaného materiálu a to 3-10 mg. Zkouška se provádí za známé teploty tání zkoumaného vzorku. DSC testuje teplotní změny mezi materiálem a referencí. Výsledkem je závislost tepelného toku na teplotě. Výstupem měření je termograf. [36]



Obr. 24: Diferenční skenovací kalorimetrie METTLER TOLEDO DSC 3[36]

Analýza byla prováděna na přístroji METTLER TOLEDO DSC 3⁺ STAR System. (Obr.21).
[34]

Vlastnosti a výhody přístroje:

- Vysoká citlivost: pro měření slabých jevů
- Vynikající přesnost: pro měření rychlých změn a sériových jevů
- Modulární koncepce: řešení na míru pro dnešek i pro budoucnost
- Malé i velké objemy vzorků: zpracování mikrogramových a nehomogenních vzorků

Specifikace přístroje:

- Teplotní rozsah: -150 – 700 °C
- Senzor: FRS 6+ s 56 termočlánky, HSS 9+ se 120 termočlánky
- Rychlost ohřevu: 0,02 – 300 K/min
- Poměr odezvy india: > 155/85 mW/°C

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

V 80. letech 20. století došlo k rozšíření infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací. Jsou to přístroje, které pracují na principu interference spektra, na rozdíl od disperzních přístrojů měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu svazkem. Aby byl získán klasický spektrální záznam, tak přístroje vyžadují matematickou metodu Fourierovy transformace. Tato metoda patří do skupiny nedestruktivních analytických metod, kdy není vzorek analýzou nijak poškozen a přes to všechno poskytuje informace o svém chemickém složení. Tato metoda měří „pohlčení“ infračerveného záření o různé vlnové délce přes zkoumaný vzorek. Hlavními výhodami měření pomocí přístrojů FTIR jsou:

- umožňuje experimenty, při kterých dochází k velkým energetickým ztrátám (měření silně absorbujících vzorků) a to proto, že při měření dopadá na detektor vždy celý svazek infračerveného záření
- lze provádět reflektační infračervenou spektroskopii, což je měření s nástavci pro analýzu pevných nebo kapalných vzorků v odraženém světle

Infračervené záření je elektromagnetické záření, které je v rozsahu velikosti vlnových délek 0,78 – 1000 μm . Tato velikost odpovídá rozsahu vlnočtů 12 800 – 10 cm^{-1} . Celá oblast infračerveného záření je rozdělena na určité oblasti:

- blízkou oblast: 13 000 – 4 000 cm^{-1}
- střední oblast: 4 000 – 200 cm^{-1} (tato oblast je nejpoužívanější)
- Vzdálenou infračervenou oblast: 200 – 10 cm^{-1}

Analýza byla prováděna na přístroji FTIR spektrometr Nicolet IZ10 (Obr. 25)



Obr. 25: FTIR spektrometr Nicolet IZ10 [37]

Analytickým výstupem metody je infračervené spektrum, což je grafické znázornění funkční závislosti energie, která je většinou vyjádřena v procentech propustnosti (transmitance) nebo také jako absorbance na vlnové délce dopadajícího záření. Propustnost se počítá jako poměr intenzity záření, které prošlo zkoumaným vzorkem, k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje infračerveného záření. Absorbance je počítána jako dekadický logaritmus $1/\text{propustnost}$. Používá se vlnočty, který je definovaný jako převrácená hodnota vlnové délky a proto uvedená závislost energie na vlnočtu bude lineární funkcí. Je lineární, protože závislost energie na vlnové délce je logaritmická.

Transmitanční techniky se provádějí za pomoci: KBr nebo CsI tablet, kyvety s KBr nebo NaCl okének, samonosných folií, filmu nebo odparku na KBr nebo NaCl okénku, suspenze v parafinovaném oleji (Nujol) nebo ve fluorovaném uhlovodíku (Fluorolube). [37][38][39]

6.3. Příprava vzorků

Příprava vzorku č.1 polypropylenové netkané textilie

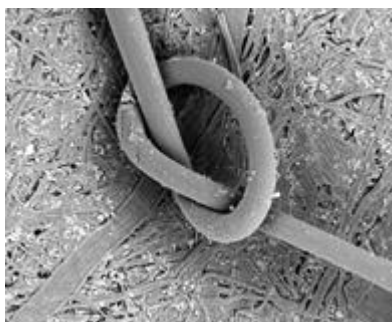
Nejprve byla vyrobena polypropylenová vlákenná vrstva (Obr. 26) na válcovém mykacím stroji. Navážka polypropylenového materiálu byla 35 g, která byla ručně rozvolněna a rozložena na plát. Poté byl stroj zapnut a byla vytvářena vlákenná vrstva. Tento proces se prováděl dvakrát po sobě, aby se docílilo rovnoměrného rozmístění polypropylenových vláken ve vrstvě. Pro účel experimentu tato vlákenná vrstva nebyla dále ničím zpevňována, protože cílem bylo zkoumat zpevnění vlákenné vrstvy pod vlivem ozonu. Tento materiál byl vyroben o plošné hmotnosti 60 g/m².



Obr. 26: PP vlákenná vrstva

Příprava vzorku č.2 Polypropylenové vlákna

Vzorky č.2, které byly připraveny do uzlíku (Obr. 27), byly připravovány pro sledování na SEM. Připraveny byly z polypropylenových vláken, které nebyly nijak upraveny. Jejich délka byla cca 7cm, jemnost cca 21,5 dtex a průměr vláken byl cca 55 μm. Uzlíky byly vázány tak, aby se na nich daly pozorovat jisté povrchové změny, které byly způsobeny vlivem ozonu. Takto připravené uzlíky byly připevňovány na papír o takové velikosti, aby se dali rovnou použít při analýze na SEM.



Obr. 27: Vzorek č.2

Příprava vzorku č.3 Polypropylenová fólie

Vzorky č.3, které byly připraveny z PP fólie (Obr. 28), se připravovali pro sledování stálé či nestálé povrchové změny. Připraveny byly z PP fólie, na které se poté přidal chlorid sodný pro jeho krystalickou vlastnost.



Obr. 28: PP fólie s chloridem

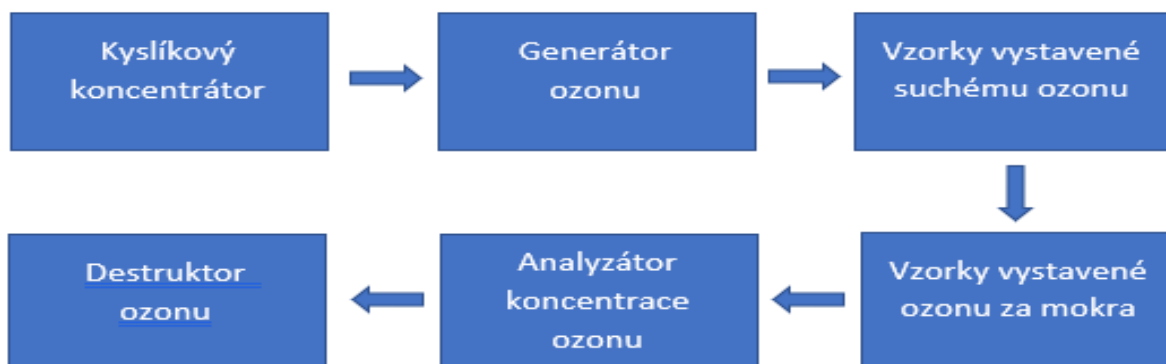
Příprava vzorku č. 4 Polypropylenová netkaná textilie

Ze vzorku č.4 byly připraveny vzorky pro sledování mechanických a povrchových změn.

6.4. Průběh ozonizace připravených vzorků

V celé experimentální části této diplomové práce je základ ozonizace, což znamená že se všechny vzorky, které máme k dispozici nechají vystavit ozonu. Ozonizace byla prováděna na generátoru ozonu TRIOTECH GO 5LAB-K (viz. Obr. 29, 30), který byl umístěn v digestoři tak, aby při případném unikání ozonu byl ihned vytažen a neohrožoval zdraví při dlouhodobějším působení. Ozonizace každého vzorku probíhala za „sucha“ a za „mokra“ po dobu 0,5h, 1h, 1,5h, 2h, 2,5h, 3h, 3,5h a 4h. Vzorky č.4 byly vystaveny pouze ozonu po dobu 2h a 6 h.

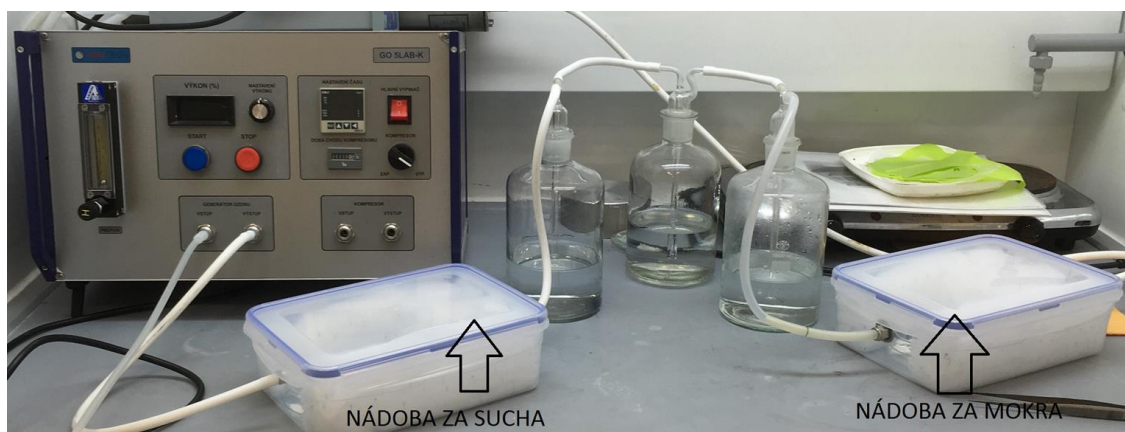
Variabilními veličinami lze považovat rozměr vzorku, hmotnost vzorku, prodyšnost vzorku, čas působení ozonu na vzorky, ale také výkon generátoru ozonu a průtok ozonu.



Obr. 29: Schéma zařízení pro ozonizaci

Postup ozonizace krok po kroku

- zkoumané vzorky byly vloženy do nádoby za „sucha“ a do nádoby za „mokra“ (Obr. 26) a poté byly pevně uzavřeny, aby z nich nikde neunikal ozon
- spuštění digestoře pro odsávání zápachu
- spuštění kyslíkového koncentrátoru Kröber O₂, který byl nastaven na průtok 6 l/min
- nastavení generátoru ozonu (50% výkon)
- nastavení průtoku ozonu na generátoru ozonu na 4 l/min
- spuštění generátoru ozonu, který začne vytvářet ozon. Ozon je vháněn pomocí hadiček do testovacích nádob se vzorky.
- Vzorky jsou vystavovány ozonu po stanovenou dobu experimentu (0.5h, 1h, ... , 4h)
- před vytažením vzorku je generátor ozonu vypnut a nechá se po dobu 10 min tzv. „profouknout“. Po této době se také vypne kyslíkový koncentrátor, aby nikdo nebyl při vytahování vzorků vystaven zbytkovému množství ozonu
- poté jsou testovací nádoby znovu uzavřeny a kyslíkový koncentrátor s generátorem ozonu znovu spuštěn.
- Tento postup se opakuje do té doby, než bude vyndán vzorek s nejdélší dobou vystavení ozonu



Obr. 30: Sestava pro ozonizaci

Vzorky vystaveny za sucha – jde k nim ozon přímo z generátoru

Vzorky vystaveny za mokra – ozon nejdříve probublá přes tři nádoby naplněné vodou a poté jdou do nádoby se vzorky

6.5. Průběh experimentů

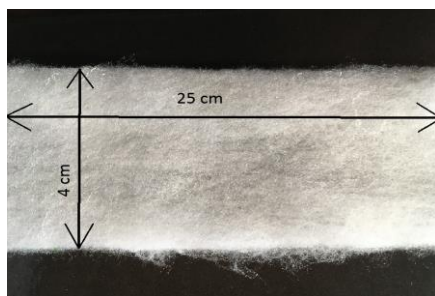
Experiment na působení ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.1

Hlavním jádrem tohoto experimentu bylo zjistit, zda má nějaký vliv působení ozonu na mechanické vlastnosti polypropylenové vlákenné vrstvy. Připravené vlákenné vzorky byly vystaveny ozonu po stanovenou dobu a po stanovený výkon generátoru. Dále byly vzorky zkoušeny na trhacím přístroji, kde byla zjišťována jejich pevnost v N.

Vzorky byly připraveny z vlákenné PP vrstvy tak, že nejdříve byly naměřeny a poté vystříhány vzorky o rozměrech 4 x 25 cm (Obr. 31). Tyto vzorky byly stříhány pouze po jednom směru a pro všechny vzorky stejný směr. Z těchto nastříhaných vzorků byly pro ozonizaci vybrány pouze ty, které měly hmotnost od 0,6g do 0,7g. A to z důvodu snížení variability při měření pevnosti. Pro každý měřený čas byly připraveny tři vzorky. Vzorky byly připraveny jak pro suché tak mokré měření. Dohromady bylo připraveno 57 vzorků na měření pevnosti. Všechny připravené vzorky byly vystaveny ozonu po dobu 0h, 0,5h, 1h, 1,5h, 2h, 2,5h, 3h, 3,5h a 4h.

Generátor ozonu byl nastaven na:

- výkon – 50%
- průtok ozonu – 4 l/min



Obr. 31: Vzorek č.1 pro měření pevnosti

Průběh měření pevnosti

Nastavení trhacího přístroje:

- hlava: 10N
- upínací délka: 20 cm (Obr. 32)
- rychlost trhání: 50 mm/min



Obr. 32: Upevnění vlákenného vzorku v přístroji měřící pevnost

Každý vzorek se upnul mezi horní a dolní čelist a pořádně se uchytil. V programu Labtest se vynulovala dráha, Tare a zapnula se zkouška měření pevnosti. Naměřené výsledky pro všechny vzorky prováděného testu pevnosti vlákenné vrstvy jsou k vidění v Příloze č. 1.

Experiment na působení ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.4

Tento vzorek byl připraven stejným způsobem jako vzorek č.1. vystaven ozonu byl pouze po dobu 2 hodin a 6 hodin. Pro každý měřený čas bylo připraveno 6 vzorků.

Nastavení přístroje pro měření pevnosti

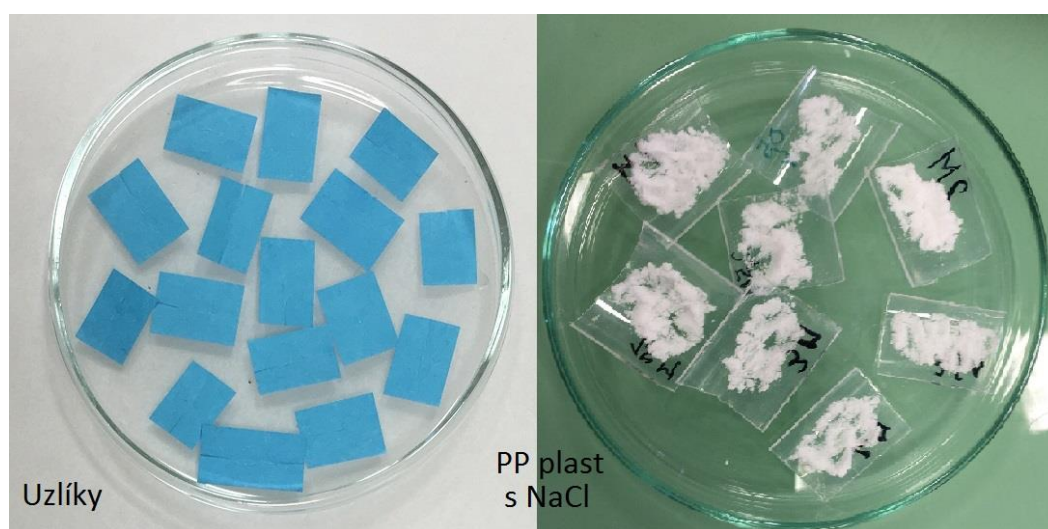
Nastavení trhacího přístroje:

- hlava: 100 N
- upínací délka: 20 cm (Obr. 32)
- rychlost trhání: 100 mm/min

Experiment na sledování povrchové změny na vzorku č. 2 a vzorku č.3

Hlavním cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda se změní pod vlivem ozonu povrch polypropylenového vlákna nebo ne. Dále byla zjišťována změna povrchu pomocí jemně nadrceného prášku ze soli. Cílem bylo pozorování, zda se do povrchu vlivem ozonu sůl vtaví či ne a tím naruší povrch PP. Dále bylo v tomto experimentu zaměřeno na to, zda je tato úprava

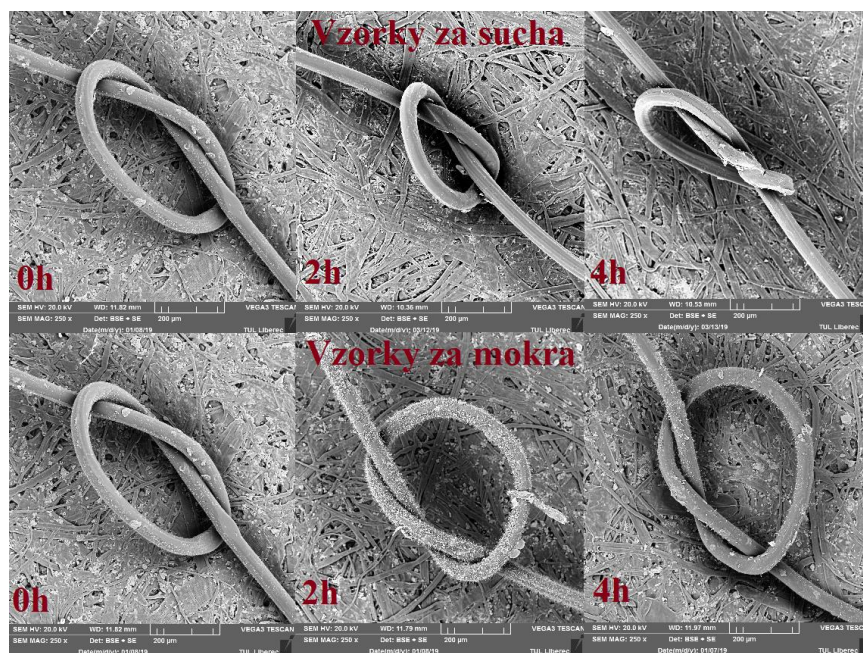
stálá nebo jestli se vrací po určité době do původního stavu. Vzorky byly připraveny podle kapitoly 5.3 Příprava vzorků. Tyto vzorky byly vystaveny ozonu po určitou dobu zkoumání. Pro každý stanovený čas vystavení ozonu byly připraveny dva vzorky uzlíků pro případ, kdyby se s jedním něco stalo a pro PP plast byl připravován jeden vzorek. Vzorky se vystavovali ozonu za sucha a za mokra. Dohromady bylo připraveno 36 vzorků uzlíků (Obr. 29) a 16 vzorků PP plastu s NaCl (Obr. 33).



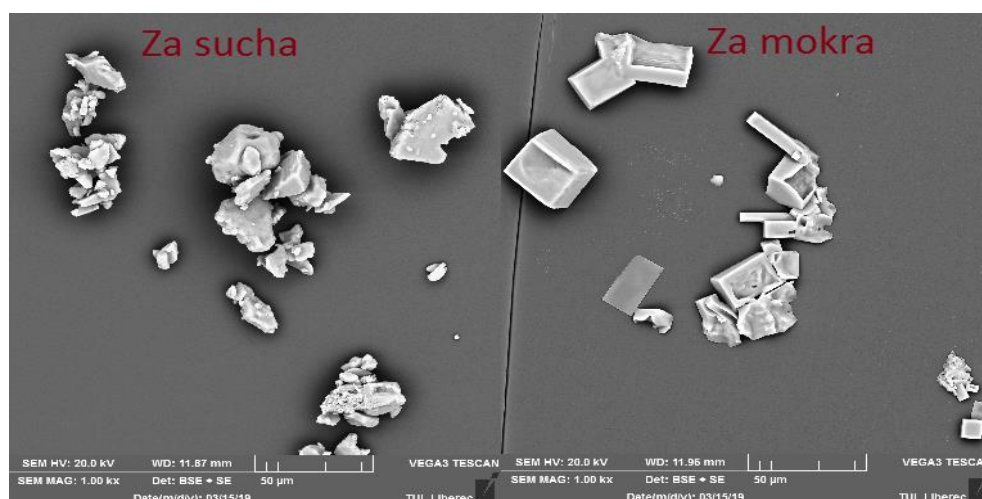
Obr. 33: Vzorky z PP uzlíků a PP fólie s NaCl připraveny k vystavení ozonu

Průběh zkoumání vzorků na SEM

Vzorky vystavené ozonu se vzali a připravily se na zkoumání na SEM tak, že se nejdříve poprášili tenkou vrstvou prášku Au, aby se zamezilo nabíjení vláken a PP fólie. Takto připravené vzorky se strčily do skenovacího elektronového mikroskopu a při tvoření snímků bylo zaměřeno na spoje vláken. Zde se zkoumalo, zda se povrch PP vlákna viditelně mění nebo ne. Na PP fólii bylo zaměřeno na její povrch a její změny po působení ozonu. Na Obr. 34 je vybrán uzlík původní (nijak neupravený), po dvou hodinách a po čtyřech hodinách. Na Obr. 35 jsou PP fólie vybrány pouze po dobu 4 hodin v ozonu za sucha a za mokra. Zbylé snímky uzlíků a fólií se solí ze SEM jsou uvedeny v Příloze č. 2



Obr. 34: Přehled uzlíků po určitých dobách v ozonu



Obr. 35: PP fólie po dobu 4 hodin působení ozonu za sucha a za mokra

Experiment na sledování tepelné změny na PP vzorku č.1 na přístroji DSC 3+

Hlavním cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda ozon narušil PP vlákna a tím změnil tepelné fyzikální děje, které se dějí uvnitř materiálu. K měření byl potřeba velmi malý vzoreček PP vlákenné vrstvy, protože zde je potřeba k experimentu velmi malá gramáž a to 3 – 10 mg. Byly připraveny 3 vzorky z důvodu porovnání, a to původní a vlákna vystavena ozonu po dobu 4 hodin za sucha a za mokra. K měření byl použit přístroj DSC 3+ (viz. Kapitola 5.2 Použité přístroje).

Nastavení přístroje:

- Začátek měření: - 30 °C
- Konec měření: 190 °C
- Rychlost měření: 10 °C/min

Experiment na sledování chemické změny PP vzorku č. 1 a vzorku č.2

Hlavním záměrem tohoto experimentu bylo zjistit, zda se změní chemická struktura vlákenné vrstvy, která byla vystavena ozonu po dobu 4 hodin za sucha a za mokra. Dále bylo měření provedeno také na původním vzorku, aby se dali porovnat změny. Toto měření bylo provedeno na FTIR spektrometru Nicolet IZ10.

Experiment na hodnocení antimikrobiálních úprav

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda má vlákenná polypropylenová vrstva po působení ozonu antibakteriální účinky.

Tento experiment byl prováděn dvěma metodami:

AATCC Test Method: 147-2004 – Antibacterial Activity Assessment of Textile materials: Parallel Streak Method

Postup:

- Nejprve byl vystřižen čtverec polypropylenové vlákenné vrstvy o rozměrech 18x18 mm (dle normy).
- Vzorky byly umístěny do sterilních vialek, poté zakryty alobalem (alobalem byla obalena i víčka vialek) a nakonec sterilizovány v autoklávu 15 minut při 121 °C.
- 1 ml připraveného bakteriálního inokula o koncentraci 10^8 CFU/ml byl vyočkován (rozetřen pomocí mikrobiologické hokejky) jednotlivě na Petriho misku s krevním agarem.
- Testovaná polypropylenová vrstva byla položena doprostřed Petriho misky a pevně přitisknuta k agaru.
- Inkubace bakterií *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* probíhala v termostatu při teplotě 37 °C po 24 hodin. Inkubace kvasinky *Candida albicans* probíhala v termostatu při teplotě 25 °C po 24 hodin.
- V poslední fázi byla hodnocena halo zóna (její velikost) a inhibice bakterií pod vzorkem

(spodina vzorku). Výsledky byly zapsány do přehledné tabulky. [39]

AATCC Test Method: 100-2004 – Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assesment of

Postup:

- Nejprve byl vystřižen vzorek ve tvaru čtverce z polypropylenové vlákenné vrstvy o rozměrech 18x18 mm, který byl vložen do sterilního kontejnerku.
- Na takto připravený vzorek bylo aplikováno 100 µl bakteriálního kmene *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* a kvasinky *Candida albicans* o koncentraci 10⁵ CFU/ml (je nutnost, aby byl celý vzorek smočen bakteriálním inokulem).
- Inkubace vzorků probíhala v termostatu při teplotě 37 °C po 24 hodin.
- Po inkubaci bylo přidáno 10 ml fyziologického roztoku a zvortexováno.
- Po zvortexování byl odpipetován 1 ml roztoku a vyočkován na Petriho misku s krevním agarem (z každého vzorku byly vyočkovány triplety).
- V poslední fázi byl vypočten počet CFU, což bylo poté porovnáno se standardem. [39]

7. Vyhodnocení a výsledky

Všechny vzorky z polypropylenové vlákenné vrstvy, polypropylenových uzlíků, polypropylenové fólie s chloridem sodným a PP netkané textilie byly vystaveny sledování a působení ozonu za sucha a za mokra po dobu 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 minut. Dále byla zjišťována změna mechanických vlastností na polypropylenové vlákenné vrstvě. Poté byly prováděny snímky na skenovacím elektronovém mikroskopu pro sledování povrchové změny na PP vlákenné vrstvě, PP uzlíků, PP fólii s NaCl a na PP netkané textili. Další měření bylo prováděno na diferenční skenovací kalorimetrii pro zjištění změn tepelných projevů PP vláken. V poslední řadě se prováděl experiment pro sledování změny chemického složení PP vláken na FTIR spektrometru.

Pro přehlednost jsou všechny výsledky znázorněny graficky nebo obrazově. V následujícím vyhodnocování jsou uvedeny pouze demonstrační příklady výsledků. Ostatní se nacházejí v příloze.

7.1. Vliv ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.1 PP netkané textilie

Všechna naměřená data byla zapsána do přehledných tabulek, které jsou k vidění v Příloze č. 1. Průměrné naměřené hodnoty a jejich intervaly spolehlivosti jsou uvedeny do přehledných grafů (Obr. 36 a 37) a Tab. 3. Průměry a 95%-ní intervaly spolehlivosti byly počítány podle vzorců pro zvláště malé výběry, tudíž v této práci pro každé měření pouze 3:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} - T_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{3}} \leq \mu \leq \bar{x} + T_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{3}}$$

Intervaly spolehlivosti střední hodnoty byly počítány pro 100 (1- α) %

kde:

n celkový počet naměřených hodnot pro každé měření

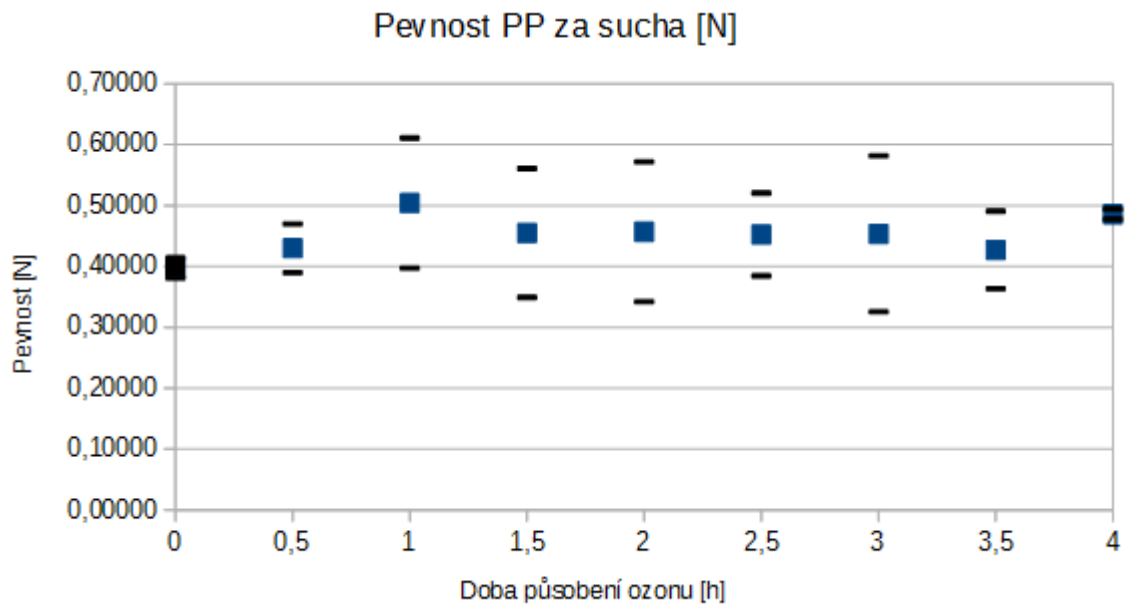
x_i hodnota v určitém měření

T_{α} $\frac{1}{\sqrt{\alpha-3} \sqrt{\frac{\alpha^2}{4}}}$ pro normální rozdělení $T_{\alpha} = 4,30$

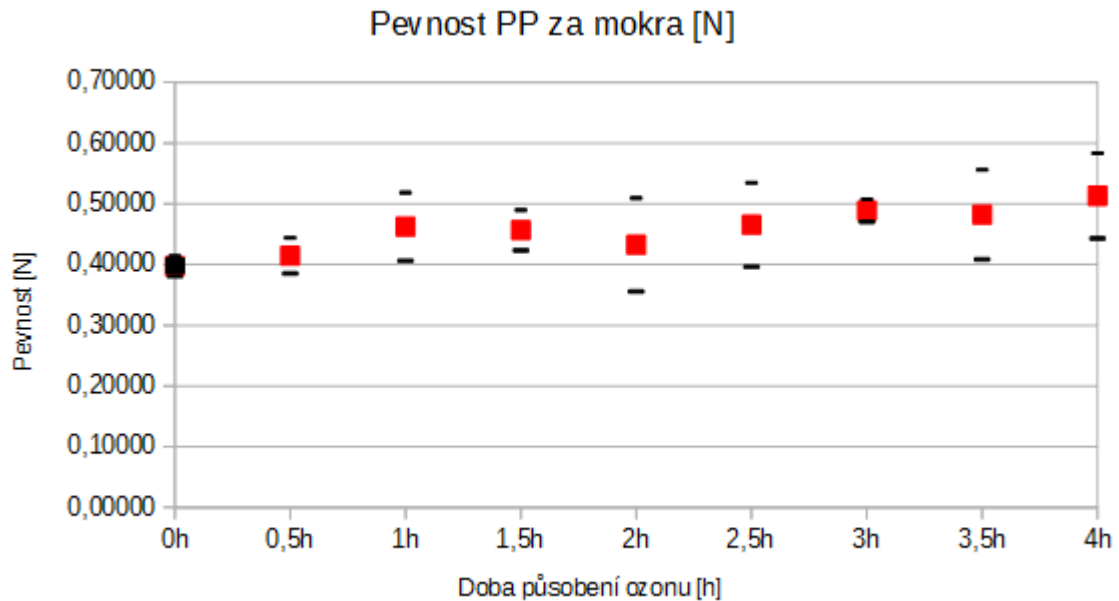
α 5%

Tab. 3: Průměrné hodnoty naměřené pevnosti PP vlákenné vrstvy – vzorek č.1

Pevnost [N]									
	0h	0,5h	1h	1,5h	2h	2,5h	3h	3,5h	4h
Vzorek ozonizovaný za „sucha“	0,397	0,429	0,504	0,455	0,456	0,452	0,453	0,427	0,485
Vzorek ozonizovaný za „mokra“	0,397	0,414	0,462	0,456	0,432	0,465	0,488	0,482	0,513



Obr. 36: Průměrné hodnoty pevnosti za sucha PP vlákenné vrstvy pro různé doby působení ozonu



Obr. 37: Průměrné hodnoty pevnosti za mokra PP vlákněné vrstvy pro různé doby působení ozonu

Z grafů lze vyčíst, že průměrná pevnost PP vlákněné vrstvy za sucha i za mokra postupně v určité době vystavení ozonu stoupá. Průměrné hodnoty pevnosti se přibližně pohybují od 0,4 až do 0,5 N, což znamená že se pevnost zvyšuje přibližně o 25%. Rozdíl v měření pevnosti vzorků, které byly vystaveny ozonu za sucha a za mokra je, že se liší intervaly spolehlivosti. U vzorků za sucha jsou mnohem rozsáhlejší jak u vzorků za mokra. Proto se dále počítala jednofaktorová analýza rozptylu, aby se zjistilo, zda má různá doba vystavení vzorků ozonu nějaký vliv na změnu pevnosti PP vlákněné vrstvy nebo ne.

U analýzy rozptylu bylo za úkol zjistit, zda čas působení ozonu je statisticky významný na pevnost PP vlákněné vrstvy.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9$$

ANOVA byla počítána podle vzorců:

$$\text{Sloupcový průměr: } \bar{\mu}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$$

$$\text{Celkový průměr: } \bar{\mu} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \bar{\mu}_i$$

$$\text{Celek: } N = \sum_{i=1}^K n_i$$

Součet čtverců odchylek mezi jednotlivými úrovněmi daného faktoru

$$S_A = \sum_{i=1}^K n_i (\bar{\mu}_i - \bar{\mu})^2$$

Residuální součet čtverců odchylek uvnitř úrovní

$$S_R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{\mu}_i)^2$$

Součet čtverců odchylek od celkového průměru

$$S_C = S_A + S_R$$

V poslední řadě se vytvořila tabulka (Tab. 4), podle které se zjišťovala významnost nebo nevýznamnost efektu.

Tab. 4: Tabulka pro výpočet ANOVY

Součet čtverců	Počet stupňů volnosti	Průměrný čtverec	Očekávaná hodnota F_e	Testovací hladina α	Testovací hodnota F_t
S_A	K-1	$S_A/(K-1)$	$\frac{S_A/(K-1)}{S_R/(N-K)}$	0,05	Tabulková hodnota
S_R	N-K	$S_R/(N-K)$			
S_C	N-1				

Všechny mezivýpočty pro ANOVU pro vzorky za sucha a pro vzorky za mokra jsou k vidění v Příloze č. 1. V Tab. 5 lze vidět výsledné výpočty ANOVA.

Tab. 5: Výsledky ANOVA

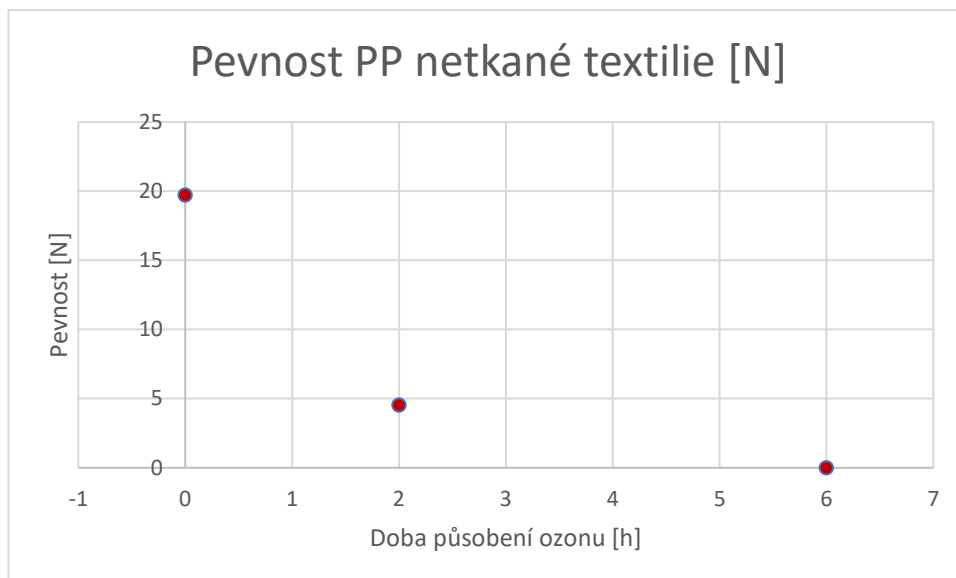
Vzorky za sucha	$F_e > F_t \Rightarrow$ zamítáme H_0
Vzorky za mokra	$F_e > F_t \Rightarrow$ zamítáme H_0

Z Tab. 5 lze vidět, že očekávaná hodnota je vyšší jak hodnota testovací, a proto se H_0 zamítá. Jelikož se zamítá H_0 , tak je faktor statisticky významný. To znamená, že doba působení ozonu na PP vláknennou vrstvu má vliv na její změnu pevnosti.

Stabilita této mechanické změny byla prováděna na vzorcích za mokra po měsíci, kde se prokázalo, že tato změna je i po určité době stálá a nijak se nemění. Naměřené výsledky jsou zapsané do přehledných tabulek viz Příloha č.1. experiment byl prováděn pouze na vzorcích za mokra, jelikož na těch byla viditelná větší změna jak u vzorků za sucha.

7.2. Vliv ozonu na mechanické vlastnosti vzorku č.4 Polypropylenové netkané textilie

Všechna naměřená data byla zapsána do přehledné tabulky, která je k vidění v Příloze č.3. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny do přehledného grafu (Obr. 38)

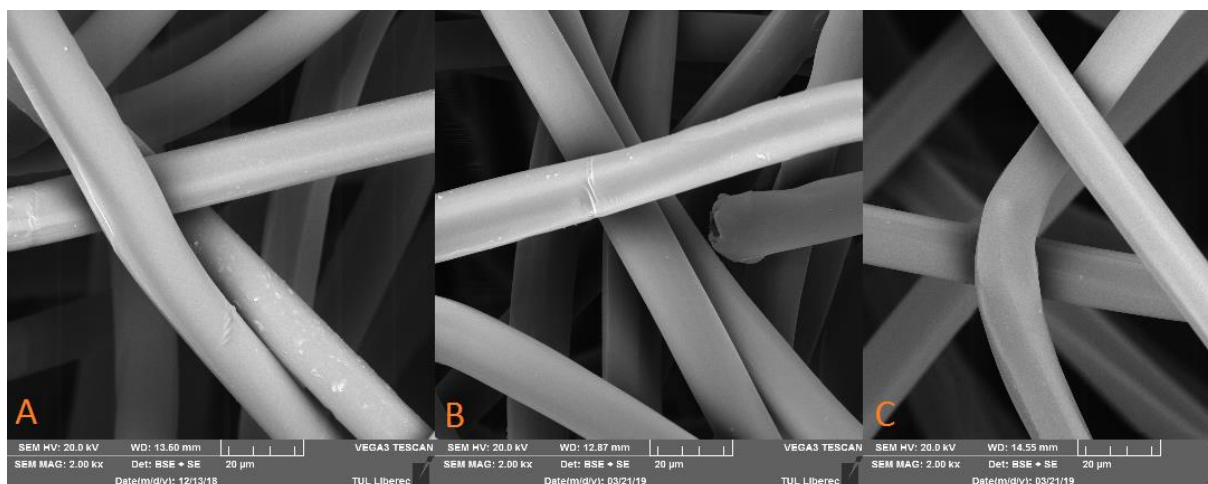


Obr. 38: Průměrné hodnoty PP netkané textilie po různé době vystavení ozonu

Z grafu lze vyčíst, že pevnost PP nanovlákněné netkané textilie při větší době působení ozonu ztrácí pevnost. Po vystavení nanovlákněné textilie ozonu po dobu 2 hodin lze pozorovat, že její pevnost klesla až o 75 % pevnosti z původní nanovlákněné textilie, která nebyla vystavena ozonu. Po 6 hodinách se vzorek z nanovlákněné PP netkané textilie rozpadá, proto se u tohoto vzorku nemohla udělat zkouška na změnu pevnosti.

7.3. Vliv ozonu na změnu povrchu polypropylenu

Jako první se udělali snímky původního vzorku PP vlákněné vrstvy a poté se pro porovnání udělali dále vzorky po 4 hodinách, které byly vystaveny ozonu za sucha a za mokra (viz Obr. 39).



Obr. 39: SEM analýza PP vlákněné vrstvy – vzorek č.1

- A Původní PP
- B PP vystaven ozonu po dobu 4 hodin za sucha
- C PP vystaven ozonu po dobu 4 hodin za mokra

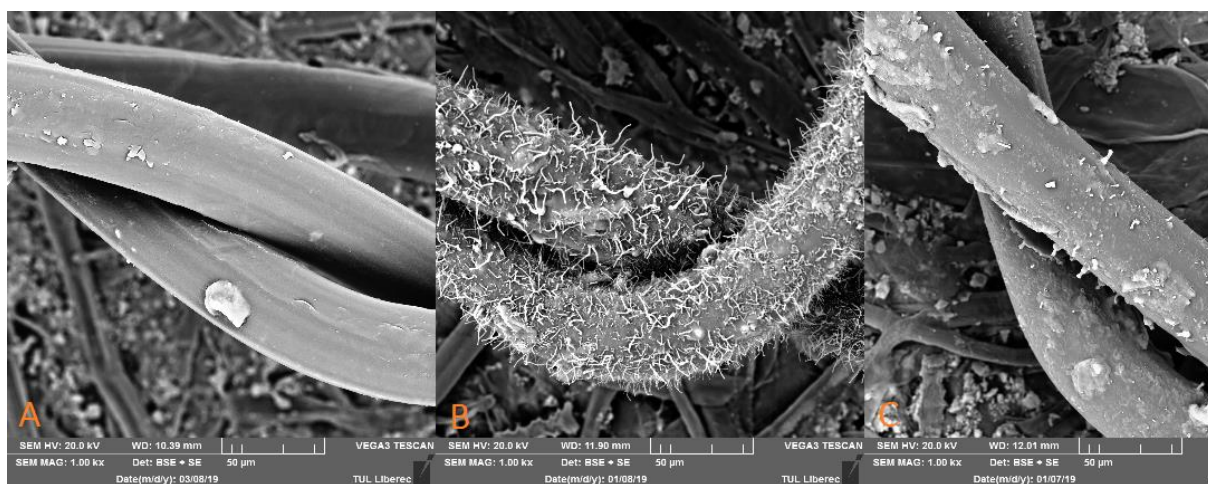
Ze snímků je patrné, že se na PP vlákenné vrstvě povrch výrazně nemění. Na Obr. 30 na snímku C je velmi málo patrná změna povrchu, a to že se vlákno v místě překrývání trošku „spláclo“ a tím se vlákna spojila dohromady. Tento jev není ale mnoho vidět, proto se udělal další experiment s PP uzlíky, kde bylo zaměřeno na spoje a jejich „natavení“ na sebe.

Pro představu viditelných změn povrchu na „uzlících“ byly vybrány pouze původní, vystaveny ozonu po dobu 2 hodin a uzlíky vystaveny ozonu po dobu 4 hodin. Zbytek snímků ze SEM je uveden v Příloze č. 2. Na Obr. 40 a 41 lze vidět výrazné změny povrchu PP vláken vystavených ozonu za sucha a za mokra.



Obr. 40: Snímky uzlíků za sucha ze SEM – vzorek č.2

- A původní PP vlákno
- B PP vlákno vystaveno 2h ozonu za sucha
- C PP vlákno vystaveno 4h ozonu za sucha



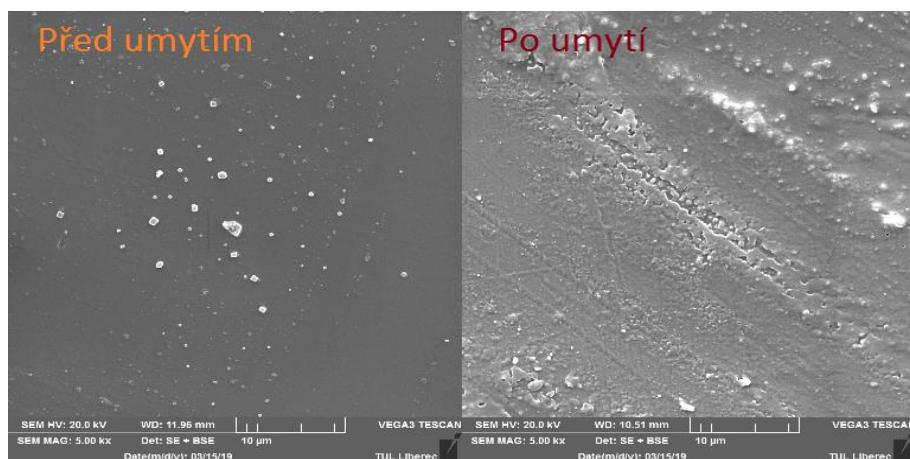
Obr. 41: Snímky uzlíků za mokra ze SEM – vzorek č.2

- A původní PP vlákno
- B PP vlákno vystaveno 2h ozonu za mokra
- C PP vlákno vystaveno 4h ozonu za mokra

Na obrázku 34 je velmi málo patrné, že se něco děje s povrchem PP vlákna. Ozon vlákno narušuje v tak malé míře, že povrchová změna není viditelná. Největší viditelná změna je viditelná až po 4 hodinách vystavených v ozonu.

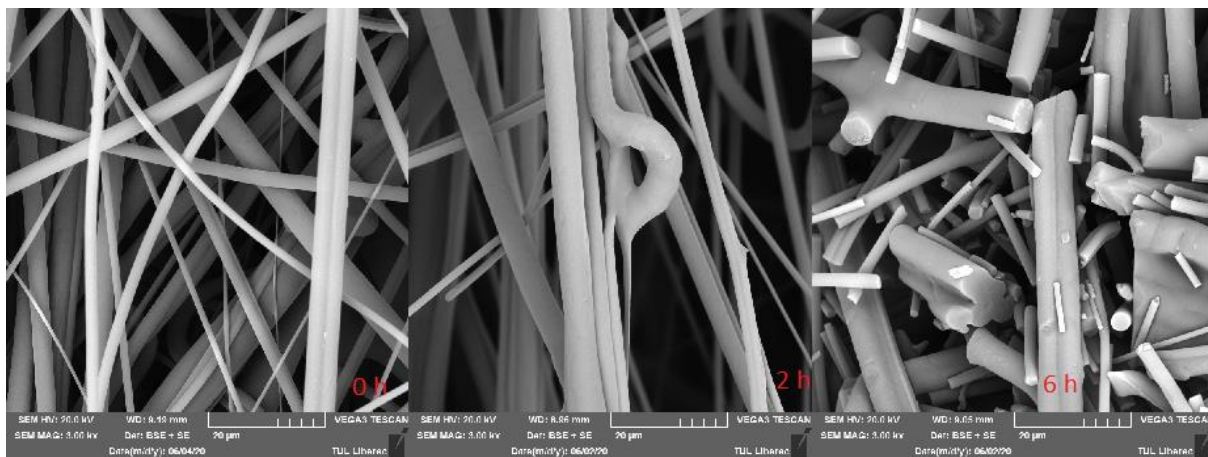
Oproti tomu na obrázku 41 jde hned na první pohled vidět, že se po dvou hodinách v ozonu povrch vlákna narušuje. Z povrchu vlákna vyčnívají velmi malé, v řádu nanometrů, „vlákýnka“ která se do sebe vzájemně proplétají. Postupně po nějakém čase se tato povrchová deformace vrací do původního stavu a tím se PP vlákna mění na povrchu. Avšak po 4 hodinách vystavených ozonu se povrch polypropylenového vlákna vrací zpět do svého původního stavu a tím v místech překřížení vlákna dochází k jejich spojení a zpevnění. Takto spojená vlákna poté vykazují větší pevnost vlákenné vrstvy jak původní ničím nezpevněná.

Dále se na skenovacím elektronovém mikroskopu vytvářeli snímky pro zjištění stálosti úpravy polypropylenu pomocí ozonu. Snímky se dělali na vzorku, který byl vystaven ozonu po dobu 4 hodin za sucha a za mokra. Od každého byly dva snímky a to před umytím soli a po umytí soli. Tyto úpravy lze vidět v největším přiblížení na Obr. 42.



Obr. 42: Úprava PP plastu po 4 hodinách v ozonu za mokra – vzorek č.3

Jako poslední se na skenovacím elektronovém mikroskopu vytvářeli snímky pro zjištění povrchové změny mikrovlákněné PP netkané textilie. Snímky byly provedeny na vzorku č.4, který byl vystaven ozonu po dobu 2 hodin a 6 hodin. Tyto snímky byly porovnány se vzorkem původním, který ozonu vystaven nebyl. Snímky byly provedeny ve třech různých zvětšení. Na Obr. 43 lze vidět ve větším přiblížení, kde je povrchová změna viditelná.



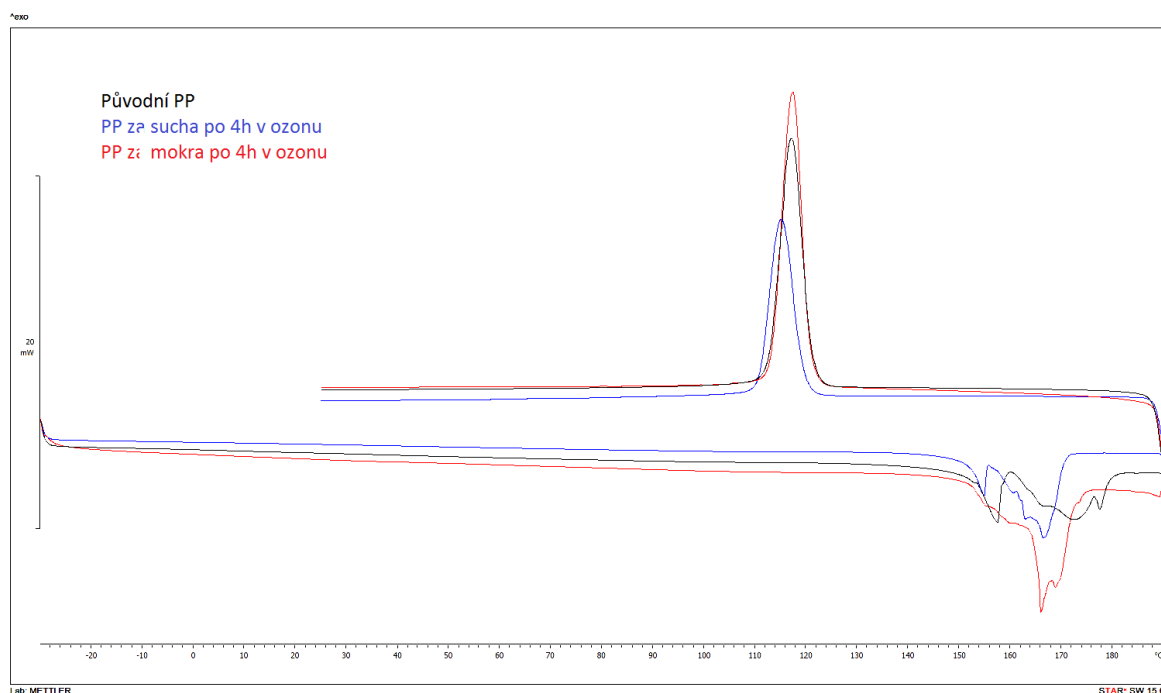
Obr. 43: Snímky mikrovlákněné PP netkané textilie – vzorek č.4

Na Obr. 43 lze jasně pozorovat, že se mikrovlákněná PP vrstva po 6 hodinách vystavení ozonu zcela rozpadá. Vlákna se přímo „lámou“. Na snímku po 2 hodinách vystavení ozonu lze pozorovat spoje vláken, ke kterým dochází změnou řetězce polypropylenu a jeho pozdějšího návratu do původní pozice. Jelikož byl napaden povrch vlákna, tak tam kde se překrývají se do

sebe „zaklesnou a vpijí“ a tím dochází ke spojení vláken. Z těchto snímků je ale zřejmé, že delší doba působení ozonu zcela napadá řetězce polypropylenového mikrovlákná, a tím se vlákna „lámou“ a ztrácí svou veškerou pevnost. Jelikož nebyly pozorovány žádné větší změny povrchu vlákna, tak nebyla zkoumána stabilita této změny. U vzorků č. 4, kde byla změna po 6 hodinách tak veliká, že byla narušena struktura vlákna, se stabilita změny nepozorovala, jelikož docházelo k destrukci.

7.4. Vliv ozonu na změnu tepelných projevů PP materiálu

Pro provedení experimentu na přístroji DSC 3+ bylo zapotřebí pouze malého množství materiálu, a to od 4 do 6 mg. Termická analýza se sledovala na původním vzorku PP, na PP vystaveném po dobu 4 hodin v ozonu za sucha a na PP vystaveném po dobu 4 hodin v ozonu za mokra. Termická analýza je znázorněna na Obr. 44.

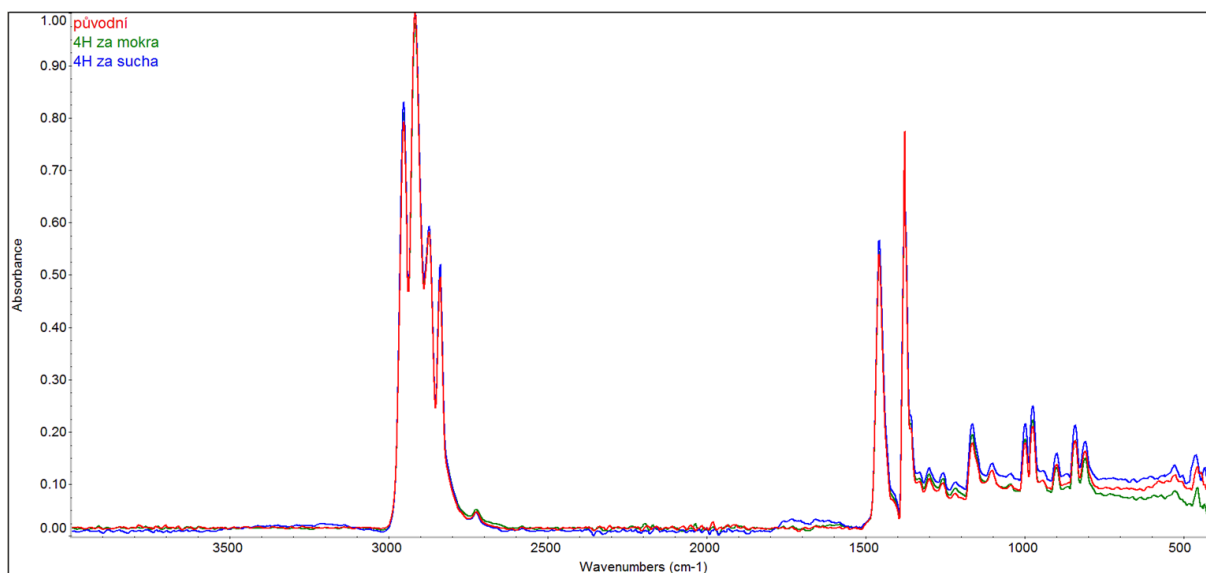


Obr. 44: Termická analýza na PP vláknech před a po působení ozonu – vzorek č. 1

Termická analýza u polypropylenových vláken nevykazuje žádnou změnu. Vlákna původní a vlákna vystavena ozonu mají stejnou teplotu tání, která se pohybuje přibližně od 155 °C do 178 °C jako běžné polypropylenové vlákno. Ozon nemá žádný vliv na změnu tepelných vlastností polypropylenového vlákna a tím nám ukazuje, že vlákno je narušováno pouze na jeho povrchu. Vlákno není zasaženo hlouběji do svého nitra a tím narušována jejich tepelná vlastnost.

7.5. Vliv ozonu na změnu chemického složení PP vzorku č.1 a vzorku č.2

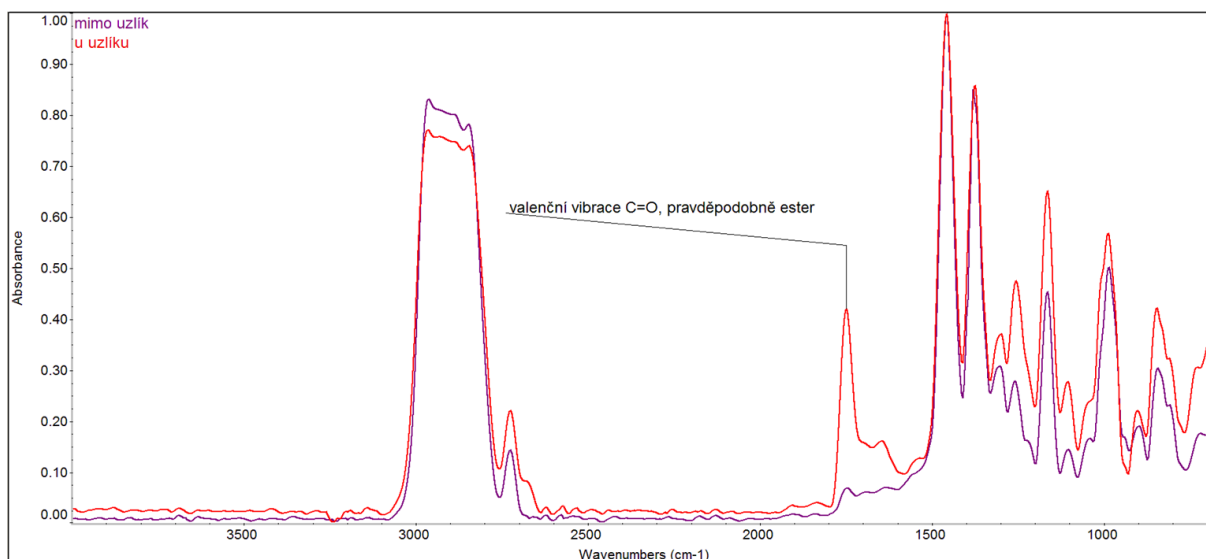
Pro analýzu změny chemického složení polypropylenového vlákna byl využit FTIR spektrometr s technikou ATR (attenuated total reflectance = zeslabený úplný obraz). Používaný hranol musí mít vysoký index lomu (vyšší jak index lomu zkoumaného vzorku). Výhodou této metody je ta, že vzorek nemusí být transparentní.



Obr. 45: Grafické porovnání spekter PP vláknenných vrstev – vzorek č.1

Na Obr. 45 jsou znázorněna spektra původních polypropylenových vláken, polypropylenových vláken vystavených 4 hodiny ozonu za sucha a polypropylenových vláken vystavených 4 hodiny ozonu za mokra. Všechna vlákna se liší pouze délkou jejich řetězce. Spektra se od sebe odlišují pouze intenzitou valenčních pásu C=O vazeb. Tyto intenzity jsou ale tak nevýrazné až zanedbatelné, že původní polypropylen není k rozeznání od polypropylenového vystaveného ozonu. Tyto vlákna mohou od výroby na svém povrchu mít také nějaké příměsi (nečistoty), které nejsou známy. Proto je možné, že tyto malé nevýrazné změny mohou způsobovat právě tyto nečistoty a ne vlákno samotné. U tohoto experimentu nebyl předpoklad, že by se po delším čase změnilo chemické složení, proto nebyla zkoumána stabilita této změny.

Pro další měření bylo použito polypropylenové vlákno, na kterém by navázán uzlík (viz. kapitola 6.3 Příprava vzorků). Pro toto měření byla provedena FTIR analýza pomocí mikroskopické reflexní techniky na Ag zrcátku. Zrcátko bylo použito, aby se zpět vrátilo záření a tím nám ukázalo, jestli se na povrchu něco děje. Tato metoda neproniká tolik do hloubky vlákna (tudíž je to více povrchová analýza) jako metoda ATR.



Obr. 46: Grafické porovnání spekter PP uzlíku vystavených ozonu – vzorek č.2

Na obrázku 46 jsou znázorněna spektra polypropylenového vlákna, na kterém byl proveden uzlík. Jedno spektrum se provádělo mimo uzlík a druhé spektrum bylo zaměřeno na místo, kde se vlákno na sobě „dotýkalo“. Tyto zkoumaná místa na vláknech se liší délkou řetězce. Zkoumaná místa se liší intenzitou pásů valenčních vibrací C-H vazeb. Rozdíl je ale tak nepatrný, že se od sebe nedají téměř odlišit. V místě valenčních vibrací C=O dochází k výrazné změně. Zde je na první pohled znát, že v místě kde se vlákno překrývalo přes sebe dochází k výrazné změně absorbance. To znamená, že vlákno v těchto místech je povrchově narušeno než tam, kde se vlákna vůbec svým povrchem nedotýkají.

7.6. Vliv ozonu na vznik antibakteriální úpravy u vzorku č.1

Test antimikrobiální úpravy na polypropylenové vlákenné vrstvě byl proveden dvěma metodami.

První metoda byla provedena jako AATCC Test Method: 147-2004 – Antibacterial Activity Assesment of Textile materials: Parallel Streak Method, kterou se ověřovalo, zda se účinná látka ze vzorku uvolňuje do okolí (objevují se různě velké halo zóny) nebo je účinná látka vázána ve vzorku a efekt se projeví pouze pod vzorkem. V konečné fázi tohoto testu byla hodnocena halo zóna (její velikost) a inhibice bakterií pod vzorkem (spodina vzorku), které byly porovnávány se standardním vzorkem a jsou přehledně zobrazeny v Tab. 6.

Tab. 6: Výsledky AATCC Test Method: 147-2004 – Antibacterial Activity Assessment of Textile materials: Parallel Streak Method

Vzorky	Escherichia coli	Staphylococcus aureus	Candida albicans
Standard	0	0	0
6.7.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	0	0	0
26.11.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	0	0	0
4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za mokra	0	0	0
4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za sucha	0	0	0
4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za mokra	0	0	0
4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za sucha	0	0	0

Bez náznaku halo zóny u obou kmenů

V Tab. 6 lze vidět, že tato metoda neprokázala žádný efekt, tedy že se neobjevily žádné halo zóny kolem vzorku a ani nebyl pozorován žádný efekt pod vzorkem.

Druhá metoda měření byla provedena AATCC Test Method: 100-2004 – Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assessment of Method, kterou se sledoval počet přeživších bakteriálních kolonií (CFU) a poté se vypočetla redukce R v procentech. Poté byl výsledek vždy porovnán s neošetřeným vzorkem (standardem). V Tab. 7 jsou uvedeny naměřené výsledky počtu přeživších bakteriálních kolonií.

Tab. 7: Výsledky výpočtu naměřených přeživších bakteriálních kolonií (CFU)

Vzorky	Escherichia coli	Staphylococcus aureus	Candida albicans
Standard	220	240	440
A 6.7.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	320	360	14
B 26.11.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	8	14	90
C 4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za mokra	30	22	34
D 4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za sucha	10	4	24
E 4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za mokra	10	8	22
F 4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za sucha	10	10	14

Pozn: čísla uvádějí počet přeživších bakteriálních (plísňových) kolonií

Dále byla vypočtena redukce R, která je uvedena v Tab. 8.

Tab. 8: Výpočet procentuální bakteriální (plísňové) redukce

Vzorky	Escherichia coli	Staphylococcus aureus	Candida albicans
Standard	0	0	0
6.7.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	0 %	0 %	97 %
26.11.2018 vzorek 3 hodiny v ozonu	96 %	94 %	80 %
4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za mokra	86 %	91 %	92 %
4.3.2019 vzorek 3 hodiny v ozonu za sucha	96 %	98 %	95 %
4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za mokra	96 %	97 %	94 %
4.3.2019 vzorek 4 hodiny v ozonu za sucha	96 %	96 %	97 %

V Tab. 8 lze jasně pozorovat, že u vzorku A z 6.7.2018 nedošlo k žádné bakteriální inhibici, u kmene kvasinky *Candida albicans* byla procentuální redukce výrazná, a to 97%. Vzorek B z 26.11.2018 už ale vykazuje na oba bakteriální kmeny a na kmen plísně velmi dobrou procentuální redukci. Z pozorování výsledků inhibice vzorků C a E vyplývá, že procentuální redukce se zvyšuje po delší době působení ozonu na polypropylenovou vláknennou vrstvu, tedy po 4 hodinách. Poté v porovnání výsledků D a E bylo zjištěno, že % redukce je více méně stejná. Hlavním zjištěním je, že lepších výsledků antimikrobiální úpravy (% redukce) bylo dosaženo u polypropylenové vláknenné vrstvy, která byla vystavena ozonu za mokra, než u těch, které byly vystaveny ozonu za sucha.

V příloze č. 4 lze vidět výsledky experimentu v obrazové formě.

7.7. Diskuze výsledků s ohledem na praktické využití vláknenných vrstev upravených ozonem

Z naměřených výsledků je zřejmé, že působením ozonu po určitou dobu na netkanou textilií došlo ke změnám vlastností. Nejvíce se tyto změny projeví na změně mechanických vlastností, ale také na změně povrchu polypropylenových vláken. V některých případech experimentu nebyly zaznamenány žádné velké změny.

Aplikace v textilním průmyslu má velký potenciál, ale při úpravě polypropylenových textilií by se ozonu mělo vyhýbat, z důvodu jeho narušování materiálu. Ovšem tato práce by mohla být do budoucna podkladem pro zkoumání likvidace zdravotního materiálu vyrobeného z polypropylenového materiálu (například roušky, atd.).

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nalézt alternativu pro zpevňování polypropylenových netkaných textilií, bez žádných přidaných chemikálií, pouze za pomoci ozonu. Dále se práce zabývala, zda má působení ozonu v určitém časovém rozmezí vliv na změnu antimikrobiální úpravy a její stálost.

V teoretické části se práce zabývá v první kapitole popisem tříatomového plynu O_3 a jeho vlastnostmi. Poté se dále popisuje jeho vznik a výroba, kde se tento plyn nachází v zemské atmosféře a v poslední části kapitoly je popsáno jeho obecné využití a využití v textilním průmyslu. V další kapitole jsou popsána polypropylenová vlákna a jeho vlastnosti a poté jejich oblasti využití. Jelikož je práce zaměřena na úpravu polypropylenových netkaných textilií, tak se další teoretická část zabývá popisem přípravy vlákenné vrstvy a jejího zpevňování. V další kapitole byly uvedeny degradace polymerů a interakce ozonu s polymery. V poslední části teorie je psáno o antimikrobiální úpravě textilií, jejich způsoby provedení a v poslední řadě bylo zaměřeno na mikrobiální účinnost ozonu.

V experimentální části jsou popsány vstupní materiály a použité přístroje pro měření zjišťování vlastností. Dále je důkladně popsána příprava vzorků a poté celý průběh experimentu vystavení vzorků ozonu. Rovněž zde naleznete popis průběhů experimentů při měření požadovaných vlastností. V poslední řadě jsou vyhodnoceny výsledky experimentů.

Výsledkem celé této práce je, že ozon narušuje polypropylenová vlákna jak na povrchu tak i jeho strukturu a tím dochází k jeho deformaci. Při delší době vystavení ozonu dochází k deformaci větší než když na polypropylen působí pouze krátkou dobu. V krátké době je narušen pouze jeho povrch, kde dochází k narušení řetězce polypropylenů a tím jak se snaží „vrátit“ do své původní polohy, tak se vlákna vzájemně „spojí“. Při tomto jevu ale stále ztrácí své mechanické vlastnosti, pro které se prováděla tato práce.

Předmětem dalšího zkoumání v jiných pracích by mohla být úprava polypropylenových vláken v likvidaci lékařských pomůcek jako je například rouška, a to z důvodu velmi velkého narušení vlákna. Při likvidaci by ozon roušky vydezinfikoval a zbavil nežádoucích virů či bakterií a po delší době by se rozpadl na sypký materiál.

Seznam zdrojů:

- [1] *Co je ozon?*. [online] [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://profiozon.cz/co-je-ozon/>
- [2] *What is ozone?*. [online] [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: http://www.arctic.uoguelph.ca/cpe/environments/climate/climate_future/ozone/ozone_what.htm
- [3] *Ozon obecně*. [online] [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.ozontech.cz/ozon-obecne>
- [4] LIPPERT, E., ed. *Ozonová vrstva Země: vznik, funkce, poškození a jeho důsledky, možnosti nápravy*. Praha: Vesmír, 1995. ISBN 80-901131-5-X
- [5] *Ozon-Ozone*. [online] [cit. 2020-08-5]. Dostupné z: <https://cs.qwe.wiki/wiki/Ozone>
- [6] Horváth, M., Bilitzky, L., Hüttner, J.: *Ozone. Akadémiai Kiadó, Budapest* 1985. ISBN 963-05-3358-8.
- [7] *Vznik ozonu*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.triotech.cz/o-ozonu/vznik-ozonu>
- [8] *Jak vzniká ozon?* [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://profiozon.cz/jak-vznika-ozon/>
- [9] *Ozonová vrstva a význam její ochrany*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/mujkousekzeme/veda/dira-do-sveta/ozonova-vrstva>
- [10] *Problematika ztenčování ozónové vrstvy*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~dobro/ozon_1.htm
- [11] *Ozon, štít proti slunečnímu záření*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/ozon-stit-proti-slunecnimu-zareni>
- [12] *Přízemní ozon O₃*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3>
- [13] *Ozon a jeho použití*. [online] [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.aplikaceo3.cz/?page=3&subp=2>
- [14] *Ozone treatment in the textile industry*. [online] [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.ozonotech.com/industries/ozone-textile-industry>
- [15] *Polypropylene Fiber and Its Manufacturing Process, Properties, Advantages, Disadvantages and Applications of Polypropylene Fiber*. [online] [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://textilelearner.blogspot.com/2013/01/polypropylene-fiber-and-its>

- [16] STANĚK, J. : *Textilní zbožížnalství: vláknenné suroviny, příže, nitě*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-147-3.
- [17] *Netkané textilie*. [online] [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1008/mod_resource/content/2/Netkan%C3%A9%20textilie-technologie1.pdf
- [18] JIRSÁK, O., KALINOVÁ, K.: *Netkané textilie*. V Liberci: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-746-2.
- [19] PINNER, S. H. *Poveternostné starnutie a degradácia plastických hmôt*. Bratislava: Alfa, 1973
- [20] *Stárnutí polymerů*. [online] [cit.2018-12-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/16.html>
- [21] SCHNABEL, W. *Polymer degradation: Principles and practical applications*. Berlin: Akademie-Verlag, 1981
- [22] *Tepelné vlastnosti polymerů*. [online] [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/13.html>
- [23] *Photodegradation of polymers*. [online] [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photo%20Oxidation.html>
- [24] *Ozonation reactions and ozone cracking in elastomers*. [online] [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Ozone.html>
- [25] *Faktory způsobující korozi a degradaci polymerů*. [online] [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8226249-3-2-faktory-zpusobujici-korozi-a-degradaci-polymeru.html>
- [26] *Studium mikroskopické atomové síly na polypropylenových površích ošetřených UV a ozonovou expozicí: změna morfologie a adhezní síly*. [online] [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433298008794#aep-section-id15>
- [27] *The effect of ozone on polymer degradation in Polymer Core Composite Conductors*. [online] [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391012003436#sec4>
- [28] SHAHIDI,S., WIENER, J. :*Antibacterial agents in Textile indurstry*. Technical university in Liberec and Iran
- [29] Vik, M. *Finální úpravy XII – prezentace*. [online] [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: file:///C:/Users/karolina_rousalova/Downloads/12%20FIN.pdf

- [30] SCHINDLER, W.D.- HAUSER, P.J.: *Chemical finishing of textiles*, CRC Press, Cambridge, England 2004.
- [31] PASTRNEK, R., VLACH, P.: *Finální úpravy textilií*. V Liberci: Technická univerzita, 2002.
- [32] *Kyslíkový koncentrátor Kröber O2*. [online] [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.personaloxxygen.eu/produkt/kyslikovy-konzentrator-kroeber-o2>
- [33] TrioTech s.r.o.-Generátor ozonu – Návod k použití
- [34] *Ozone analyzer*. [online] [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.longlifeo3.com/en/showPro.asp?id=44>
- [35] *Testování nanovláčkových materiálů*. [online] [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/689/course/section/286/Predn%C3%A1ska%20%2010_TNA_E.Kostakova%20KNT%2CFT%2CTUL.pdf
- [36] *Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)*. [online] [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://material.karlov.mff.cuni.cz/cs/pristroje/dsc>
- [37] *Infračervená spektroskopie*. [online] [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected>
- [38] *Infračervená spektrometrie*. [online] [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://news.thomasnet.com/fullstory/ft-ir-spectrometer-ispowered-by-omnic-specta-software-815633>
- [39] *Infračervené spektroskopie*. [online] [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~sulovsky/Vyuka/Lab_metody/Infracervena_spektroskopie.pdf

Seznam obrázků:

- Obr. 1: Struktura ozónu [1]
- Obr. 2: Výroba ozonu pomocí koronového výboje [8]
- Obr. 3: Výskyt ozonu v zemské atmosféře[9]
- Obr. 4: Vzorec PP vlákna
- Obr. 5: Polypropylenové vlákno
- Obr. 6: Schéma válcového mykacího stroje[18]
- Obr. 7: Vzájemné postavení pracovních potahů u válcového mykacího stroje [18]
- Obr. 8: Obecný mechanismus degradace ozonu [23]
- Obr. 9: Antimikrobiální prostředek ve vlákne [28]
- Obr. 10: Antimikrobiální prostředek na povrchu vláken [28]
- Obr. 11: Antimikrobiální prostředek přichycen na povrchu vlákna pomocí chemické vazby [28]
- Obr.22 Polypropylenová netkaná textilie
- Obr.13 Polypropylenové vlákna
- Obr.14 Polypropylenová folie
- Obr.15: Polypropylenová netkaná textilie
- Obr. 16: Laboratorní váha
- Obr. 17: Mykací stroj
- Obr. 18: Kyslíkový koncentrátor Kröber O2
- Obr. 19: Generátor ozonu GO 5LAB-K
- Obr. 20: Analyzátor koncentrace ozonu [32]
- Obr. 21: Měřicí přístroj pevnosti
- Obr. 22: Skenovací elektronový mikroskop
- Obr. 23: Schéma skenovacího elektronového mikroskopu [32]
- Obr. 24: Diferenční skenovací kalorimetrie METTLER TOLEDO DSC 3[34]
- Obr. 25: FTIR spektrometr Nicolet IZ10 []
- Obr. 26: PP vlákenná vrstva
- Obr. 27: Vzorek č.2
- Obr. 28: PP fólie s chloridem
- Obr. 29: Schéma zařízení pro ozonizaci
- Obr. 30: Sestava pro ozonizaci
- Obr. 31: Vzorek č.1 pro měření pevnosti
- Obr. 32: Upevnění vlákenného vzorku v přístroji měřící pevnost
- Obr. 33: Vzorky z PP uzlíků a PP plastu s NaCl připraveny k vystavení ozonu

- Obr. 34: Přehled uzlíků po určitých dobách v ozonu
- Obr. 35: PP fólie po dobu 4 hodin působení ozonu za sucha a za mokra
- Obr. 36: Průměrné hodnoty pevnosti za sucha PP vlákenné vrstvy pro různé doby působení ozonu
- Obr. 37: Průměrné hodnoty pevnosti za mokra PP vlákenné vrstvy pro různé doby působení ozonu
- Obr. 38: Průměrné hodnoty PP netkané textilie po různou dobu vystavení ozonu
- Obr. 39: SEM analýza PP vlákenné vrstvy
- Obr. 40: Snímky uzlíků za sucha ze SEM
- Obr. 41: Snímky uzlíků za mokra ze SEM
- Obr. 42: Úprava PP plastu po 4 hodinách v ozonu za mokra
- Obr. 43: Snímky mikrovlákné PP netkané textilie
- Obr. 44: Termická analýza na PP vláknech před a po působení ozonu
- Obr. 45: Grafické porovnání spekter PP vlákenných vrstev
- Obr. 46: Grafické porovnání spekter PP uzlíku vystavených ozonu

Seznam tabulek:

- Tab. 1: Fyzikální a chemické vlastnosti ozonu [1]
- Tab. 2: Postup výroby netkané textilie
- Tab. 3: Průměrné pevnosti
- Tab. 4: Tabulka pro výpočet ANOVY
- Tab. 5: Výsledky ANOVY
- Tab. 6: Výsledky AATCC Test Method: 147-2004 – Antibacterial Activity Assessment of Textile materials: Parallel Streak Method
- Tab. 7: Výsledky výpočtu naměřených přeživších bakteriálních kolonií (CFU)
- Tab. 8: Výpočet procentuální bakteriální (plísňové) redukce

Přílohy

Příloha č. 1:

Tab. 1: Pevnost PP za sucha

Doba působení ozonu v hodinách	Počet měření			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% IS	Horní mez 95% IS
	1. měření [N]	2. měření [N]	3. měření [N]				
0	0,38967	0,40071	0,40168	0,39735	0,00667	0,37524	0,41946
0,5	0,43180	0,44485	0,41285	0,42983	0,01609	0,37651	0,48316
1	0,53167	0,45438	0,52616	0,50407	0,04312	0,36117	0,64697
1,5	0,46747	0,40758	0,49003	0,45503	0,04261	0,31382	0,59624
2	0,48357	0,40355	0,48378	0,45697	0,04626	0,30366	0,61027
2,5	0,43014	0,48309	0,44408	0,45244	0,02745	0,36148	0,54339
3	0,45553	0,40099	0,50418	0,45357	0,05162	0,28249	0,62464
3,5	0,42979	0,40015	0,45116	0,42703	0,02562	0,34214	0,51193
4	0,48891	0,48246	0,48614	0,48584	0,00324	0,47511	0,49656

Tab. 2: Pevnost PP za mokra

Doba působení ozonu v hodinách	Počet měření			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% IS	Horní mez 95% IS
	1. měření [N]	2. měření [N]	3. měření [N]				
0	0,38967	0,40071	0,40168	0,39735	0,00667	0,37524	0,41946
0,5	0,40432	0,42750	0,41168	0,41450	0,01184	0,37525	0,45375
1	0,44075	0,46067	0,48579	0,46240	0,02257	0,38761	0,53720
1,5	0,47198	0,45068	0,44734	0,45667	0,01337	0,41237	0,50096
2	0,42708	0,38454	0,36573	0,39245	0,03143	0,28829	0,49661
2,5	0,44568	0,49738	0,45366	0,46557	0,02783	0,37334	0,55781
3	0,48163	0,48871	0,49641	0,48892	0,00739	0,46442	0,51341
3,5	0,51106	0,48385	0,45182	0,48224	0,02965	0,38397	0,58051
4	0,53881	0,48281	0,51785	0,51316	0,02829	0,41939	0,60692

Tab. 3: Pevnost PP za mokra po 1 měsíci

Doba působení ozonu v hodinách	Počet měření			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% IS	Horní mez 95% IS
	1. měření [N]	2. měření [N]	3. měření [N]				
0	0,39584	0,40259	0,40215	0,400193	0,003777	0,39592	0,404467
0,5	0,41258	0,41365	0,40255	0,409593	0,006123	0,402664	0,416522
1	0,43256	0,45125	0,47512	0,452977	0,021332	0,428837	0,477117
1,5	0,45213	0,44256	0,45213	0,44894	0,005525	0,442688	0,455192
2	0,40125	0,39125	0,38543	0,392642	0,008004	0,383585	0,401699
2,5	0,43521	0,48512	0,42012	0,446817	0,034019	0,408321	0,485313
3	0,45124	0,46521	0,48213	0,466193	0,015468	0,448689	0,483698
3,5	0,49521	0,46425	0,44245	0,467303	0,026512	0,437302	0,497305
4	0,50125	0,49215	0,51247	0,501957	0,010178	0,490439	0,513475

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Pevnost PP >	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	9 K					
2	1	0,38967	0,4318	0,53167	0,46747	0,48357	0,43014	0,45553	0,42979	0,48891						
3	2	0,40071	0,44485	0,45438	0,40758	0,40355	0,48309	0,40099	0,40015	0,48246						
4	3	0,40168	0,41285	0,52616	0,49003	0,48378	0,44408	0,50418	0,45116	0,48614						
5	ni	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27 N					
6																
7	sloupcový pr	0,39735	0,42983	0,50407	0,45503	0,45697	0,45244	0,45357	0,42703	0,48584	0,45135	celkový průměr				
8	odhady efek	-0,05399	-0,02151	0,05272	0,00368	0,00562	0,00109	0,00222	-0,02431	0,03449						
9	čtvorce odch	0,00875	0,00139	0,00834	0,00004	0,00009	0,00000	0,00001	0,00177	0,00357	0,02397	SA součet čtvrců odchylek mezi jednotlivými úrovněmi daného faktoru				
10																
11	SR	čtvorce odchylek od vnitřních úrovní														
12	1	5,9034E-05	3,8678E-06	7,6176E-04	1,5484E-04	7,0774E-04	4,9714E-04	3,8547E-06	7,5992E-06	9,4454E-06						
13	2	1,1267E-05	2,2550E-04	2,4691E-03	2,2512E-03	2,8533E-03	9,3963E-04	2,7643E-03	7,2271E-04	1,1402E-05						
14	3	1,8720E-05	2,8843E-04	4,8797E-04	1,2252E-03	7,1895E-04	6,9834E-05	2,5617E-03	5,8210E-04	9,2011E-08						
15	suma	8,9021E-05	5,1780E-04	3,7188E-03	3,6313E-03	4,2800E-03	1,5066E-03	5,3299E-03	1,3124E-03	2,0939E-05	2,04E-02	SR součet čtvrců odchylek vnitřních úrovní				
16																
17	SC	čtvorce odchylek od celkového průměru														
18	1	0,00380	0,00038	0,00645	0,00026	0,00104	0,00045	0,00002	0,00046	0,00141						
19	2	0,00256	0,00004	0,00001	0,00192	0,00228	0,00101	0,00254	0,00262	0,00097						
20	3	0,00247	0,00148	0,00560	0,00150	0,00105	0,00005	0,00279	0,00000	0,00121						
21	suma	0,00883	0,00191	0,01206	0,00367	0,00437	0,00151	0,00534	0,00309	0,00359	0,04438	SC1 součet čtvrců odchylek od celkového průměru				
22											0,04438	SC2 součet čtvrců odchylek od vnitřních úrovní a mezi jednotlivými				
23																
24				stupně volno	průměrný čtv	očekávaná h	alfa	Falfa	testovací							
25	mezi časy	SA	0,02397	8	0,00300	2,64375	0,05	2,51016	F _{test} > F _{kritická}	Zamítáme H ₀ > faktor je statisticky významný						
26	reziduální	SR	2,04E-02	18	0,00113											
27	celkový	SC	0,04438	26												
28																

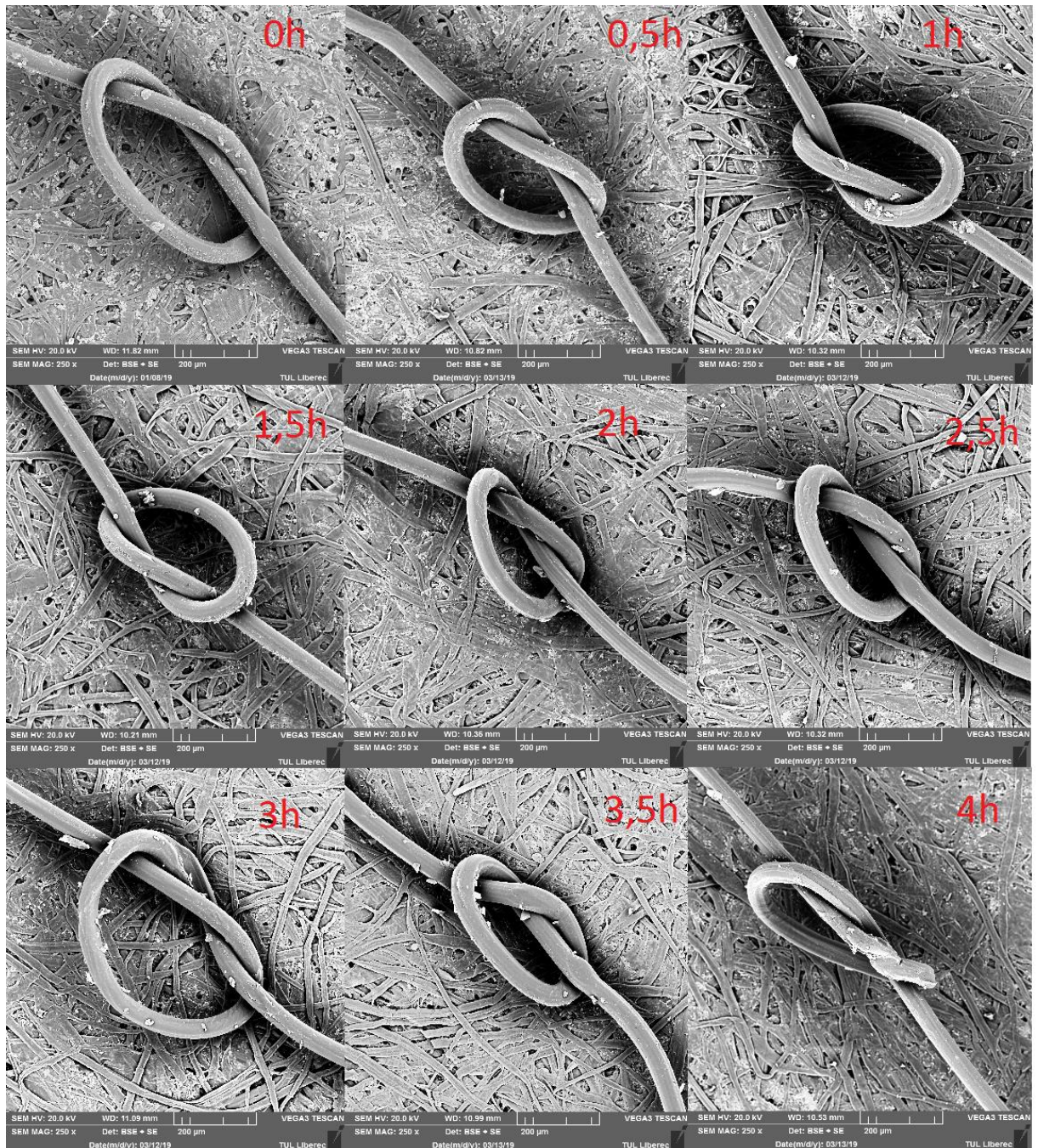
Obr. 1: Výpočet ANOVA pro vzorky za sucha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Pevnost PP >	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	9 K					
2	1	0,38967	0,40432	0,44075	0,47198	0,42708	0,44568	0,48163	0,51106	0,53881		počet faktorů				
3	2	0,40071	0,4275	0,46067	0,45068	0,40454	0,49738	0,48871	0,48385	0,48281						
4	3	0,40168	0,41168	0,48579	0,44734	0,46573	0,45366	0,49641	0,45182	0,51785						
5	ni	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27 N	počet měření=celkový počet úrovní				
6																
7	sloupcový pr	0,39735	0,41450	0,46240	0,45667	0,43245	0,48557	0,48892	0,48224	0,51316	0,45703	celkový průměr				
8	odhady efek	-0,05968	-0,04253	0,00537	-0,00036	-0,02458	0,00854	0,03189	0,02521	0,05613						
9	čtvorce odch	0,01068	0,00543	0,00009	0,00000	0,00181	0,00022	0,00305	0,00191	0,00945	0,03264	SA součet čtvrců odchylek mezi jednotlivými úrovněmi daného faktoru				
10																
11	SR	čtvorce odchylek od vnitřních úrovní														
12	1	5,9034E-05	1,0363E-04	4,6887E-04	2,3450E-04	2,8837E-05	3,9574E-04	5,3098E-05	8,3040E-04	6,5809E-04						
13	2	1,1267E-05	1,6900E-04	3,0044E-06	3,5840E-05	7,7897E-04	1,0117E-03	4,2711E-08	2,5814E-06	9,2092E-04						
14	3	1,8720E-05	7,9524E-06	5,4694E-04	8,6987E-05	1,1076E-03	1,4193E-04	5,6150E-05	9,2558E-04	2,2027E-05						
15	suma	8,9021E-05	2,8058E-04	1,0188E-03	3,5733E-04	1,9154E-03	1,5493E-03	1,0929E-04	1,7586E-03	1,6010E-03	8,68E-03	SR součet čtvrců odchylek vnitřních úrovní				
16																
17	SC	čtvorce odchylek od celkového průměru														
18	1	0,00454	0,00278	0,00027	0,00022	0,00090	0,00013	0,00061	0,00292	0,00669						
19	2	0,00317	0,00087	0,00001	0,00004	0,00276	0,00163	0,00100	0,00072	0,00066						
20	3	0,00306	0,00206	0,00083	0,00009	0,00008	0,00001	0,00155	0,00003	0,00370						
21	suma	0,01077	0,00571	0,00111	0,00036	0,00373	0,00177	0,00316	0,00367	0,01105	0,04132	SC1 součet čtvrců odchylek od celkového průměru				
22											0,04132	SC2 součet čtvrců odchylek od vnitřních úrovní a mezi jednotlivými				
23																
24				stupně volno	průměrný čtv	očekávaná h	alfa	Falfa	testovací							
25	mezi časy	SA	0,03264	8	0,00408	8,46082949	0,05	2,5101579	F _{test} > F _{kritická}	Zamítáme H ₀ > faktor je statisticky významný						
26	reziduální	SR	8,68E-03	18	0,00048											
27	celkový	SC	0,04132	26												
28																

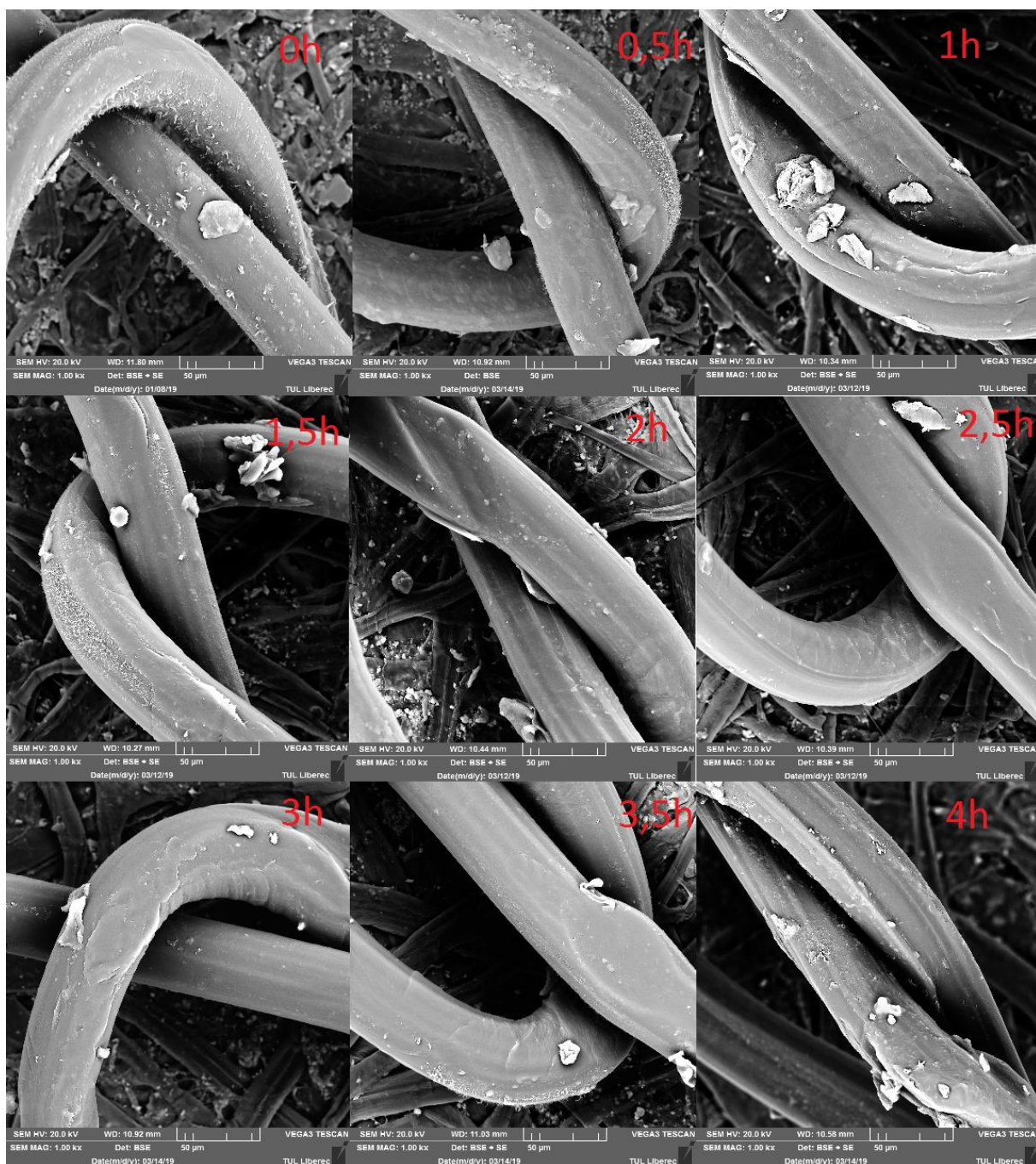
Obr. 2: Výpočet ANOVA pro vzorky za mokra

Příloha č. 2:

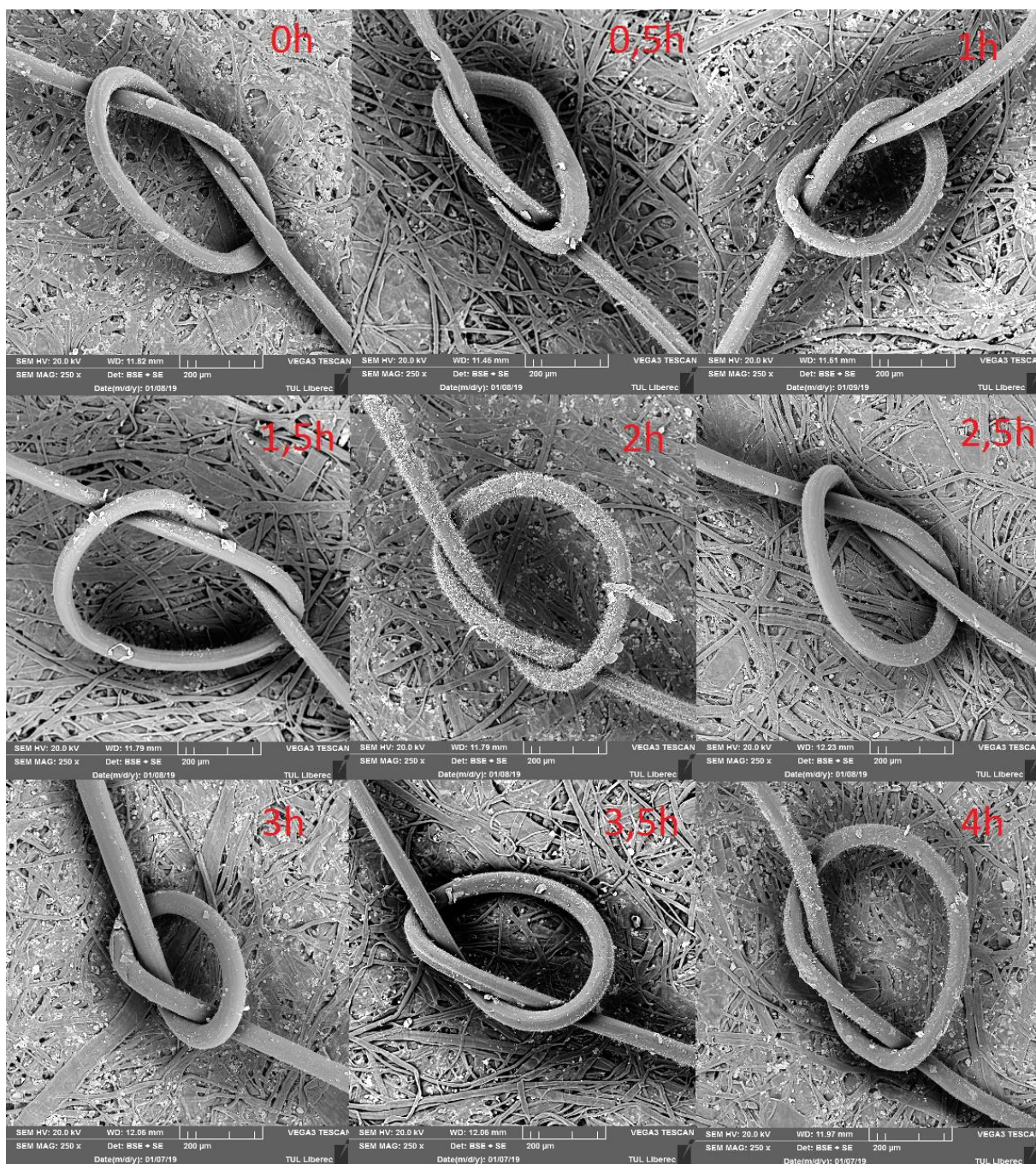
Uzlíky za sucha



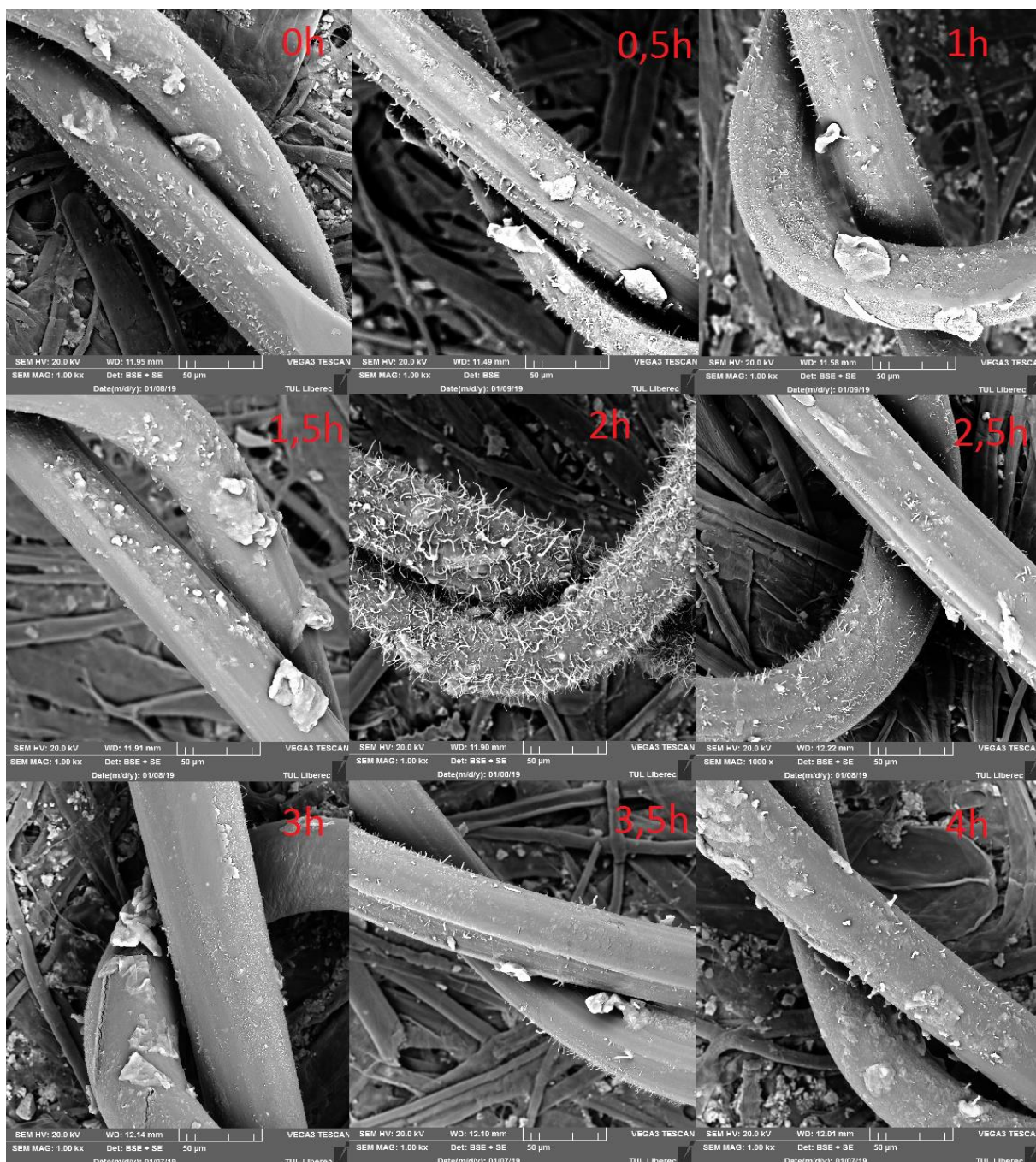
Obr. 1: SEM analýza uzlíků za sucha



Obr. 2: SEM analýza uzlíků za sucha - větší přiblížení



Obr. 3: SEM analýza uzlíků za mokra

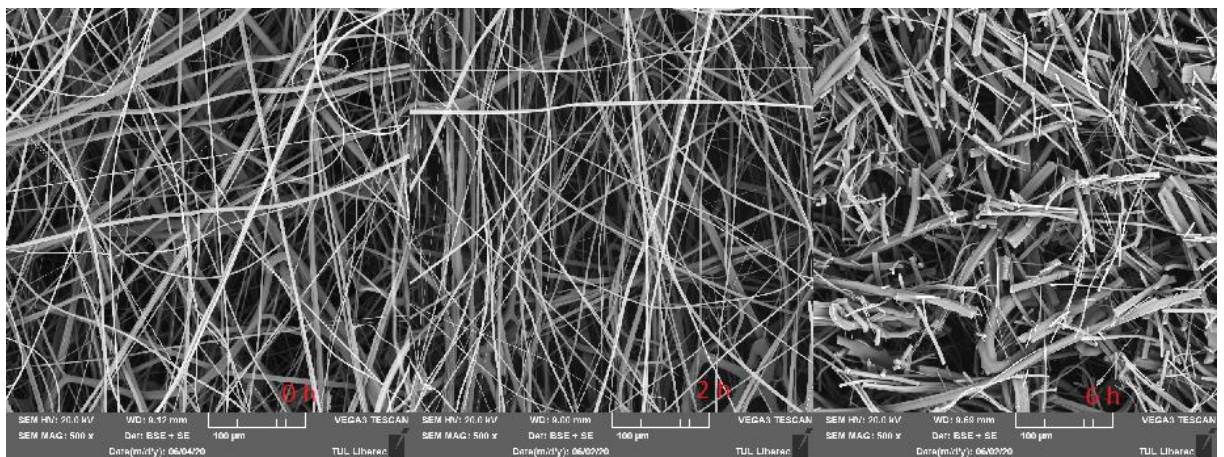


Obr. 4: SEM analýza uzlíků za mokra - větší přiblížení

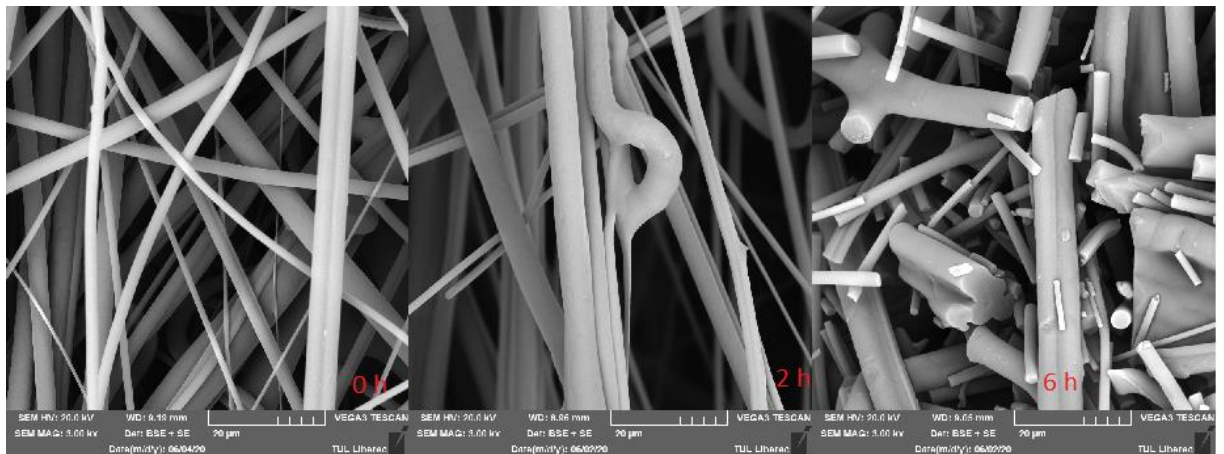
Příloha č. 3

Pevnost polypropylenové netkané textilie

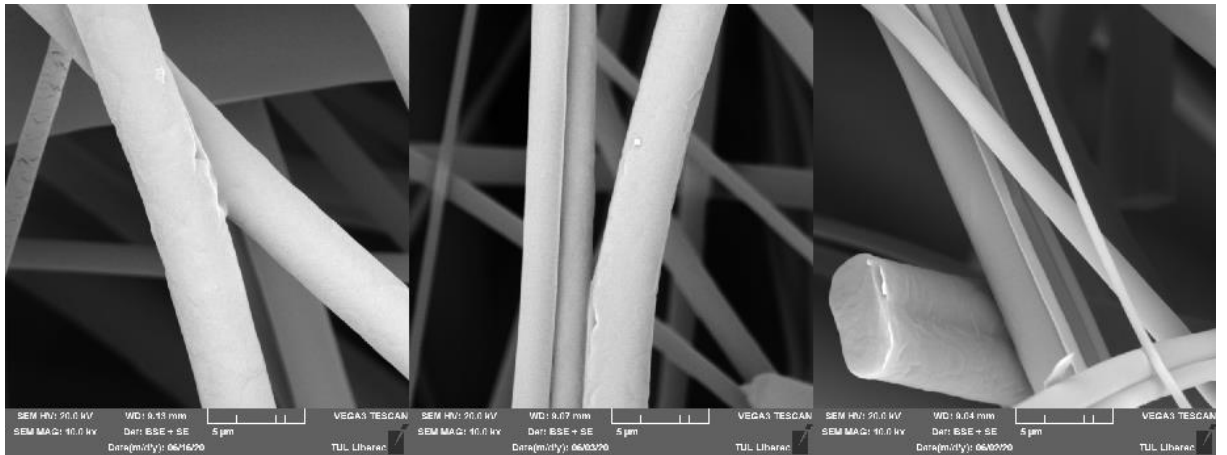
Doba působení ozonu v hodinách	Počet měření						Směrodatná odchylka
	1. měření [N]	2. měření [N]	3. měření [N]	4. měření [N]	5. měření [N]	6. měření [N]	
0	18,99488	19,87124	19,7067	19,19158	20,51222	20,03248	0.55737
2	6,04302	2,74024	5,74156	5,11637	4,07625	3,56803	1,29874
6	-	-	-	-	-	-	-



Obr.5 Polypropylenová netkaná textilie-malé přiblížení



Obr.6 Polypropylenová netkaná textilie-větší přiblížení



Obr.7 Polypropylenová netkaná textilie-největší přiblížení

Příloha č. 4

Příklad (vybraná) fotodokumentace:

