TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Působení ozonu na textilní materiály

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství

Autor práce: **Bc. Andrea Drahokoupilová**
Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering

Effect of ozone on textile materials

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Andrea Drahokoupilová**
Supervisor: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Andrea Drahokoupilová**
Osobní číslo:	**T15000036**
Studijní program:	**N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor:	**Produktové inženýrství**
Název tématu:	**Působení ozonu na textilní materiály**
Zadávající katedra:	**Katedra hodnocení textilií**

Zásady pro vypracování:

1) Proveďte rešerši na téma diplomové práce
2) Sledujte degradační procesy vláken způsobené ozonem
3) Zaměřte se na změny mechanických, termických a chemických vlastností, sledujte vliv průměru vláken na rychlost degradace ozonem
4) Diskutujte možnosti využití úprav vláken ozonem a související rizika degradace vláken

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1) GOTTSCHALK, C., A. SAUPE a J. A. LIBRA. Ozonation of water and waste water: a practical guide to understanding ozone and its application. New York: Wiley-VCH, 2000. ISBN 3-527-30178-x
2) PINNER, S. H. Poveternostné starnutie a degradácia plastických hmôt. Bratislava: Alfa, 1973

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.**
Katedra materiálového inženýrství

Konzultant diplomové práce: **Ing. Marie Kašparová**
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **29. března 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **4. května 2018**

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní

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

V Liberci dne 28. března 2018

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: ANDREA DRAHOKOUPKOVÁ

Osobní číslo: T15000036

Studijní program: PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: PRODUKTOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Zadávající katedra: KHT

Žádám o změnu termínu odevzdání závěrečné práce z 4.5.2018 na 7.12.2018 .

Odůvodnění žádosti: RODINNÉ DŮVODY

V LIBERCI dne 2.5.2018 Podpis: Drahokoupilová

Vyjádření vedoucího práce:

SOUHLASÍM
KIELAR

Vyjádření vedoucího katedry:

Souhlasím

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum: 7.12.2018

Podpis: Drahokoupilové

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Poděkování patří i mé rodině za podporu po celou dobu studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá účinkem vlivu ozonu na jednotlivé materiály. V práci je zpracován přehled informací o ozonu a degradaci textilních materiálů. Degradace probíhala vystavením vzorků působení ozonu. Následně byly sledovány změny vlastností. Studium degradačních procesů probíhalo pomocí metod elektronové mikroskopie, infračervené spektroskopie, termické analýzy a hodnocením mechanických vlastností.

KLÍČOVÁ SLOVA: ozon, degradace, klasická vlákna, nanovlákna

ANNOTATION

This thesis deals with the influnec of ozone treatment on various textile materials. It summarizes informations about ozone and degradation of textile materials. For study of material degradation, chosen textile materials were exposed to ozone treatment. After that the modification of material characteristics was studied, The degradation was assessed using electron microscopy, infrared spectroscopy, thermical analysis and evaluation of mechanical charactersitics.

KEY WORDS: ozone, degradation, classic fibers, nanofibers

Obsah:

ÚVOD 12
REŠERŠNÍ ČÁST 13
1 OZON 13
1.1 Historie ozonu 13
1.2 Generace ozonu 14
1.2.1 Generace elektrickým výbojem 14
1.2.2 Generace fotochemickou metodou 15
1.3 Ozon v zemské atmosféře 15
1.3.1 Stratosférický ozon 15
1.3.2 Troposférický ozon 15
1.4 Použití ozonu 16
2 DEGRADACE MATERIÁLŮ 18
2.1 Druhy degradací 18
2.1.1 Fotochemická degradace 18
2.1.2 Termická degradace 19
2.1.3 Biologická degradace 19
2.1.4 Chemická degradace 19
2.1.5 Radiochemická degradace 19
2.2 Reakce polymerů s ozonem 20
3 KLASICKÁ VLÁKNA 21
3.1 Přírodní vlákna 21
3.1.1 Bavlna 21
3.1.2 Vlna 22
3.2 Chemická vlákna 22
3.2.1 Polyamidová vlákna 22
3.2.2 Polyesterová vlákna 23
3.2.3 Polyakrylonitrilová vlákna 23
3.2.4 Polypropylenová vlákna 23
3.2.5 Vlákna polyvinylchloridová 24
4 NANOVLÁKNA 25
4.1 Výrobní technologie 25
4.1.1 Elektrostatické zvlákňování 25

4.2 Aplikace nanovláken 26
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 28
5 TESTOVANÉ MATERIÁLY 28
5.1 Tkaniny 28
5.2 Nanovlákenné vrstvy 31
6 POUŽITÉ PŘÍSTROJE 33
6.1 Přístroj TRIOTECH GO 5LAB-K 33
6.1.1 Průběh ozonizace 34
6.2 Testování mechanických vlastností 34
6.2.1 Měřicí přístroj TIRA test 2300 35
6.2.2 Měřicí přístroj LabTest 4.050 35
6.3 Skenovací elektronový mikroskop 35
6.5 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) 36
6.6 Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) 37
7 VYHODNOCENÍ A VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ 38
7.1 Klasická vlákna 39
7.2 Nanovlákenné vrstvy 53
ZÁVĚR 59

Seznam zkratek

DSC	diferenciální skenovací kalorimetrie
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
n.l.	našeho letopočtu
např.	například
O_3	ozon
Obr.	obrázek
PA	polyamid
PA 6	polyamid 6
PAN	polyakrylonitril
PES	polyester
PP	polypropylen
ppm	parts per million (miliontina celku)
PU	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
s	výběrová směrodatná odchylka
SEM	skenovací elektronový mikroskop

Úvod

Předmětem této diplomové práce je vliv ozonu na textilní materiály. Ozon je plyn, který je nezbytný pro život na Zemi. Tento plyn se nachází v horních i dolních vrstvách atmosféry. Ozon, který se nachází ve vyšších vrstvách atmosféry, je schopen pohltit velké množství ultrafialového záření. Zároveň dokáže ochránit prostředí od pachu či těžkých kovů. Ve spodních vrstvách se dostává do kontaktu s živými organismy, a protože se jedná o velmi reaktivní dráždivý plyn, ovlivňuje zdraví osob, živočichů a rostlin. Tento plyn nachází své uplatnění v mnoha odvětvích, protože patří mezi nejsilnější oxidační činidla. V textilním průmyslu se využívá především jako dezinfekční prostředek pro likvidaci mikroorganismů.

Cílem této diplomové práce je vytvoření studie o působení ozonu na textilní materiály - porovnat standardní vlákna s nanovlákny a kvantifikovat vliv průměru vlákna na rychlost jeho degradace působením ozonu.

Celý text je členěn do dvou hlavních částí, části rešeršní a experimentální. Rešeršní část seznamuje se základními pojmy, které jsou základem pro praktické řešení této práce. Nejdříve je zde popsána všeobecná charakteristika ozonu a jeho široké využití v nejrůznějších oblastech. Následující kapitola je věnována základním informacím o degradaci materiálů a způsobům, za jakých degradace probíhá. Posledními kapitolami rešeršní části je stručný popis textilních vláken, která byla použita pro experiment.

Experimentální část obsahuje informace o samotném průběhu prováděné studie, tedy degradaci textilních materiálů, která je způsobená ozonem. Tato část nejdříve uvádí informace o jednotlivých materiálech použitých při testování. Další část je věnována popisu použitých testovaných metod. Následně poskytuje informace o průběhu jednotlivých zkoušek a komentování jednotlivých zjištěných poznatků. Tato práce je orientována především na změnu vlastností materiálů, které jsou vystaveny působení ozonu v různých časových intervalech. Tyto materiály jsou podrobeny metodám, které sledují mechanické, chemické a termické změny po vystavení ozonem. Výsledky práce by mohly být využity k výběru vhodných vláken s vyšší odolností vůči ozonu. Závěrem této diplomové práce je celkové shrnutí a zhodnocení získaných výsledků.

REŠERŠNÍ ČÁST

1 Ozon

Ozon je bezbarvý plyn, jehož molekula se skládá ze tří atomů kyslíku (O3). Tato tříatomová molekula je však nestabilní a snadno se rozpadá na molekulu dvouatomového kyslíku a jeden kyslíkový atom. Vlivem tohoto volného atomu kyslíku má ozon vysokou oxidační schopnost a považuje se za jedno z nejsilnějších oxidačních činidel. [1]

Ozon je za běžných podmínek plynná bezbarvá látka o měrné hmotnosti 2,143 kg/m^3. V pevném skupenství má barvu modrou až fialovou. Molekulová hmotnost ozonu je 48. Mezi teplotou -192,5 °C (bod tání) až -111,9 °C (bod varu) se mění na tmavě modrou kapalinu. [2] [3]

Tento plyn je charakteristický svým štiplavým zápachem a lze ho rozeznat čichem už při nízké koncentraci. Přítomnost tohoto plynu se nejprve projevuje bolestí hlavy, podrážděním sliznic a nosu. Se zvyšující se koncentrací se tyto příznaky zhoršují. Při vyšších koncentracích může způsobit plicní edém. Také dochází ke snížení krevního tlaku, kašli a pocitu dušení. Ve vysoké koncentraci je jedovatý a koncentrace ozonu nad 50 ppm může být do 30 minut smrtelná. [1] [4]

1.1 Historie ozonu

Nizozemský chemik Van Marum v roce 1785 vypozoroval, že vzduch v blízkosti jeho elektrostatického stroje získal charakteristický zápach při sršení elektrických jisker. O něco později v roce 1801 Cruickshank vypozoroval stejný zápach během elektrolýzy vody. Schönbein si během svých experimentů všiml stejného zápachu jako Van Marum. V roce 1840 Schönbein pojmenoval tento plyn ozon, název je odvozen od ozeinu, což je řecké slovo pro vůni. Tento objev byl představen na univerzitě v Mnichově. Schönbein byl také první osobou, která zkoumala mechanismy reakce ozonu. První ozonový generátor byl vyroben v Berlíně společností Von Siemens. Francouzský chemik Marius Paul Otto byl prvním člověkem, který založil specializovanou společnost pro výrobu ozonových zařízení. [5] [6]

1.2 Generace ozonu

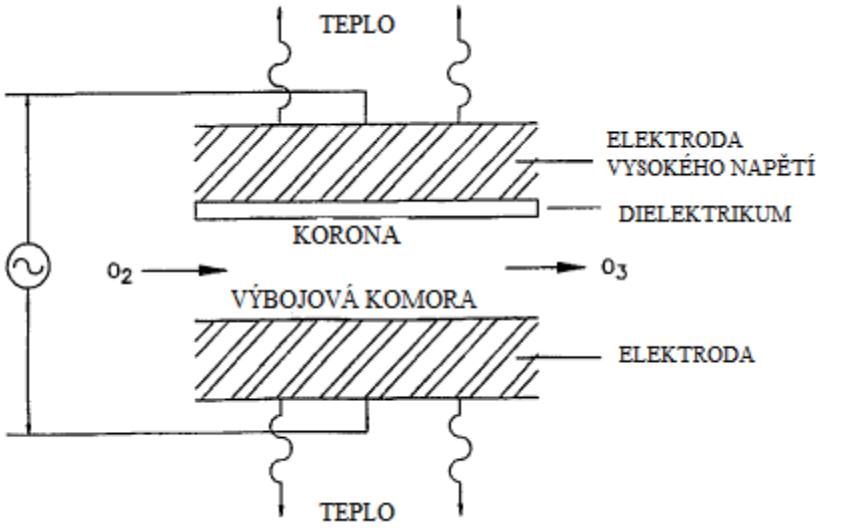
Ozon je vysoce reaktivní plyn, proto ho není možné po delší dobu skladovat. Tento plyn musí být připraven přímo na místě v zařízeních, která jsou označována jako generátory ozonu [7]. Ozon lze vyrábět různými způsoby, jako je generace elektrickým výbojem a fotochemická metoda.

1.2.1 Generace elektrickým výbojem

Generace elektrickým výbojem neboli korónový výboj, který je znázorněn na obrázku 1, je jeden z nejrozšířenějších způsobu pro výrobu ozonu. Tato technologie spočívá v průchodu plynu obsahujícího kyslík mezi dvěma elektrodami vytvářejícími střídavé elektrické pole. Napětí na elektrodách způsobuje emisi elektronů, které svou energií štěpí molekuly kyslíku, což vede k tvorbě ozonu. [8]

Tento způsob generace ozonu lze rozdělit na tři druhy, podle frekvence přiváděného napětí [9]:

- nízká frekvence (50 až 100 Hz)
- střední frekvence (100 až 1000 Hz)
- vysoká frekvence (1000 až 30000 Hz)



Obr. 1 Generátor ozonu založený na elektrickém výboji [8]

1.2.2 Generace fotochemickou metodou

Při fotochemické metodě dochází pomocí ultrafialového záření ke generování ozonu. Pro tuto metodu se používají UV lampy. Díky snadné regulaci rychlosti produkce ozonu pomocí UV lampy je vhodný pro výrobu ozonu v malém množství. Fotochemická metoda je vhodná pro laboratorní účely a odstraňování zápachu. V porovnání s korónovou metodou je tato metoda příliš drahá. [7] [9]

1.3 Ozon v zemské atmosféře

Ozon se v atmosféře vytváří v několikastupňových chemických procesech. Ve stratosféře chemický proces začíná molekulou kyslíku. Ve troposféře je ozon tvořen skupinou chemických reakcí, které zahrnují přirozeně se vyskytující plyny a další znečišťující látky. [10]

1.3.1 Stratosférický ozon

Převážná část ozonu se nachází ve stratosféře. Tato vrstva je důležitá pro pohlcování nebezpečného ultrafialového záření dříve, než se dostane k zemskému povrchu. [1]
Stratosférický ozon se vytváří chemickými reakcemi zahrnujícími působení slunečního ultrafialového záření na molekuly kyslíku. Tato reakce probíhá ve dvou stupních. Napřed dodaná energie rozštěpí dvouatomovou molekulu kyslíku na dva atomy, které se ve druhém kroku spojí s další molekulou kyslíku a vznikne ozon. Tyto reakce se objevují vždy, když je přítomno sluneční ultrafialové záření ve stratosféře. Důležité reaktivní plyny, které poškozují ozon, jsou oxidy vodíku, dusíku, ale také ty, které obsahují chlor a brom. [10]

1.3.2 Troposférický ozon

Troposférický ozon vzniká ze znečištěného ovzduší. Hlavní příčinou znečištění napomáhající ke vzniku troposférického ozonu jsou oxidy dusíku a uhlovodíky. Primárním zdrojem znečišťujících plynů, které vedou k tvorbě troposférického ozonu, je především spalování fosilních paliv. [10] V přízemní vrstvě atmosféry může ozon při zvýšené koncentraci nepříznivě působit na živé organismy a materiály, jako jsou např. textilie a kůže. [1]

1.4 Použití ozonu

Ozon je specifický svými dezinfekčními vlastnostmi, proto je po mnoho let využíván k úpravě bazénové vody, likvidaci bakterií a plísní. Tento plyn dokáže likvidovat patogenní mikroorganismy, které jsou odolné proti chlorovým přípravkům. Ozon nachází své uplatnění především ve zdravotnictví, potravinářském a textilním průmyslu. V této části práce jsou uvedeny příklady jeho použití. [11]

Úprava bazénové vody

Ošetření bazénové vody pomocí ozonu je účinnou a ekologickou variantou chloru. Především omezuje růst řas, odstraňuje nepříjemné zápachy způsobené sloučeninami chloru a dokáže zvýšit průzračnost vody. Pozitivním účinkem bazénové vody po úpravě ozonem je prokrvení pokožky a zlepšení dalších kožních onemocnění. Při dlouhodobém působení ozonu pro ošetření bazénové vody nebyly zjištěny žádné negativní vlastnosti. [12]

Zdravotnictví

Historie ozonu v lékařství pochází od roku 1900. V roce 1902 napsal J. H. Clarke publikaci o úspěšném použití ozonu při léčbě cukrovky, chřipky a chudokrevnosti. Časem se začaly objevovat další publikace o úspěšném používání ozonu při léčbě různých nemocí. Dr. J. Hansler v roce 1957 uskutečnil výrobu generátorů ozonu pro medicínské aplikace v Německu. [13]

V lékařství se využívá především k léčbě poruch prokrvení, bakteriálních onemocnění a k aktivaci imunitního systému. Současně je nezbytné ozonem chránit a ošetřovat prostory, kde je zvýšené riziko přenosu infekcí. Těmito prostory mohou být operační sály, lékařské čekárny a veterinární ordinace, ale i dětské domovy. Ozon také nachází své uplatnění ve stomatologii. [13] [14]

Potravinářství

V potravinářském průmyslu se ozon používá k dezinfekci provozoven a ke konzervaci povrchových potravinářských výrobků. Ozon dokáže účinně eliminovat bakterie, plísně a spoustu dalších mikroorganismů, které vznikají na povrchu produktů. Zároveň dokáže likvidovat nežádoucí pachy. [15]

Textilní průmysl

V současné době ozon nahrazuje mnoho používaných chemikálií. V textilním průmyslu se používá k bělení textilií, protože tento plyn dokáže pronikat do hloubky pórů u materiálů. Ozon se také používá v prádelnách. Voda s rozpuštěným ozonem má výbornou schopnost čistícího účinku u jednobarevných textilií, např. v nemocnicích, hotelech a věznicích. Výhodou praní s použitím ozonu je zejména snížení nákladů a spotřeby chemie. Zároveň má schopnost eliminovat všechny bakterie a viry. U tohoto druhu praní nejsou zapotřebí žádné úpravy prádelních strojů. [11] [15]

2 Degradace materiálů

Odolnost vůči vlivům vnějšího prostředí je jednou z nejdůležitějších vlastností polymerních materiálů, která ovlivňuje životnost výrobků. U polymerů dochází k fyzikálním a chemickým změnám vlivem ozonu, tepla, mechanického namáhání či nečistot v atmosféře. V jejich důsledku dochází k nevratným negativním změnám vzhledu, fyzikálních, chemických a mechanických vlastností. [16] [17]

Degradace se označuje jako souhrn rozkladných reakcí. Břetislav Doležel ve své publikaci [18] uvádí, že pojem degradace nelze jednoznačně ztotožnit s pojmem zhoršování užitných vlastností, protože některé degradační pochody jsou využívány ke zlepšení těchto vlastností, jako je např. modifikace polymerů.

V knize [19] je uvedeno, že degradace probíhá ve dvou základních etapách. Tedy, při samotném zpracování a při závěrečné fázi užívání produktu:

- První fází je při výrobě. Při zpracovatelském procesu, jako je např. lisování, jsou materiály namáhány vysokou teplotou za přítomnosti vzduchu.
- Druhá fáze probíhá při používání již hotového produktu, který je během užívání vystaven účinkem vzduchu a světla.

2.1 Druhy degradací

Existuje několik způsobů, jak degradace probíhá. Odolnost polymeru proti degradaci je ovlivněna chemickým složením polymeru.

2.1.1 Fotochemická degradace

Odolnost makromolekulárních látek proti působení světla je důležitým činitelem, který ovlivňuje použitelnost v průmyslových odvětvích. Řada polymerů, které jsou uchovávány v temnu, za běžných podmínek nemění po dlouhou dobu své vlastnosti, ale vlivem světla dochází k jejich ztrátě. Světelné záření může vyvolat štěpení chemických vazeb. [18]

2.1.2 Termická degradace

Teplota má na makromolekulární látky fyzikální a chemické účinky. Fyzikální účinky nemění molekulární strukturu polymeru, ale projevují se pouze změnou polohy nebo částí makromolekul. Chemické účinky teploty mají za následek porušení chemických vazeb. K porušení makromolekuly dochází v místě nejslabší vazby. Pokud teplota stoupá, dochází ke zvyšování stupně degradace. [18]

2.1.3 Biologická degradace

Textilní výrobky z přírodních a syntetických vláken jsou vystaveny různým klimatickým podmínkám a přicházejí při skladování do styku s vlhkostí a nejrůznějšími organismy. Z nižších organismů se jedná o bakterie a plísně, které napadají textilní vlákna. Z vyšších organismů se jedná především o hmyz, rostliny a hlodavce. [20]

Textilní výrobky, jako jsou např. rybářské sítě a plachtoviny, přicházejí do přímého styku s vodou. Kvůli tomu mohou být poškozeny vodními organismy, bakteriemi i plísněmi. Proti mikrobiologickému poškození především u plachtovin byly používány impregnace s obsahem tuků a vosků. Tímto se dosáhlo u tkaniny nepromokavosti a ochrany proti mikroorganismům. [20]

2.1.4 Chemická degradace

K nejzávažnějšímu znehodnocení polymerních materiálů dochází při chemické reakci polymeru s prostředím, jako je sluneční záření, ozon či různé chemikálie. Chemická degradace způsobuje krácení polymerních řetězců. Už u malého stupně chemické přeměny dochází k výrazným změnám vlastností při chemické degradaci. Rychlost chemické degradace roste s teplotou. [17] [18]

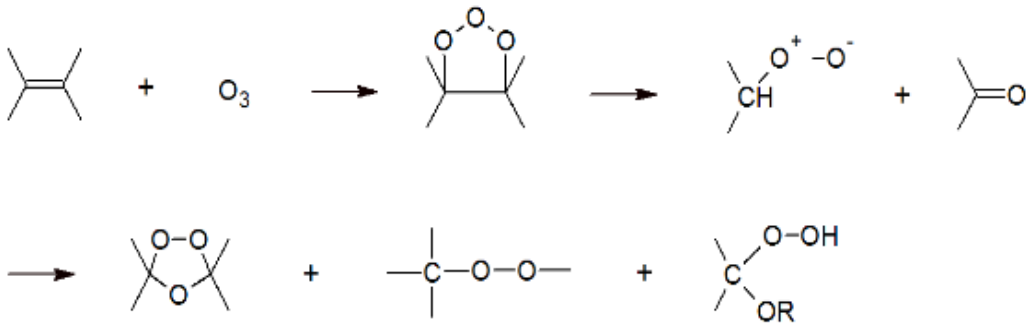
2.1.5 Radiochemická degradace

Při radiochemické degradaci polymeru dochází ke štěpení vazeb a postupnému snižování relativní molekulové hmotnosti. Nejčastějším projevem této degradace je změna barvy. Často dochází k tmavnutí až zčernání polymeru. Při ozařování vznikají u některých polymerů trhliny. Také dochází k mechanickým změnám vlastností. Pevnost v tahu se již při malých dávkách záření poměrně rychle snižuje. Zároveň dochází i k poklesu tažnosti. [18]

2.2 Reakce polymerů s ozonem

Ozon velmi rychle napadá především nenasycené polymery, jako jsou zejména kaučuky či pryže, protože jejich dvojná vazba snadno reaguje s ozonem. U nenasycených polymerů, které jsou vystaveny působení ozonu, dochází ke štěpení řetězce nebo zesítění. Pokud není pryž mechanicky namáhána, vytvoří se na povrchu ozonizovaná vrstva, která zabraňuje dalšímu pronikání ozonu do hmoty. Tímto způsobem dochází ke zpomalení degradačních reakcí. Při mechanickém namáhání se na pryžích vytvářejí ozonové trhliny. [18]

Poměrně pomaleji ozon reaguje s nasycenými polymery. Nasycené uhlovodíkové polymery jsou proti působení ozonu při zemské koncentraci povrchu poměrně odolné. U nasycených polymerů vyvolává ozon podobnou degradaci jako kyslík, ale s rozdílem, že degradace probíhá rychleji. Na obrázku 2 je mechanismus degradace ozonu. [21]



Obr.2 Mechanismus degradace ozonu [21]

3 Klasická vlákna

Diplomová práce je orientována na textilie z vláken přírodních i syntetických. Z tohoto důvodu je tato kapitola věnována jejich základní charakteristice.

Vlákno se považuje za základní textilní surovinu pro výrobu textilního materiálu. Vlákna mohou být přírodního původu, nebo jsou vyráběna chemickou cestou.[22]

3.1 Přírodní vlákna

3.1.1 Bavlna

Z archeologických nálezů je bavlna známa z 3. a 4. tisíciletí před n. l. Do Evropy pronikla až v 18. století. Bavlna patří k nejdůležitějším přírodním vláknům. Jedná se o rostlinné vlákno, které se získává ze semen bavlníku. Vlákno bavlny je jednobuněčné. Charakteristickým znakem je jejich různá zralost. Označují se jako vlákna zralá, nezralá a mrtvá. Tato zralost se odráží na kvalitě a tloušťce sekundární stěny. Zralá vlákna mají sekundární stěnu dobře vyvinutou, ale u mrtvých vláken je jejich stěna velmi tenká. U mrtvých a méně zralých vláken dochází ke zhoršení mechanických vlastností a k menšímu lesku. [23]

Bavlněná vlákna jsou přírodně bílá nebo lehce nažloutlá. Kvalitní vlákna mají vysoký lesk. Ve vlhkém prostředí dokáže bavlna pojmout až 23 % vlhkosti. [24] Pevnost bavlněných vláken je v rozmezí 2,7 – 4,3 cN/dtex. [25]

Vladimír Hladík ve své publikaci [23] uvádí, že bavlněné vlákno při teplotě nad 200°C začíná hnědnout a při vyšších teplotách zuhelnatí. Zuhelnatění nastává i při 120°C, pokud teplo působí několik měsíců.

Díky svým vlastnostem má bavlna široké využití. Používá se zejména pro pracovní obleky, ložní prádlo, ale také záclony. Zároveň se používá také ve zdravotnictví jako obvazový materiál či vata. [24]

3.1.2 Vlna

Vlněná vlákna se řadí mezi nejstarší suroviny. Vlna je živočišné vlákno ze srsti ovcí. První ovce se chovaly v Malé Asii. [24]

Vlna je charakteristická svým šupinkovitým povrchem. Vlnu je možné za vlhka natáhnout až o 70%. Po uvolnění tahu je schopna se vrátit zpět do své původní polohy. Vlněná vlákna se rozeznávají podle různých hledisek. Je to např. plemenná příslušnost, délka vlasu, stáří a rasa ovcí. Zároveň to mohou být rozhodující faktory kvality vlny. Při působení teploty dochází při překročení 150°C k vážnému poškození vlny. [23] Pevnost vlněných vláken je v rozmezí 1 – 2 cN/dtex. [25]

Vlnu je možné zhotovit samostatně, nebo ve směsích s přírodními či chemickými vlákny. Používá se pro pánské oblekoviny, šatovky, šály a svetry. Své uplatnění nachází i v bytovém textilu, jako jsou potahové a dekorační tkaniny, koberce a přikrývky. [24]

3.2 Chemická vlákna

Rozvoj výroby vláken chemickou cestou spadá do počátku 20. století. Nejdříve se vyráběla vlákna z přírodních polymerů a později se začala vyrábět i vlákna syntetická. Tato práce je zaměřena na vlákna ze syntetických polymerů. [22]

3.2.1 Polyamidová vlákna

Polyamidová vlákna vznikla ve 30. letech našeho století. Mezi nejrozšířenější polyamidová vlákna se řadí polyamid 6 a polyamid 6.6.[26]

Polyamidová vlákna se vyznačují vysokou pevností, velkou odolností vůči oděru, ohybu a dobrou tvarovou stálostí. Zápornou vlastností je malá navlhavost, sklon ke vzniku elektrostatického náboje a méně příjemný omak. Zpravidla se antistaticky upravují. Teplota tání je 215 - 260°C. Teplota měknutí je 170 - 235°C. [22]

Polyamidová vlákna se používají pro pracovní a ochranné oděvy. Z těchto vláken se vyrábí velké množství sportovního oblečení. V domácnosti se polyamidová vlákna používají na koberce a přikrývky. [24]

3.2.2 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna vznikla ve 40. letech našeho století a vzhledem ke svým vlastnostem patří k nejdůležitějším druhům syntetických vláken. [26]

Polyesterová vlákna se vyznačují značnou odolností vůči oděru, výbornou odolností vůči působení světla a velkou elastičností. Vlákna se také vyznačují vysokou pevností, a to 4,1 – 4,5 cN/dtex. Teplota tání je vysoká, a to v rozmezí 248 až 256°C. Teplota měknutí 230 – 250 °C. Vyznačují se vysokou žmolkovitostí. Polyesterová vlákna mají nízkou navlhavost a sklon ke vzniku elektrostatického náboje. [25] [26]

Polyesterová vlákna se používají na výrobu oděvních textilií, tak i v bytovém textilu a v technickém úseku. [24]

3.2.3 Polyakrylonitrilová vlákna

Polyakrylonitrilová vlákna vznikla ve 40. letech našeho století. [26]

Polyakrylonitrilová vlákna jsou odolná vůči světlu a povětrnostním vlivům, proti zvýšeným teplotám a proti opakovanému ohybu. Také jsou pevná, nemačkavá, odolávají bakteriím a mají dobrou chemickou odolnost. Nevýhodou těchto vláken je nižší odolnost otěru. [27] Pevnost vláken je 2 – 2,9 cN/dtex. [25] Tento polymer se při rostoucí teplotě netaví, ale při 350 °C podléhá termickému rozkladu. [23]

Tato vlákna se používají k výrobě vrchního ošacení a bytových textilií. Nejvhodněji se však uplatňují tam, kde se požaduje odolnost textilií proti stárnutí a povětrnostním podmínkám. [27]

3.2.4 Polypropylenová vlákna

Tato polypropylenová vlákna jsou nejmladším zástupcem syntetických vláken. [24]

Polypropylenová vlákna jsou charakteristická vysokou odolností vůči oděru a dobrou odolností proti bakteriím. Vlákna mají nižší tvarovou stálost a sklon k snadnému pomačkání. Teplota měknutí je nízká, a to 140°C. Teplota tání se pohybuje v rozmezí 165 – 175 °C. Vlákna mají obtížnou barvitelnost, menší stálost na světle a obtížnější chemické čištění. [22] [27] Pevnost je 2,7 - 6,3 cN/dtex. [25]

Tato vlákna se používají především u bytových textilií, jako jsou koberce a dekorační textilie. Dále se používají na ochranné obleky, lana, filtrační a elektroizolační materiály. [24]

3.2.5 Vlákna polyvinylchloridová

Polymer s vysokou tuhostí používaný při výrobě gramofonových desek a dalších konstrukčních materiálů. Pevnost je 1 až 4 cN/dtex. Teplota tání 160 až 185 °C. PVC má výbornou chemickou odolnost. [25] Tato vlákna mají vysokou srážlivost a špatnou barvitelnost. [24]

Polyvinylchloridová vlákna mají široké využití. Používají se na sportovní ošacení, ochranné oděvy, podšívkoviny a pro výrobu dekoračních látek. V technickém sektoru se tato vlákna používají na výrobu filtrů a izolačního materiálu. [24]

4 Nanovlákna

Je mnoho publikací formulující pojem nanovlákno. Některé zdroje uvádí, že nanovlákna jsou vlákna o průměru menším než 500nm. [28]. V jiné publikaci se uvádí, že se jedná o vlákna s průměrem menším než 100 nm. [29]. V literatuře se však nejčastěji vyskytuje, že jako nanovlákna jsou označována vlákna, jejichž průměr je menší než 1μm . [30] Nanovlákna se téměř nikdy nevyskytují samostatně, ale jsou uspořádána do vyšších strukturních celků, například v podobě nanovlákenných vrstev. Důvodem je, že lze s nimi reálně manipulovat. [31]

Díky své velikosti mají tato vlákna jedinečné vlastnosti. Mezi jejich unikátní vlastnosti se řadí velký měrný povrch, nízká hmotnost, malá velikost pórů a výborné mechanické vlastnosti. [28] Díky těmto výjimečným vlastnostem jsou vhodnými kandidáty pro mnoho důležitých aplikací. [32]

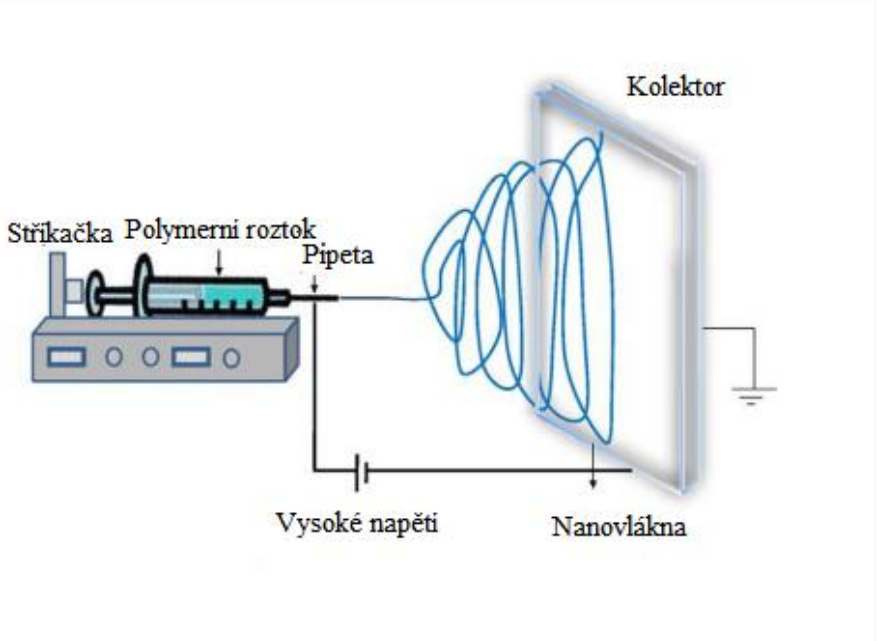
4.1 Výrobní technologie

Pro výrobu nanovlákenných materiálů se využívá celá řada polymerů. Nanovlákna lze získávat různými způsoby. Nejčastěji používaným způsobem je elektrostatické zvlákňování.

4.1.1 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování (electrospinning) je způsob výroby za použití elektrostatických sil při výrobě jemných vláken z polymerních roztoků nebo taveniny. Polymery ve formě roztoku jsou častěji zvlákňovány, protože vyšší viskozita taveniny neumožňuje vytvářet dostatečně jemná vlákna. Nanovlákna vyráběná touto metodou mají řadu nenahraditelných vlastností, které je činí vhodnými kandidáty pro širokou škálu aplikací, jako vysoce účinné filtry, separační membrány či tkáňové inženýrství. [32]

Princip této technologie je znázorněn na obrázku 3. Elektroda vysokého napětí je spojena s polymerním roztokem. Roztok je následně vytlačen z trysky pomocí dávkovacího zařízení. Pomocí elektrostatického pole dochází k vytažení vlákenného útvaru k opačné elektrodě a dochází k jejich rozštěpení na jemná vlákna. [33]



Obr.3 Princip metody electrospinningu [34]

4.2 Aplikace nanovláken

Nanovlákna nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích, a to díky jejich jedinečným vlastnostem. Poměrně často se stávají součástí materiálů, které jsou integrovány do konečných výrobků. [28]

Akustika

Nanovlákna jsou vnímána jako dobrý izolační materiál. Pomáhají zlepšit akustickou izolaci konečných výrobků zvýšením koeficientu zvukové absorbce. Vývoj technologie pomohl ke snížení nákladů na začlenění nanovláken do výrobků a zlepšení vlastností a kvality nanovlákenné vrstvy. [28]

Zdravotnictví

Nanovlákna lze použít v oblasti zdravotnictví. Do nanovlákenné struktury lze přidat antibakteriální materiál či léky. Nanovlákna můžeme použít k hojení ran, kdy rána může být pokryta nanovlákennou vrstvou nebo ji vpravit na jiné nosiče. Dále je možné využít nanovlákna pro distribuci léčiv, kdy jsou léky vloženy do nanovlákenné vrstvy různými technikami. Lze je využít na ochranné oděvy, kdy mají hydrofobní

nanovlákennou vrstvu (např. polyuretan) a jsou funkční bariéra proti průniku mikroorganizmů. [28]

Experimentální část

Experimentální část je zaměřena na zkoumání vlivu působení ozonu na textilní materiály. Účelem je porovnat standardní vlákna s vlákny vlivem působení ozonu. Pro experiment byla použita přírodní, syntetická vlákna a nanovlákenné vrstvy.

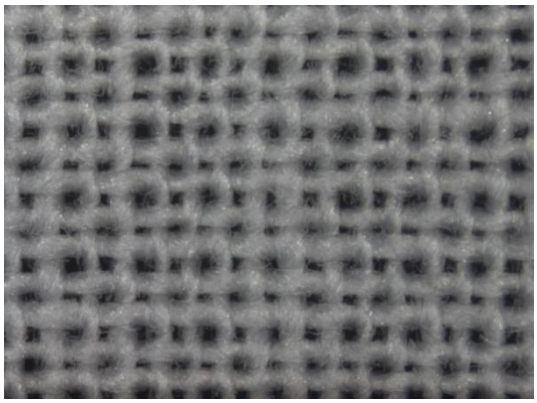
5 Testované materiály

Pro studii diplomové práce byl zvolen soubor deseti vzorků, z nichž sedm vzorků je klasických vláken a tři nanovlákenné vrstvy.

5.1 Tkaniny

Bavlna

Vazba: plátnová
Tloušťka: 0,30 mm
Dostava osnovy: 320 nití/10cm
Dostava útku: 260 nití/10cm
Plošná hmotnost: 147 g/m^2



Obr. 4 Bavlna

Polyester

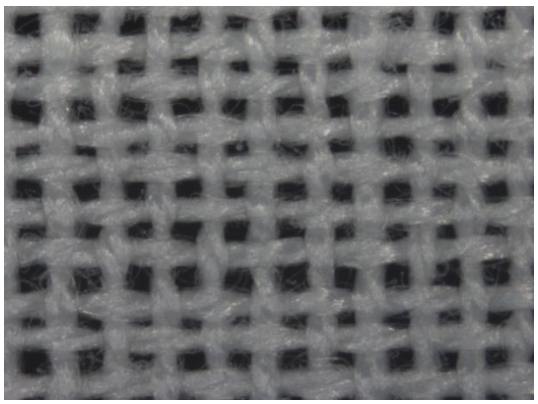
Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,25 mm

Dostava osnovy: 230 nití/10cm

Dostava útku: 180 nití/10cm

Plošná hmotnost: 216 g/m^2



Obr. 5 Polyester

Polyamid

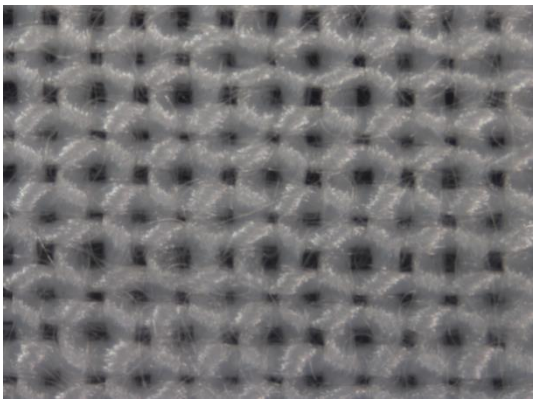
Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,28 mm

Dostava osnovy: 210 nití/10cm

Dostava útku: 190 nití/10cm

Plošná hmotnost: 152 g/m^2



Obr. 6 Polyamid

Polypropylen

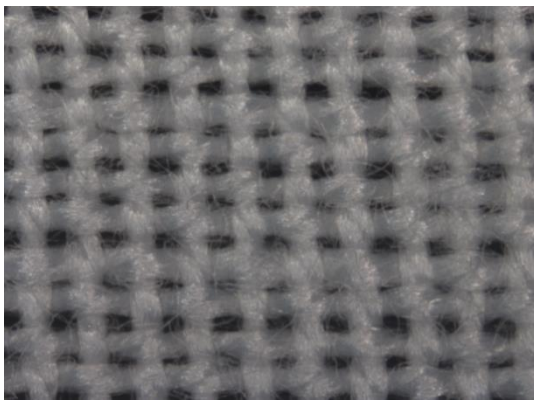
Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,33 mm

Dostava osnovy: 230 nití/10cm

Dostava útku: 170 nití/10cm

Plošná hmotnost: 153 g/m^2



Obr. 7 Polypropylen

Vlna

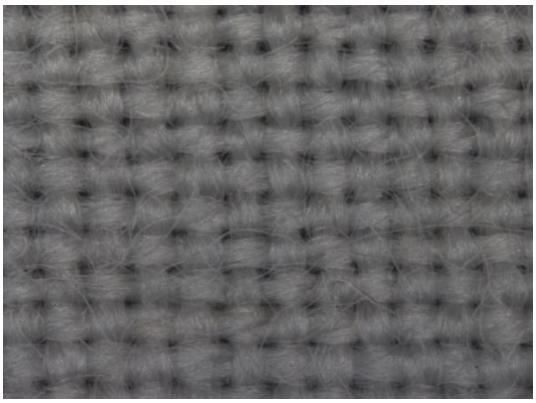
Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,29 mm

Dostava osnovy: 250 nití/10cm

Dostava útku: 200 nití/10cm

Plošná hmotnost: 190 g/m^2



Obr. 8 Vlna

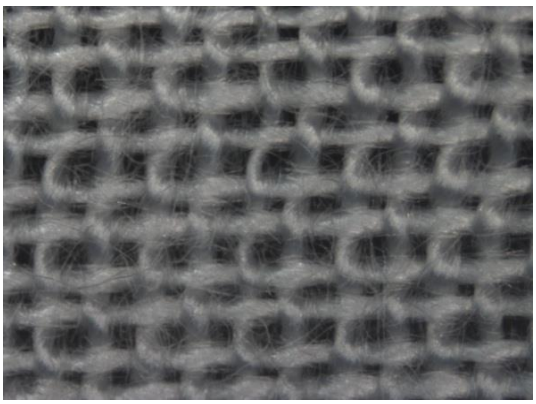
Polyvinylchlorid

Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,25 mm

Dostava osnovy: 210 nití/10cm

Dostava útku: 180 nití/10cm



Obr. 9 Polyvinylchlorid

Plošná hmotnost: 148 g/m^2

Polyakrylonitril

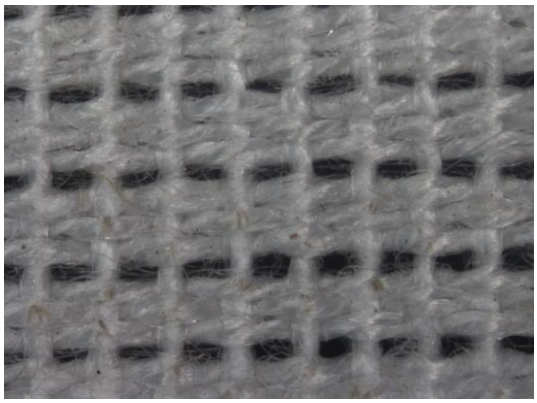
Vazba: plátnová

Tloušťka: 0,43 mm

Dostava osnovy: 210 nití/10cm

Dostava útku: 140 nití/10cm

Plošná hmotnost: 194 g/m^2



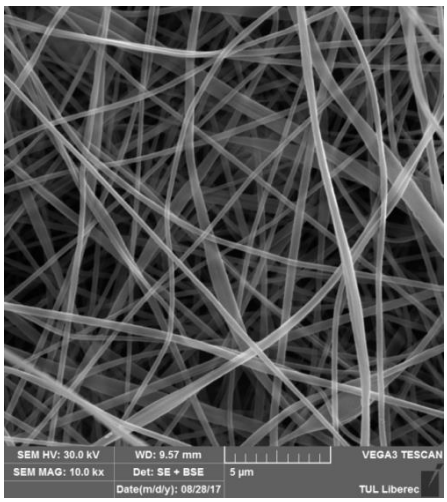
Obr. 10 Polyakrylonitril

5.2 Nanovlákenné vrstvy

Pro nanovlákenné vrstvy byly pořízeny snímky z elektronové mikroskopie. Následně byly zjišťovány jejich průměrné hodnoty. Pro toto měření byl použit program ImageJ. Celkem bylo spočítáno 100 průměrů vláken a byly zjištěny jejich průměrné, minimální a maximální hodnoty.

Nejmenší průměr byl zjištěn u nanovlákenné vrstvy PA6, který je 0,14 μm, viz tabulka 3. Největší průměr byl prokázán u nanovlákenné vrstvy PU z tabulky 2 a to 0,37 μm.

Nanovlákenná vrstva polyakrylonitrilu

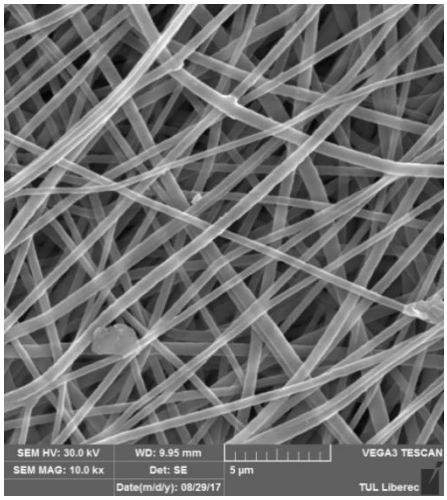


Obr. 11 SEM nanovlákenné vrstvy PAN

Tab.č. 1 Průměrné hodnoty nanovlákenné vrstvy PAN

Vzorek	Průměr vláken [μm]	s[μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
PAN	0,26	0,08	0,15	0,49

Nanovlákenná vrstva polyuretanu

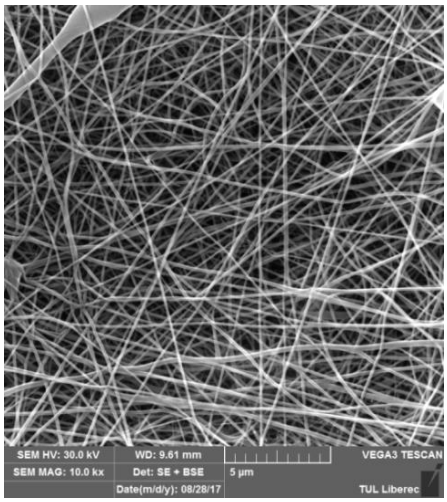


Obr. 12 SEM nanovlákenná vrstvy PU

Tab.č.2 Průměrné hodnoty nanovlákenné vrstvy PU

Vzorek	Průměr vláken [µm]	s [µm]	Minimum [µm]	Maximum [µm]
PU	0,37	0,06	0,23	0,47

Nanovlákenná vrstva PA6



Obr. 13 SEM nanovlákenná vrstvy PA6

Tab.č.3 Průměrné hodnoty nanovlákenné vrstvy PA6

Vzorek	Průměr vláken [µm]	s [µm]	Minimum [µm]	Maximum [µm]
PA6	0,14	0,03	0,08	0,22

6 Použité přístroje

6.1 Přístroj TRIOTECH GO 5LAB-K

Generátor ozonu Go 5LAB-K slouží k výrobě ozonu pro laboratorní účely. Tento ozonizátor tvoří blok generující ozon, vysokonapěťový zdroj s regulací a kompresor odolný ozonu, který může fungovat jako kompresor nebo vývěva. Veškerá zařízení jsou umístěna v hliníkové přístrojové skříni. V pravé části skříně se nachází kompresor s odpruženým rámem. V levé části se nachází vysokonapěťový zdroj s regulací a generátor generující ozon, který je chlazen vzduchem ventilátoru. Ovládání a nastavení generátoru ozonu se provádí prostřednictvím potenciometru „nastavení výkonu“ a průtokoměru se škrtícím ventilem. [35]

Obr. 14 Generátor ozonu

Analyzátor koncentrace ozonu je určený pro měření koncentrace ozonu, viz obrázek 15.

Obr. 15 Analyzátor koncentrace ozonu TLF-2000

6.1.1 Průběh ozonizace

Účelem zkoumání pomocí ozonu bylo měření vlivu ozonu na textilní materiály v různých dobách působení. Pro tento experiment byl použit přístroj TRIOTECH GO 5LAB-K, který je zobrazen na obrázku 14. K tomuto měření bylo použito všech deset vzorků. Každý z nich byl proměřen pětkrát.

Přístroj byl nastaven:

- Koncentrace O_3 – 21,2 mg/l
- Průtok - 3 l/min kyslíku

Zkušební vzorky byly vloženy do suché testovací nádoby. Následně byl spuštěn přístroj, který začal vytvářet ozon. Zároveň byl sledován požadovaný čas. Po jeho uplynutí byl přístroj vypnut. Testované materiály zůstaly v uzavřené nádobě, dokud analyzátor koncentrace ozonu neklesl na nulu.

6.2 Testování mechanických vlastností

Textilní materiály bývají vystaveny častému namáhání, proto musí mít určité vlastnosti jako je např. pevnost. Předmětem řešení je sledování mechanických vlastností u materiálů a porovnat vzorky před úpravou a po úpravě ozonu na trhacím přístroji. Na všech vzorcích tkanin byla měřena maximální dosažená síla, která je vyjádřená v N.

Pro měření pevnosti byly použity dva trhací přístroje. Trhací přístroj TIRA test 2300 byl použit pro testování mechanických vlastností tkanin a trhací přístroj LabTest 4.050 byl určen pro hodnocení mechanických vlastností nanovlákenných vrstev.

6.2.1 Měřicí přístroj TIRA test 2300

Na přístroji TIRA test 2300 (viz obrázek 16) byla sledována pevnost. U těchto materiálů byly zkoumány vlastnosti jednotlivých vzorků před vystavením ozonu a následně po působení ozonu v časech 15, 30, 60, 120, 180 a 240 minut. Z každé textilie bylo připraveno celkem 5 vzorků o rozměrech 20 x 200 mm. Zkušební vzorek byl upnut do čelistí, upínací délka byla 100mm a rychlost posuvu 50 mm/min. Testovací přístroj byl připojen k počítači s programem LabNET pro vyhodnocování zkoušky.

Obr. 16 Přístroj TIRA test 2300

6.2.2 Měřicí přístroj LabTest 4.050

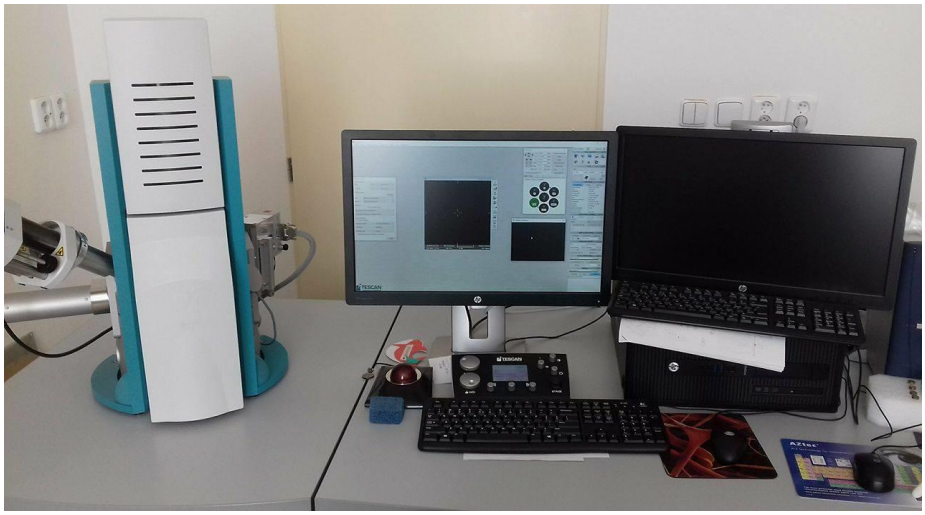
Nanovlákenné vrstvy byly měřeny na zkušebním přístroji LabTest 4.050, který je zobrazen na obrázku 17. Z každé vrstvy bylo připraveno 5 vzorků o rozměrech 10 x 25 mm. Rychlost posuvu byla zvolena 5mm/min a upínací délka 10mm. Zkušební přístroj byl připojen k počítači s nainstalovaným programem LabTest v.3 od firmy LaborTech. U těchto materiálů byla měřena pevnost.

Obr. 17 Přístroj LabTest 4.050

6.3 Skenovací elektronový mikroskop

Skenovací elektronový mikroskop poprvé sestrojil Vladimír Zworykin. Elektronový mikroskop se používá pro několikanásobné zvětšení zkoumaného materiálu pro zobrazení povrchových detailů buněk a dalších struktur. Principem testovaného materiálu spočívá v tom, že se pokryje tenkou vrstvou těžkého kovu a následně po něm přejíždí svazek elektronů. Tyto elektronové mikroskopy dosahují zvětšení v rozmezí 20 až 50 000 krát. [36]

SEM analýza byla pořízena pomocí elektronového mikroskopu VEGA3 LM od firmy Tescan, který je zobrazen na obrázku 18.



Obr. 18 Elektronový mikroskop VEGA3

6.5 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

Infračervená spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda, která slouží k identifikaci různých směsí a strukturní charakterizaci daného materiálu. Metoda měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce zkoumaným vzorkem. Pomocí této metody lze získat hodnoty vibrační energie. Na tuto energii má vliv pevnost chemických vazeb, molekulová geometrie a hmotnost jader. Výhodou této techniky je možné měření všech skupenských stavech. Výstupem metody je infračervené spektrum, tedy grafické znázornění závislosti absorbance na vlnočtu. [37]

Na obrázku 19 je zobrazen přístroj Nicolet, který byl použit pro testování klasických vláken a nanovlákenných vrstev.

Obr. 19 Nicolet IZ10 [38]

6.6 Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)

Diferenční skenovací kalorimetrie je termická metoda, která lineárně ohřívá nebo ochlazuje materiál. Tato metoda měří rozdíl teplot nebo energii, kterou je potřeba dodat. Výhodou této metody je, že k testování je nutné pouze malé množství vzorku a to 3-10mg. Kalibrace teploty se provádí se známou teplotou tání. Jako reference se používají různé druhy pánviček. DSC s tepelným tokem testuje teplotní změny mezi materiálem a referencí. Výsledkem metody DSC je závislost tepelného toku na teplotě. [39] Především se používá pro určení teploty tání, skelného přechodu, krystalické struktury a tepelného zabarvení. Výstupem měření je termogram. [40]

Analýza vzorků metodou diferenční skenovací kalorimetrie byla provedena na přístroji Perkin Elmer DSC 6, který je zobrazen na obrázku 17. Přístroj pracuje v rozsahu teplot od -120 °C do 450 °C.

Obr. 20 Diferenční skenovací kalorimetrie Perkin Elmer

7 Vyhodnocení a výsledky jednotlivých materiálů

Testování materiálů pomocí ozonu probíhalo v časech 15, 30, 60, 120, 180 až 240minut. Všechna klasická vlákna zůstala bez viditelných změn. Zato nanovlákenné vrstvy se prokázaly nízkou odolností vůči ozonu. Nejodolnější nanovlákennou vrstvou se prokázal PAN. Nanovlákenné vrstvy PA6 a polyuretan se po 120 minutách působení O_3 rozpadly.

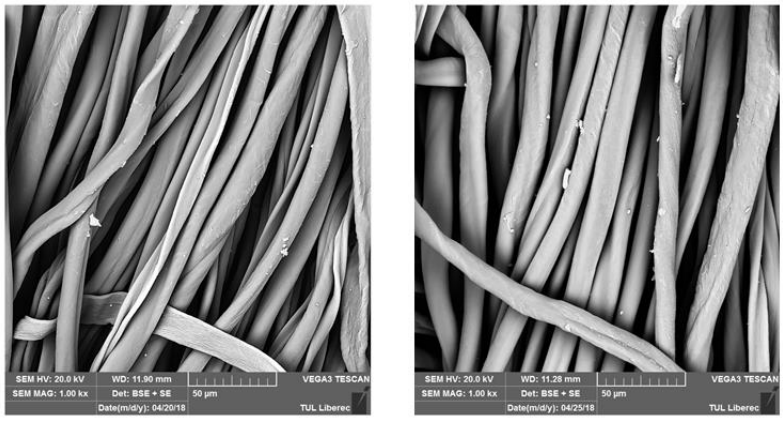
Pro zjišťování vlastností byly vzorky podrobeny dalšímu testování. Měření probíhalo na všech vzorcích před aplikací ozonu a po ozonu. Nejdříve byly pořízeny snímky z elektronové mikroskopie, na kterých se sledovaly morfologické změny po ozonu. Následně byla testována pevnost klasických vláken a nanovlákenných vrstev na trhacím přístroji. Pomocí metody FTIR byly sledovány chemické změny. Poslední metodou použitou pro testování byla termická analýza pomocí metody DSC.

7.1 Klasická vlákna

Bavlna

Obrázek 21 zachycuje bavlněná vlákna před a po působení ozonu. Tento snímek byl pořízen pomocí skenovací elektronové mikroskopie. Pomocí této metody nebyly prokázány žádné viditelné strukturální změny.

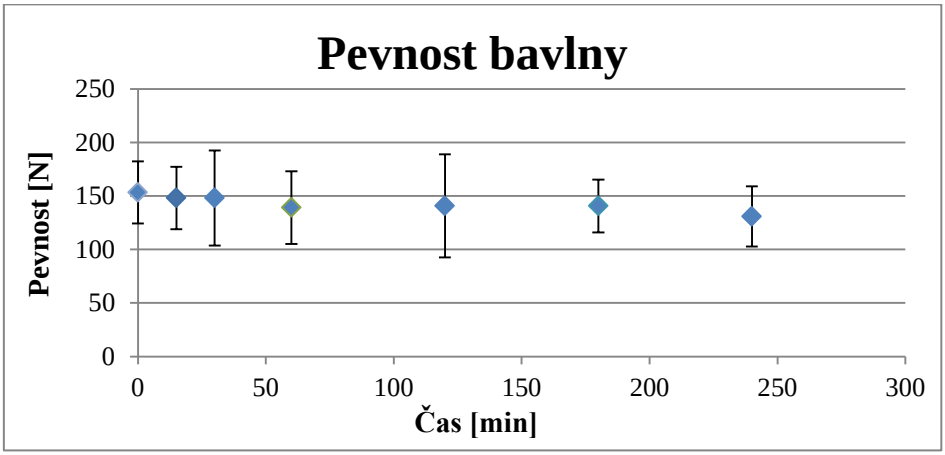
Před ozonem Po ozonu



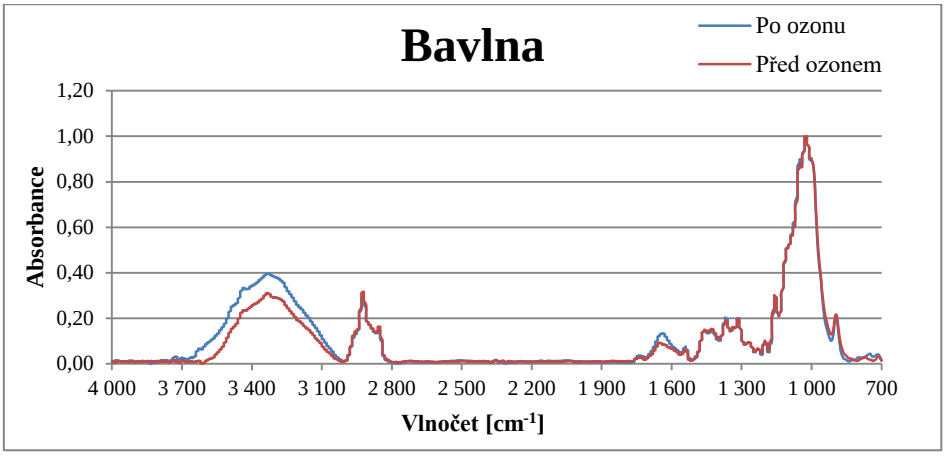
(a) (b)

Obr. 21 SEM bavlny
(a) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Graf na obrázku 22 znázorňuje průměrné hodnoty pevnosti bavlněné tkaniny v závislosti na různé době působení ozonu. Body v grafu nevykazují žádný trend a nelze tedy potvrdit, že zde existuje závislost mezi pevností a dobou působení ozonu. Chybové úsečky v grafu znázorňují variabilitu měření.



Obr. 22 Průměrné hodnoty pevnosti bavlněné tkaniny pro různé doby působení ozonu

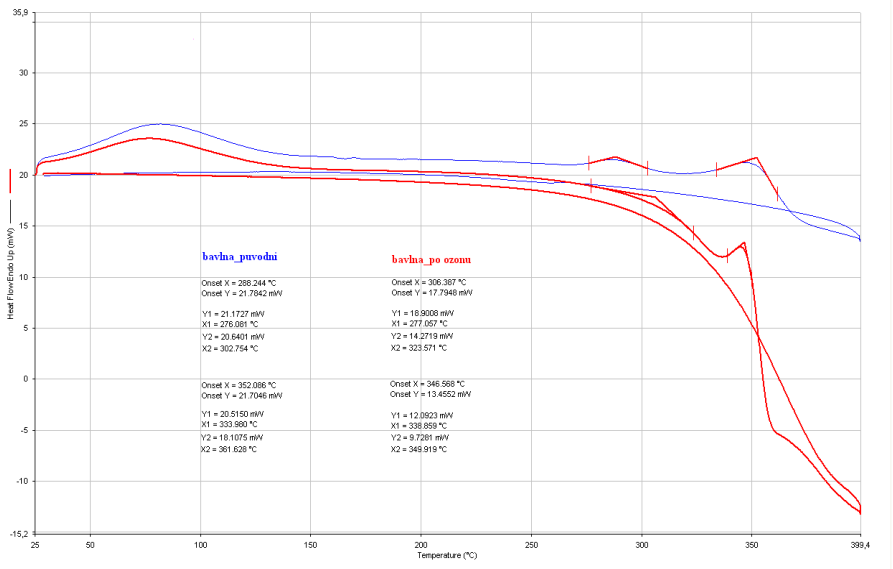


Obr. 23 FTIR bavlny před a po působení ozonu (240 minut)

Detekované změny (Obr. 23):

Vlnočet 3312 cm^{-1}: skupina vazeb O-H – po ozonu roste

Vlnočet 1644 cm^{-1}: skupina vazeb O-H – po ozonu roste



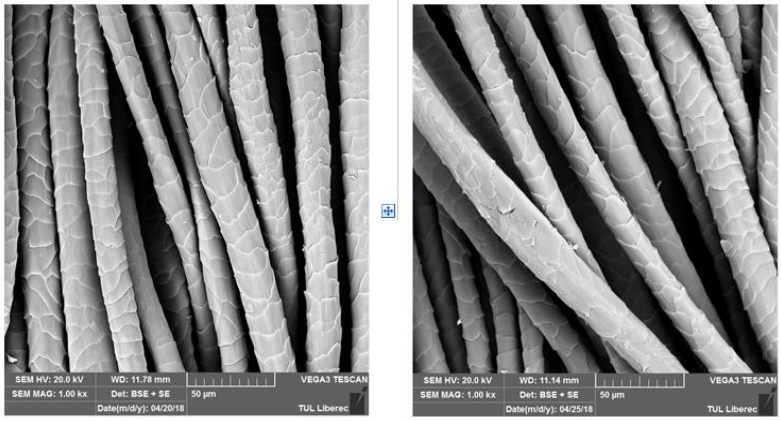
Obr. 24 DSC bavlny před a po působení ozonu (240 minut)

Na obrázku 24 dochází k výrazným změnám. Bavlna se začíná rozkládat při teplotě nad 300 °C a dochází k rychlému rozkladnému procesu. Zároveň dochází k uhelnatění a zkrácení polymeračního stupně. Bavlna se vlivem ozonu rozpadá rychleji. Podařilo se prokázat změny mezi bavlnou před ozonem a po působení ozonu pomocí metody DSC. Bavlněná tkanina se dá považovat za termicky nestabilní materiál.

Vlna

Obrázek 25 zachycuje vlněná vlákna původní a vlákna, která byla vystavena působení ozonu po dobu 240 minut. U šupinkovité struktury povrchu vlněných vláken dochází k jejich praskání.

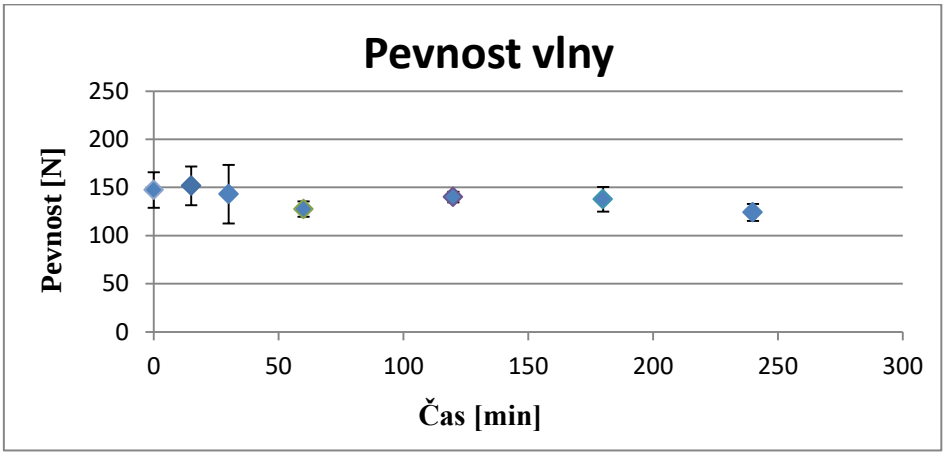
Před ozonem Po ozonu



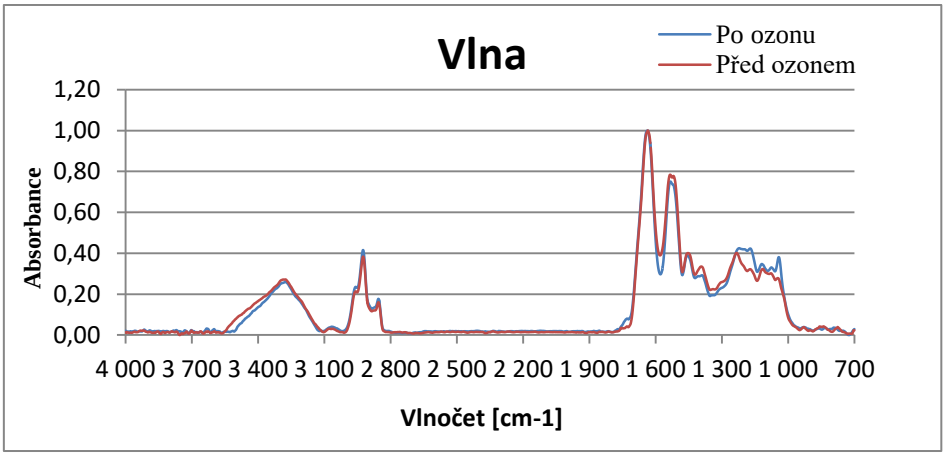
(a) (b)

Obr. 25 SEM vlny
(a) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Na obrázku 26 jsou znázorněné průměrné hodnoty pevnosti vlněné tkaniny v závislosti na čase. Z grafu je zřejmé, že ani při delším vystavení vzorků ozonu jejich pevnost neklesá.

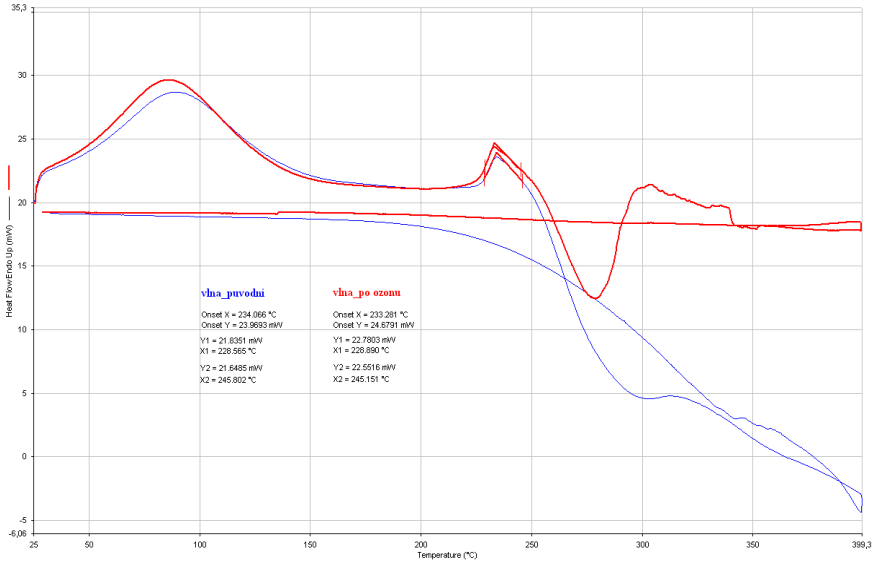


Obr. 26 Průměrné hodnoty pevnosti vlněné tkaniny pro různé doby působení ozonu



Obr. 27 FTIR vlny před a po působení ozonu (240 minut)

Pomocí metody FTIR se neprokázaly žádné chemické změny mezi vlnou před a po vystavení ozonu, viz obrázek 27.



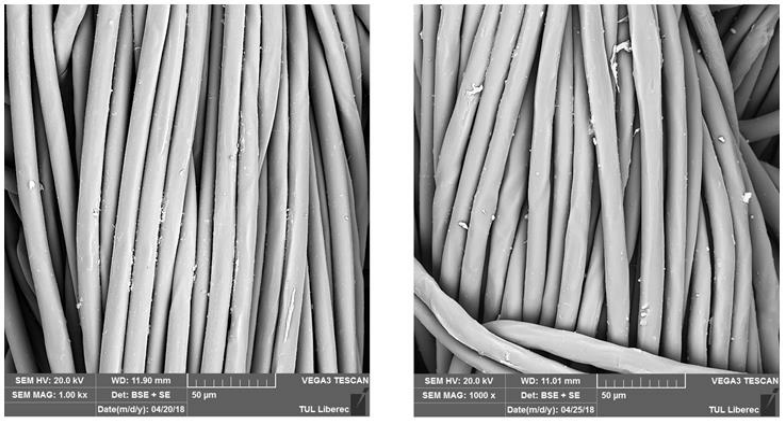
Obr. 28 DSC vlny před a po působení ozonu (240 minut)

Obrázek 28 poukazuje na rozdíly vlny před ozonem a po aplikaci ozonu. U původní vlny dochází k rychlému rozkladu vláken na rozdíl od vlněného vlákna po působení ozonu.

Polyester

Na obrázku 29 jsou zobrazena polyesterová vlákna před a po aplikaci ozonu. U polyesterových vláken po ozonu jsou na povrchu viditelné nepatrné změny v podobě nečistot.

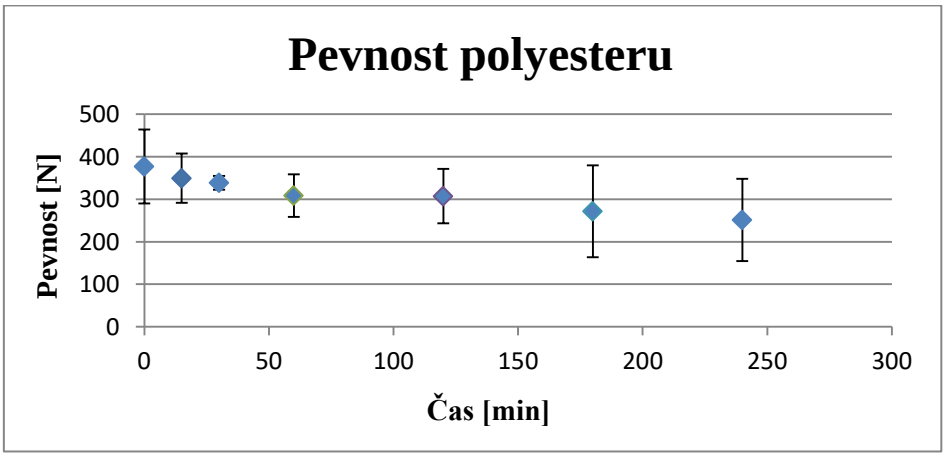
Před ozonem Po ozonu



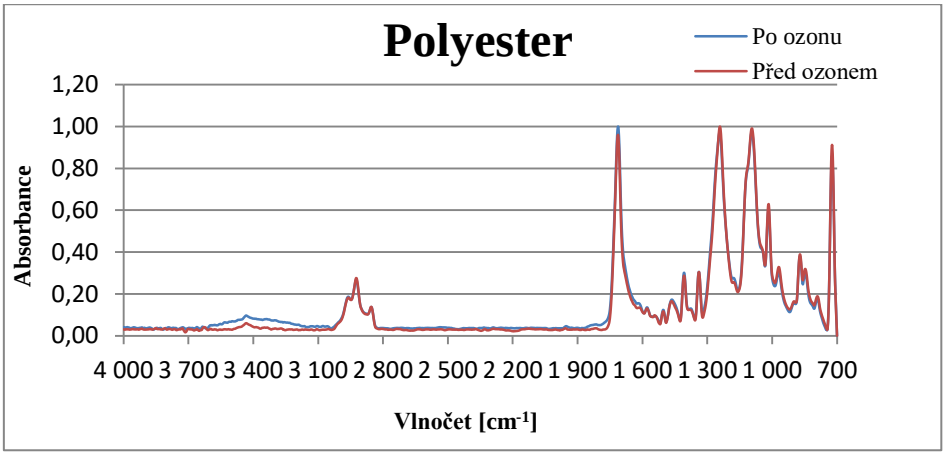
(a) (b)

Obr. 29 SEM polyesteru
(b) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Na obrázku 30 jsou znázorněné průměrné hodnoty pevnosti polyesterové tkaniny v závislosti na čase. Z grafu je zřejmé, že ani při delším vystavení vzorků ozonu nedochází k poklesu pevnosti.



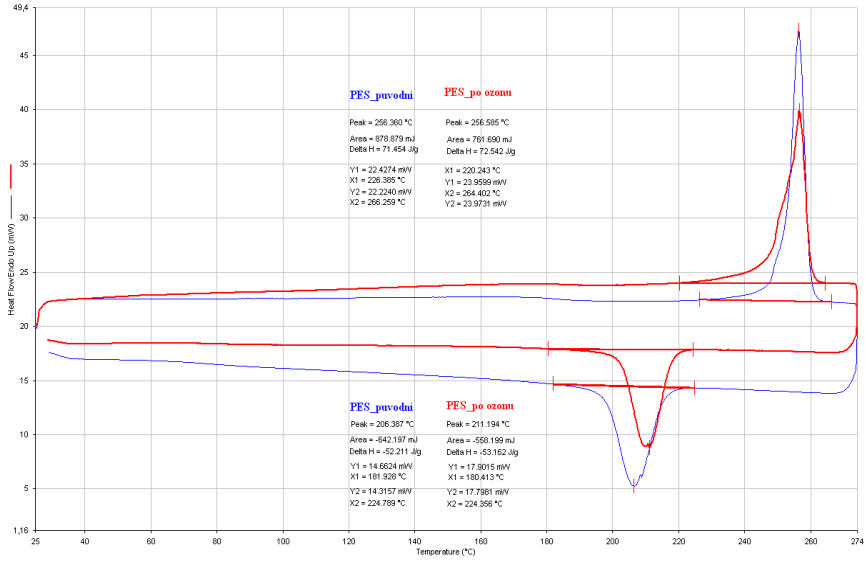
Obr. 30 Průměrné hodnoty pevnosti polyesterové tkaniny pro různé doby působení ozonu



Obr. 31 FTIR PES před a po působení ozonu (240 minut)

Detekované změny (Obr. 31):

Vlnočet 1714 cm^{-1}: skupina vazeb C=O – po ozonu roste

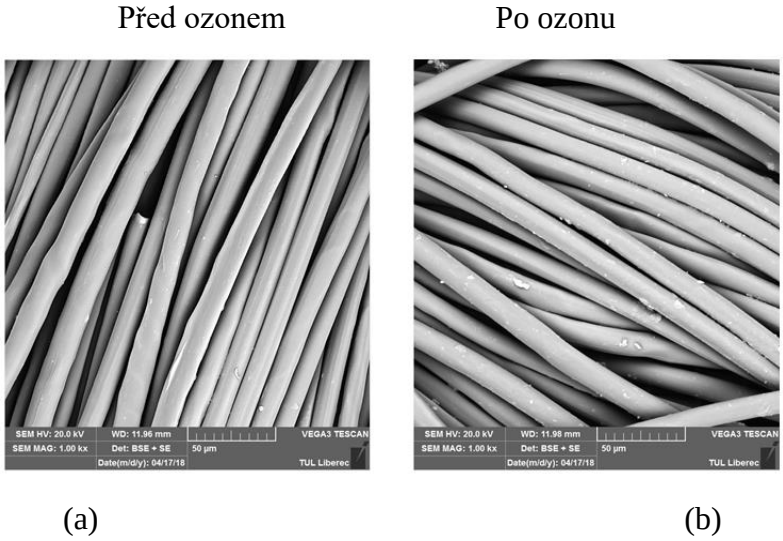


Obr. 32 DSC PES před a po působení ozonu (240 minut)

U polyesteru dochází k viditelným změnám, jak je vidět na obrázku 32. Při fázi chlazení dochází u původního polyesterového materiálu ke krystalizaci při teplotě 206°C. U polyesteru vlivem působení ozonu dochází ke krystalizaci při teplotě 211 °C.

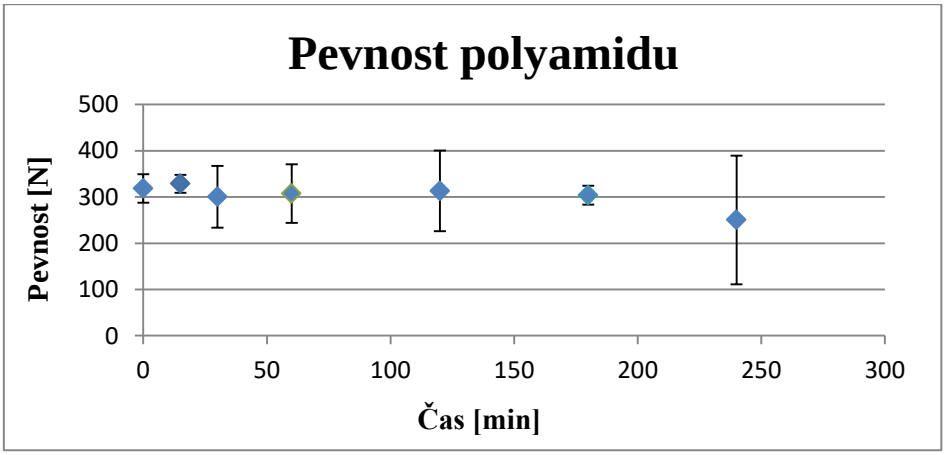
Polyamid

Na snímcích z elektronové mikroskopie nejsou viditelné žádné morfologické změny. Povrch polyamidových vláken je hladký a bez nečistot, viz obrázek 33.

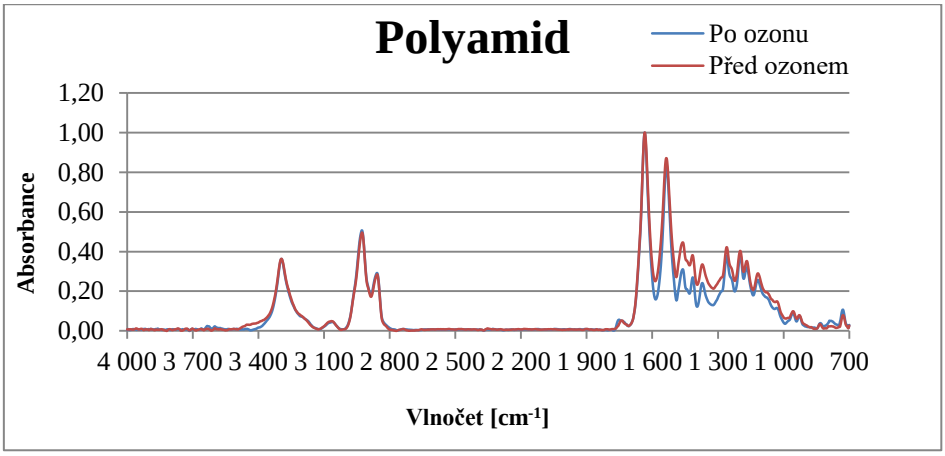


Obr. 33 SEM polyamidu
(c) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Obrázek 34 znázorňuje průměrné hodnoty pevnosti polyamidové tkaniny v závislosti na čase. Při delším vystavení materiálu ozonu nedochází k poklesu pevnosti.

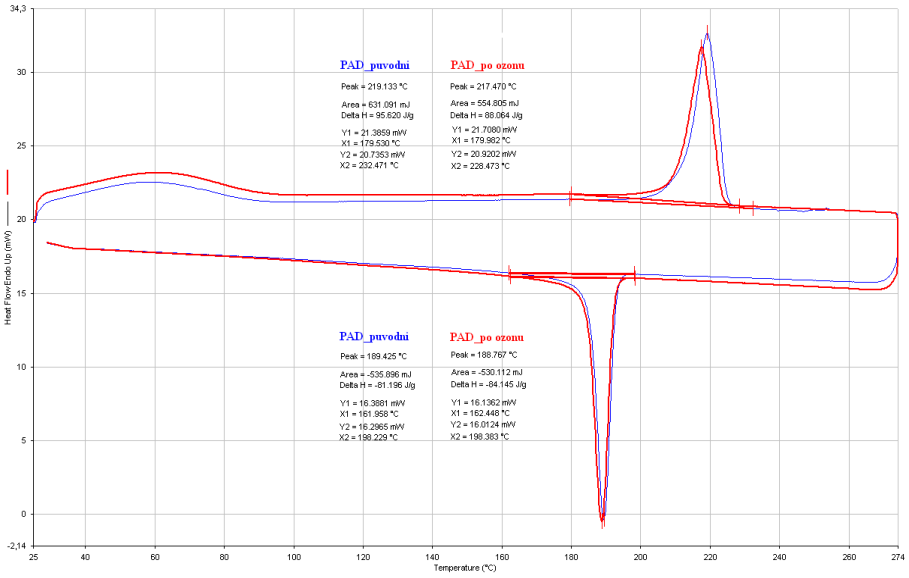


Obr. 34 Průměrné hodnoty pevnosti polyamidové tkaniny pro různé doby působení ozonu



Obr. 35 FTIR PAD před a po působení ozonu (240 minut)

Na obrázku 35 je zobrazeno spektrum polyamidu. U tohoto materiálu se pomocí metody FTIR neprokázaly žádné změny před ani po vystavení ozonu.



Obr. 36 DSC PAD před a po působení ozonu (240 minut)

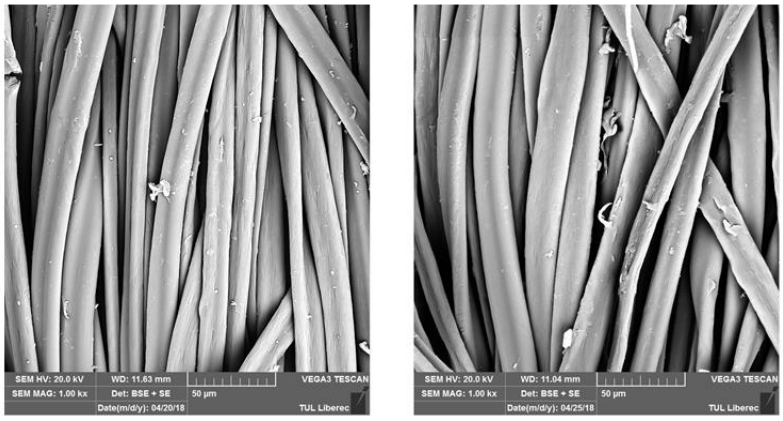
U polyamidu nedochází téměř k žádným změnám, jak je vidět na obrázku 36. Původní vzorek taje při teplotě 219 °C a po vystavení ozonu taje při 217 °C. Při fázi chlazení dochází u obou materiálů ke krystalizaci při teplotě 189 °C. Pomocí metody DSC se nepodařilo prokázat změny mezi polyamidem před a po působení ozonu.

Polyakrylonitril

Obrázek 37 zachycuje polyakrylonitrilová vlákna původní a vlákna, která byla vystavena působení ozonu po dobu 240 minut. Po působení ozonu dochází na vláknech k nepatrným povrchovým změnám.

.

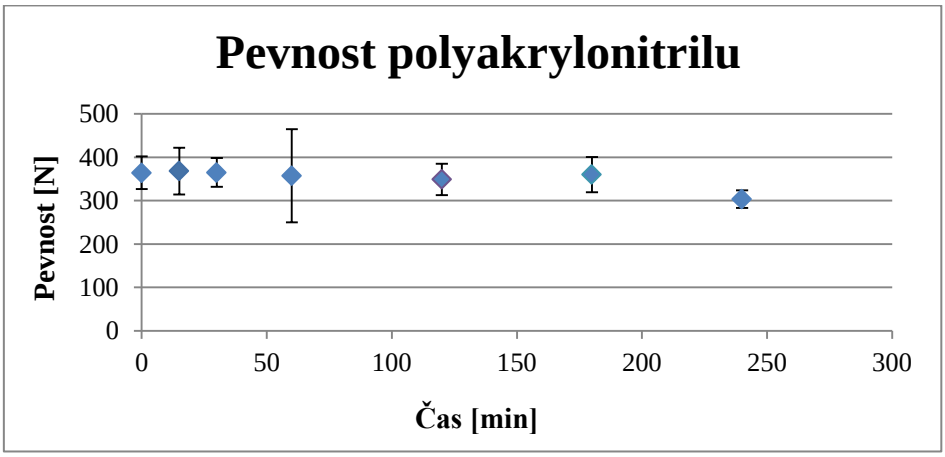
Před ozonem Po ozonu



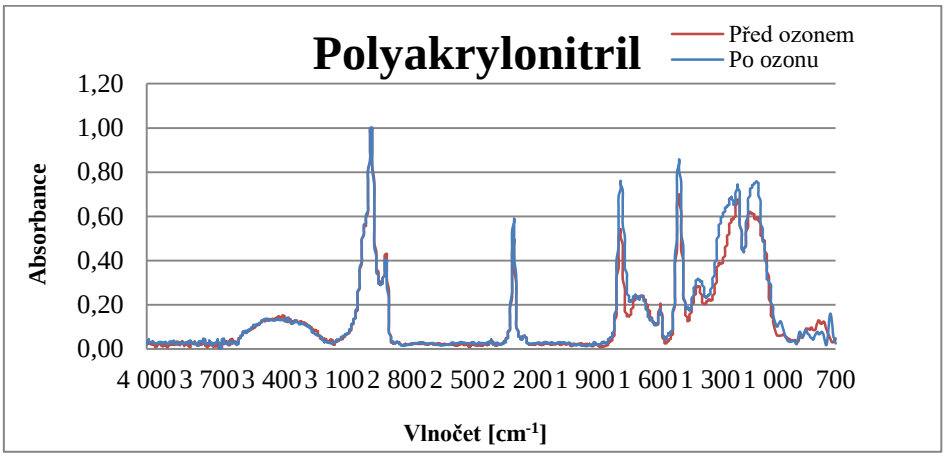
(a) (b)

Obr. 37 SEM polyakrylonitrilu
(d) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Značnou odolnost pevnosti vůči ozonu vykazovala polyakrylonitrilová tkanina (viz obrázek 38), jejíž pevnost ani po 240 minutách neklesá.



Obr. 38 Průměrné hodnoty pevnosti polyakrylonitrilové tkaniny pro různé doby působení ozonu



Obr. 39 FTIR PAN před a po působení ozonu (240 minut)

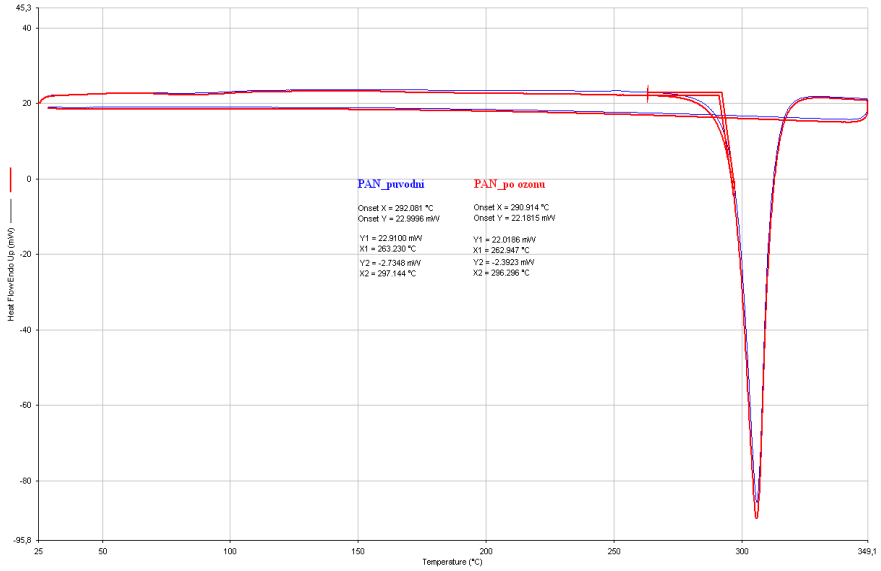
Detekované změny (Obr. 39):

Vlnočet 2243 cm^{-1}: skupina vazeb CN – po ozonu roste

Vlnočet 1733 cm^{-1}: skupina vazeb C=O – po ozonu roste

Vlnočet 1452 cm^{-1}: skupina vazeb C-H – po ozonu roste

Vlnočet 1171 cm^{-1}: skupina vazeb C-O – po ozonu roste



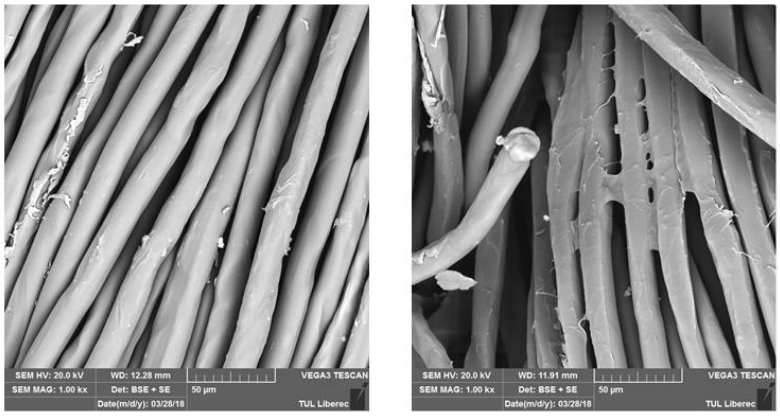
Obr. 40 DSC PAN před a po působení ozonu (240 minut)

Na obrázku 40 pomocí metody DSC nejsou patrné žádné změny před a po působení ozonu. U polyakrylonitrilu dochází při teplotě nad 300°C k uvolňování tepla a dochází k rozkladu materiálu.

Polypropylen

Na obrázku 41 lze pozorovat výrazné změny po působení ozonu. U polypropylenových vláken dochází k jejich slepení a roztavení vláken.

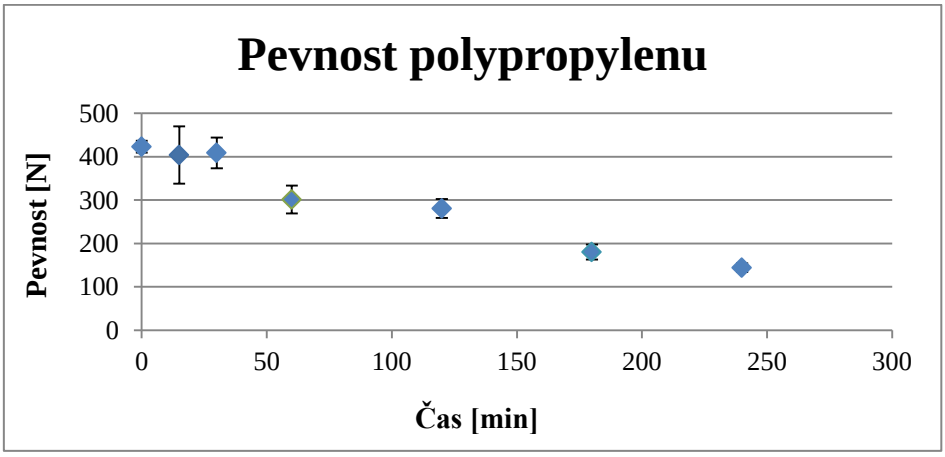
Před ozonem Po ozonu



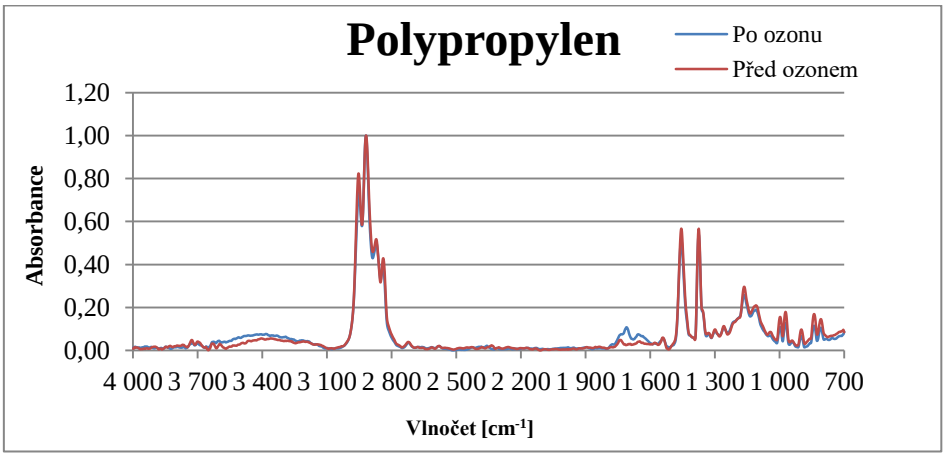
(a) (b)

Obr. 41 SEM polypropylenu
(e) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (240 minut)

Obrázek 42 znázorňuje výraznou změnu poklesu pevnosti materiálu po působení ozonu. Z grafu je zřejmé, že při delším vystavení ozonu dochází k poklesu pevnosti u polypropylenové tkaniny.



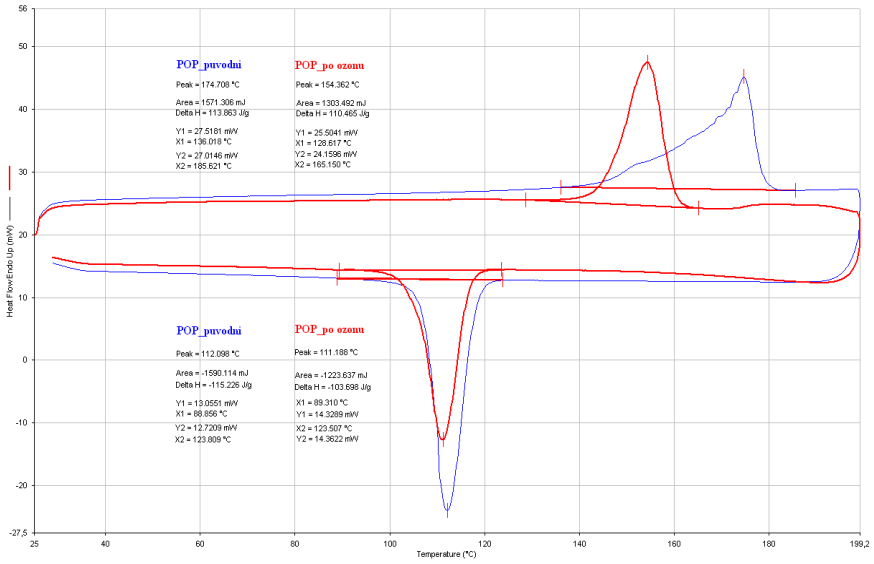
Obr. 42 Průměrné hodnoty pevnosti polypropylenové tkaniny pro různé doby působení ozonu



Obr. 43 FTIR PP před a po působení ozonu (240 minut)

Detekované změny (Obr. 43):

Vlnočet 1712 cm^{-1}: skupina vazeb C=O – po ozonu roste



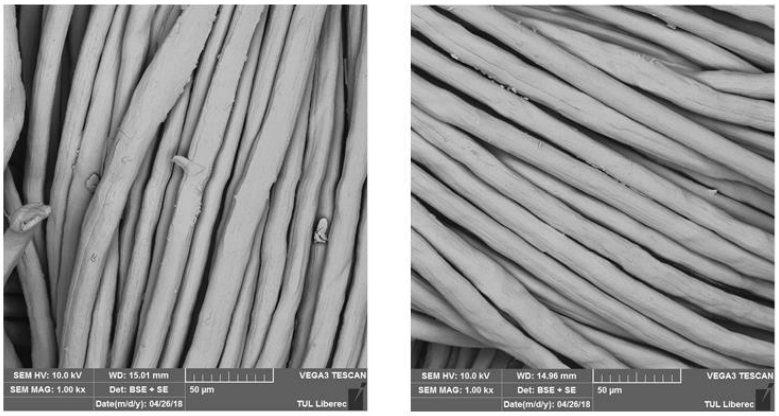
Obr. 44 Termická analýza polypropylenu před a po působení ozonu

Termická analýza u polypropylenové tkaniny po aplikaci ozonu je výrazná (viz obrázek 44). Teplota tání před ozonem u polypropylenu byla 174°C, po ozonu se teplota tání snížila o 20°C.

PVC

Obrázek 45 zachycuje polyvinylchloridová vlákna původní a vlákna, která byla vystavena působení ozonu po dobu 240 minut. Na vláknech po vystavení ozonu nejsou patrné žádné změny.

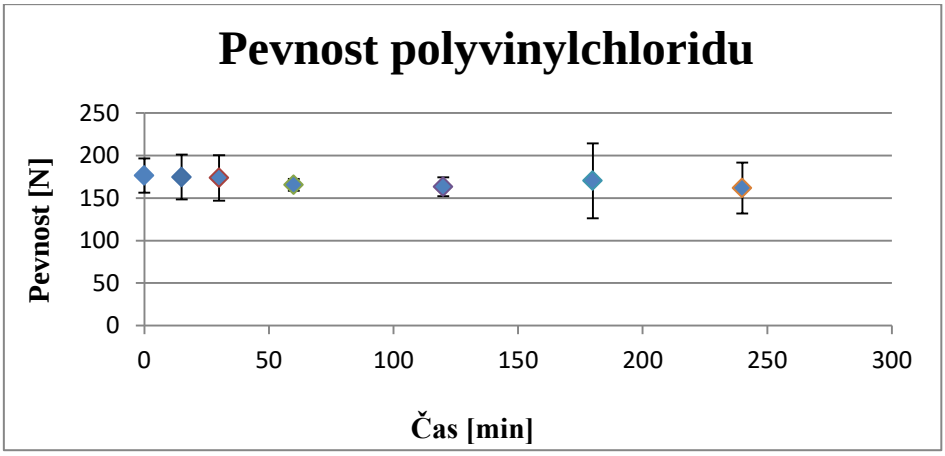
Před ozonem Po ozonu



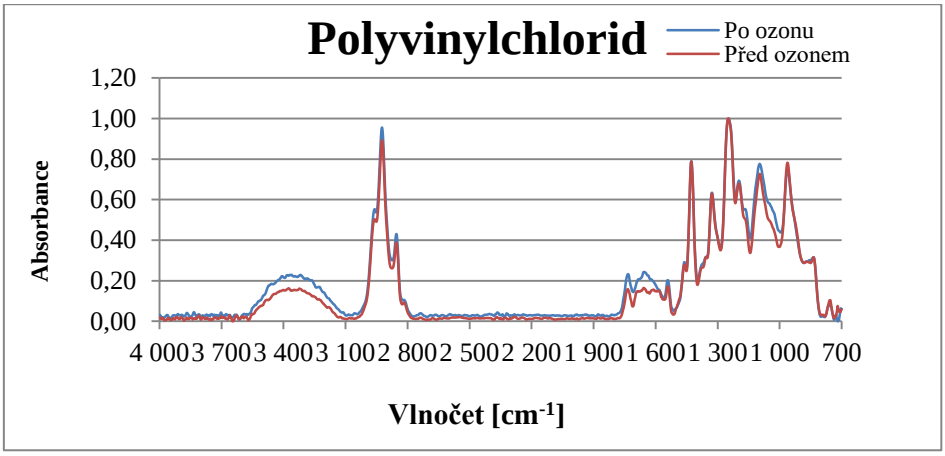
(a) (b)

Obr. 45 SEM PVC
SEM před aplikací ozonem, (b) po ozonu (240 minut)

Na obrázku 46 jsou znázorněné průměrné hodnoty pevnosti polyvinylchloridové tkaniny v závislosti na čase. Z grafu je zřejmé, že ani při delším vystavení vzorků ozonu nedochází k poklesu pevnosti.



Obr. 46 Průměrné hodnoty pevnosti polyvinylchloridové tkaniny pro různé doby působení ozonu



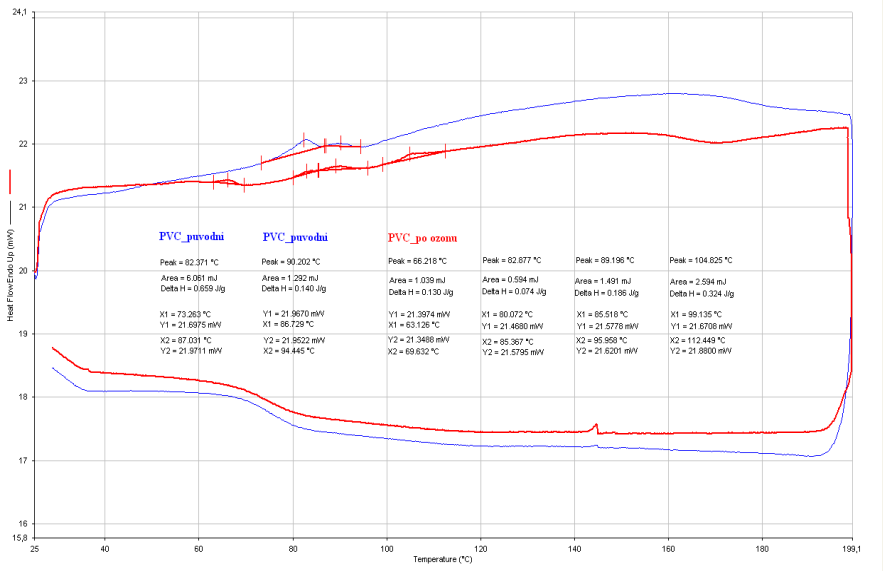
Obr. 47 FTIR PVC před a po působení ozonu (240 minut)

Detekované změny (Obr. 47):

Vlnočet 3353 cm^{-1}: skupina vazeb O-H – po ozonu roste

Vlnočet 1733 cm^{-1}: skupina vazeb C=O – po ozonu roste

Vlnočet 1653 cm^{-1}: skupina vazeb C=C – po ozonu roste



Obr. 48 Termická analýza PVC před a po působení ozonu

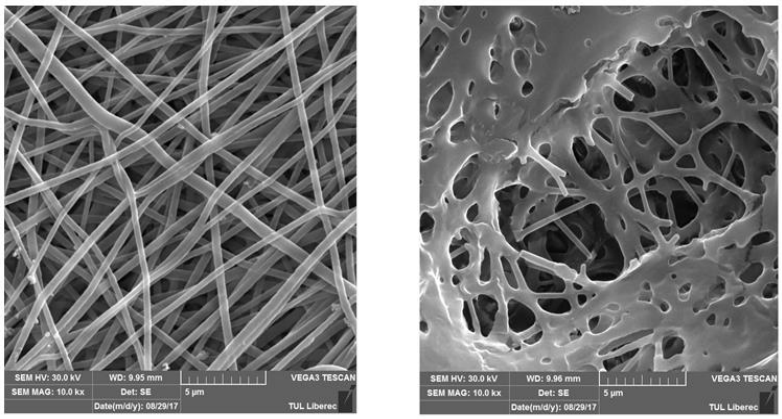
Na obrázku 48 je zobrazena termická analýza polyvinylchloridu před a po působení ozonu. U polyvinylchloridu nelze pozorovat žádné změny.

7.2 Nanovlákenné vrstvy

POLYURETAN

Na obrázku 49 je zobrazena nanovlákenná vrstva polyuretanu. Snímek byl pořízen pomocí elektronové mikroskopie. U vrstvy polyuretanu dochází po ozonu k výrazným změnám už po působení 120 minut. Po vystavení ozonu nanovlákenná vrstva polyuretanu poukazuje na rozpouštění vláken a přechod do kapalné fáze.

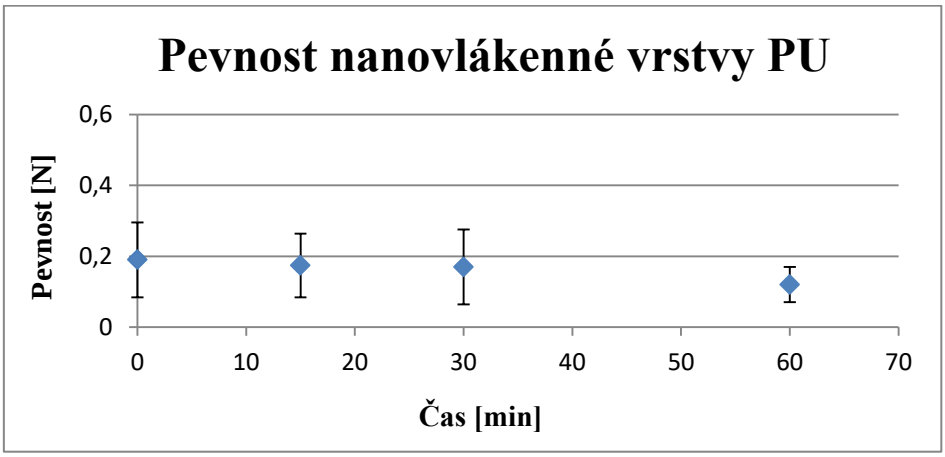
Před ozonem Po ozonu



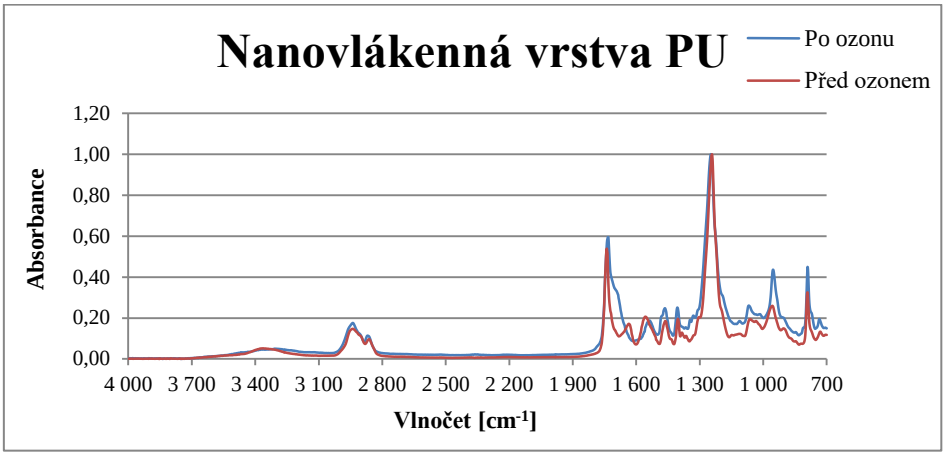
(a) (b)

Obr. 49 SEM PU
(a) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (120 minut)

U nanovlákenné vrstvy polyuretanu byla měřena pevnost v časech 10, 15 a 60 minut. Tato vrstva nebyla měřena při vyšších časech z důvodu rozpadu vzorku vlivem ozonu. Body v grafu nevykazují žádný trend a nelze tedy potvrdit, že zde existuje závislost mezi pevností a dobou působení ozonu, viz obrázek 50.



Obr. 50 Průměrné hodnoty pevnosti nanovlákenné vrstvy PU pro různé doby působení ozonu

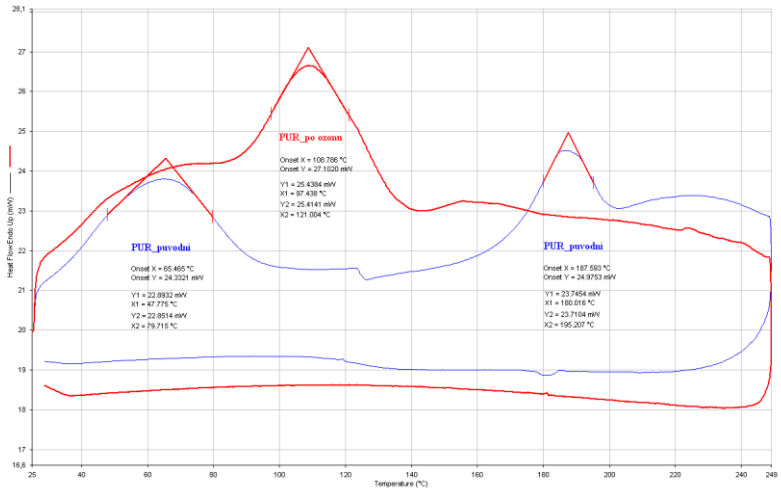


Obr. 51 FTIR nanovlákenné vrstvy PU před a po působení ozonu (120 minut)

Detekované změny (Obr. 51):

Vlnočet 2950-2850 cm^{-1}: vibrace vazeb C-H valenční – po ozonu roste

Vlnočet 1249 cm^{-1}: skupina vazeb C-O valenční – po ozonu roste



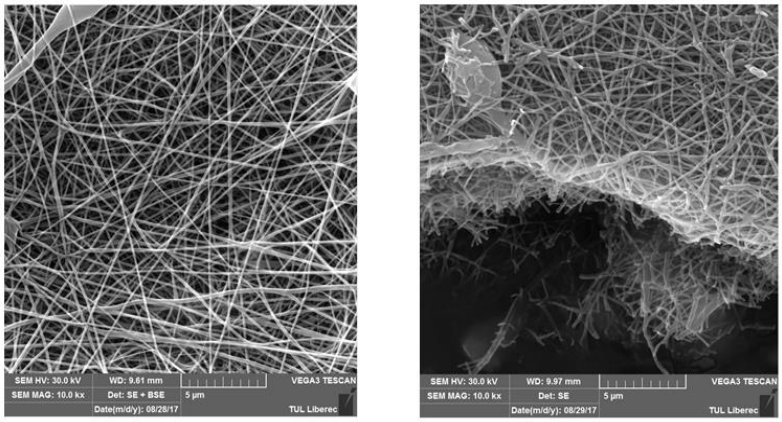
Obr. 52 Termická analýza nanovlákenné vrstvy polyuretanu před a po působení ozonu (120 minut)

Na obrázku 52 je zobrazena termická analýza nanovlákenné vrstvy polyuretanu před a po působení ozonu. Vrstva polyuretanu před působením ozonu taje při teplotě 65°C a po jeho působení se teplota tání zvýšila na 108°C.

PA6

Na obrázku 53 je zobrazena nanovlákenná vrstva polyuretanu. U vrstvy PA6 dochází po ozonu k výrazným změnám už po působení 120 minut. Aplikací ozonu na materiál dochází k samovolnému praskání, a tím i k rozpadání nanovlákenné vrstvy.

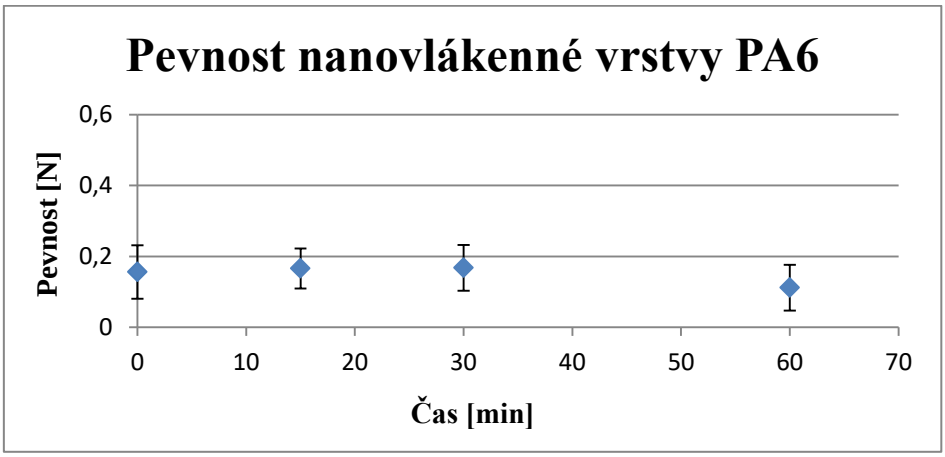
Před ozonem Po ozonu



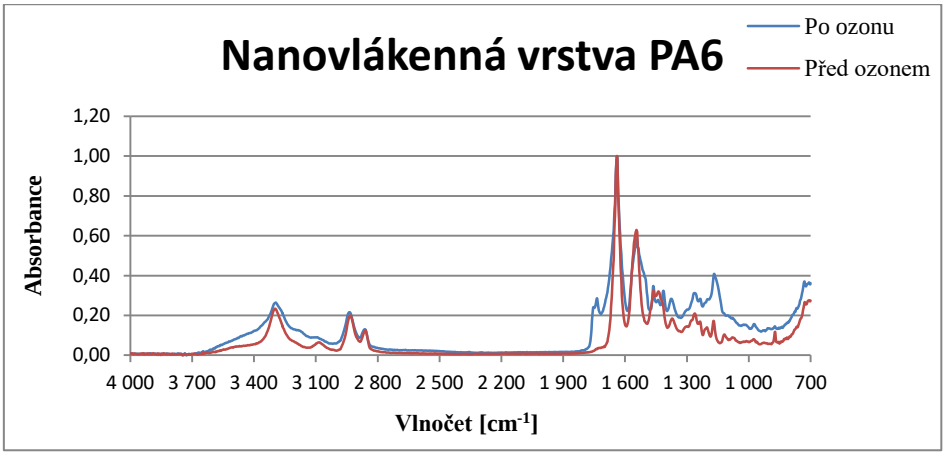
(a) (b)

Obr. 53 SEM PA6
(a) SEM před aplikací ozonu, (b) po ozonu (120 minut)

Body v grafu nevykazují žádný trend a nelze tedy potvrdit, že zde existuje závislost mezi pevností a dobou působení ozonu u nanovlákenné vrstvy PA6, viz obrázek 54.



Obr. 54 Průměrné hodnoty pevnosti nanovlákenné vrstvy PA6 pro různé doby působení ozonu

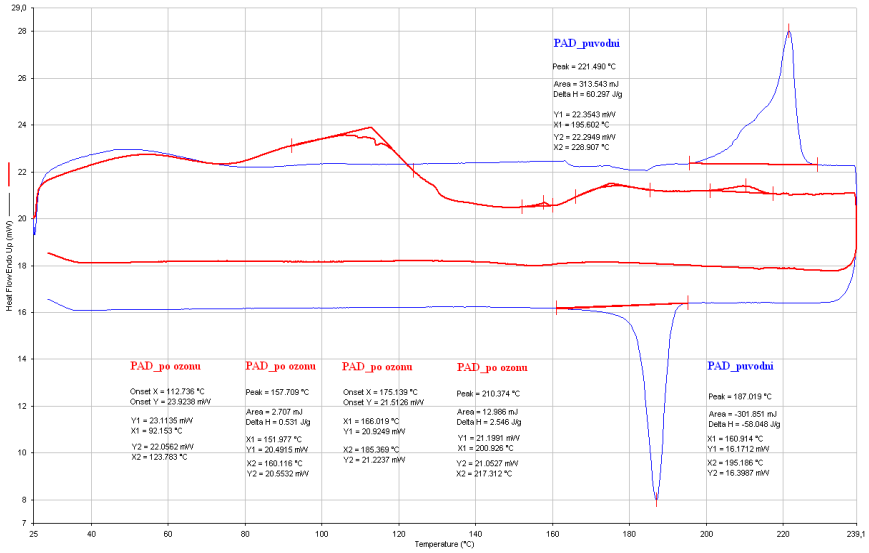


Obr. 55 FTIR nanovlákenné vrstvy PA6 před a po působení ozonu (120 minut)

Detekované změny (Obr. 55):

Vlnočet 1760 - 1735 cm^{-1}: vibrace vazeb C-O – po ozonu roste

Vlnočet 3300 cm^{-1}: vibrace vazeb N-H – po ozonu roste



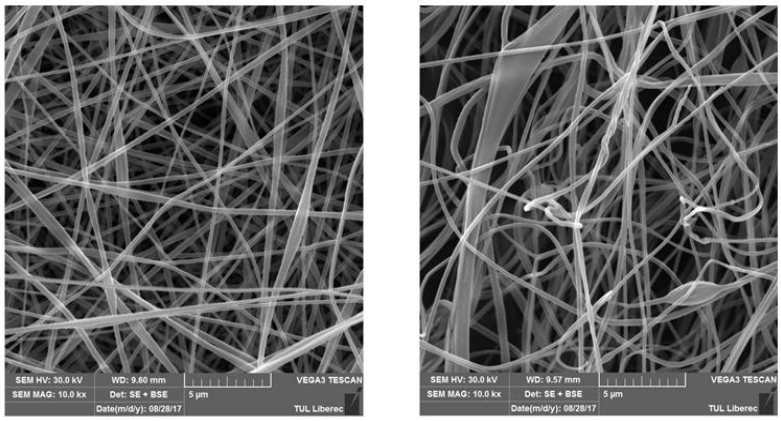
Obr. 56 Termická analýza nanovlákenné vrstvy PA 6 před a po působení ozonu (120 minut)

Na obrázku 56 jsou viditelné výrazné změny vlivem ozonu již po působení 120 minut. Nanovlákenná vrstva před vystavení ozonu taje při 221°C a při ochlazování dochází k tuhnutí materiálu při 187°C. Po vystavení vrstvy PA6 ozonem nedochází k tání ani tuhnutí materiálu vlivem zesíťování.

PAN

Na obrázku 57 je zobrazena nanovlákenná vrstva PAN. U vrstvy PAN po působení 120 minut ozonu dochází k samovolnému vlnění vláken.

Před ozonem Po ozonu

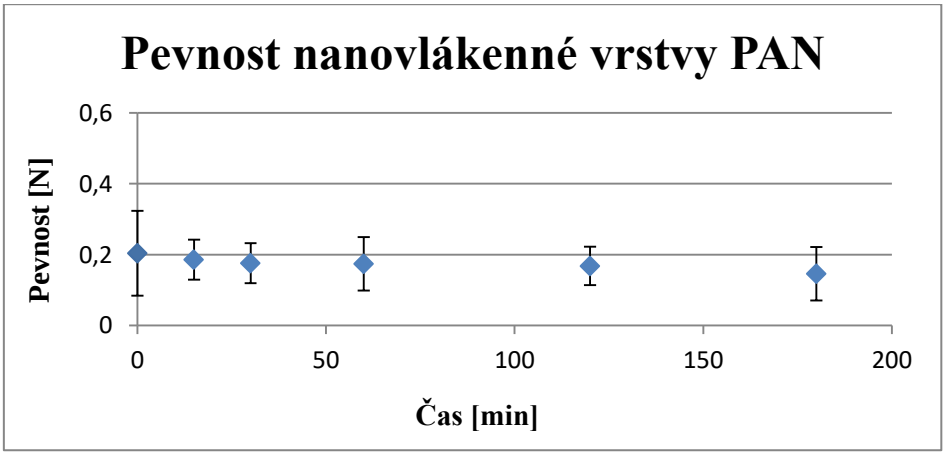


(a) (b)

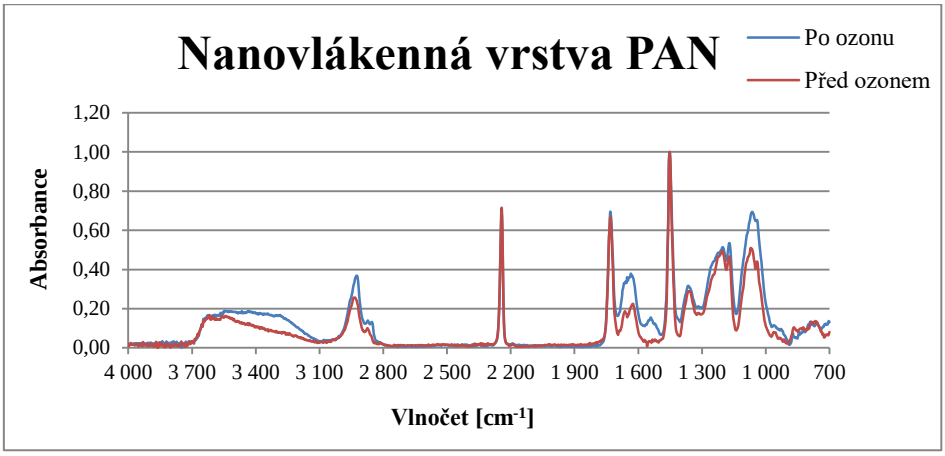
Obr. 57 SEM PAN

(a) SEM před aplikací ozonem, (b) po ozonu (180 minut)

Body v grafu nevykazují žádný trend a nelze tedy potvrdit, že zde existuje závislost mezi pevností a dobou působení ozonu u nanovlákenné vrstvy PAN, viz obrázek 58.



Obr. 58 Průměrné hodnoty pevnosti nanovlákenné vrstvy PAN pro různé doby působení ozonu

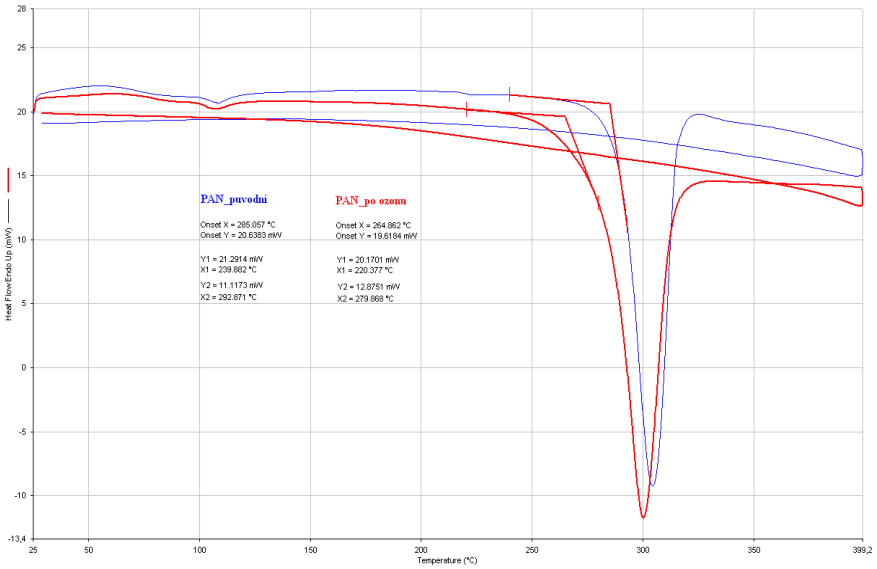


Obr. 59 FTIR nanovlákenné vrstvy PAN před a po působení ozonu (180 minut)

Detekované změny (Obr. 59):

Vlnočet 2950-2850 cm^{-1}: vibrace vazeb C-H – po ozonu roste

Vlnočet 2950-2850 cm^{-1}: vibrace vazeb O-H – po ozonu roste



Obr. 60 Termická analýza nanovlákenné vrstvy PAN před a po působení ozonu (180 minut)

Na obrázku 60 je znázorněna termická analýza nanovlákenné vrstvy PAN. Před působením ozonu dochází k rozkladu nanovlákenné vrstvy PAN při 285 °C. Vlivem ozonu se teplota rozkladu snížila na 264 °C.

Závěr

Studie této diplomové práce je zaměřena na hodnocení materiálů, které byly podrobeny účinku ozonu v časovém intervalu od 15 do 240 minut. Pro tuto studii byl zvolen soubor deseti různorodých materiálů. Cílem práce bylo zhodnotit mechanické, termické a chemické vlastnosti materiálů. Především se jednalo o rychlost degradace způsobenou ozonem.

Na základě experimentálních výsledků je patrné, že některá vlákna jsou citlivá na ozon. Zejména u nanovláken bylo v několika případech pozorováno, že ozonem velmi rychle degradují, až dokonce ztrácejí svou soudržnost a tím se stávají potenciálně nebezpečnými z hlediska ekologického a toxikologického. Vysokou odolnost vykazovala nanovlákna PAN, nanovlákna PA6 a PU byla velmi citlivá na ozon.

Z hlediska tkanin z běžných textilních vláken nedocházelo k žádným výrazným změnám. Některé materiály nebyly téměř vůbec citlivé na ozon. Z běžných vláken značnou citlivost vykazoval polypropylen. U polypropylenu vlivem ozonu byly pomocí metody SEM detekovány výrazné změny. Zároveň jako u jediného běžného vlákna dochází ke snižování pevnosti.

Při porovnání běžného vlákna polyamidu s nanovlákennou vrstvou PA6 jsou vidět výrazné změny. Bylo prokázáno, že na běžném polyamidu nedochází téměř k žádným změnám a lze ho považovat za velmi odolný materiál. Zato nanovlákenná vrstva polyamidu se prokázala nízkou odolností vůči ozonu, protože se velmi rychle rozpadávala. Průměr vlákna je tedy důležitý faktor ovlivňující odolnost vláken vůči ozonu. Naopak nanovlákenná vrstva PAN a běžné vlákno PAN se prokázaly jako velmi odolné po aplikaci ozonu.

Výsledky práce by mohly být využity k výběru vhodných nanovláken s vyšší odolností vůči ozonu a tím i bezpečnější aplikací v prostředích obsahujících ozon. Získaných výsledků lze na druhou stranu využít i k výběru materiálů schopných efektivně zachycovat ozon z plynných systémů. Ozon se také jeví jako velmi perspektivní materiál pro modifikaci povrchů vláken např. pro účely zvýšení adheze.

Použité zdroje

[1] NOVOTNÝ, Radek, Václav BURIÁNEK a Vít ŠRÁMEK. *Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu: recenzovaná metodika*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2009. Lesnický průvodce. ISBN 978-80-7417-014-0

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

[3] *OZONECH.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-09-01]. Ozonech. Dostupné z WWW: http://www.ozontech.cz/

[4] GOTTSCHALK, C., A. SAUPE a J. A. LIBRA. *Ozonation of water and waste water: a practical guide to understanding ozone and its application*. New York: Wiley-VCH, c2000. ISBN 3-527-30178-x

[5] LENNTECH.com [online]. 2017 [cit. 2017-08-19]. Lenntech. Dostupné z WWW: http://www.lenntech.com/library/ozone/history/ozone-history.htm

[6] LIMEBACK, Hardy, ed. *Comprehensive preventive dentistry*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2012. ISBN 978-0-8138-2168-9.

[7] *SCIELO.br* [online]. 2018 [cit. 2018-08-19]. Scielo. Dostupné z WWW: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000200023

[8] *VCCS.edu* [online]. 2018 [cit. 2016-05-18]. Ozone. Dostupné z WWW: https://water.me.vccs.edu/exam_prep/ozone.html

[9] *TRIOTECH.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-05-18]. Ozon a materiály. Dostupné z WWW: http://www.triotech.cz/o-ozonu/ozon-a-materialy

[10] DAVID W. FAHEY AND MICHAELA I. HEGGLIN a COORDINATING LEAD AUTHORS. *Twenty questions and answers about the ozone layer 2010 update: scientific assessment of ozone depletion 2010*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organisation, 2011. ISBN 9966731946

[11] TINITI.eu [online]. 2017 [cit. 2017-08-03]. TINITI. Dostupné z WWW: http://www.tiniti.eu/www-tiniti-eu/25-OZONOVANI-O3-OZONE/56-O-NAS

[12] *STILLEA.com* [online]. 2017 [cit. 2017-09-03]. Úprava bazénové vody ozonem. Dostupné z WWW: http://www.stillea.com/content/files/newsletter/newsletter-12-08/Ozone.pdf

[13] *APLIKACEO3.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-09-03]. Aplikaceo3. Dostupné z WWW: http://www.aplikaceo3.cz/?page=3&subp=2

[14] *PROFIOZON.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-05-19]. Profi ozon. Dostupné z WWW: http://profiozon.cz/co-je-ozon/

[15] *OZONESOLUTIONS.com* [online]. 2017 [cit. 2017-09-03]. Ozonesolutions. Dostupné z WWW: https://www.ozonesolutions.com/journal/ozone-applications/

[16] PIELICHOWSKI, Krzysztof a James NJUGUNA. *Thermal degradation of polymeric materials*. Shawbury: Rapra Technology, 2005. ISBN 185957498X.

[17] KOLEKTIV AUTORŮ. *Moderní materiály.* Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-154-2.

[18] DOLEŽEL, Břetislav. Odolnost plastů a pryží. Praha. Státní nakladatelství technické literatury, 1981.

[19] PINNER, S. H. *Poveternostné starnutie a degradácia plastických hmôt*. Bratislava: Alfa, 1973

[20] KRČMA, Ladislav. *Degradace textilních vláken a ochrana proti ní*. Praha. Státní nakladatelství technické literatury, 1976.

[21] *POLYMERDATABASE.com* [online]. 2017 [cit. 2017-09-01]. Polymerdatabase. Dostupné z WWW: http://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Ozone.html

[22] KOZLOVSKÁ, Hana a Bohuslava BOHANESOVÁ. *Oděvní materiály*. 2. přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 1998. ISBN 80-85427-28-9.

[23] HLADÍK, Vladimír, a kol. *Textilní vlákna: vysokoškolská příručka*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. Řada textilní literatury.

[24] HLADÍK, Vladimír, Tomáš KOZEL a Zdeněk MIKLAS. *Textilní materiály,* 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Řada textilní literatury.

[25] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1

[26] POSPÍŠIL, Zdeněk. *Příručka textilního odborníka*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981.

[27] MLEZIVA, Josef a Jaromír Šňupárek. *Polymery.* 2. Vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7

[28] *ELMARCO.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-08-01]. Elmarco. Dostupné z WWW: http://www.elmarco.cz/technologie/nanovlakna/

[29] FICAI, Denisa a Alexandru Mihai GRUMEZESCU. *Nanostructures for novel therapy.* Philadelphia, United States, 2017.

[30] Prof. RNDr. David Lukáš., CSc. a kol. *Lékařské textilie*, 2. díl, Praha, 2008

[31] *Chemické listy*. Praha: Bezpečná nanovlákna, R. 2009 Roč. 103. ISSN 1009−1016

[32] RŮŽIČKOVÁ, Jana. *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Vyd. 2.,Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-066-3.

[33] *ARTEC.TUL.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-08-01]. Nanovlákenné filtry a jejich použití v sanačních technologiích. Dostupné z WWW: http://artec.tul.cz/?content=upload/ARTEC-kapitola6-sidlof-hruza.pdf&lang=cs

[34] BHARDWAJ, N. a KUNDU, S. C. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. Biotech. Adv. 28, 2010. 325-347

[35] *Technický manuál: Generátor ozonu GO 5 LAB-K*. TRIOTECH, s. r. o. Uherské Hradiště.

[36] *TECHMANIA.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-09-01]. Elektronový mikroskop. Dostupné z WWW:https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/kvanta/elektronovy-mikroskop

[37] *VSCHT.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-09-08]. Infračervená spektrometrie. Dostupné z WWW:https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected.

[38] *THOMASNET.com* [online]. 2018 [cit. 2018-09-18]. Infračervená spektrometrie. Dostupné z WWW: https://news.thomasnet.com/fullstory/ft-ir-spectrometer-is-powered-by-omnic-specta-software-815633.

[39] *Chemické listy*. Praha: Využití metod termické analýzy ve výzkumu a vývoji léčiv, R. 2012 Roč. 106. ISSN 890−895.

[40] *TUL.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-09-19]. Laboratoř termických a termomechanických vlastností. Dostupné z WWW: http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-materialoveho-inzenyrstvi-laboratore/laborator-termickych-a-termomechanickych-vlastnosti

Seznam obrázků:

OBR. 1 GENERÁTOR OZONU ZALOŽENÝ NA ELEKTRICKÉM VÝBOJI [8] .. 14
OBR.2 MECHANISMUS DEGRADACE OZONU [21] 20
OBR.3 PRINCIP METODY ELECTROSPINNINGU [34] 26
OBR. 4 BAVLNA 28
OBR. 5 POLYESTER 28
OBR. 6 POLYAMID 29
OBR. 7 POLYPROPYLEN 29
OBR. 8 VLNA 29
OBR. 9 POLYVINYLCHLORID 30
OBR. 10 POLYAKRYLONITRIL 30
OBR. 11 SEM NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PAN 31
OBR. 12 SEM NANOVLÁKENNÁ VRSTVY PU 32
OBR. 13 SEM NANOVLÁKENNÁ VRSTVY PA6 32
OBR. 14 GENERÁTOR OZONU 33
OBR. 15 ANALYZÁTOR KONCENTRACE OZONU TLF-2000 33
OBR. 18 ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP VEGA3 36
OBR. 19 NICOLET IZ10 [38] 36
OBR. 20 DIFERENČNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE PERKIN ELMER 37
OBR. 21 SEM BAVLNY 39
OBR. 22 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI BAVLNĚNÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 39
OBR. 23 FTIR BAVLNY PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 40
OBR. 24 DSC BAVLNY PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 40
OBR. 25 SEM VLNY 41
OBR. 26 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI VLNĚNÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 41
OBR. 27 FTIR VLNY PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 42
OBR. 28 DSC VLNY PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 42
OBR. 29 SEM POLYESTERU 43
OBR. 30 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI POLYESTEROVÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 43
OBR. 31 FTIR PES PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 44

OBR. 32 DSC PES PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 44
OBR. 33 SEM POLYAMIDU..... 45
OBR. 34 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI POLYAMIDOVÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 45
OBR. 35 FTIR PA PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 46
OBR. 36 DSC PAD PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 46
OBR. 37 SEM POLYAKRYLONITRILU..... 47
OBR. 38 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI POLYAKRYLONITRILOVÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 47
OBR. 39 FTIR PAN PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 48
OBR. 40 DSC PAN PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 48
OBR. 41 SEM POLYPROPYLENU..... 49
OBR. 42 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI POLYPROPYLENOVÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 49
OBR. 43 FTIR PP PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT) 50
OBR. 44 TERMICKÁ ANALÝZA POLYPROPYLENU PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU 50
OBR. 45 SEM PVC..... 51
OBR. 46 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI POLYVINYLCHLORIDOVÉ TKANINY PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 51
OBR. 47 FTIR PVC PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (240 MINUT)..... 52
OBR. 48 TERMICKÁ ANALÝZA PVC PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU 52
OBR. 49 SEM PU..... 53
OBR. 50 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PU PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 53
OBR. 51 FTIR NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PU PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (120 MINUT)..... 54
OBR. 52 TERMICKÁ ANALÝZA NANOVLÁKENNÉ VRSTVY POLYURETANU PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (120 MINUT)..... 54
OBR. 53 SEM PA6..... 55
OBR. 54 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PA6 PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 55
OBR. 55 FTIR NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PA6 PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (120 MINUT)..... 56

OBR. 56 TERMICKÁ ANALÝZA NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PA 6 PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (120 MINUT) 56
OBR. 58 PRŮMĚRNÉ HODNOTY PEVNOSTI NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PAN PRO RŮZNÉ DOBY PŮSOBENÍ OZONU 57
OBR. 59 FTIR NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PAN PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (180 MINUT)..... 58
OBR. 60 TERMICKÁ ANALÝZA NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PAN PŘED A PO PŮSOBENÍ OZONU (180 MINUT) 58

Seznam tabulek:

TAB.Č. 1 PRŮMĚRNÉ HODNOTY NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PAN..... 31
TAB.Č.2 PRŮMĚRNÉ HODNOTY NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PU 32
TAB.Č.3 PRŮMĚRNÉ HODNOTY NANOVLÁKENNÉ VRSTVY PA6 32

Seznam příloh:

PŘÍLOHA.Č.1 VÝSLEDNÉ PEVNOSTI..... 66

PŘÍLOHA. Č. 1 VÝSLEDNÉ PEVNOSTI

Klasická vlákna

Pevnost bavlny [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	146,46	159,19	148,50	153,30	159,00	153,29	5,85	167,83	138,75
15 minut	153,67	155,99	149,20	148,60	133,09	148,11	8,94	170,33	125,89
30 minut	136,12	152,74	150,60	148,10	152,98	148,11	6,98	165,46	130,76
60 minut	136,76	149,87	138,10	140,20	131,19	139,22	6,82	156,17	122,28
120 minut	129,93	156,09	139,30	142,10	136,51	140,79	9,67	164,82	116,75
180 minut	148,85	135,60	141,20	139,60	138,44	140,74	4,97	153,10	128,38
240 minut	137,86	122,05	131,10	132,10	131,42	130,91	5,67	144,99	116,82

Pevnost vlny [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	145,38	143,15	147,30	148,10	153,11	147,41	3,72	156,64	138,18
15 minut	157,62	146,41	150,10	152,30	151,64	151,61	4,06	161,70	141,53
30 minut	143,79	151,17	140,30	144,60	134,49	142,87	6,11	158,06	127,68
60 minut	124,78	127,92	127,10	128,60	128,74	127,43	1,62	131,44	123,41
120 minut	138,95	140,16	139,20	140,20	141,71	140,04	1,09	142,74	137,34
180 minut	135,61	141,71	137,10	138,30	135,41	137,63	2,57	144,01	131,25
240 minut	125,19	121,83	123,10	126,30	123,51	123,99	1,77	128,37	119,60

Pevnost POP [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	426,90	419,29	422,30	423,60	422,66	422,95	2,74	429,75	416,15
15 minut	415,04	413,18	403,10	405,60	381,74	403,73	13,27	436,71	370,76
30 minut	405,52	420,11	410,10	408,30	400,89	408,98	7,12	426,68	391,29
60 minut	297,96	310,12	305,30	299,10	293,83	301,26	6,43	317,25	285,28
120 minut	283,98	286,06	276,10	277,10	278,95	280,44	4,37	291,29	269,59
180 minut	186,28	179,13	179,10	180,10	177,15	180,35	3,48	189,00	171,70
240 minut	144,37	146,64	143,10	144,50	141,24	143,97	1,99	148,90	139,04

Pevnost PAN [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	376,02	356,93	363,30	366,10	358,54	364,18	7,57	382,98	345,38
15 minut	378,36	365,70	367,20	369,30	360,00	368,11	10,80	386,92	333,28
30 minut	352,39	367,32	364,90	365,30	375,05	364,99	6,69	384,73	351,50
60 minut	330,87	390,60	357,20	358,10	350,33	357,42	21,54	410,94	303,90
120 minut	343,50	361,02	349,20	348,20	343,17	349,02	7,24	366,99	331,04
180 minut	368,66	369,01	362,10	358,10	342,62	360,10	8,15	385,23	344,75
240 minut	307,87	297,18	303,10	304,20	306,36	303,74	4,11	313,95	293,53

Pevnost PES [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	408,08	374,20	367,70	368,10	367,77	377,17	17,50	420,64	333,70
15 minut	328,79	352,39	351,80	357,40	355,81	349,24	11,67	378,22	320,25
30 minut	342,10	333,20	339,30	339,10	339,20	338,58	3,26	346,68	330,48
60 minut	324,37	296,27	307,30	307,60	307,47	308,60	10,06	333,59	283,61
120 minut	315,91	286,15	306,30	308,10	319,17	307,13	12,88	339,13	275,12
180 minut	306,18	248,00	271,30	272,10	259,98	271,51	21,73	325,49	217,54
240 minut	231,66	238,35	251,30	252,40	282,29	251,20	19,46	299,55	202,85

Pevnost PAD [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	308,47	324,02	318,10	319,20	323,22	318,60	6,20	334,01	303,19
15 minut	326,29	324,78	327,10	329,60	334,72	328,50	3,89	338,17	318,83
30 minut	299,35	277,52	307,30	309,30	308,57	300,41	13,40	333,70	267,12
60 minut	290,10	304,91	307,20	308,10	326,03	307,27	12,78	339,01	275,53
120 minut	317,39	286,36	313,01	314,02	335,30	313,22	17,51	356,73	269,70
180 minut	307,87	297,18	303,20	304,50	306,36	303,82	4,12	314,05	293,59
240 minut	285,78	256,78	250,10	252,10	207,55	250,46	27,98	319,97	180,95

Pevnost PVC [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	182,40	171,22	176,10	177,30	175,04	176,41	4,05	186,47	166,35
15 minut	165,94	180,06	174,10	175,60	177,16	174,57	5,31	187,75	161,39
30 minut	178,37	164,78	173,30	174,50	177,45	173,68	5,39	187,07	160,29
60 minut	167,51	164,69	165,30	165,80	163,79	165,42	1,39	168,87	161,97
120 minut	171,05	154,14	163,10	163,80	164,25	163,27	2,24	168,83	157,70
180 minut	183,20	169,59	170,10	170,30	158,09	170,26	8,89	192,34	148,17
240 minut	163,48	164,03	161,20	162,10	158,36	161,83	6,02	176,80	146,87

Pevnost PA6 [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	0,17	0,16	0,17	0,14	0,14	0,16	0,02	0,19	0,12
15 minut	0,17	0,18	0,16	0,15	0,17	0,17	0,01	0,19	0,14
30 minut	0,16	0,19	0,16	0,17	0,16	0,17	0,01	0,2	0,14
60 minut	0,14	0,13	0,12	0,15	0,16	0,14	0,02	0,18	0,1

Pevnost PU [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	0,16	0,18	0,19	0,2	0,21	0,19	0,02	0,24	0,14
15 minut	0,17	0,2	0,18	0,17	0,15	0,17	0,02	0,22	0,13
30 minut	0,16	0,19	0,18	0,17	0,14	0,17	0,02	0,22	0,12
60 minut	0,14	0,13	0,11	0,12	0,13	0,13	0,01	0,15	0,1

Pevnost PAN [N]	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	SO	Horní mez 95%	Dolní mez 95%
Před ozonem	0,23	0,17	0,22	0,19	0,21	0,2	0,02	0,26	0,14
15 minut	0,19	0,17	0,18	0,19	0,2	0,19	0,01	0,21	0,16
30 minut	0,18	0,17	0,16	0,19	0,18	0,18	0,01	0,2	0,15
60 minut	0,18	0,18	0,15	0,17	0,19	0,17	0,02	0,21	0,14
120 minut	0,17	0,17	0,17	0,18	0,15	0,17	0,01	0,2	0,14
180 minut	0,14	0,17	0,13	0,14	0,15	0,15	0,02	0,18	0,11