



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



MODIFIKACE CELULÓZOVÝCH STRUKTUR POMOCÍ LASERU

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing
Autor práce: **Markéta Šťasná**
Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

MODIFICATION OF CELLULOSIC STRUCTURES BY MEANS OF LASER

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R007 – Textile marketing - textile marketing
Author: **Markéta Šťasná**
Supervisor: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta Šťasná**
Osobní číslo: **T12000058**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní marketing**
Název tématu: **Modifikace celulózových struktur pomocí laseru**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


- 1) Vypracujte rešerši na téma laser a celulózové materiály
- 2) Na vybraných celulózových tkaninách (viskóza, bavlna ?) sledujte působení laseru. Zaměřte se na hodnocení prodyšnosti, mechanických vlastností tkanin. Změny struktury zaznamenejte pomocí elektronové mikroskopie nebo počítačové tomografie
- 3) Navrhněte a realizujte postup laserové modifikace celulózové tkaniny tak, aby došlo k výrazným změnám prodyšnosti při minimálním poklesu mechanických vlastností
- 4) Výsledky diskutujte z hlediska uplatnění takto upravených textilií v praxi

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- 1) DOHNAL, M.: **Lasery a jejich aplikace v polygrafii**. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, 119 s. ISBN 978-80-7395-043-9
- 2) STANĚK, J.: **Textilní zbožíznalství: Vláknenné suroviny, příze, nitě**. Liberec: Technická univerzita, 2006, 114 s. ISBN 80-7372-147-3
- 3) MILITKÝ, J.: **Přednášky: Textilní vlákna; Speciální vlákna**. Liberec: Technická univerzita, 2007, 423 s. ISBN 978-80-7372-169-5

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.**
Katedra materiálového inženýrství
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Marie Kašparová**
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **24. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2015**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




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

V Liberci dne 23. března 2015

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce prof. Ing. Jakobovi Wienerovi, Ph.D za jeho vstřícnost a konzultace, které mi poskytl. Dále chci poděkovat konzultantce Ing. Marii Kašparové za poskytnutí potřebných informací a pomoc při měření a řešení experimentální části. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině a blízkým za podporu během mého studia.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je na vybraných celulózových tkaninách sledovat působení CO₂ laseru. Blíže se zaměřit na hodnocení prodyšnosti tkanin a poté zaznamenat změny struktury prostřednictvím elektronové mikroskopie. Nakonec navrhnout a provést metodu laserové modifikace celulózové tkaniny, jež přinese výraznou změnu prodyšnosti při minimálním poklesu mechanických vlastností. V práci jsou popsány typy laserů a jejich aplikace. Dále lze nalézt charakteristiku vybraných celulózových vláken, mezi které patří lyocell, bavlna a viskóza. Praktická část zahrnuje ozařování vlhkých vzorků a následné měření prodyšnosti.

Klíčová slova: laser, lyocell, bavlna, viskóza, prodyšnost

Annotation

The aim of this thesis is observed the influence of infrared laser beam on selected cellulosic fabrics. The behaviour of irradiated textiles was evaluated by permeability test and the morphology of irradiated textiles was analysed by scanning electron microscopy. Finally there is suggested a method of laser modification cellulosic fabrics, which will bring significant changes in permeability with minimal decrease of mechanical properties. There is described the types of lasers and their applications. Further characteristics can be found selected cellulosic fibers, including lyocell, cotton and viscose. Experimental part comprises the irradiation of wetted samples and the measurement of permeability subsequently.

Key words: laser, lyocell, cotton, viscose, permeability

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 10 |
| 2 TEORETICKÁ ČÁST..... | 11 |
| 2.1 Laser..... | 11 |
| 2.1.1 Historie vzniku | 11 |
| 2.1.2 Stavební prvky | 11 |
| 2.1.3 Princip laseru | 12 |
| 2.2 Typy laserů..... | 13 |
| 2.2.1 Pevnolátkové lasery..... | 15 |
| 2.2.2 Kapalinové lasery | 16 |
| 2.2.3 Plynové lasery | 16 |
| 2.2.4 Polovodičové lasery..... | 17 |
| 2.3 Vliv CO ₂ laseru na bavlnu a syntetická vlákna..... | 17 |
| 2.4 Aplikace laserů..... | 18 |
| 2.5 Blednutí denimových tkanin laserem..... | 19 |
| 2.6 Bezpečnost | 19 |
| 3 Celulózová vlákna a jejich dělení | 20 |
| 3.1 Lyocell..... | 21 |
| 3.1.1 Historie | 21 |
| 3.1.2 Výroba | 22 |
| 3.1.3 Struktura a fibrilace | 22 |
| 3.1.4 Vlastnosti | 22 |
| 3.2 Bavlna | 23 |
| 3.2.1 Historie | 23 |
| 3.2.2 Pěstování a sklizeň | 23 |
| 3.2.3 Odrůdy bavlníku a třídění..... | 24 |
| 3.2.4 Zralost..... | 24 |
| 3.2.5 Struktura a složení | 24 |
| 3.2.6 Vlastnosti..... | 25 |
| 3.3 Viskóza..... | 25 |
| 3.3.1 Historie | 25 |

| | |
|--|----|
| 3. 3. 2 Výroba | 25 |
| 3. 3. 3 Struktura | 26 |
| 3. 3. 4 Vlastnosti | 26 |
| 3. 4 Hedvábí | 26 |
| 3. 4. 1 Obecná charakteristika | 26 |
| 4 PRAKTICKÁ ČÁST | 27 |
| 4.1 Charakteristika použitého materiálu | 27 |
| 4. 2 Ozařování vzorků laserem..... | 28 |
| 4. 2. 1 Laserové zařízení Marcatex 150 Flexi | 28 |
| 4. 3 Měření prodyšnosti..... | 30 |
| 4. 3. 1 Přístroj FX 3300 | 30 |
| 4. 4 Postup testování | 31 |
| 4. 5 Výsledky měření | 31 |
| 4. 6 Obrázky ze SEM analýzy..... | 36 |
| 4. 7 Výsledky vyvařených vzorků..... | 39 |
| 4. 8 Výpočty energie laseru..... | 41 |
| Závěr | 44 |
| Seznam literatury | 46 |
| Seznam obrázků..... | 49 |
| Seznam tabulek | 50 |
| Přílohy..... | 51 |
| Seznam tabulek příloh | 62 |
| Seznam obrázků příloh | 63 |

Úvod

Dnes se s lasery setkáváme velmi často, avšak málokdo z nás si toho je vědom. V textilním průmyslu jsou již nějakou dobu využívány k rozmanitým účelům. Spektrum jeho uplatnění se týká například laserového řezání (v oddělovacím procesu) přes různé vzorování a reklamní značení, šití nebo spojování až po obvyklé blednutí denimových tkanin.

Laserový paprsek dosahuje takových intenzit, kdy je schopen strukturu vláken natolik poškodit, že v případě celulóзовých vláken dochází ke spálení a pokud jde o syntetická vlákna, tak hrozí jejich roztavení, kdy v obou případech dosahujeme lámání kráterů. Prodyšnost je vlastnost, jež má schopnost odvodu tělesné vlhkosti pryč od těla.

Bakalářská práce pojednává o modifikaci celulóзовých struktur, konkrétně lyocellu, bavlny a viskózy. Materiály, které se odlišují svou strukturou a plošnou hmotností, byly podrobeny vlivu laserového paprsku z aparátu Marcatex 150 Flexi Laser. Testované textilie byly vystaveny účinku infračerveného laserového paprsku s nastavením různých šířek pulzu [μm] za předpokladu minimálního poškození struktury vláken a s cílem zjistit, jak to ovlivnilo výslednou prodyšnost materiálu. Stanovený cíl se týká návrhu a provedení metody laserové modifikace celulóзовých tkanin takovým způsobem, abychom dosáhli zřetelných změn prodyšnosti při nejmenším poklesu mechanických vlastností.

V teoretické části práce je zpočátku uvedena základní charakteristika laseru, na jakém principu pracuje, dělení podle typů, jeho využití v praxi a s tím spojená i bezpečnost. Poté jsou obecně popsána a rozdělena celulóзова vlákna. Dále je zaměřeno na jednotlivá vlákna od jejich historie přes výrobu a strukturu, k důležitým vlastnostem.

Experimentální část charakterizuje vybraný materiál a využití přístroje. Pak se zabývá přípravou vzorků před laserovým ozařováním, kdy jsou vzorky namáčeny a následně odždímány pro dosažení určitého mokrého přívažku. Poté jsou vystaveny působení laserového paprsku z přístroje Marcatex 150 Flexi Laser. Nakonec jsou vzorky proměřeny na zařízení FX 3300, který slouží ke zjišťování prodyšnosti. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách. Testované vzorky si lze prohlédnout v příloženém vzorníku a některé vzorky jsou v práci zobrazeny pomocí SEM analýzy.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Laser

Slovo laser vzniklo jako zkratka z písmen anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, který v překladu znamená „zesílení světla užitím stimulované emise záření“. Obecně lze říci, že laser je optický zdroj elektromagnetického světelného záření, při kterém je záře vydávána laserem v podobě úzkého svazku světelného proudu a liší se od prostých světelných zdrojů svými speciálními vlastnostmi. Mezi tyto vlastnosti patří koherentnost (prakticky nulové odchýlení) a monochromaticnost (vlnění o jen jedné vlnové délce) paprsku, čímž laserový paprsek dosáhne intenzivní koncentrace značné četnosti energie na malém prostoru. [1] Při modifikaci celulózových struktur využijeme tuto jedinečnost laseru.

2.1.1 Historie vzniku

V roce 1917 prezentoval A. Einstein pojem stimulovaná emise záření, když zkoumal vzájemné působení fotonů a atomů. Konstatoval, že za předpokladu existence inverze obyvatelstva mezi dvěma energetickými úrovněmi atomového uspořádání se může dostavit zesílené stimulované záření, tj. laserové světlo. [2]

Následujících 40 let trvalo, než bylo popsané záření vtěleno do přístroje. První funkční laser prezentoval Theodore Harold Maiman teprve 16. května 1960. Jako aktivní prostředí aplikoval krystal rubínu, jehož prostřednictvím projektoval záblesky běžného světla. [3]

Tento významný mezník započal rychlé šíření a dělení se do rozličných odvětví, jako např. do vědy, medicíny, chemie, biologie, dále do průmyslu, energetiky, výpočetní techniky, ale též i do obyčejného života. Už roku 1961 bylo laserové světlo využito k léčení očních a kožních onemocnění. V dnešní době narazíme na lasery velice často, aniž bychom si to sami uvědomovali. [3]

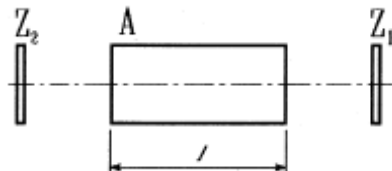
2.1.2 Stavební prvky

Mezi podstatné stavební složky laseru (generátoru) řadíme nejen stupňující (aktivní) prostředí (tzv. laserový zesilovač), stejně jako i optický rezonátor.

Soustředěním dostatečně silného buzeného aktivního prostředí do optického rezonátoru je uskutečněn proces laseru – generátoru z čehož vyplývá, že laser – generátor je ve

skutečnosti laserový zesilovač s pozitivní zpětnou vazbou provedenou zrcadly optického rezonátoru (viz obr. 1). [4]

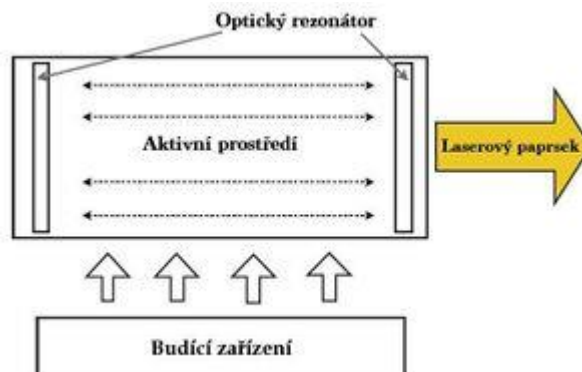
Aktivní prostředí lze definovat jako souhrn kvantových soustav rozestavených v určitém výsledném úseku prostoru, které byly vnějším činidlem (buzením) rozhozeny ze stavu termodynamické rovnováhy. Úplná vnitřní (rovnovážná) energie před vznikem působení buzení je menší než jejich souhrnná vnitřní energie. [4]



Obr. 1: Generátor [4]

2. 1. 3 Princip laseru

Princip laseru (viz obr. 2) nelze vysvětlit pouze prostřednictvím znalostí klasické fyziky, kdy může být energie v jakémkoli množství dodávána a ze systému vyzařována. Atomy a molekuly smí obsadit jen kvantové stavy. Tudiž je kvantována energie elektronů v elektronovém obalu atomu, a rovněž rotačně-vibrační energie molekul. V případě laserů se bude pokaždé jednat o energetické přechody, kdy bude absorbováno nebo vyzářeno jisté energetické množství. Při vybuzení atomu je foton zachycen a odevzdá mu svou energii. Atom se vyskytuje ve vyšší energetické situaci po tzv. dobu života vybuzeného stavu. Po uplynutí tohoto času se atom navrátí znovu do primárního energetického stavu s nižší energií a přemíra energie se vyzáří ve viditelném segmentu stupnice (zářivý přechod) nebo v podobě tepla (nezářivý přechod). [2]



Obr. 2: Princip laseru [5]

2. 2 Typy laserů

V současnosti se lasery produkují v celé řadě velikostí a výkonů, od praktických laserových ukazovatek až po výkonná obráběcí laserová centra. Usilovně pokračují činnosti související s vývojem rentgenových laserů. [2]

Lasery lze rozčlenit dle různorodých kritérií. Souhrn základních využívaných typů laserů je stanoven v tabulce 1. Podle charakteru aktivního prostředí třídíme:

- pevnolátkové,
- kapalinové,
- plynové,
- polovodičové

V souvislosti s jejich pracovním režimem dělíme:

- kontinuálně pracující,
- pulsní.

Nakonec je můžeme členit podle škály vyzařování na:

- pracující v UV, viditelné a IČ oblasti,
- monochromatické,
- polychromatické laditelné. [2]

Tab. 1: Využívané typy laserů, převzato z [2]

| Pevnolátkové lasery | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------|---|
| Aktivní prostředí | Vlnová délka | Čerpání | Použití |
| Rubínový laser | 694,3 nm | záblesk výbojky | holografie, 1. funkční laser |
| Neodymový YAG (Nd:YAG) | 1,064 μm , (1,32 μm) | záblesk. laser. dioda | obrábění materiálů, chirurgie, pumpování laserů, hlubotiskové formy |
| Neodymové sklo (Nd:sklo) | ~ 1,062 mm křemíková skla, ~ 1,054 mm fosfátová skla | záblesk, laserová dioda | extrémní výkon v TW, energie vícepráskových systémů v MJ, fuzní zařízení užívají 3. harmonické 351 nm |
| Thulium YAG (Tm:YAG) | 2,0 μm | laser. dioda | laserové radary |
| Ytterbium YAG (Yb:YAG) | 1,03 μm | laser. dioda | obrábění materiálů, ultrakrátké pulsy |

| Pevnolátkové lasery | | | |
|--|--|---|---|
| Aktivní prostředí | Vlnová délka | Čerpání | Použití |
| Neodymový YLF (Nd:YLF) | 1,047 a 1,053 μm | záblesk, laserová dioda | zpravidla pro pumpování Ti:safír laserů |
| Holmium YAG (Ho:YAG) | 2,1 μm | laser. dioda | odstranění tkání, ledvin, zubní lékařství |
| Titanem dopovaný safír (Ti:safír) | 650-1100 nm | laser | spektroskopie, laditelný laser, silné ultrakrátké pulsy |
| Neodym YVO4 (Nd:YVO) | 1,064 μm | laser. dioda | k pumpování Ti:safír laseru, osvitky, 2. i 3. harmonická |
| Kapalinové lasery s organickými barvivy | | | |
| Stilben | 390 - 435 nm | záblesk, laser | výzkum, spektroskopie, odstranění mateřských znamének, separace izotopů |
| Kumarin 102 | 460 - 515 nm | | |
| Rhodamin 6G | 570 - 640 nm | | |
| Plynové lasery | | | |
| Helium-neonový (He-Ne) | 632,8 nm (543,5 nm, 593,9 nm, 611,8 nm, 1,1523 μm , 1,52 μm , 3,3913 μm) | elektrický výboj | spektroskopie, interferometrie, holografie, snímání čárových kódů, optická měření |
| Dusíkový | 337,1 nm | elektrický výboj | pumpování kapalinových laserů, vědecký výzkum, pracují i bez rezonátoru |
| CO ₂ | 10,6 μm (9,4 μm) | elektrický výboj | opracování materiálů – řezání, svařování, chirurgie |
| CO | 2,6 až 4 mm 4,8 až 8,3 mm | elektrický výboj | opracování materiálů – řezání, svařování, chirurgie, fotoakustická spektroskopie |
| Fluorovodíkový | 2,7 až 2,9 mm | chemická reakce při spalování etylénu a NF ₃ | kontinuálně pracující s výkonem MW, laserové zbraně |
| Argon – iontový | 488,0 nm, 514,5 nm, (351 nm, 465,8 nm, 472,7 nm, 528,7 nm) | elektrický výboj | operace sítnice, litografie, pumpování laserů |
| Krypton – iontový | 416 nm, 530,9 nm, 568,2 nm, 647,1 nm, 676,4 nm, 752,5 nm, 799,3 nm | elektrický výboj | pro vědecké účely, spolu s Ar bílé laserové záření, světelná představení |
| Xenon – iontový | mnoho spektrálních čar v UV, VIS, IČ oblasti | elektrický výboj | vědecké účely |
| Helium – kadmiový (He-Cd) kovové páry | 440 nm, 325 nm | elektrický výboj | osvitové jednotky, tiskárny, vědecké účely |
| Helium – rtuťový (He-Hg) kovové páry | 567 nm, 615 nm | elektrický výboj | vědecké účely, lze amatérsky vyrobit |
| Helium – selenový (He-Se) kovové páry | mnoho spektrálních čar v oblasti UV – VIS | elektrický výboj | vědecké účely, lze amatérsky vyrobit |
| Páry mědi (Cu) | 510,6 nm, 578,2 nm | elektrický výboj | dermatologie, vysokorychlostní fotografie, |

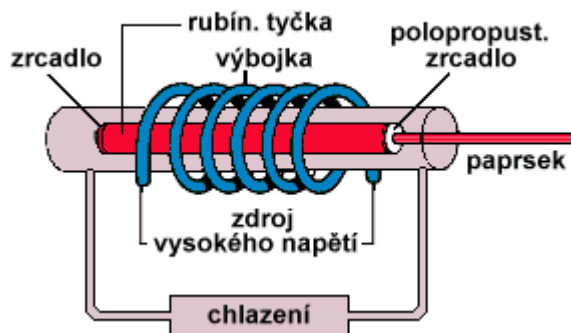
| Pevnolátkové lasery | | | |
|---|--|---------------------------------------|---|
| Aktivní prostředí | Vlnová délka | Čerpání | Použití |
| | | | pumpování kapalin, laserů |
| Excimerové lasery | | | |
| ArF KrCl KrF XeCl XeF | 193 nm 222 nm 248 nm 308 nm 351 nm | elektrický výboj | UV litografie, fotopolymery, výroba polovodičů, chirurgie, oční lékařství |
| Chemický kyslík- jódový laser (COIL) | 1,315 μ m | chemická reakce kyslíku s jódem | vědecké účely, materiálový výzkum, vojenské zbraně, kontinuálně pracující s výkonem v MW |
| Polovodičové lasery | | | |
| InGaN GaN InGaAlP AlGaInP GaAlAs GaAs GaSb InGaAsP | 400 nm 405 nm 630 - 685 nm 650 nm 670 - 830 nm 650 nm, 840 nm 1870 nm 1400 nm | elektrický proud | telekomunikace, holografie, osvitové jednotky, kopírky, laserové tiskárny, světlo 780 nm pro CD systémy, nejvíce aplikací, záznam DVD světlem kolem 400 nm |

2. 2. 1 Pevnolátkové lasery

Aktivní prostředí produkuje krystalické nebo amorfni izolanty s přísadou vhodných iontů. Excitace je zpravidla optická. Tyto typy laserů mohou fungovat v rozličných režimech a za různých provozních podmínek. Dále jsou stabilní a snadno se udržují. Jejich záření vykazuje vlnové délky v oblasti infračerveného a viditelného světla. [6]

Nejznámějším zástupcem je rubínový laser (viz obr. 3), jehož aktivní prostředí představuje krystal syntetického rubínu. První laserový paprsek červeného světla se Maimanovi povedlo vytvořit za použití rubínové tyčinky. [6]

Nejrozšířenějším lasem dnešní doby je laser neodymový, který vyzařuje infračervené záření a zelené světlo. Prosazuje se v nejrozmanitějších oborech, především v medicíně. [6]



Obr. 3: Rubínový laser [6]

2. 2. 2 Kapalinové lasery

Aktivní prostředí vytváří roztoky různorodých organických barviv. Pomocí spojení několika druhů barviv a metody tzv. nelineární optiky lze docílit téměř všech vlnových délek v rozmezí od 300 nm do 1500 nm. Z tohoto důvodu se kapalinové lasery uplatňují např. ve spektroskopii. Jejich zásadní nevýhodou je krátká životnost aktivního prostředí, které se vlivem tepla a světla naruší a rozkládá. [6]

2. 2. 3 Plynové lasery

Aktivní prostředí je možno utvářet atomy, ionty nebo molekulami. Tyto lasery působí v kontinuálním nebo pulzním režimu, a to ve velice širokém rozměru vlnových délek. Excitace se odehrává zpravidla prostřednictvím elektrického výboje ve zředěném plynu, jen zřídka se uplatňuje optická excitace. [6]

Plynové lasery vykazují homogenní aktivní prostředí, které zaručuje jejich jedinečné parametry. Za velkou nevýhodu lze považovat docela malý výkon. [6]

Nejrozšířenějším druhem je červeně zářivé helium – neonový laser. V průmyslu a též medicíně se nejvíce využívá infračervený CO₂ laser (viz obr. 4). Světelné efekty v podobě modrého a zeleného paprsku vytváří např. argonový laser. [6]

Specifickým typem plynových laserů jsou excimerové lasery, které jsou zdatným zdrojem ultrafialového záření. Aktivní prostředí utváří molekuly, které jsou vyráběny sjednocením dvou atomů různorodých vzácných plynů (argon – krypton, krypton – fluor apod.) vlivem svazku elektronů. [6]



Obr. 4: CO₂ laser [7]

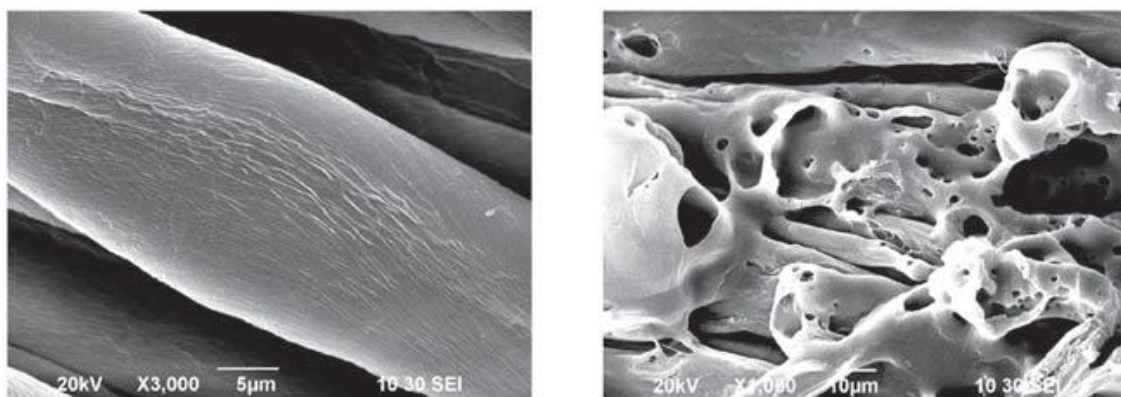
2. 2. 4 Polovodičové lasery

Tyto lasery se dnes řadí mezi nejrozšířenější a jejich zdroj záření vytváří tzv. laserová dioda. Diody jsou typické velmi malými rozměry, což lze považovat za jejich výhodu, ale zároveň je to jistá nevýhoda vzhledem k větší rozbíhavosti paprsku než je tomu u ostatních typů laserů. Účinnost diod dosahuje až k 50 % a jejich výkon je možné jednoduše upravit snadnou regulací změny elektrického proudu. Z těchto důvodů našly laserové diody značné využití zvláště v telekomunikacích, ve výpočetní technice i spotřební elektronice. [6]

2. 3 Vliv CO₂ laseru na bavlnu a syntetická vlákna

Při působení CO₂ laseru na bavlněná vlákna hrozí nebezpečí úplného spálení, pokud dojde ke špatnému nastavení parametrů laseru. Nejdůležitější je pečlivé nastavení laserových parametrů pro získání požadovaných výsledků, což se týká zejména rozlišení (DPI) a šířky laserového pulzu (Pixel time). Pokud se zvětší hodnota rozlišení a šířka laserového pulzu a tím i doba vypalování, dochází ke zvýšené hustotě a počtu pórů a zároveň k rozšíření množství trhlin a fragmentů, což je zřetelné na povrchu vlákna (viz obr. 5). [8] Velké kvantum pórů vytváří takzvaný houbovitý tvar, který je způsoben

odstraněním vody uvnitř vlákna. Laserové záření má také schopnost měnit drsnost povrchu bavlněného vlákna. [9]



Obr. 5: Neupravená bavlna a laserem ozářená bavlna při 40 DPI a 100 μs [9]

Co se týká syntetických materiálů, laserové technologie mohou vytvářet morfologické změny povrchu vláken. U syntetických vláken lze docílit i nežádoucího účinku v podobě úplného roztavení. Dochází k němu při nadměrném množství energie, které může polymery poškodit. [10]

Fotochemický proces je založen na štěpení chemických vazeb obsahující vysoce energetické fotony, kterými lze docílit síťování a dalších reakcí. Absorpce fotonu vede ke zvýšení energie, čímž může dojít ke spalování či tavení. [11]

2. 4 Aplikace laserů

Uplatnění laserů v některých oborech je velice různorodé. V případě, že bychom takové aplikace klasifikovali podle vlastností laserového záření, dosáhli bychom roztržitého množství informací do několika oddílů. [12]

Laser se dnes uplatňuje v medicíně, při různých technologických operacích ve výrobě, v astronomii, geodesii, metrologii, chemii, biologii, spektroskopii, v energetice, ve výpočetní technice, v technice spojů, ve vojenské technice, v automatizaci, dálkovém řízení apod... [4]

Lasery byly využity v řadě okruhů vědeckého výzkumu. Jedním z klíčových výsledků laserového výzkumu je zkonstruování laseru, který může zářit světlo o několika frekvencích současně, zatímco dříve bylo možné produkovat světlo pomocí jediné frekvence. Lasery též vznikly experimentálně jako nové zbraňové systémy s cílenými účinky. [13]

V textilním průmyslu jsou lasery používány kvůli vysoké ohebnosti a přesnosti. Jedná se například o řezání a pojení tkanin, vzorování, řezání specifických textilií jako jsou airbagy apod. a blednutí denimových tkanin. [14]

2. 5 Blednutí denimových tkanin laserem

V současnosti se firmy pokouší vytvořit rozličné techniky pro vylepšení vizuálních aspektů denimových tkanin. Mezi oblíbené techniky patří zejména třepení určitých oblastí tkaniny metodou broušení a praní s kameny (metoda stone – wash) pro vznik vzoru. [15]

Při produkci nebarvených džín pomocí obvyklých výrobních postupů dochází k velké spotřebě vody, jež je zpravidla kontaminována chemikáliemi využívaných při těchto procesech. Jako alternativní způsob odstraňující některé nedostatky běžných postupů lze označit blednutí prostřednictvím laseru. [16] Účinek laseru na obarvená denimová vlákna je způsoben teplem. Pomocí rozmanitých možností nastavení laseru je možné docílit rozdílných stupňů odstranění barvy bez poškození nebo jen s nepatrným poškozením denimu. [17]

2. 6 Bezpečnost

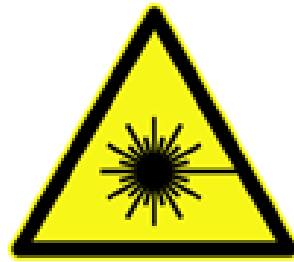
Činnost spojená s lasery s sebou přináší možnost ohrožení zdraví laserovým zářením. [18] Kvůli tomu, že laserové záření je soustředěno do světelného svazku o průměru asi 1 mm, rozvíjí se nebezpečí poškození zraku. Hygienické nařízení ministerstva zdravotnictví na základě světelného výkonu řadí lasery do čtyř tříd bezpečnosti (viz obr. 6). Na pracovišti s laserem je nutné vyloučit předměty s kovovým leskem a využívat stanovené ochranné brýle. [2]

Třídy bezpečnosti laseru

- Třída I – přijatelnost souvislého pohledu do laseru bez následků
- Třída II – znatelné souvislé záření, mrkací reflex ochraňuje oko před poškozením
- Třída III:
 - a) totožné se třídou II, avšak oko je možné porušit využitím optiky (dalekohledu)

b) schopnost poškození oka

- nezbytné využívat ochranné pomůcky
- emise do 0,5 W
- Třída IV – rovněž jako třída III b) zatímco emise převyšuje 0,5 W [3]



Obr. 6: Bezpečnostní symbol laseru II. a III. a třídy [3]

3 Celulózová vlákna a jejich dělení

Celulóza je nejběžnější vysokomolekulární látkou na Zemi. Z chemického hlediska jde o polysacharid, jehož hlavní složkou je glukóza. [19]

V přírodě se celulóza objevuje zásadně s průvodními látkami, mezi které řadíme následující:

- pektocelulóza
- lignocelulóza
- kutoceleulóza
- glukóza

Jde o látku, která je nepříliš reaktivní, což je způsobeno chemickým složením a zejména její strukturou. [19]

Celulózová vlákna je možné členit dle původu na:

- Vlákna přírodní – rostlinného původu
- Vlákna chemická – na bázi celulózy

Vlákna rostlinného charakteru (zdroje) lze ještě rozdělit na vlákna:

- Ze semen – bavlna, kapok
- Ze stonků – len, konopí, juta, ramie, kenaf, kopřiva, klejcha
- Z listů – sisal, manilské konopí, novozélandský len, agave, ananas, aloe, rašelina
- Z plodů – kokos

Vlákna chemická na bázi celulózy:

- Vlákna z regenerované celulózy – viskózová, lyocellová a měďnatá
- Vlákna z esterů celulózy – acetátová, nitrátová

Blíže se podíváme na světově nejčastěji využívaná vlákna, konkrétně se jedná o bavlnu a viskózu. Největší pozornost však zaměříme na lyocellová vlákna. [19]

3.1 Lyocell

Lyocell se řadí do skupiny vláken nové generace. Jedná se o přírodní vlákno vytěžené z bukové nebo dubové celulózy, konkrétně z dřevní hmoty, ekologicky diskrétním postupem. Toto vlákno exceluje vysokou pevností. Dále se zásluhou specifické technologie výroby, kdy se z povrchu vlákna štěpí jemné fibrily, docílí příjemného omaku. [20]

3. 1. 1 Historie

Roku 1939 zveřejnil Graenache potenciálnost rozpouštění až 10% celulózy v terciálních aminooxidech. Teprve o dvacet let později si nechal Johnson patentovat jakýsi rozpouštědlový systém na bázi N - metylmorfolin - N oxidu (NMMO). Dopadem vlivného dipólu N – O dochází k možnosti fyzikálního rozplynutí ve vodném roztoku. Specifický proces přípravy koncentrovaných roztoků (do 23%) celulózy v NMMO objasnili Mc Corsely a Varga až v roce 1990. [19]

Již v roce 1992 se lyocellová vlákna začala komerčně produkovat v USA zásluhou firmy Acordis Cellulosic Fibers, Inc. [21] Další podnik vyrábějící lyocell, avšak pod obchodním názvem Tencel, byla firma Courtaulds z Velké Británie, kterou později převzala rakouská firma Lenzing včetně značky Tencel. [22] [23]

3. 1. 2 Výroba

Nejdříve dochází k nachystání homogenního koncentrovaného roztoku celulózy ve směsi s vodou a NMMO (8-20% celulózy, 75-80% NMMO a 5-12% vody). Následně je roztok formován přes vzdušnou mezeru do srážecí lázně (systém dry jet wet) při teplotě 90-120°C. Poté nastává srážení a dlužení ve srážecí lázni, která je složena z vody a polárního rozpouštědla jako je etanol lépe řečeno bobtnadlo jako je například NaOH, ZnCl₂, atd. Právě prostřednictvím skladby srážecí lázně lze regulovat krystalickou strukturu a radiální homogenitu, popřípadě zredukovat tendence k fibrilaci. Dále se dostáváme k praní a sušení vláken, které zakončíme rekuperací NMMO ze srážecí a prací lázně. [19]

3. 1. 3 Struktura a fibrilace

Poróznost lyocellových vláken je radiálně stejnorodá, kdy se průměr póru pohybuje kolem 5-10 nm. Jenom povrch pokrývá tenká vrstvička se značnou hutné látky. V porovnání s lyocellem se u viskózních vláken vyskytují v pokožce (skin) o tloušťce 1,5-2,5 μm pouze nevelké póry o rozměrech 5-25 nm. Oproti tomu jsou v jádře mohutné póry velikosti 25-150 nm. [19]

Lyocellová vlákna vykazují v mimo vynikajících mechanických vlastností a stability také sklon k fibrilaci za mokra, což je dopad vysoké krystalinity a značného zaměření všech fází. Snížit fibrilaci lze jak pomocí modifikace během přípravy vláken, tak též při zušlechťování. Rovněž dochází k situacím, kdy se naopak fibrilace zdůrazňuje třeba vlivem enzymů a vytváří se textilie se specifickým povrchem (peach skin). [19]

3. 1. 4 Vlastnosti

Při srovnávání s viskózními vlákny vykazují lyocellová vlákna zřetelně vyšší pevnost za sucha i za mokra, dále také vyšší počáteční modul a pevnost ve smyčce a uzlu též za sucha i za mokra. Také mají vyšší náchylnost k fibrilaci za mokra. Naopak mají nižší tažnost za sucha i za mokra. Lyocell je znám pro svůj specifický omak. [19]

Lyocellová vlákna jsou využívána hlavně pro uchovávání optimální vlhkosti v lůžkovinách neboli schopnost odvádět vlhkost. Výrobky z tohoto materiálu vykazují značnou vzdušnost. Výhodou je jejich jednoduchá údržba. [20]

3. 2 Bavlina

Bavlina se řadí do skupiny přírodních vláken, která jsou rostlinného původu. Zároveň je považována za zdroj nejryzejší celulózy. Jedná se o jednobuněčná vlákna, která porůstají semena bavlníku. [19]

3. 2. 1 Historie

Už zhruba 5800 let před naším letopočtem se ve městě Tecuan na území Mexika objevily v podstatě první zprávy o bavlněných tobolkách a textiliích. O mnoho let později, teprve 3000 let před naším letopočtem, se vyskytla v oblasti Indie a Pákistánu. Prvotní písemný záznam v literatuře vznikl asi 1500 let před naším letopočtem. [19] Až v období pozdního středověku se bavlna konečně dostává na území Evropy). V současnosti narůstá zájem o produkty z přírodních vláken a materiálů, tudíž se ani do budoucna nemusí trh s bavlněnými vlákny obávat konkurence v podobě chemických vláken. [24]

3. 2. 2 Pěstování a sklizeň

Bavlina se botanicky řadí do čeledi slézovitých rostlin. Avšak nejvíce je vyhlášená jako druh keřovité rostliny.

Samotné pěstování začíná zasazením semena, které již po týdnu začne pučet. Během tří měsíců dochází k pozvolnému uzrávání a rozpuku. Následně více jak dva měsíce poté, co se květy oddělí, nastává růst tobolky a vláken bavlny. Nakonec přijde chvíle, kdy vyzrálá tobolka praskne. [25]

Sklizeň je důležitá součástí procesu, která se dnes vykonává většinou strojně. Nejdříve se z keřů pomocí postřiků odstraní listy, dále přijdou na řadu stroje, které vyrazí do plantáže, kde mají za úkol odtrhnout z keřů tobolky a hromadit je v zásobníku. [25]

Koná se zpravidla třikrát, neboť každá tobolka má odlišnou dobu zrání. Mezi nejlepší a nejhodnotnější vlákna patří ty z druhé sklizně. Ty, které pocházejí z první etapy lze označit jako méně zralá vlákna a ty ze třetí etapy mohou být poničena mrazem nebo deštěm. [19]

Nashromážděná bavlna se nechá oschnout obvykle na poli, později je přepravena do vyzrňovací stanice. Odzrnění může probíhat na pilkových strojích, které jsou drsnější, nebo lze zvolit šetrnější variantu v podobě válcových strojů. Vždy však dochází k odtržení semena od bavlněných vláken. Cyklus se skládá ze dvou až tří opakování,

kdy jsou z posledního výtěžku opatřena krátká vlákna zvaná linters. Bavlna, která se získá z prvního vyzrnutí, je stlačena do balíků, které jsou poznamenané a odesílají se odběratelům. [25]

3. 2. 3 Odrůdy bavlníku a třídění

Mezi základní druhy bavlníku patří:

- bavlník srstnatý – krátkovlákný, dvouletý keř; tvoří až 87% celkového objemu výroby
- bavlník keřovitý – dlouhovlákná, jednoletá bylina; představuje cca 8% produkce
- bavlník bylinný – krátkovlákný
- bavlník peruánský – dlouhovlákný [19]

K třídění dochází po vyzrnutí, kdy mezi nejdůležitější kritéria patří délka (stapl), zralost a nečistoty. V dnešní době bereme jako samozřejmost, že je k surovině přiložen atest HVI (High Volume Instruments) v podobě čárového kódu, jenž nás informuje o zásadních parametrech materiálu (délka, jemnost, znečištění, třída). [25]

Z obchodního hlediska rozlišujeme 2 jakostní třídy bavlny. Jedná se o egyptské standardy, jenž tvoří dlouhá vlákna (> 30 mm), která jsou jemnější a americké standardy představují krátká vlákna (20-30 mm), která jsou pevnější a tudíž žádanější. [25]

Důležitým znakem bavlněných vláken je také barevný tón pohybující se ve stupnici od bílé po žlutou, což je ovlivněno územím, kde se pěstuje a též znečištěním, které vzniká při sklizni a procesu vyzrňování. [25]

3. 2. 4 Zralost

Bavlněná vlákna lze rozdělit podle zralosti, která plyne ze síly stěny vlákna, na vlákna zralá (objemná sekundární stěna), nezralá (tenká sekundární stěna) a mrtvá (téměř jenom primární stěna). [19]

3. 2. 5 Struktura a složení

Pod mikroskopem má vzhled zkroucené trubice nebo stužky se zpevněnými stěnami a nepatrným lumenem, což je hlavní kanálek. Vidět je také hrotové ukončení na jedné straně a znatelné pozůstatky po oddělení od semene pokožky na straně druhé. V průřezu

působí tvar vlákna obvykle ledvinový útvar, může být však eliptický až kruhový. Lumen je lemován buněčnou stěnou, jež má rozličnou sílu. Mezi typický rys bavlny patří též přítomnost vláken, jejichž průřez vytváří tvar písmene U a jedná se o vlákna mrtvá. [26]

Základní stavební složku bavlněného vlákna představuje celulóza s 88 – 96 %. V menší míře, konkrétně do 2 %, jsou ve vláknech obsaženy proteiny a minerální soli. Nachází se zde také pektiny, které mají nad 1 %. Nepatrné zastoupení mají rovněž vosky, organické kyseliny a cukry čítající do 1 %. Samotnou kategorií je skupina ostatních látek představující vitamíny a pigmenty o množství kolem 0,9 %. [19]

3. 2. 6 Vlastnosti

Pro bavlnu je charakteristický jemný omak, výborné sorpční vlastnosti, především co se týká potu. Produkty z tohoto materiálu jsou mimořádně komfortní a snadno barvitelná. Samozřejmě nesmíme zapomenout na pevnost, která je za mokra větší než za sucha a lze ji ještě zvýšit procesem zvaným mercerace, což tkví v účinku převážně louhu sodného za současného šponování při ochlazování. [19]

3. 3 Viskóza

Viskózová vlákna představují až 80% chemických vláken pocházejících z přírodních polymerů. Jejich velkou výhodou je, že jsou levná, což je na úkor ekologicky nepřijatelného postupu produkce. [19]

3. 3. 1 Historie

Původem viskózy bylo převratné odhalení metody rozpouštění celulózy přes vyrobení přechodného derivátu, jenž uskutečnili roku 1892 Cross, Bevan a Beadle v Anglii. [19]

3. 3. 2 Výroba

Zásadní surovinu pro zhotovení viskózy tvoří zejména smrkové nebo bukové dřevo. Na začátku se základní materiál upraví na drť (štěpy, mletí). Poté nastává proces zrání v NaOH, přičemž se zmenšuje protáhlý řetězec celulózy a dochází ke vzniku alkaliceulózy. Následný úkon se nazývá xantogenace týkající se vlivu sirouhlíku na alkaliceulózu, čímž se dosáhne vytvoření xantogenátu, který se potom rozpouští v NaOH na viskózový roztok. Konečná fáze produkce patří zvláknování získaného roztoku v kyselé lázni, kde docílíme vzniku vlákna, jeho struktury a vlastností. [25]

3. 3. 3 Struktura

Při procesu zvlákňování a dloužení se vyvíjí nadmolekulární struktura. Vlákna se skládají ze dvou oblastí, a to krystalické a amorfni části. Povrch vlákna je tvořen intenzivně orientovanou a výhodně upravenou vrstvou, jež je označována termínem skin. Následující část, která se nalézá pod vrstvou skin, je takzvaná kora. Jde o drobné, dobře zaměřené krystality představující přibližně 35% hmoty vlákna. Nejpodstatnější díl vlákna čítající asi 65% reprezentuje dřeň, která se sestává z mohutnějších méně orientovaných krystalitů. [19]

3. 3. 4 Vlastnosti

Viskóza vykazuje mimořádné sorpční vlastnosti, které má vyšší než bavlna. Díky svému chladnému omaku je vhodným materiálem na oblečení pro letní měsíce. Velkou nevýhodou je však její mačkavost a špinivost. [25]

Viskózová vlákna jsou svým chováním podobná bavlně. Zásadní rozdíl tkví v tom, že jsou nepříliš imunní vůči alkáliím a zároveň i proti opakovanému praní. Také je není možno obvykle mercerovat. [19]

3. 4 Hedvábí

3. 4. 1 Obecná charakteristika

Přírodní hedvábí se řadí mezi vlákna živočišná. Jedná se o vlákna na bázi bílkovin (fibroinu), což jsou vlákna původem ze sekretu hmyzu. V případě hedvábí se vlákna získávají jako výměšek snovacích žláz housenek nočního motýla – bource morušového. Životní cyklus bource morušového se skládá z několika vývojových stádií, konkrétně jde o vajíčka, housenku, kuklu (kokon) a dospělého motýla. [25]

Největší podíl na složení hedvábí má fibroin, který zaujímá celých 76%. Druhou nejvíce zastoupenou látkou je sericin s 22%. Zbylá procenta zastupují vosky, tuky a minerální soli. [19]

K základním vlastnostem hedvábí patří jemnost, pevnost, pružnost, šustivost, barva, lesk, tvárnost a dobrá barvitelnost. Z hlediska užitných vlastností lze ještě doplnit hebkost a chladivý omak. [25]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Záměrem bakalářské práce bylo sledovat vliv CO₂ laseru na vybrané celulózové textilie včetně hedvábí pro porovnání výsledků.

Vzorky textilií byly ozařovány infračerveným laserovým zářením s různou šířkou pulzu jednostranně, tak i oboustranně. K vyhodnocení účinku laserového záření na vybrané textilie byla měřena prodyšnost textilie a získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny.

U vybraných ozářených vzorků textilií byly změny v jejich povrchu analyzovány pomocí rastrovací elektronové mikroskopie, konkrétně lyocellu při různé šířce pulzu.

Byly vytvořeny grafy pro přehledné zobrazení výsledků prodyšnosti v závislosti na použité šířce pulzu při laserovém ozařování.

4.1 Charakteristika použitého materiálu

Pro experiment byly použity tkaniny různých materiálů s těmito parametry:

Tab. 2: Lyocell - parametry

| | |
|--|------|
| Vazba | kepr |
| Plošná hmotnost [g/m²] | 150 |
| Dostava osnovy [nití/1cm] | 39 |
| Dostava útku [nití/1cm] | 27 |
| Tloušťka [mm] | 0,36 |

Tab. 3: Bavlna - parametry

| | |
|--|--------|
| Vazba | plátno |
| Plošná hmotnost [g/m²] | 137 |
| Dostava osnovy [nití/1cm] | 26 |
| Dostava útku [nití/1cm] | 23 |
| Tloušťka [mm] | 0,36 |

Tab. 4: Viskóza - parametry

| | |
|--|--------|
| Vazba | plátno |
| Plošná hmotnost [g/m²] | 122 |
| Dostava osnovy [nití/1cm] | 30 |
| Dostava útku [nití/1cm] | 21 |
| Tloušťka [mm] | 0,31 |

Tab. 5: Hedvábí – parametry

| | |
|--|--------|
| Vazba | plátno |
| Plošná hmotnost [g/m²] | 66 |
| Dostava osnovy [nití/1cm] | 42 |
| Dostava útku [nití/1cm] | 32 |
| Tloušťka [mm] | 0,14 |

4. 2 Ozařování vzorků laserem

4. 2. 1 Laserové zařízení Marcatex 150 Flexi

Přístroj Marcatex 150 Flexi (viz obr. 7) je vrstevové uspořádání laseru CO₂, jenž je vyvoláván vysokou frekvencí. Vlnová délka laserového zařízení je v infračervené oblasti 10,6 μm. Aparát je sestavený pro průmyslové použití, jako je řezání, rytí, svařování a značení. Jde o výhradně kompaktní zařízení, neboť všechny součásti jsou sjednocené v jediné ovládací skříni. [27]



Obr. 7: CO₂ laser Marcatex 150 Flexi

Výchozí nastavení parametrů laseru

Tabulka shrnuje všechny důležité parametry laseru, které jsem při ozařování laserovým paprskem nastavovala.

Tab. 6: Nastavitelné parametry laserového záření

| | |
|---------------------------------------|----------|
| Duty cycle [%] | 30 - 50 |
| Frequency [kHz] | 5 |
| Pixel time [μs] | 30 - 800 |
| DPI | 30 |
| Výkon [W] | 100 |

Tab. 7: Parametry laserového záření použité pro ozařování vzorků testovaných textilií

| | |
|---------------------------------------|----------|
| Duty cycle [%] | 50 |
| Frequency [kHz] | 5 |
| Pixel time [μs] | 30 - 800 |
| DPI | 30 |
| Výkon [W] | 100 |

Duty cycle = pracovní cyklus; určitá charakteristická veličina pulzního laseru Marcatex 150 Flexi

Pracovní cyklus souvisí s užitou energií a tvoří poměr doby šířky laserového pulzu a doby vypnutí zařízení (součet doby vypnutí a šíře laserového pulzu). Maximální hodnota je 50%. [27]

Frequency = frekvence; stanovuje celkovou dobu každého cyklu

Pokud je frekvence nízká, tak se jedná o dlouhý čas aktivace laseru, ale maximální výkon. Naopak při vysoké frekvenci dochází ke krátké době laserové aktivace a tudíž k nízkému výkonu. [27]

Pixel time = šířka pulzu (doba působení laserového svazku v jednom bodě [μ s])

DPI = rozlišení (počet bodů na palec); znázorňuje intenzitu laserových bodů na jednotku délky

Čím vyšší bude hodnota DPI, tím více bodů bude připadat na čtvereční palec a budou se navzájem překrývat, což znamená vyšší rozlišení. [8]

Duty cycle (pracovní cyklus), frekvence a pixel time (šířka pulzu) ovlivňují výkon laserového ozařování.

4.3 Měření prodyšnosti

4.3.1 Přístroj FX 3300

Jedná se elektronické zařízení určené pro rychlé, jednoduché a precizní stanovení prodyšnosti pro všechny typy textilních látek a pěn (molitanů), jenž je vyrobené společností TexTest Instruments. Měřicí velikost přístroje zahrnuje vše od hustých technických textilií (např. pro airbagy) až po řídké netkané textilie. Aparát je automatický a digitální (viz obr. 8). [28]



Obr. 8: Zařízení FX 3300 [29]

Princip zařízení tkví ve vzniku tlakové odchylky mezi oběma povrchy zkoušeného textilního materiálu (nejčastěji 100 Pa) a následného měření způsobeného průtoku vzduchu. Měřená plocha dosahuje 5 cm² či poslední dobou 20 cm². Jednotku propustnosti lze formulovat jako m³/m² * s, což je možné zestručnit na m/s. Výhodou tohoto přístroje je skutečnost, že se testovaná textilie nebo oděv nemusí upravovat na vzorek určité velikosti, ale vloží se celé. [30]

4. 4 Postup testování

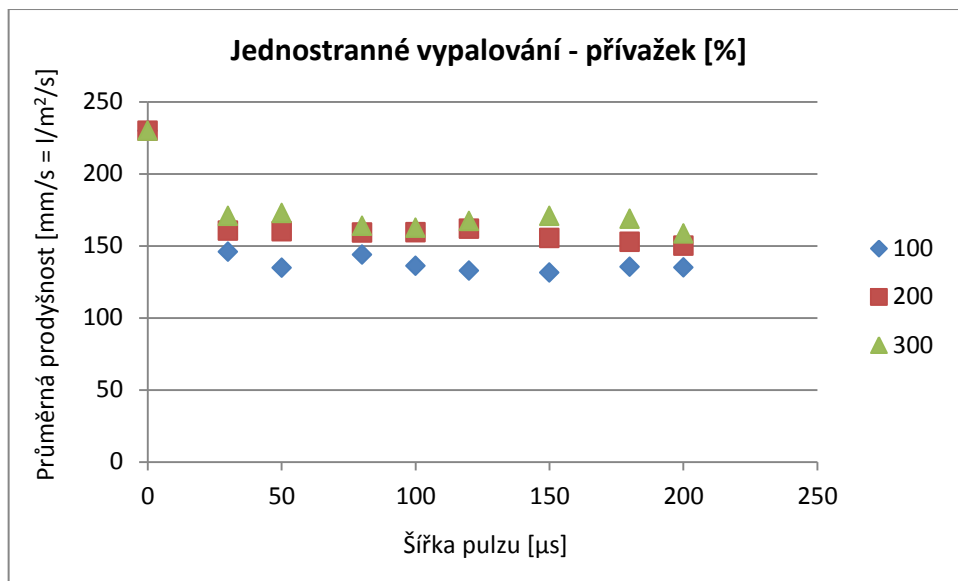
Pro mou práci jsem si připravila určitý počet vzorků o rozměrech 12 x 12 cm a hlavně 16 x 16 cm od každého materiálu. Vzorky jsem zvažila, následně namočila vodou a poté odždímala pomocí válečku, abych dostala mokry přivažek o hodnotách 100%, 200% a 300%. Ten jsem zjistila opětovným zvážením vzorků po odždímání. Takto připravené vzorky byly vystaveny laserovému záření při změnách parametru pixel time (šířka pulzu). Vypalovaná plocha vzorků byla o rozměrech 10 x 10 cm. Na vzorcích upravených laserem byla měřena prodyšnost při tlakovém spádu 100 Pa. Každé měření bylo desetkrát opakováno a byl vypočítán průměr. Všechny údaje vycházející z provedených měření jsou shrnuty v přehledných tabulkách (viz příloha č. 1, 3) a též zaneseny do grafů (obr. 9-17) Vybrané vzorky byly podrobeny SEM analýze a výsledky si lze prohlédnout na obrázcích číslo 8-13.

Nakonec jsem ještě provedla pokus týkající se srážení po vyvaření ve vodě, kdy jsem si na vzorky o rozměrech 16 x 16 cm vyšila čtverce o velikosti 10 x 10 cm. Poté jsem vzorky vyvařila ve vodě o teplotě 100°C při různých časových intervalech. Po usušení při napnutí jsem vyznačené čtverce přeměřila a nakonec jsem u nich měřila prodyšnost. Výsledky měření jsou zaznamenány v uspořádaných tabulkách.

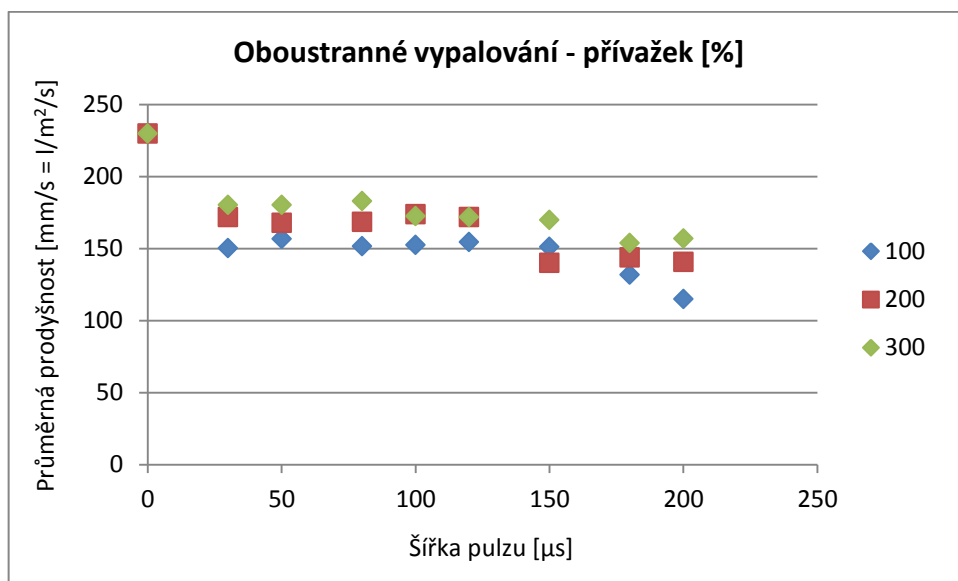
4. 5 Výsledky měření

Výsledky měření prodyšnosti po ozařování laserem, kdy jsem vypalovala plochu o rozměrech 10 x 10 cm, jsou zaznamenány v uspořádaných tabulkách včetně potřebných výpočtů či průměrných hodnot (viz příloha č. 1) Naměřené výsledky byly zaneseny do přehledných bodových grafů (viz obr. 9-17).

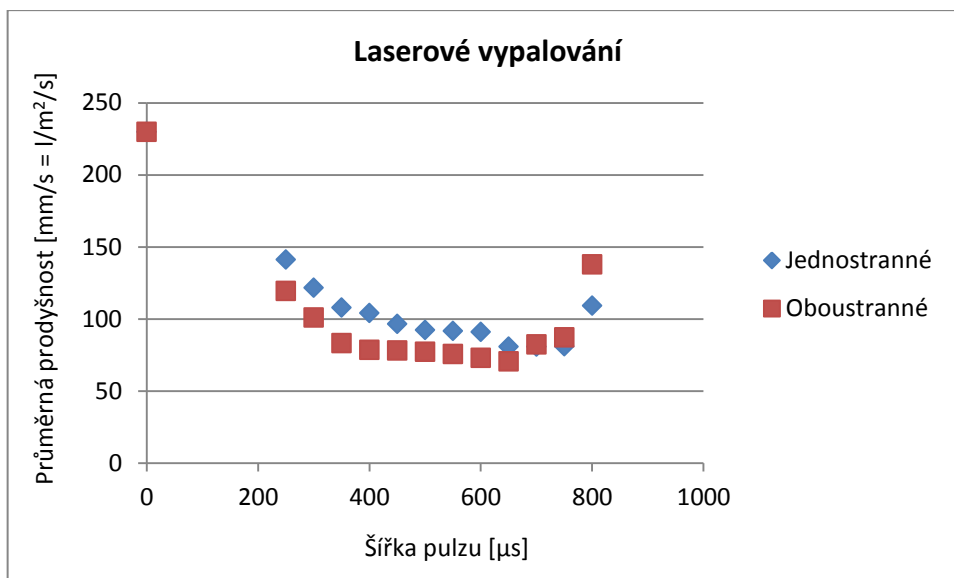
Lyocell



Obr. 9: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100, 200 a 300%

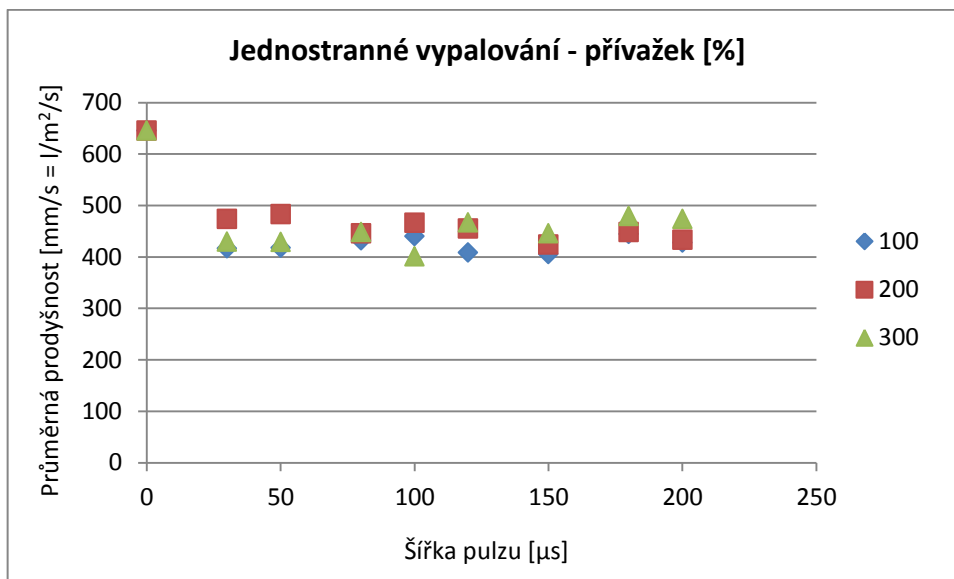


Obr. 10: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100, 200 a 300%

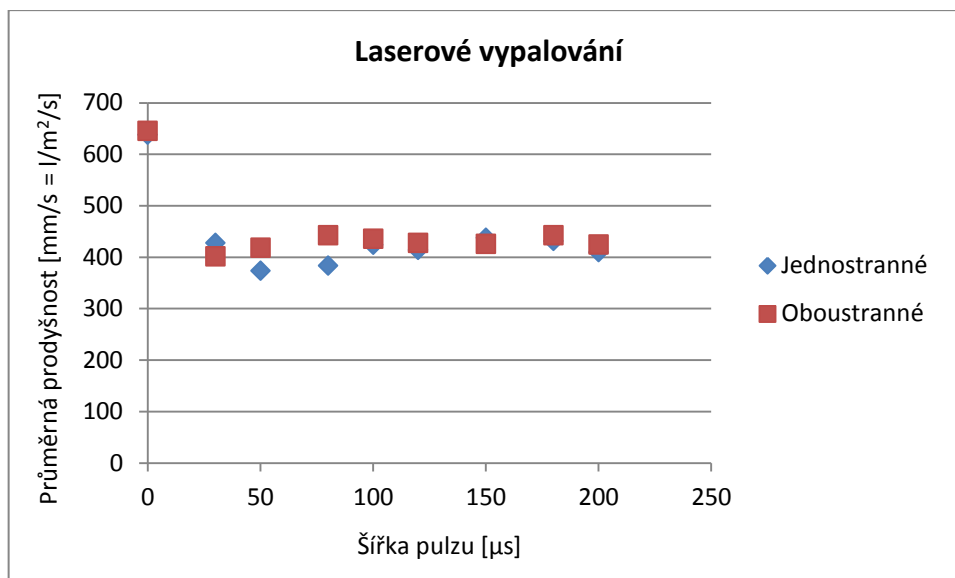


Obr. 11: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 200%

Bavlna

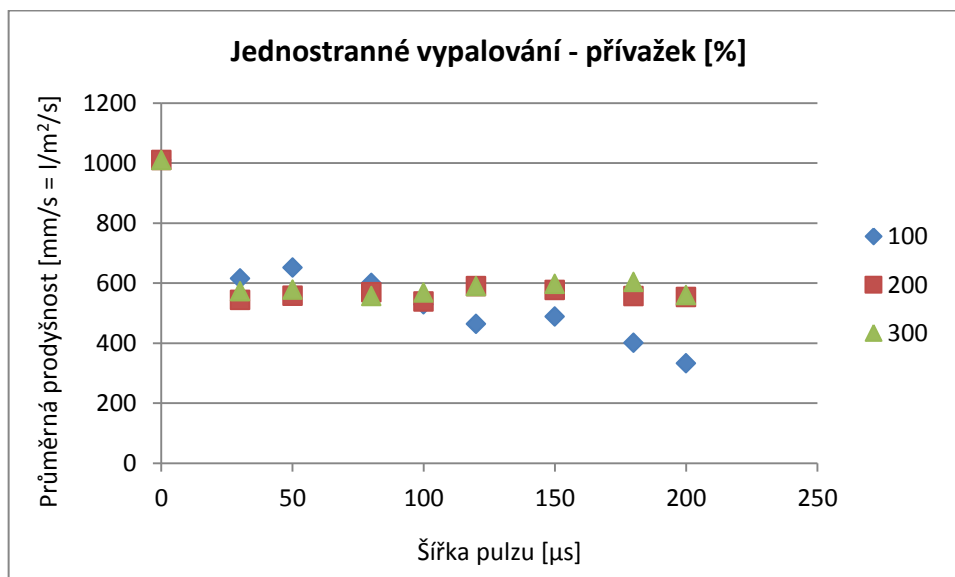


Obr. 12: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100, 200 a 300%

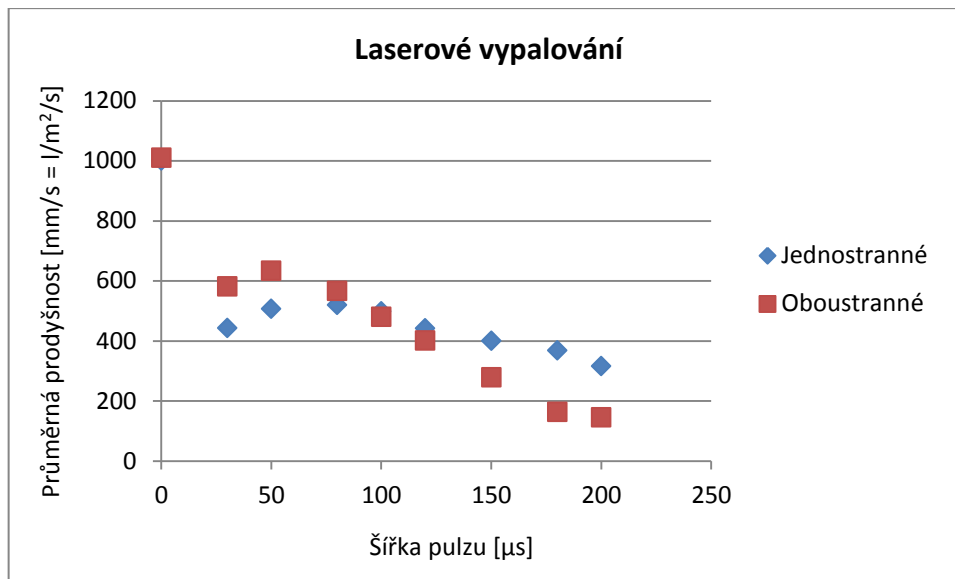


Obr. 13: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100%

Viskóza

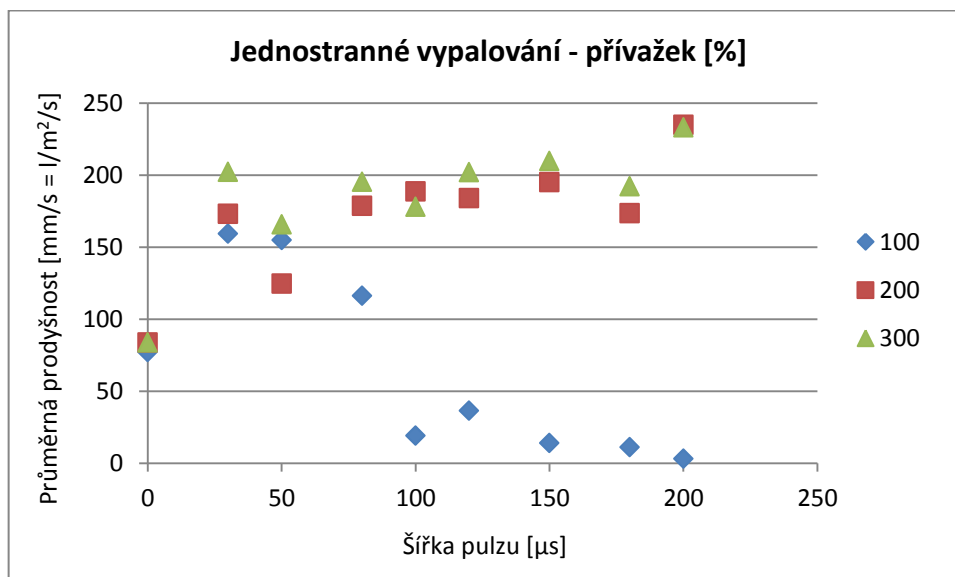


Obr. 14: Závislost prodyšnosti viskóзовé textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100, 200 a 300%

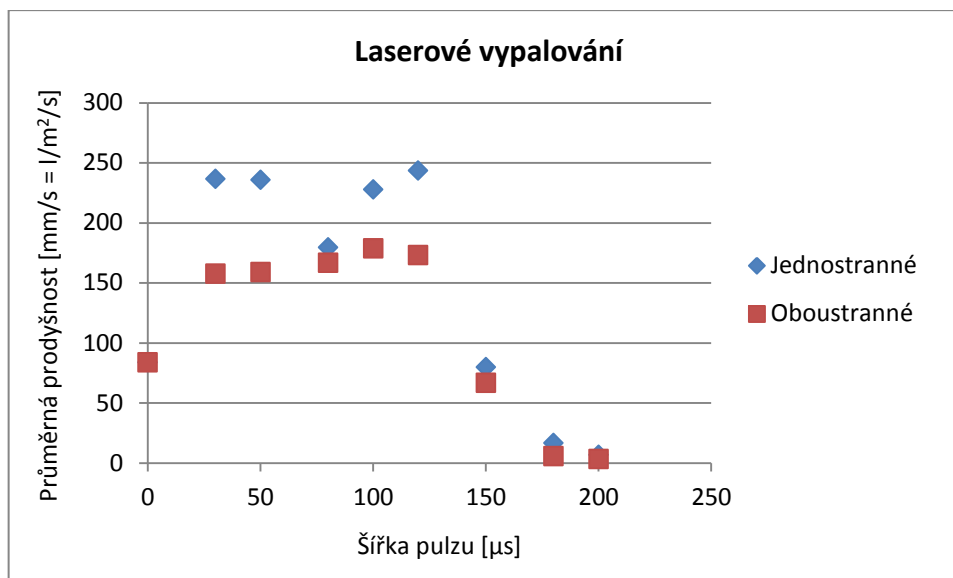


Obr. 15: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100%

Hedvábí



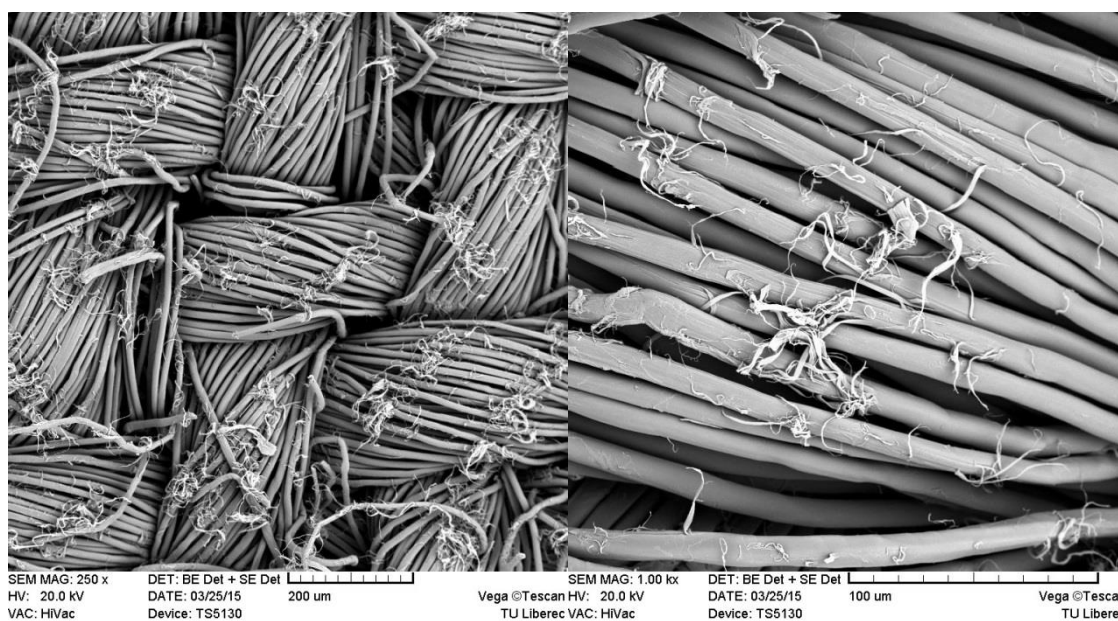
Obr. 16: Závislost prodyšnosti hedvábne textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100, 200 a 300%



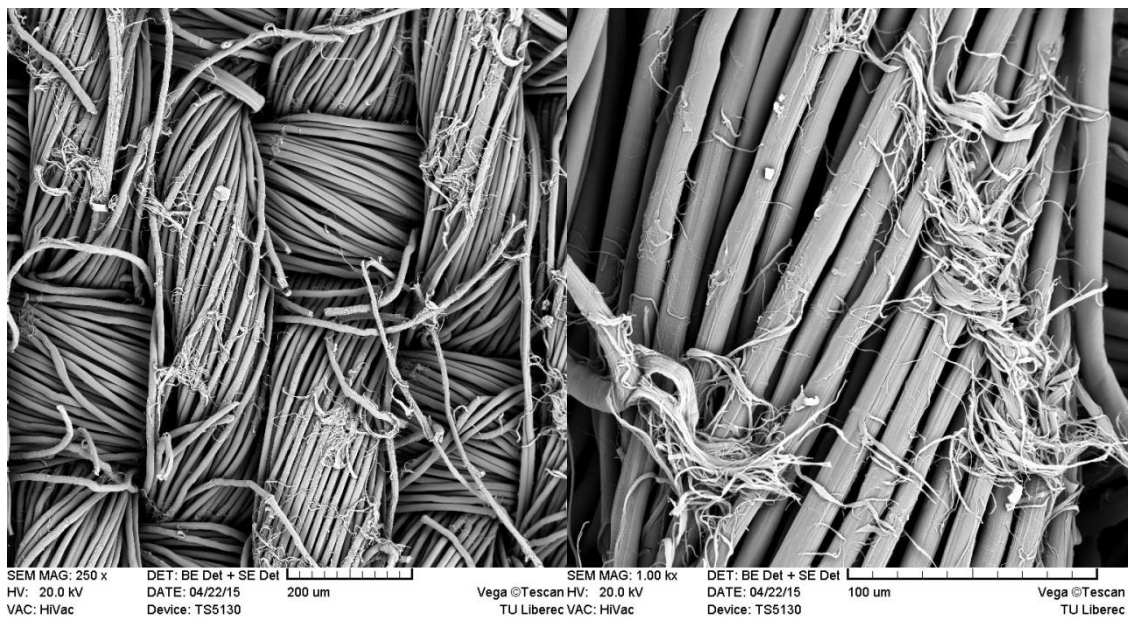
Obr. 17: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokrý přivažek 100%

4. 6 Obrázky ze SEM analýzy

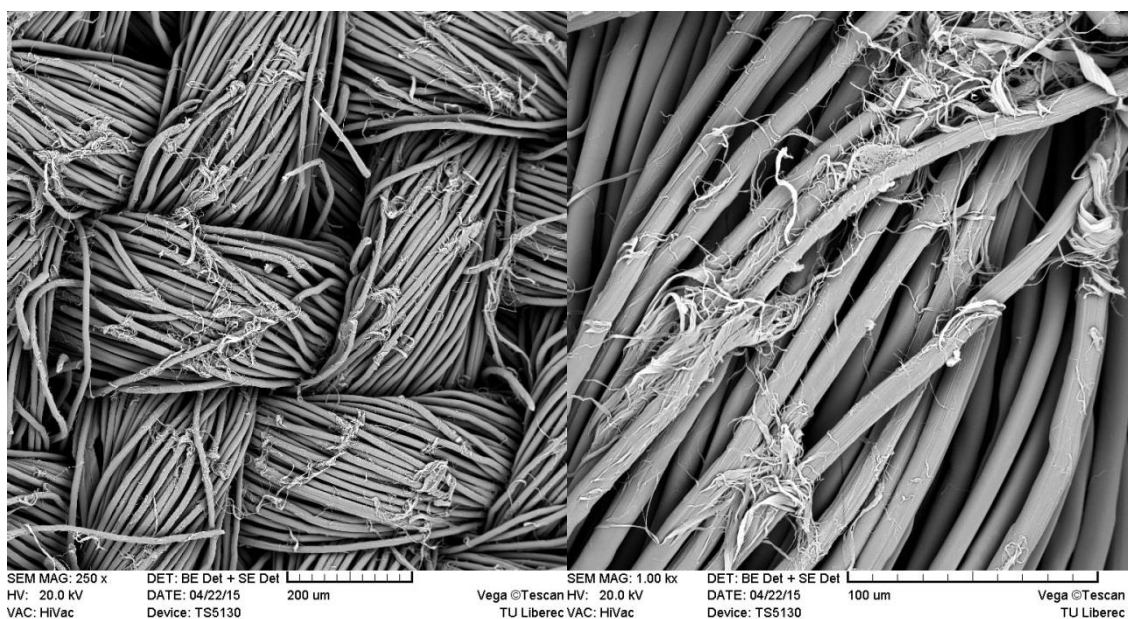
Snímky zachycují 100% lyocell v neupravené podobě a při ozařování s různou šířkou pulzu, kdy je mokrý přivažek 300% u jednostranného vypalování a nakonec jeden vzorek o mokrém přivažku 100%, ale tentokrát u oboustranného vypalování. Obrázky jsou vždy 250x a 1000x zvětšeny (viz obr. 18-23).



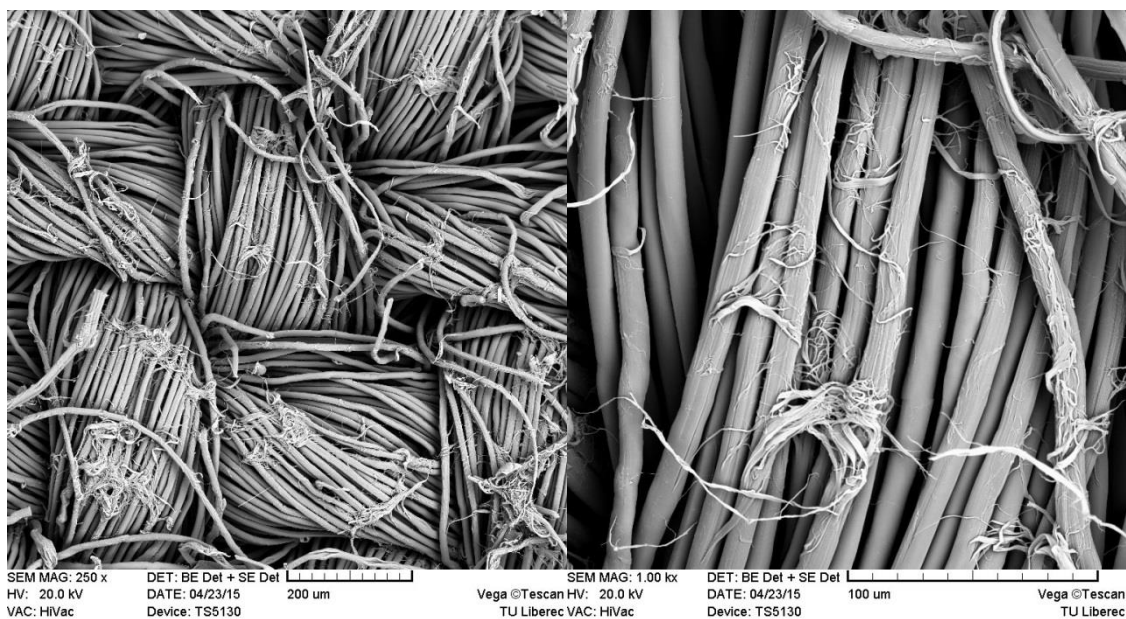
Obr. 18: Neupravený lyocell



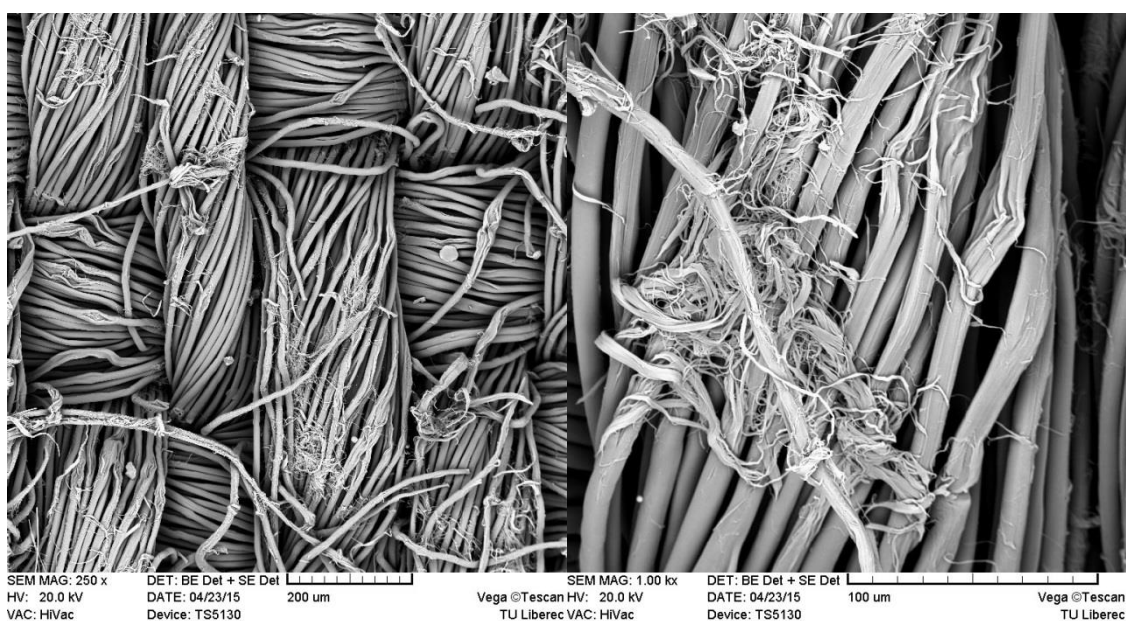
Obr. 19: Ozářený lyocell – šířka pulzu 50, jednostranné vypalování



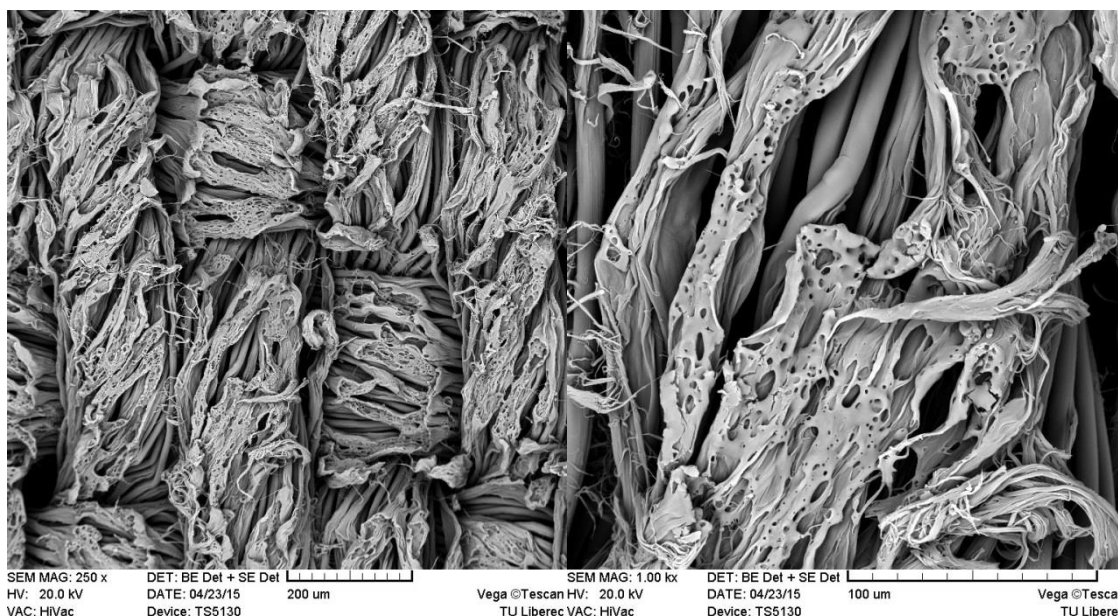
Obr. 20: Ozářený lyocell – šířka pulzu 100, jednostranné vypalování



Obr. 21: Ozářený lyocell – šířka pulzu 150, jednostranné vypalování



Obr. 22: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, jednostranné vypalování



Obr. 23: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, oboustranné vypalování

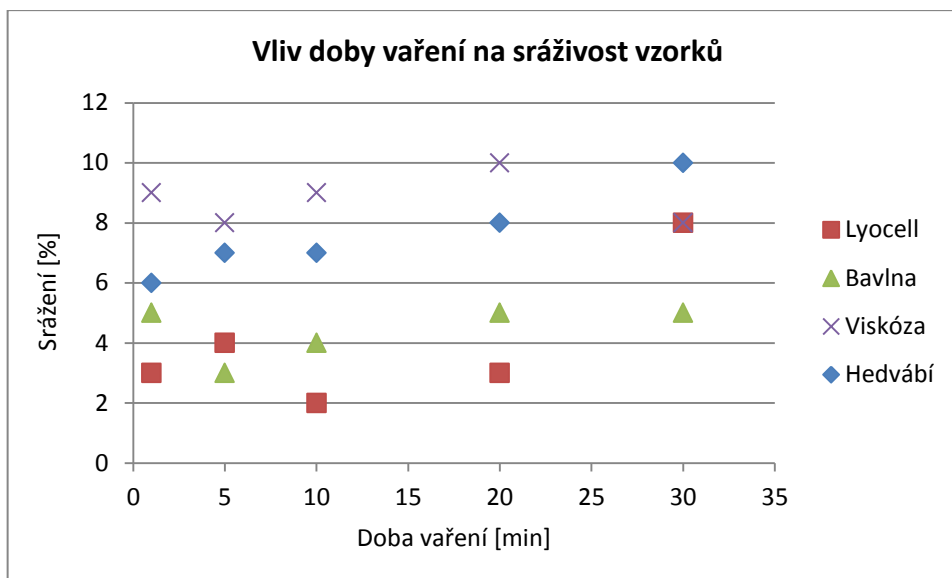
Ze snímků vzniklých pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu je patrné, že vliv laserového infračerveného paprsku způsobuje znehodnocení celulózových materiálů, což má jistý účinek i na výslednou prodyšnost.

Nejmenší vliv laserového záření je u jednostranného ozařování při šířce pulzu 30 µs, naopak k největšímu působení laserového paprsku dochází při šířce pulzu 800 µs u oboustranného ozařování.

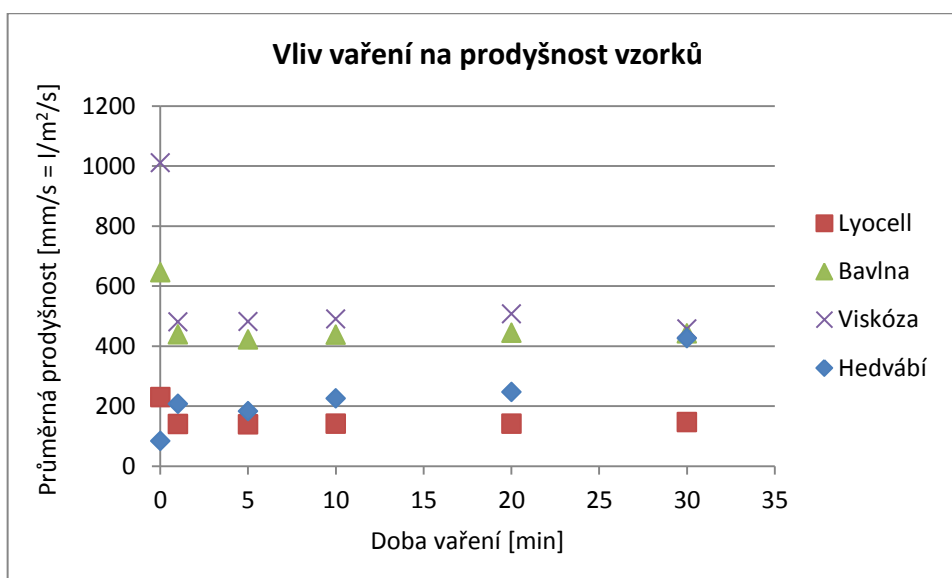
4. 7 Výsledky vyvařených vzorků

Výsledky vyvařených vzorků jsou zaznamenány v přehledných tabulkách (viz příloha č. 3) a zaneseny do uspořádaných grafů (viz obr. 24, 25) Také jsem zjistila hodnoty srážení po vyvaření jak po osnově, tak po útku, z nichž jsem si vypočítala průměrné hodnoty a porovnála jsem je s rozměry původního čtverce 10 x 10 cm.

Srážení je proces, kdy dochází k rozměrovým změnám materiálu po osnově (po délce) nebo po útku (po šířce). Potenciální vliv na strukturu a prodyšnost materiálu může mít nesprávné napnutí při sušení, což může dospět k různému zdeformování vazby. Tímto postupem je možné ovlivnit velikost a tvar pórů u produktů a také zvýšit nebo snížit v některých místech prodyšnost textilie. [31]



Obr. 24: Působení doby vaření na výslednou sráživost vzorků



Obr. 25: Účinek vaření na konečnou prodyšnost vzorků

První graf nám zobrazuje, že čím delší je doba vaření, tím dochází k vyššímu sražení materiálu. Z druhé grafu vyplývá, že prodyšnost vzorků je varem ve vodě (resp. sražením) ovlivněna. U celulóзовých vzorků lze pozorovat výrazný pokles prodyšnosti způsobený vysrážením vzorků. U hedvábí je trend opačný a zde se projevuje postupný nárůst prodyšnosti.

4. 8 Výpočty energie laseru

Nejdříve je potřeba vypočítat hodnotu energie pulzu [mJ], což spočítáme pro první řádek následovně:

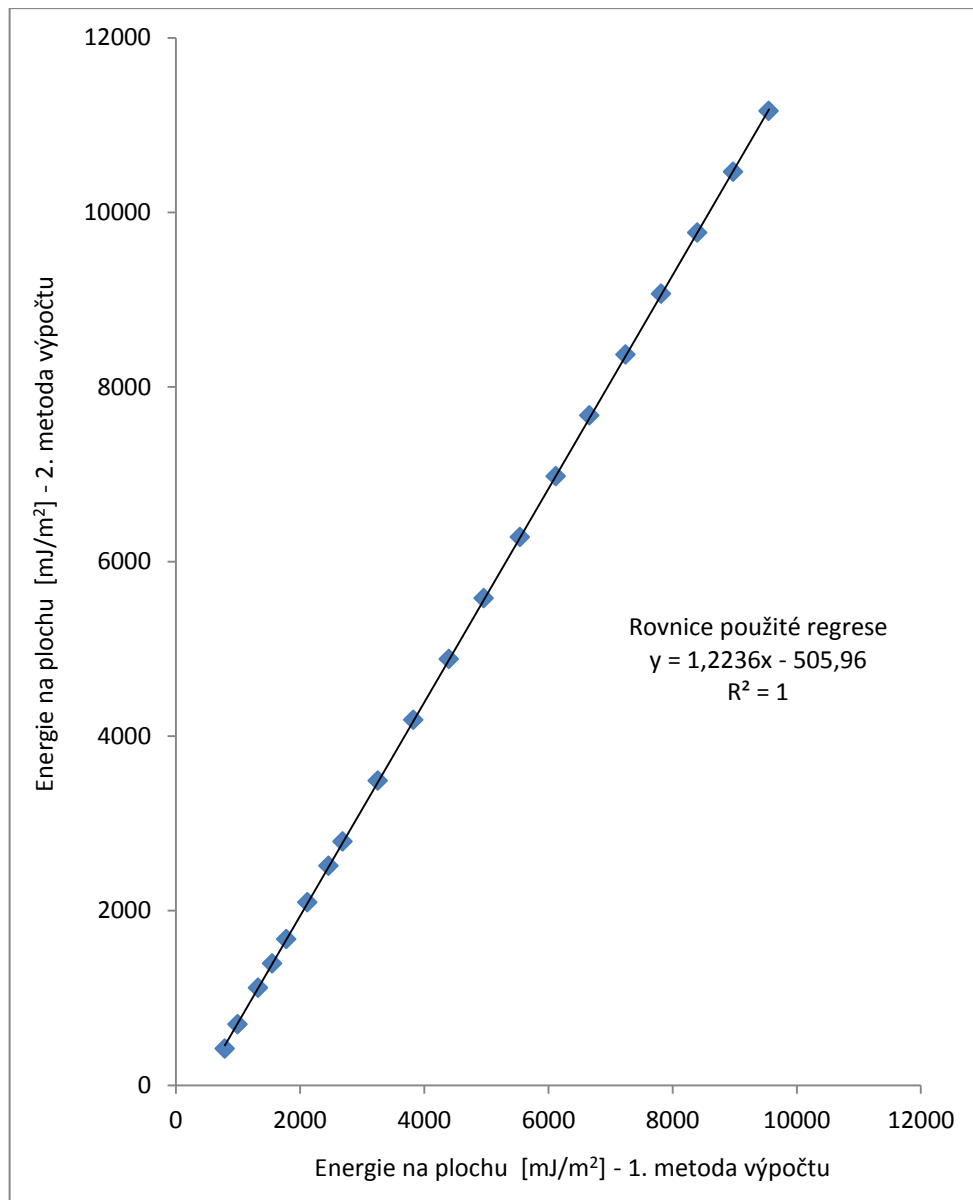
Energie pulzu = Výkon/Frekvence = 100 W/5000 Hz = 0,02 J = 20 mJ (1 pulz laseru)

Máme 5000 pulzů/sekunda * šířka pulzu 30 μ s * 10^{-6} = počet pulzů 0,15 * 20 mJ = 3 mJ

Následně je možné vypočítat energii na plochu dvěma způsoby:

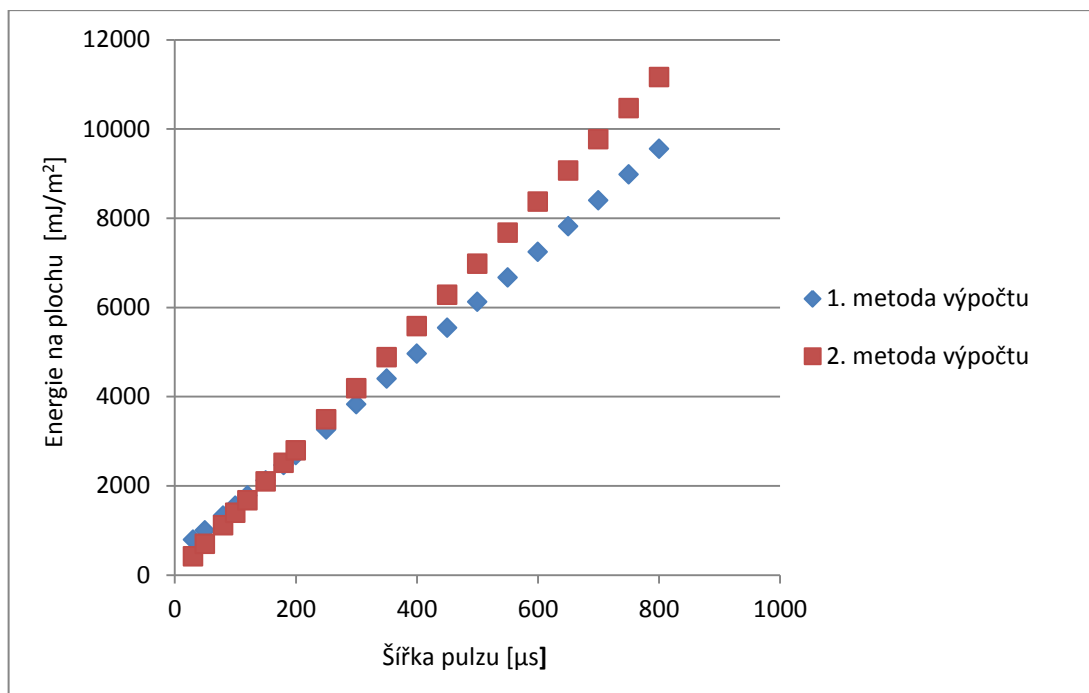
- 1)
$$\frac{\text{doba vypalování [s]} * \text{výkon [W]}}{\text{plocha [cm}^2\text{]}}$$
- 2)
$$\frac{\text{energie pulzu [mJ]} * \text{počet bodů [-]}}{\text{plocha [cm}^2\text{]}}$$

Vypočítané hodnoty jsou shrnuty v přehledné tabulce (viz příloha č. 4) a též zaneseny do přehledného bodového grafu (viz obr. 26).



Obr. 26: Porovnání obou výpočtů energie plochy

Graf nezačíná od počátku v důsledku zpoždění, které je způsobeno dobou, jež laserovému zařízení trvá, než se nažhaví.



Obr. 27: Závislost energie na plochu jako funkce šířky pulzu

Graf zobrazuje závislost energie na plochu, která je vypočítaná dvěma metodami, jako funkce šířky pulzu. Z tohoto grafu je patrné, že druhá metoda výpočtu je přesnější.

Z těchto dvou způsobů výpočtu energie na plochu považuji za méně jistý první výpočet s využitím doby vypalování. Rozdíl, který vznikl, je způsoben pravděpodobně tím, že laser potřebuje nějakou dobu k aktivaci a zaměření na jinou pozici (vypálí jeden řádek a pak pálí na další) a tím je to celé tzv. posunuté.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pozorovat vliv CO₂ laseru na celulózových tkaninách. Pro srovnání s jinými materiály jsem toto laserové působení sledovala i na živočišné tkanině v podobě hedvábí. Dále jsem se zaměřila na hodnocení prodyšnosti tkanin, kdy jsem se snažila o patrnou změnu prodyšnosti při minimálním poklesu mechanických vlastností.

Pro praktickou část jsem využila dva rozměry vzorků (vypalovaný rozměr byl však vždy 10 x 10 cm).

Výsledky měření ukazují, že lyocell vykazuje konstantní pokles prodyšnosti při šířce pulzu v rozmezí od 30 do 150 μ s, ale při vyšší šířce pulzu dochází k zajímavým změnám struktury spojenými s dalším a velmi výrazným poklesem prodyšnosti. Konkrétně jsem vzorky o mokřém přivažku 200% ozařovala laserovým paprskem o šířce pulzu 250-800 μ s, kdy mi prodyšnost nejdříve postupně klesá až do 600 μ s a pak dochází k nárůstu.

Pokud jde o bavlněná vlákna, tak zde jsou hodnoty prodyšnosti prakticky lineární, což pro mou práci není nijak zajímavé.

Podívám-li se však na viskózu, tak pozoruji, že se v tomto případě jedná zejména o trend klesání prodyšnosti, tudíž ani u tohoto materiálu jsem nedosáhla uspokojivého výsledku.

Naopak překvapivé zjištění je pro mě tkanina z vláken živočišného původu, mnou vybrané hedvábí, které vykazuje ve většině měření nárůst prodyšnosti, čehož jsem chtěla dosáhnout, avšak u celulózových vláken.

V dalším zkoumání by se chtělo zaměřit více na vliv laserového paprsku na živočišná vlákna.

Pokud jde o sráživost po vyvaření, dosáhla jsem jen nepatného sražení. Tkaniny jsou tedy smršťovány především vlivem tepla, které laserové zařízení vyzářuje.

Nízké šířky pulzu (resp. plošná hustota energie) při laserovém ozařování vedly na všech testovaných textiliích k podobným efektům jako var ve vodě. Změny prodyšnosti textilií v obou případech jsou spojeny se srážením textilie vlivem vody a vysoké teploty. Výjimečné chování je patrné u lyocellových vláken a hedvábí. Na těchto vláknech

vlivem vyšší šířky pulzu (resp. plošné hustoty energie) dochází k výraznému poklesu prodyšnosti, což souvisí s expanzí vláken do formy vysoce porézních struktur. Expandované struktury vyplňují póry v textilií a tím snižují její prodyšnost. Tento jev nebyl na ostatních testovaných vláknech pozorován.

Laserové ozařování je nejefektivnější, pokud je při ozařování dosaženo odpaření veškeré vody z povrchu textilie, což umožní dosáhnout parní exploze spojené s otevřením struktury vláken a s tím spojené změny struktury povrchu/snížení prodyšnosti textilií.

Nízký mokřý přivažek se jeví účinný také na viskózových vláknech, kde při 100% mokřém přivažku a oboustranném vypalování při šířce pulzu větší než 100 μs dochází také k výraznému poklesu prodyšnosti a to i vůči textilií vyvařené.

Seznam literatury

- [1] Co je laserová technologie? *Lintech* [online]. © 2009-2011 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: <http://www.lintech.cz/co-je-laserova-technologie>
- [2] DOHNAL, M.: *Lasery a jejich aplikace v polygrafii*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, 119 s. ISBN 978-80-7395-043-9.
- [3] Historie laseru. *Laser* [online]. 3. 7. 2013 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/historie.html>
- [4] VRBOVÁ, M., JELÍNKOVÁ, H., GAVRILOV, P.: *Úvod do laserové techniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01108-9. Dostupné z: <http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjan1/ult/>
- [5] Fotometrie. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Fotometrie>
- [6] Laser a jeho využití: *Jak funguje laser*. Skupina ČEZ [online]. [2004] [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
- [7] CO2 Surgical Laser System. *Precise* [online]. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://jhlaser.com/node/15>
- [8] CHOW, Y. L., CHAN C. K. a KAN C. W.: *Effect of CO₂ laser treatment on cotton surface*. *Cellulose*, 2011; (18), pp 1635-1641
- [9] CHOW, Y. L., CHAN A. a KAN C. W.: *Effect of CO₂ laser irradiation on the properties of cotton fabric*. *Textile Research Journal*, 2012; (82), pp 1220-1234
- [10] ESTEVES, F. a ALONSO H.: *Effect of CO₂ Laser Radiation on Surface and Dyeing Properties of Synthetic Fibres*. *RJTA*, 2007; (11), pp 42-47
- [11] OZDEMIR, M. a SADIKOGLU H.: *A new and emerging technology: Laser-induced surface modification of polymers*. *Trends in Food Science & Technology*, 1998; (9), pp 159-167
- [12] ENGST, P., HORÁK M.: *Aplikace laserů*. Praha: SNTL, 1989.

- [13] Laser: Applications of Lasers. *Infoplease* [online]. © 2000-2015 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://www.infoplease.com/encyclopedia/science/laser-applications-lasers.html>
- [14] Laser processing in the textile industry. *Raylase* [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://www.raylase.de/industries/textile-industry/>
- [15] OZGUNEY, A. T.: *The comparison of laser surface designing and pigment printing methods for the product quality*. Optics & Laser Technology, 2007; (39), pp 1054-1058
- [16] OTRIZ-MORALES, M., POTERASU M., ACOSTA-ORTIZ S. E., COMPEAN I. a HERNANDEZ-ALVARADO Ma. R.: *A comparison between characteristics of various laser-based denim fading processes*. Optics and Lasers in Engineering, 2003; (39), pp 15-24
- [17] DASCALU, T., ACOSTA-ORTIZ S. E., ORTIZ-MORALES M. a COMPEAN. I.: *Removal of indigo color by laser beam - denim interaction*. Optics and Lasers in Engineering, 2000; (34), pp 179-189
- [18] Svět Svaru: *BOZP při práci s lasery*. [online]. [2011], č. 3 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/safety/2011-3_BOZP%20Laser.pdf
- [19] MILITKÝ, J.: *Přednášky: Textilní vlákna; Speciální vlákna*. Liberec: Technická univerzita, 2007, 423 s. ISBN 978-80-7372-169-5
- [20] Lyocell. 2G [online]. © 2005 - 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.2g.eu/website/mainmenu/products/vyrobky-z-prirodnich-materialu/lyocell/>
- [21] Lyocell Fiber. *FiberSource* [online]. © 1997 - 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.fibersource.com/f-tutor/lyocell.htm>
- [22] Fiber History. *FabricLink* [online]. © 2013 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.fabriclink.com/university/history.cfm>
- [23] History. *Lenzing* [online]. © 2014 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.lenzing.com/en/lenzing-group/history.html>
- [24] *Bavlna.info* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.bavlna.info/>

- [25] STANĚK, J.: *Textilní zbožíznalství: Vláknenné suroviny, příze, nitě*. Liberec: Technická univerzita, 2006, 114 s. ISBN 80-7372-147-3
- [26] HLADÍK, V.: *Textilní vlákna*. Praha: SNTL, 1970, 300 s. ISBN 04-834-70
- [27] EasyMark: *Marcatex 150/250 Flexi Laser system – Instruction manual*. 2007, 82 s.
- [28] *Katedra hodnocení textilií* [online]. [2008] [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: www.kht.tul.cz/store/kht07.ppt
- [29] *HDL* [online]. © 2006-2008 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.hzdl.com/english/En_Honor.asp?Action=content
- [30] HES, L.: *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-7083-926-0
- [31] DEMBICKÝ, J., KRYŠTŮFEK, J., MACHAŇOVÁ, D., ODVÁRKA, J., PRÁŠIL, M. a WIENER, J.: *Zušlechťování textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2008, 186 s. ISBN 978-80-7372-321-7

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Generátor [4]

Obr. č. 2: Princip laseru [5]

Obr. č. 3: Rubínový laser [6]

Obr. č. 4: CO₂ laser [7]

Obr. č. 5: Neupravená bavlna a laserem ozářená bavlna při 40 DPI a 100 μs [9]

Obr. č. 6: Bezpečnostní symbol laseru II. a III. a třídy [3]

Obr. č. 7: CO₂ laser Marcatex 150 Flexi

Obr. č. 8: Zařízení FX 3300 [29]

Obr. č. 9: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100, 200 a 300%

Obr. č. 10: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100, 200 a 300%

Obr. č. 11: Závislost prodyšnosti lyocellové textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 200%

Obr. č. 12: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100, 200 a 300%

Obr. č. 13: Závislost prodyšnosti bavlněné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100%

Obr. č. 14: Závislost prodyšnosti viskóзовé textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100, 200 a 300%

Obr. č. 15: Závislost prodyšnosti viskóзовé textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100%

Obr. č. 16: Závislost prodyšnosti hedvábné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100, 200 a 300%

Obr. č. 17: Závislost prodyšnosti hedvábné textilie na šířce pulzu při laserovém vypalování pro mokry přivažek 100%

Obr. č. 18: Neupravený lyocell

Obr. č. 19: Ozářený lyocell – šířka pulzu 50, jednostranné vypalování

Obr. č. 20: Ozářený lyocell – šířka pulzu 100, jednostranné vypalování

Obr. č. 21: Ozářený lyocell – šířka pulzu 150, jednostranné vypalování

Obr. č. 22: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, jednostranné vypalování

Obr. č. 23: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, oboustranné vypalování

Obr. č. 24: Působení doby vaření na výslednou sráživost vzorků

Obr. č. 25: Účinek vaření na konečnou prodyšnost vzorků

Obr. č. 26: Porovnání obou výpočtů energie plochy

Obr. č. 27: Závislost energie na plochu jako funkce šířky pulzu

Seznam tabulek

Tab. 1: Využívané typy laserů, převzato z [2]

Tab. 2: Lyocell - parametry

Tab. 3: Bavlna - parametry

Tab. 4: Viskóza - parametry

Tab. 5: Hedvábí – parametry

Tab. 6: Nastavitelné parametry laserového záření

Tab. 7: Parametry laserového záření použité pro ozařování vzorků testovaných textilií

Přílohy

Příloha č. 1: Výsledky měření prodyšnosti ozářených vzorků CO₂ laserem

Lyocell

Tab. 1: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 225 | 221 | 222 | 220 | 228 | 221 | 221 | 216 | 215 | 223 | |
| 0 | - | 0 | - | 225 | 221 | 222 | 220 | 228 | 221 | 221 | 216 | 215 | 223 | 221,2 |
| 1 | 102 | 30 | 1,547 | 153 | 155 | 152 | 149 | 151 | 149 | 147 | 144 | 147 | 147 | 149,4 |
| 2 | 101 | 50 | 1,937 | 154 | 157 | 157 | 157 | 154 | 151 | 152 | 150 | 152 | 155 | 153,9 |
| 3 | 100 | 80 | 2,547 | 149 | 149 | 152 | 154 | 155 | 153 | 150 | 149 | 152 | 151 | 151,4 |
| 4 | 102 | 100 | 2,969 | 146 | 147 | 145 | 144 | 144 | 143 | 143 | 141 | 141 | 142 | 143,6 |
| 5 | 101 | 120 | 3,422 | 137 | 139 | 142 | 138 | 139 | 136 | 137 | 138 | 137 | 138 | 138,1 |
| 6 | 101 | 150 | 4,078 | 134 | 138 | 140 | 140 | 138 | 136 | 135 | 135 | 136 | 138 | 137,0 |
| 7 | 100 | 180 | 4,719 | 128 | 131 | 133 | 132 | 131 | 130 | 127 | 124 | 130 | 131 | 129,7 |
| 8 | 101 | 200 | 5,141 | 130 | 128 | 126 | 129 | 130 | 131 | 130 | 133 | 135 | 130 | 130,2 |

Tab. 2: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 107 | 30 | 2,016 | 146 | 145 | 145 | 148 | 147 | 144 | 143 | 144 | 146 | 151 | 145,9 |
| 2 | 109 | 50 | 2,547 | 142 | 138 | 136 | 131 | 131 | 135 | 136 | 134 | 133 | 131 | 134,7 |
| 3 | 108 | 80 | 3,391 | 151 | 147 | 140 | 140 | 141 | 144 | 142 | 139 | 146 | 147 | 143,7 |
| 4 | 109 | 100 | 3,969 | 138 | 137 | 134 | 130 | 134 | 137 | 134 | 141 | 142 | 134 | 136,1 |
| 5 | 109 | 120 | 4,562 | 136 | 132 | 129 | 129 | 129 | 133 | 135 | 134 | 134 | 136 | 132,7 |
| 6 | 109 | 150 | 5,422 | 135 | 130 | 125 | 126 | 129 | 133 | 133 | 138 | 135 | 130 | 131,4 |
| 7 | 108 | 180 | 6,296 | 137 | 137 | 134 | 135 | 136 | 138 | 136 | 132 | 134 | 134 | 135,3 |
| 8 | 109 | 200 | 6,875 | 133 | 135 | 134 | 133 | 134 | 136 | 131 | 135 | 142 | 136 | 134,9 |

Tab. 3: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 200 | 30 | 2,016 | 161 | 162 | 161 | 160 | 160 | 160 | 160 | 164 | 158 | 158 | 160,4 |
| 2 | 201 | 50 | 2,562 | 164 | 160 | 159 | 159 | 158 | 159 | 163 | 164 | 155 | 159 | 160,0 |
| 3 | 201 | 80 | 3,374 | 161 | 158 | 156 | 156 | 156 | 158 | 163 | 166 | 160 | 158 | 159,2 |
| 4 | 200 | 100 | 3,969 | 162 | 159 | 156 | 156 | 159 | 159 | 160 | 162 | 161 | 160 | 159,4 |
| 5 | 201 | 120 | 4,562 | 161 | 162 | 163 | 163 | 161 | 160 | 162 | 165 | 161 | 161 | 161,9 |
| 6 | 201 | 150 | 5,422 | 159 | 158 | 157 | 159 | 156 | 154 | 155 | 156 | 148 | 152 | 155,4 |
| 7 | 201 | 180 | 6,313 | 161 | 157 | 154 | 150 | 150 | 151 | 154 | 154 | 148 | 147 | 152,6 |
| 8 | 200 | 200 | 6,875 | 154 | 152 | 150 | 150 | 149 | 150 | 152 | 152 | 147 | 145 | 150,1 |

Tab. 4: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 301 | 30 | 2,016 | 178 | 172 | 171 | 167 | 169 | 171 | 174 | 170 | 168 | 166 | 170,6 |
| 2 | 300 | 50 | 2,562 | 181 | 175 | 168 | 168 | 168 | 173 | 178 | 178 | 169 | 169 | 172,7 |
| 3 | 301 | 80 | 3,391 | 170 | 164 | 163 | 160 | 160 | 162 | 166 | 171 | 163 | 160 | 163,9 |
| 4 | 302 | 100 | 3,969 | 164 | 158 | 159 | 164 | 158 | 159 | 164 | 170 | 164 | 165 | 162,5 |
| 5 | 301 | 120 | 4,563 | 167 | 165 | 173 | 171 | 164 | 159 | 163 | 171 | 164 | 174 | 167,1 |
| 6 | 301 | 150 | 5,422 | 174 | 171 | 171 | 170 | 172 | 170 | 170 | 172 | 169 | 168 | 170,7 |
| 7 | 300 | 180 | 6,313 | 168 | 168 | 173 | 171 | 166 | 167 | 166 | 168 | 169 | 170 | 168,6 |
| 8 | 301 | 200 | 6,875 | 163 | 160 | 161 | 161 | 158 | 154 | 157 | 153 | 156 | 161 | 158,4 |

Tab. 5: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 201 | 250 | 8,336 | 145 | 144 | 145 | 144 | 143 | 141 | 140 | 136 | 135 | 138 | 141,1 |
| 2 | 201 | 300 | 9,797 | 129 | 124 | 123 | 123 | 120 | 119 | 122 | 119 | 117 | 120 | 121,6 |
| 3 | 201 | 350 | 11,266 | 111 | 110 | 108 | 107 | 107 | 107 | 108 | 108 | 105 | 106 | 107,7 |
| 4 | 201 | 400 | 12,704 | 107 | 105 | 105 | 104 | 104 | 104 | 103 | 101 | 102 | 105 | 104,0 |
| 5 | 201 | 450 | 14,187 | 93,7 | 93,8 | 94,2 | 96,5 | 95,4 | 98,5 | 102 | 95,5 | 101 | 94,5 | 96,5 |
| 6 | 200 | 500 | 15,671 | 95,6 | 94,5 | 92,9 | 92,8 | 90,8 | 90,2 | 91,6 | 93,6 | 89,6 | 90,8 | 92,2 |
| 7 | 200 | 550 | 17,063 | 91,5 | 92,0 | 91,3 | 91,9 | 91,1 | 92,0 | 91,2 | 91,0 | 91,1 | 91,6 | 91,5 |
| 8 | 201 | 600 | 18,547 | 90,1 | 92,0 | 93,5 | 92,2 | 91,1 | 90,8 | 88,4 | 90,6 | 90,4 | 90,5 | 91,0 |
| 9 | 200 | 650 | 20,016 | 82,6 | 79,8 | 79,7 | 80,5 | 78,5 | 78,0 | 80,6 | 85,1 | 80,5 | 80,8 | 80,6 |
| 10 | 201 | 700 | 21,500 | 79,7 | 79,5 | 81,3 | 80,4 | 80,6 | 80,8 | 81,1 | 80,9 | 81,0 | 80,8 | 80,6 |
| 11 | 201 | 750 | 22,984 | 82,1 | 81,6 | 80,6 | 80,7 | 80,6 | 79,9 | 80,5 | 80,4 | 80,8 | 80,7 | 80,8 |
| 12 | 200 | 800 | 24,453 | 112 | 111 | 111 | 112 | 111 | 109 | 108 | 103 | 105 | 110 | 109,2 |

Tab. 6: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 108 | 30 | 2,031 | 2,016 | 153 | 152 | 154 | 151 | 148 | 147 | 151 | 151 | 146 | 150 | 150,3 |
| 2 | 108 | 50 | 2,546 | 2,532 | 161 | 157 | 157 | 156 | 157 | 155 | 156 | 156 | 157 | 154 | 156,6 |
| 3 | 108 | 80 | 3,390 | 3,375 | 151 | 149 | 154 | 154 | 151 | 155 | 151 | 152 | 150 | 148 | 151,5 |
| 4 | 108 | 100 | 3,969 | 3,969 | 155 | 152 | 154 | 150 | 152 | 157 | 151 | 152 | 152 | 150 | 152,5 |
| 5 | 109 | 120 | 4,546 | 4,563 | 157 | 158 | 157 | 151 | 150 | 156 | 157 | 157 | 151 | 151 | 154,5 |
| 6 | 108 | 150 | 5,406 | 5,422 | 152 | 152 | 154 | 154 | 151 | 151 | 145 | 152 | 152 | 149 | 151,2 |
| 7 | 108 | 180 | 6,313 | 6,313 | 134 | 139 | 136 | 127 | 130 | 126 | 128 | 130 | 132 | 135 | 131,7 |
| 8 | 109 | 200 | 6,875 | 6,875 | 118 | 115 | 117 | 115 | 113 | 114 | 112 | 114 | 115 | 115 | 114,8 |

Tab. 7: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 201 | 30 | 2,015 | 2,016 | 174 | 175 | 175 | 171 | 173 | 170 | 170 | 171 | 168 | 171 | 171,8 |
| 2 | 201 | 50 | 2,531 | 2,532 | 171 | 164 | 166 | 172 | 168 | 174 | 170 | 164 | 166 | 162 | 167,7 |
| 3 | 200 | 80 | 3,391 | 3,390 | 174 | 172 | 169 | 170 | 165 | 168 | 164 | 164 | 170 | 168 | 168,4 |
| 4 | 201 | 100 | 3,953 | 3,953 | 176 | 176 | 175 | 172 | 175 | 177 | 172 | 174 | 169 | 171 | 173,7 |
| 5 | 201 | 120 | 4,547 | 4,562 | 173 | 175 | 171 | 173 | 174 | 172 | 173 | 171 | 169 | 166 | 171,7 |
| 6 | 200 | 150 | 5,422 | 5,421 | 146 | 144 | 140 | 139 | 138 | 138 | 137 | 136 | 142 | 140 | 140,0 |
| 7 | 201 | 180 | 6,297 | 6,297 | 145 | 146 | 145 | 143 | 143 | 144 | 142 | 143 | 142 | 144 | 143,7 |
| 8 | 201 | 200 | 6,859 | 6,875 | 136 | 144 | 144 | 136 | 149 | 135 | 148 | 141 | 133 | 141 | 140,7 |

Tab. 8: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 302 | 30 | 2,031 | 2,031 | 184 | 182 | 179 | 184 | 181 | 183 | 180 | 177 | 178 | 174 | 180,2 |
| 2 | 301 | 50 | 2,547 | 2,547 | 188 | 184 | 180 | 186 | 173 | 181 | 173 | 177 | 182 | 179 | 180,3 |
| 3 | 301 | 80 | 3,390 | 3,390 | 190 | 179 | 183 | 184 | 185 | 182 | 181 | 184 | 183 | 178 | 182,9 |
| 4 | 301 | 100 | 3,953 | 3,953 | 178 | 174 | 172 | 175 | 169 | 172 | 168 | 170 | 175 | 171 | 172,4 |
| 5 | 301 | 120 | 4,547 | 4,547 | 174 | 173 | 172 | 171 | 170 | 172 | 171 | 171 | 172 | 171 | 171,7 |
| 6 | 301 | 150 | 5,422 | 5,421 | 174 | 170 | 171 | 172 | 170 | 171 | 170 | 169 | 168 | 162 | 169,7 |
| 7 | 301 | 180 | 6,296 | 6,313 | 152 | 152 | 153 | 153 | 154 | 154 | 153 | 155 | 157 | 156 | 153,9 |
| 8 | 301 | 200 | 6,875 | 6,875 | 162 | 156 | 156 | 160 | 155 | 160 | 155 | 155 | 157 | 153 | 156,9 |

Tab. 9: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 200 | 250 | 8,336 | 8,328 | 119 | 122 | 123 | 118 | 118 | 117 | 118 | 122 | 117 | 120 | 119,4 |
| 2 | 201 | 300 | 9,805 | 9,801 | 100 | 99,4 | 99,0 | 100 | 101 | 99,1 | 98,8 | 99,8 | 105 | 106 | 100,8 |
| 3 | 200 | 350 | 11,269 | 11,268 | 82,8 | 82,4 | 84,3 | 84,0 | 83,7 | 83,0 | 83,3 | 82,9 | 83,6 | 82,1 | 83,2 |
| 4 | 201 | 400 | 12,706 | 12,705 | 77,9 | 78,3 | 78,7 | 79,2 | 78,6 | 79,3 | 78,7 | 78,1 | 78,4 | 78,0 | 78,5 |
| 5 | 201 | 450 | 14,189 | 14,191 | 78,0 | 78,3 | 77,9 | 78,2 | 78,1 | 78,4 | 78,3 | 78,0 | 78,1 | 77,8 | 78,1 |
| 6 | 200 | 500 | 15,672 | 15,674 | 77,3 | 77,5 | 77,2 | 77,0 | 76,9 | 77,1 | 76,7 | 77,0 | 76,8 | 77,2 | 77,1 |
| 7 | 201 | 550 | 17,063 | 17,063 | 75,4 | 75,9 | 76,3 | 75,7 | 75,2 | 74,8 | 75,0 | 75,5 | 76,0 | 74,9 | 75,5 |
| 8 | 201 | 600 | 18,547 | 18,547 | 72,9 | 73,2 | 72,8 | 72,5 | 72,6 | 73,4 | 73,0 | 72,7 | 72,4 | 72,6 | 72,8 |
| 9 | 201 | 650 | 20,015 | 20,016 | 70,4 | 70,3 | 70,6 | 70,7 | 70,4 | 70,0 | 70,1 | 70,5 | 70,2 | 70,3 | 70,4 |
| 10 | 201 | 700 | 21,491 | 21,493 | 82,0 | 82,3 | 82,1 | 82,2 | 82,4 | 82,1 | 82,5 | 82,3 | 82,0 | 82,2 | 82,2 |
| 11 | 201 | 750 | 22,982 | 22,984 | 87,5 | 87,2 | 87,0 | 86,8 | 86,5 | 86,9 | 87,4 | 87,1 | 87,5 | 87,3 | 87,1 |
| 12 | 201 | 800 | 24,449 | 24,447 | 138 | 139 | 136 | 138 | 137 | 138 | 139 | 140 | 138 | 136 | 137,9 |

Bavlna

Tab. 10: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 632 | 635 | 641 | 636 | 633 | 637 | 642 | 639 | 640 | 644 | |
| 0 | - | 0 | - | 632 | 635 | 641 | 636 | 633 | 637 | 642 | 639 | 640 | 644 | 637,9 |
| 1 | 100 | 30 | 1,547 | 445 | 430 | 434 | 433 | 422 | 418 | 423 | 422 | 430 | 418 | 427,5 |
| 2 | 100 | 50 | 1,922 | 382 | 372 | 373 | 374 | 375 | 383 | 384 | 357 | 365 | 370 | 373,5 |
| 3 | 101 | 80 | 2,546 | 391 | 384 | 389 | 386 | 387 | 379 | 379 | 375 | 384 | 378 | 383,2 |
| 4 | 100 | 100 | 2,969 | 431 | 430 | 416 | 418 | 425 | 430 | 427 | 428 | 418 | 415 | 423,8 |
| 5 | 99 | 120 | 3,422 | 414 | 394 | 403 | 419 | 408 | 417 | 431 | 425 | 420 | 407 | 413,8 |
| 6 | 99 | 150 | 4,063 | 433 | 446 | 459 | 452 | 440 | 432 | 422 | 416 | 438 | 434 | 437,2 |
| 7 | 101 | 180 | 4,719 | 445 | 439 | 439 | 423 | 435 | 433 | 438 | 425 | 424 | 412 | 431,3 |
| 8 | 100 | 200 | 5,141 | 423 | 414 | 413 | 417 | 408 | 410 | 403 | 399 | 408 | 400 | 409,5 |

Tab. 11: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | |
| 0 | - | 0 | - | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | 645,1 |
| 1 | 112 | 30 | 2,016 | 411 | 409 | 418 | 421 | 416 | 410 | 412 | 428 | 425 | 414 | 416,4 |
| 2 | 110 | 50 | 2,546 | 443 | 423 | 409 | 410 | 418 | 422 | 420 | 415 | 412 | 406 | 417,8 |
| 3 | 111 | 80 | 3,375 | 446 | 433 | 435 | 440 | 433 | 417 | 431 | 432 | 419 | 434 | 432,0 |
| 4 | 110 | 100 | 3,954 | 436 | 443 | 456 | 447 | 446 | 435 | 432 | 425 | 436 | 445 | 440,1 |
| 5 | 108 | 120 | 4,546 | 404 | 409 | 401 | 399 | 419 | 416 | 394 | 409 | 429 | 402 | 408,2 |
| 6 | 106 | 150 | 5,422 | 396 | 420 | 402 | 408 | 413 | 416 | 409 | 398 | 399 | 389 | 405,0 |
| 7 | 109 | 180 | 6,313 | 449 | 438 | 450 | 445 | 445 | 439 | 435 | 450 | 448 | 445 | 444,4 |
| 8 | 109 | 200 | 6,875 | 442 | 450 | 427 | 427 | 426 | 432 | 412 | 416 | 428 | 418 | 427,8 |

Tab. 12: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | |
| 0 | - | 0 | - | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | 645,1 |
| 1 | 201 | 30 | 2,016 | 496 | 480 | 472 | 470 | 466 | 487 | 467 | 460 | 473 | 463 | 473,4 |
| 2 | 201 | 50 | 2,547 | 496 | 503 | 485 | 474 | 484 | 483 | 473 | 476 | 488 | 470 | 483,2 |
| 3 | 201 | 80 | 3,375 | 442 | 428 | 422 | 454 | 452 | 447 | 436 | 451 | 458 | 464 | 445,4 |
| 4 | 201 | 100 | 3,969 | 507 | 449 | 464 | 453 | 458 | 474 | 470 | 474 | 470 | 444 | 466,3 |
| 5 | 200 | 120 | 4,563 | 457 | 452 | 460 | 456 | 454 | 449 | 455 | 456 | 454 | 458 | 455,1 |
| 6 | 201 | 150 | 5,422 | 442 | 430 | 418 | 423 | 415 | 424 | 443 | 429 | 410 | 401 | 423,5 |
| 7 | 201 | 180 | 6,281 | 454 | 468 | 475 | 450 | 442 | 452 | 443 | 437 | 428 | 434 | 448,3 |
| 8 | 200 | 200 | 6,875 | 446 | 440 | 439 | 445 | 440 | 431 | 439 | 420 | 416 | 418 | 433,4 |

Tab. 13: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|--|
| | | | | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | | |
| 0 | - | 0 | - | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | 645,1 | |
| 1 | 300 | 30 | 2,015 | 421 | 442 | 438 | 437 | 436 | 433 | 411 | 406 | 435 | 434 | 429,3 | |
| 2 | 302 | 50 | 2,547 | 455 | 434 | 414 | 427 | 419 | 423 | 443 | 427 | 426 | 421 | 428,9 | |
| 3 | 301 | 80 | 3,375 | 455 | 455 | 453 | 444 | 448 | 437 | 437 | 450 | 449 | 453 | 448,1 | |
| 4 | 303 | 100 | 3,969 | 403 | 407 | 407 | 404 | 402 | 397 | 394 | 398 | 399 | 398 | 400,9 | |
| 5 | 301 | 120 | 4,547 | 454 | 458 | 466 | 485 | 482 | 466 | 457 | 456 | 470 | 471 | 466,5 | |
| 6 | 300 | 150 | 5,422 | 458 | 446 | 449 | 456 | 448 | 439 | 436 | 440 | 439 | 445 | 445,6 | |
| 7 | 302 | 180 | 6,281 | 480 | 492 | 481 | 486 | 482 | 476 | 469 | 473 | 476 | 478 | 479,3 | |
| 8 | 300 | 200 | 6,875 | 478 | 463 | 463 | 471 | 467 | 468 | 474 | 494 | 483 | 475 | 473,6 | |

Tab. 14: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|--|
| | | | | | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | | |
| 0 | - | 0 | - | - | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | 645,1 | |
| 1 | 112 | 30 | 2,015 | 2,016 | 394 | 408 | 407 | 393 | 409 | 411 | 397 | 398 | 402 | 394 | 401,3 | |
| 2 | 114 | 50 | 2,547 | 2,547 | 411 | 404 | 425 | 433 | 429 | 428 | 417 | 427 | 406 | 402 | 418,2 | |
| 3 | 113 | 80 | 3,391 | 3,375 | 464 | 439 | 442 | 447 | 442 | 431 | 433 | 440 | 457 | 429 | 442,4 | |
| 4 | 112 | 100 | 3,953 | 3,953 | 454 | 441 | 438 | 424 | 430 | 425 | 429 | 427 | 446 | 440 | 435,4 | |
| 5 | 114 | 120 | 4,562 | 4,547 | 438 | 415 | 445 | 431 | 425 | 426 | 424 | 438 | 423 | 412 | 427,7 | |
| 6 | 112 | 150 | 5,437 | 5,422 | 448 | 416 | 434 | 410 | 432 | 416 | 428 | 426 | 438 | 406 | 425,4 | |
| 7 | 110 | 180 | 6,296 | 6,297 | 461 | 456 | 458 | 431 | 425 | 425 | 428 | 435 | 453 | 451 | 442,3 | |
| 8 | 110 | 200 | 6,875 | 6,875 | 431 | 425 | 426 | 423 | 427 | 423 | 421 | 419 | 427 | 421 | 424,3 | |

Viskóza

Tab. 15: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|-----|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|---------------|--|
| | | | | 1005 | 996 | 999 | 1007 | 1002 | 994 | 1010 | 997 | 1001 | 1000 | | |
| 0 | - | 0 | - | 1005 | 996 | 999 | 1007 | 1002 | 994 | 1010 | 997 | 1001 | 1000 | 1001,1 | |
| 1 | 100 | 30 | 1,546 | 469 | 439 | 448 | 443 | 433 | 441 | 445 | 430 | 439 | 439 | 442,6 | |
| 2 | 104 | 50 | 1,922 | 523 | 532 | 533 | 510 | 504 | 510 | 487 | 485 | 493 | 492 | 506,9 | |
| 3 | 103 | 80 | 2,547 | 530 | 529 | 534 | 532 | 517 | 509 | 513 | 506 | 507 | 522 | 519,9 | |
| 4 | 103 | 100 | 2,969 | 519 | 515 | 522 | 501 | 498 | 501 | 498 | 473 | 477 | 482 | 498,6 | |
| 5 | 101 | 120 | 3,422 | 437 | 444 | 462 | 437 | 431 | 425 | 449 | 455 | 442 | 436 | 441,8 | |
| 6 | 101 | 150 | 4,063 | 380 | 390 | 413 | 434 | 407 | 382 | 390 | 384 | 398 | 424 | 400,2 | |
| 7 | 103 | 180 | 4,718 | 363 | 362 | 386 | 391 | 362 | 350 | 382 | 388 | 352 | 349 | 368,5 | |
| 8 | 103 | 200 | 5,140 | 317 | 316 | 345 | 324 | 309 | 293 | 320 | 317 | 304 | 308 | 315,3 | |

Tab. 16: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|---------------|--|
| | | | | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | | |
| 0 | - | 0 | - | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | 1010,7 | |
| 1 | 110 | 30 | 2,016 | 585 | 596 | 621 | 622 | 601 | 574 | 600 | 655 | 643 | 661 | 615,8 | |
| 2 | 112 | 50 | 2,547 | 624 | 642 | 706 | 724 | 675 | 626 | 602 | 603 | 623 | 695 | 652,0 | |
| 3 | 112 | 80 | 3,391 | 606 | 624 | 627 | 612 | 615 | 606 | 604 | 577 | 568 | 564 | 600,3 | |
| 4 | 112 | 100 | 3,953 | 524 | 526 | 536 | 524 | 525 | 519 | 532 | 533 | 539 | 528 | 528,6 | |
| 5 | 109 | 120 | 4,563 | 500 | 485 | 516 | 151 | 486 | 503 | 478 | 521 | 505 | 492 | 463,7 | |
| 6 | 111 | 150 | 5,422 | 484 | 486 | 538 | 527 | 492 | 480 | 472 | 462 | 466 | 482 | 488,9 | |
| 7 | 112 | 180 | 6,296 | 400 | 423 | 438 | 420 | 383 | 386 | 377 | 390 | 375 | 415 | 400,7 | |
| 8 | 112 | 200 | 6,875 | 309 | 321 | 366 | 372 | 318 | 321 | 307 | 315 | 318 | 386 | 333,3 | |

Tab. 17: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | |
| 0 | - | 0 | - | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | 1010,7 |
| 1 | 201 | 30 | 2,016 | 561 | 540 | 551 | 546 | 530 | 531 | 539 | 532 | 545 | 562 | 543,7 |
| 2 | 201 | 50 | 2,546 | 547 | 551 | 564 | 586 | 583 | 551 | 538 | 554 | 556 | 552 | 558,2 |
| 3 | 201 | 80 | 3,391 | 598 | 592 | 572 | 570 | 564 | 569 | 556 | 573 | 553 | 551 | 569,8 |
| 4 | 200 | 100 | 3,953 | 551 | 551 | 537 | 524 | 531 | 532 | 521 | 539 | 558 | 544 | 538,8 |
| 5 | 200 | 120 | 4,563 | 572 | 606 | 601 | 610 | 606 | 591 | 551 | 556 | 609 | 597 | 589,9 |
| 6 | 200 | 150 | 5,422 | 605 | 602 | 588 | 561 | 576 | 570 | 565 | 573 | 579 | 553 | 577,2 |
| 7 | 200 | 180 | 6,313 | 578 | 560 | 543 | 546 | 554 | 560 | 566 | 568 | 565 | 534 | 557,4 |
| 8 | 201 | 200 | 6,875 | 560 | 563 | 577 | 570 | 552 | 550 | 540 | 529 | 539 | 553 | 553,3 |

Tab. 18: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | |
| 0 | - | 0 | - | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | 1010,7 |
| 1 | 301 | 30 | 2,016 | 616 | 583 | 565 | 568 | 555 | 564 | 573 | 574 | 569 | 561 | 572,8 |
| 2 | 301 | 50 | 2,546 | 576 | 587 | 606 | 598 | 578 | 565 | 563 | 566 | 566 | 582 | 578,7 |
| 3 | 301 | 80 | 3,391 | 545 | 542 | 556 | 573 | 557 | 543 | 534 | 560 | 580 | 579 | 556,9 |
| 4 | 301 | 100 | 3,953 | 577 | 598 | 607 | 586 | 568 | 556 | 562 | 545 | 529 | 554 | 568,2 |
| 5 | 301 | 120 | 4,546 | 613 | 601 | 579 | 573 | 576 | 591 | 588 | 608 | 591 | 580 | 590,0 |
| 6 | 300 | 150 | 5,422 | 616 | 606 | 612 | 612 | 590 | 584 | 579 | 594 | 582 | 597 | 597,2 |
| 7 | 301 | 180 | 6,313 | 621 | 619 | 611 | 618 | 616 | 613 | 598 | 584 | 581 | 579 | 604,0 |
| 8 | 301 | 200 | 6,875 | 589 | 579 | 571 | 556 | 546 | 555 | 560 | 560 | 547 | 541 | 560,4 |

Tab. 19: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | 1010,7 |
| 1 | 111 | 30 | 2,016 | 2,016 | 592 | 605 | 582 | 588 | 568 | 600 | 575 | 563 | 565 | 577 | 581,5 |
| 2 | 111 | 50 | 2,547 | 2,547 | 618 | 639 | 651 | 641 | 631 | 632 | 628 | 652 | 621 | 627 | 634,0 |
| 3 | 113 | 80 | 3,391 | 3,390 | 586 | 578 | 563 | 553 | 583 | 542 | 570 | 556 | 563 | 572 | 566,6 |
| 4 | 111 | 100 | 3,953 | 3,953 | 494 | 480 | 482 | 463 | 494 | 467 | 484 | 470 | 493 | 469 | 479,6 |
| 5 | 112 | 120 | 4,547 | 4,547 | 393 | 437 | 404 | 376 | 391 | 403 | 410 | 395 | 384 | 414 | 400,7 |
| 6 | 112 | 150 | 5,422 | 5,422 | 277 | 280 | 275 | 281 | 283 | 281 | 285 | 278 | 268 | 275 | 278,3 |
| 7 | 109 | 180 | 6,297 | 6,296 | 174 | 167 | 164 | 160 | 158 | 161 | 157 | 162 | 166 | 163 | 163,2 |
| 8 | 110 | 200 | 6,875 | 6,890 | 144 | 148 | 149 | 138 | 148 | 134 | 143 | 150 | 143 | 149 | 144,6 |

Hedvábí

Tab. 20: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 73,5 | 71,5 | 75,2 | 82,3 | 79,7 | 71,6 | 75,5 | 85,1 | 77,4 | 80,4 | |
| 0 | - | 0 | - | 73,5 | 71,5 | 75,2 | 82,3 | 79,7 | 71,6 | 75,5 | 85,1 | 77,4 | 80,4 | 77,2 |
| 1 | 103 | 30 | 1,797 | 160 | 154 | 159 | 160 | 165 | 167 | 163 | 156 | 157 | 153 | 159,4 |
| 2 | 103 | 50 | 2,250 | 147 | 151 | 147 | 151 | 155 | 157 | 158 | 163 | 159 | 160 | 154,8 |
| 3 | 103 | 80 | 3,000 | 115 | 120 | 117 | 119 | 115 | 114 | 114 | 117 | 116 | 115 | 116,2 |
| 4 | 102 | 100 | 3,500 | 13,2 | 13,6 | 15,4 | 16,4 | 15,5 | 16,2 | 21,0 | 22,8 | 25,3 | 30,7 | 19,0 |
| 5 | 103 | 120 | 4,031 | 13,3 | 16,3 | 22,1 | 21,8 | 39,8 | 40,5 | 46,4 | 52,7 | 54,9 | 56,2 | 36,4 |
| 6 | 103 | 150 | 4,781 | 9,1 | 8,1 | 15,2 | 14,8 | 10,5 | 8,1 | 20,6 | 19,5 | 15,3 | 18,9 | 14,0 |
| 7 | 104 | 180 | 5,578 | 4,6 | 5,1 | 6,6 | 8,2 | 9,9 | 9,6 | 17,9 | 20,6 | 14,3 | 13,5 | 11,0 |
| 8 | 103 | 200 | 6,078 | 3,3 | 3,4 | 1,8 | 2,3 | 2,0 | 2,2 | 5,3 | 2,7 | 3,2 | 4,9 | 3,1 |

Tab. 21: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | |
| 0 | - | 0 | - | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | 83,8 |
| 1 | 131 | 30 | 2,016 | 232 | 232 | 247 | 259 | 233 | 234 | 231 | 237 | 230 | 231 | 236,6 |
| 2 | 129 | 50 | 2,547 | 215 | 250 | 232 | 267 | 258 | 235 | 212 | 217 | 211 | 260 | 235,7 |
| 3 | 129 | 80 | 3,390 | 172 | 167 | 152 | 186 | 210 | 186 | 195 | 165 | 192 | 170 | 179,5 |
| 4 | 129 | 100 | 3,953 | 204 | 231 | 206 | 198 | 240 | 256 | 244 | 247 | 231 | 220 | 227,7 |
| 5 | 131 | 120 | 4,562 | 281 | 263 | 199 | 216 | 269 | 295 | 260 | 197 | 232 | 222 | 243,4 |
| 6 | 130 | 150 | 5,422 | 64,3 | 66,4 | 70,7 | 87,3 | 78,8 | 75,3 | 75,1 | 76,1 | 110 | 94 | 79,8 |
| 7 | 130 | 180 | 6,297 | 18,2 | 16,6 | 14,3 | 12,6 | 13,9 | 16,1 | 18,5 | 20,3 | 19,5 | 15,8 | 16,6 |
| 8 | 130 | 200 | 6,875 | 6,3 | 6,3 | 6,6 | 6,9 | 6,4 | 6,0 | 6,7 | 7,4 | 7,4 | 7,2 | 6,7 |

Tab. 22: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--|
| | | | | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | |
| 0 | - | 0 | - | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | 83,8 |
| 1 | 206 | 30 | 2,016 | 181 | 172 | 167 | 172 | 172 | 179 | 184 | 174 | 164 | 167 | 173,2 |
| 2 | 206 | 50 | 2,547 | 112 | 124 | 116 | 122 | 138 | 124 | 112 | 125 | 140 | 133 | 124,6 |
| 3 | 202 | 80 | 3,391 | 172 | 190 | 207 | 195 | 185 | 174 | 155 | 166 | 169 | 173 | 178,6 |
| 4 | 204 | 100 | 3,953 | 178 | 182 | 189 | 200 | 195 | 186 | 175 | 189 | 194 | 198 | 188,6 |
| 5 | 205 | 120 | 4,562 | 204 | 189 | 185 | 182 | 181 | 186 | 188 | 174 | 176 | 175 | 184,0 |
| 6 | 207 | 150 | 5,422 | 204 | 213 | 208 | 185 | 201 | 200 | 184 | 178 | 186 | 192 | 195,1 |
| 7 | 204 | 180 | 6,297 | 153 | 154 | 159 | 163 | 176 | 171 | 187 | 191 | 190 | 191 | 173,5 |
| 8 | 205 | 200 | 6,890 | 241 | 242 | 221 | 222 | 242 | 247 | 237 | 223 | 231 | 244 | 235,0 |

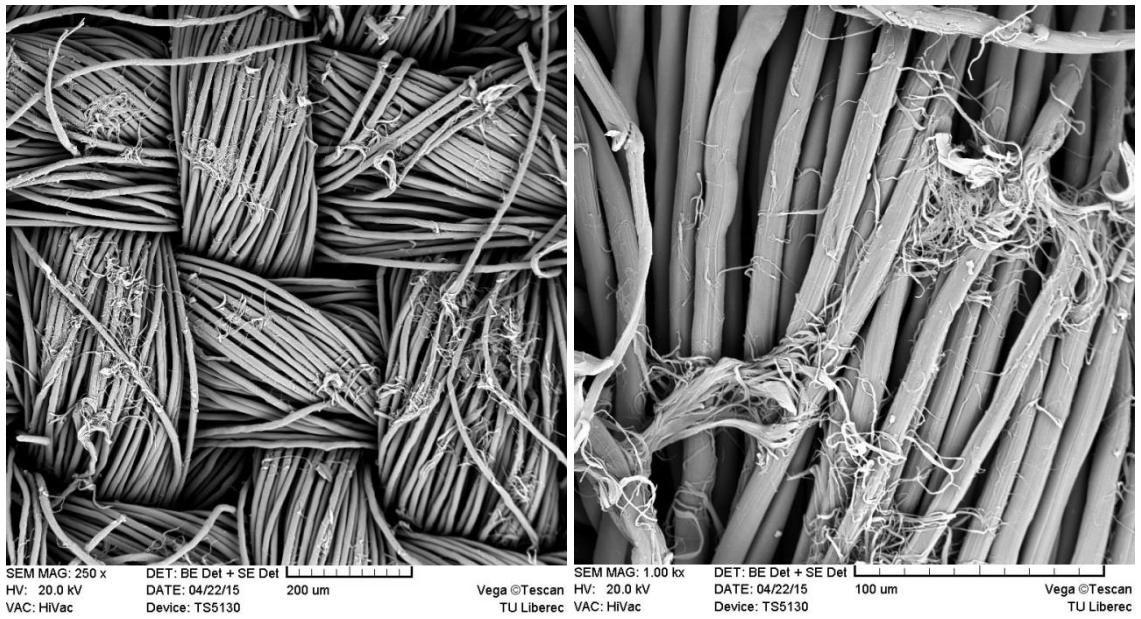
Tab. 23: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--|
| | | | | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | |
| 0 | - | 0 | - | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | 83,8 |
| 1 | 308 | 30 | 2,016 | 200 | 203 | 209 | 211 | 208 | 199 | 191 | 199 | 197 | 205 | 202,2 |
| 2 | 300 | 50 | 2,547 | 168 | 165 | 166 | 162 | 163 | 163 | 171 | 169 | 163 | 168 | 165,8 |
| 3 | 304 | 80 | 3,390 | 184 | 181 | 178 | 196 | 197 | 195 | 198 | 202 | 208 | 214 | 195,3 |
| 4 | 302 | 100 | 3,953 | 179 | 185 | 189 | 184 | 177 | 166 | 173 | 176 | 177 | 175 | 178,1 |
| 5 | 303 | 120 | 4,547 | 202 | 207 | 218 | 217 | 204 | 192 | 184 | 187 | 200 | 209 | 202,0 |
| 6 | 305 | 150 | 5,422 | 199 | 211 | 211 | 219 | 226 | 221 | 206 | 193 | 202 | 209 | 209,7 |
| 7 | 310 | 180 | 6,313 | 183 | 196 | 212 | 192 | 204 | 184 | 175 | 190 | 189 | 198 | 192,3 |
| 8 | 307 | 200 | 6,875 | 220 | 231 | 250 | 253 | 234 | 248 | 212 | 228 | 247 | 208 | 233,1 |

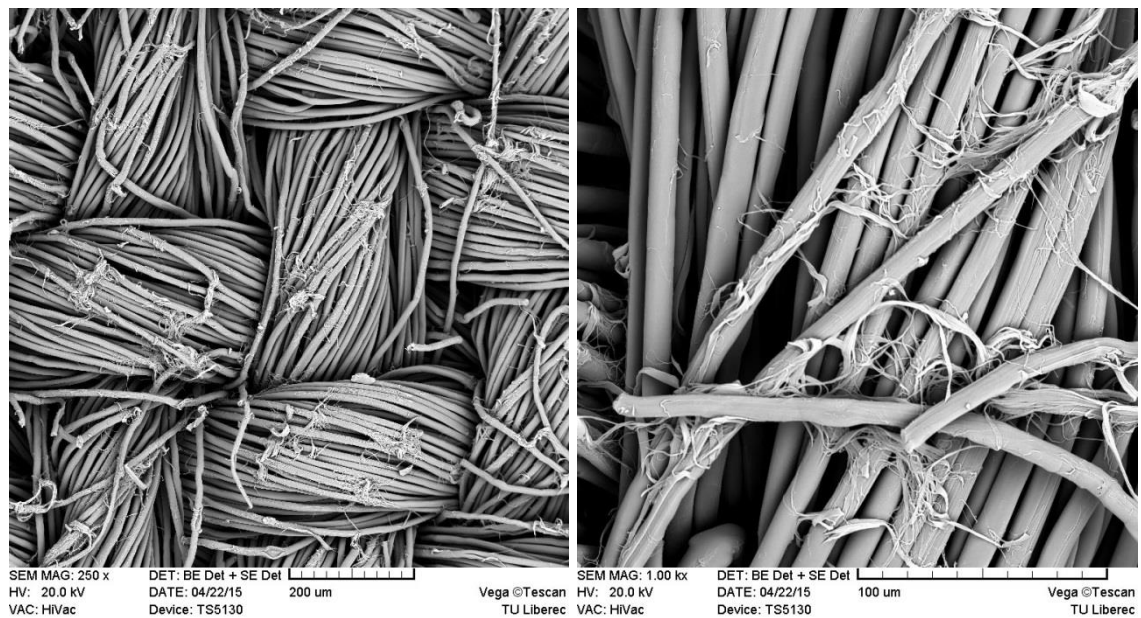
Tab. 24: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

| Vzorek | Přivažek [%] | Šířka pulzu [μs] | Doba vypalování [s] | Doba vypalování [s] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | |
| 0 | - | 0 | - | - | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | 83,8 |
| 1 | 133 | 30 | 2,016 | 2,015 | 161 | 151 | 149 | 153 | 164 | 177 | 152 | 157 | 165 | 147 | 157,6 |
| 2 | 141 | 50 | 2,547 | 2,531 | 166 | 161 | 159 | 167 | 156 | 164 | 154 | 159 | 158 | 146 | 159,0 |
| 3 | 138 | 80 | 3,375 | 3,391 | 171 | 159 | 158 | 166 | 177 | 169 | 168 | 151 | 183 | 164 | 166,6 |
| 4 | 140 | 100 | 3,953 | 3,953 | 195 | 165 | 175 | 201 | 166 | 201 | 165 | 164 | 194 | 162 | 178,8 |
| 5 | 142 | 120 | 4,563 | 4,547 | 180 | 161 | 169 | 183 | 172 | 180 | 167 | 164 | 191 | 165 | 173,2 |
| 6 | 139 | 150 | 5,422 | 5,422 | 46,9 | 65,4 | 66,8 | 75,1 | 87,8 | 79,2 | 77,7 | 63,8 | 44,4 | 59,6 | 66,7 |
| 7 | 140 | 180 | 6,312 | 6,297 | 6,3 | 4,5 | 5,0 | 6,5 | 5,6 | 7,7 | 5,3 | 5,0 | 5,0 | 4,5 | 5,5 |
| 8 | 142 | 200 | 6,859 | 6,859 | 3,2 | 2,9 | 2,6 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 2,9 | 3,3 | 3,3 | 3,1 |

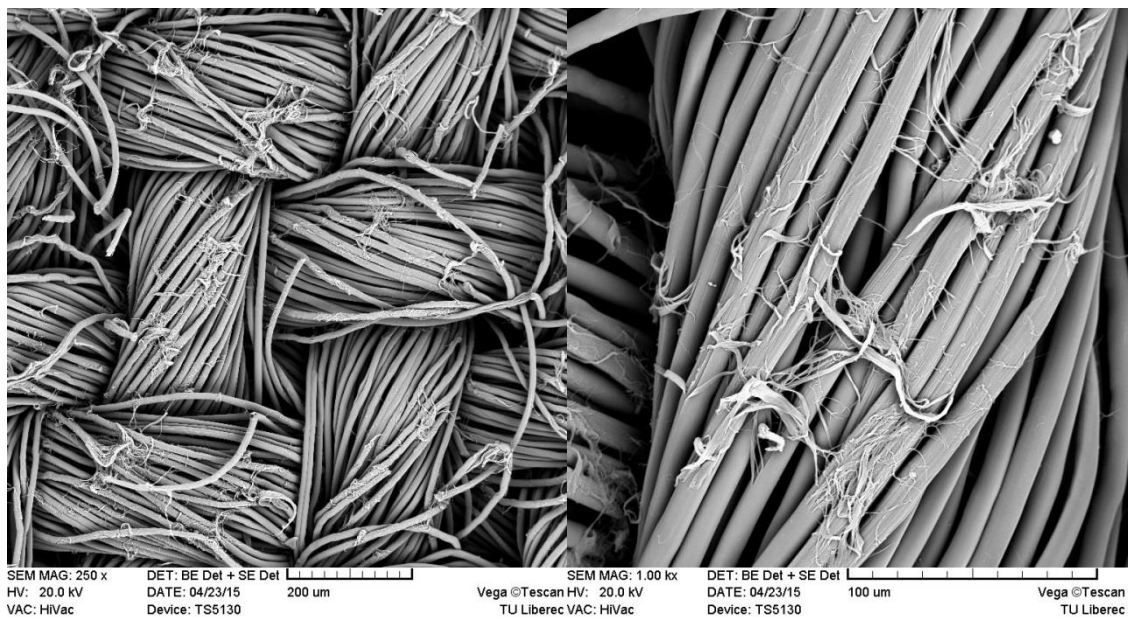
Příloha č. 2 – Snímky ze SEM analýzy



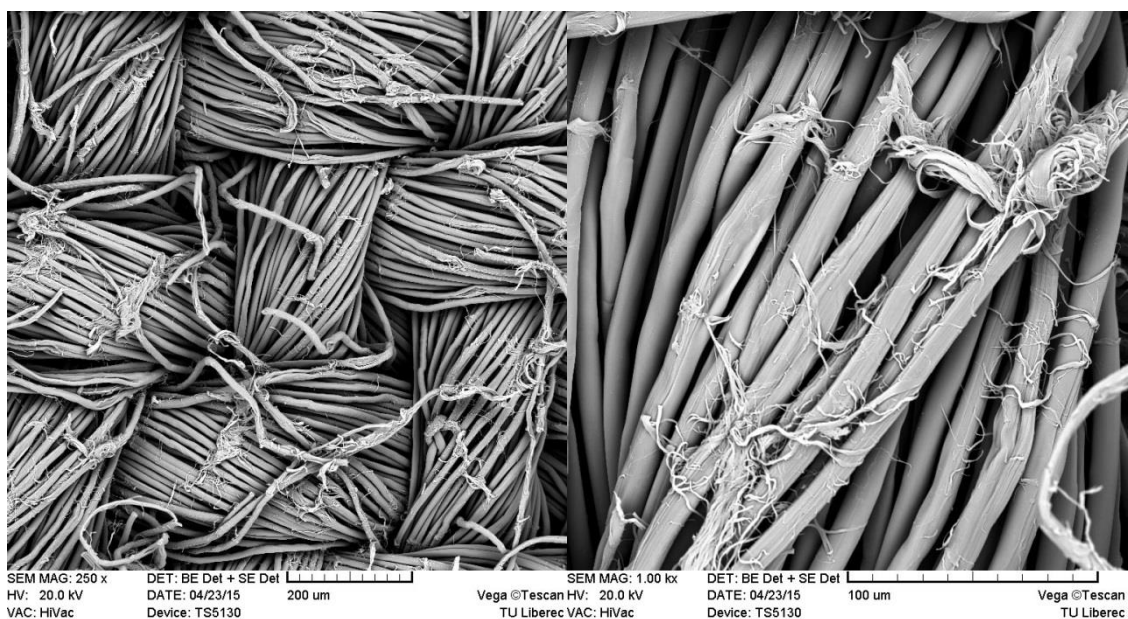
Obr. 1: Ozářený lyocell – šířka pulzu 30, jednostranné vypalování



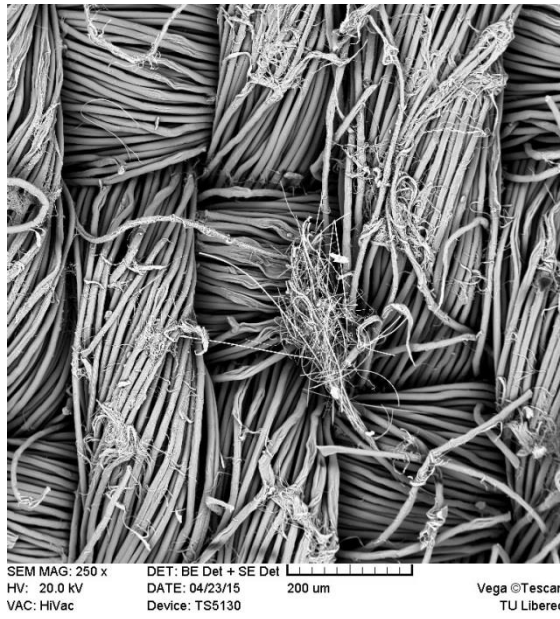
Obr. 2: Ozářený lyocell – šířka pulzu 80, jednostranné vypalování



Obr. 3: Ozářený lyocell – šířka pulzu 120, jednostranné vypalování



Obr. 4: Ozářený lyocell – šířka pulzu 180, jednostranné vypalování



Obr. 5: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, jednostranné vypalování

Příloha č. 3: Vyvařené vzorky – výsledky srážení a prodyšnosti

Tab. 25: Lyocell

| Vzorek | Doba vaření [min] | Srážení [%] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|-------------------|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | |
| 0 | 0 | - | 249 | 231 | 216 | 216 | 220 | 231 | 232 | 233 | 236 | 233 | 229,7 |
| 1 | 1 | 3 | 146 | 140 | 139 | 141 | 134 | 141 | 137 | 143 | 136 | 139 | 139,6 |
| 2 | 5 | 4 | 144 | 139 | 137 | 142 | 136 | 142 | 136 | 135 | 141 | 140 | 139,2 |
| 3 | 10 | 2 | 144 | 139 | 140 | 142 | 141 | 143 | 142 | 138 | 141 | 136 | 140,6 |
| 4 | 20 | 3 | 143 | 141 | 142 | 145 | 138 | 146 | 137 | 141 | 141 | 139 | 141,3 |
| 5 | 30 | 8 | 144 | 148 | 147 | 147 | 149 | 147 | 150 | 146 | 141 | 146 | 146,5 |

Tab. 26: Bavlna

| Vzorek | Doba vaření [min] | Srážení [%] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|-------------------|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | |
| 0 | 0 | - | 653 | 650 | 638 | 649 | 651 | 648 | 640 | 644 | 635 | 643 | 645,1 |
| 1 | 1 | 5 | 444 | 435 | 439 | 451 | 436 | 450 | 437 | 432 | 433 | 428 | 438,5 |
| 2 | 5 | 3 | 422 | 423 | 425 | 421 | 424 | 420 | 431 | 419 | 413 | 414 | 421,2 |
| 3 | 10 | 4 | 436 | 432 | 438 | 446 | 451 | 443 | 450 | 430 | 429 | 424 | 437,9 |
| 4 | 20 | 5 | 437 | 449 | 450 | 443 | 450 | 446 | 450 | 444 | 423 | 445 | 443,7 |
| 5 | 30 | 5 | 447 | 442 | 445 | 449 | 434 | 449 | 432 | 444 | 435 | 435 | 441,2 |

Tab. 27: Viskóza

| Vzorek | Doba vaření [min] | Srážení [%] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|-------------------|-------------|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | |
| 0 | 0 | - | 1019 | 1025 | 1002 | 995 | 1021 | 1015 | 1008 | 1000 | 1012 | 1010 | 1010,7 |
| 1 | 1 | 9 | 488 | 514 | 483 | 472 | 481 | 470 | 477 | 472 | 465 | 480 | 480,2 |
| 2 | 5 | 8 | 497 | 527 | 481 | 456 | 488 | 458 | 481 | 474 | 455 | 494 | 481,1 |
| 3 | 10 | 9 | 498 | 484 | 503 | 502 | 495 | 502 | 496 | 479 | 473 | 468 | 490,0 |
| 4 | 20 | 10 | 526 | 522 | 521 | 500 | 493 | 503 | 504 | 505 | 493 | 496 | 506,3 |
| 5 | 30 | 8 | 454 | 469 | 453 | 470 | 458 | 469 | 465 | 446 | 433 | 447 | 456,4 |

Tab. 28: Hedvábí

| Vzorek | Doba vaření [min] | Srážení [%] | Prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] | | | | | | | | | | Průměrná prodyšnost [mm/s = l/m ² /s] |
|--------|-------------------|-------------|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--|
| | | | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | |
| 0 | 0 | - | 98 | 80,4 | 65,1 | 82,4 | 87,6 | 94,6 | 103 | 79,7 | 75,2 | 71,5 | 83,8 |
| 1 | 1 | 6 | 200 | 229 | 216 | 194 | 219 | 184 | 216 | 205 | 189 | 214 | 206,6 |
| 2 | 5 | 7 | 181 | 190 | 180 | 185 | 189 | 187 | 191 | 177 | 166 | 179 | 182,5 |
| 3 | 10 | 7 | 231 | 231 | 229 | 218 | 226 | 214 | 228 | 225 | 214 | 230 | 224,6 |
| 4 | 20 | 8 | 273 | 248 | 229 | 241 | 241 | 247 | 250 | 236 | 257 | 246 | 246,8 |
| 5 | 30 | 10 | 446 | 451 | 434 | 426 | 415 | 418 | 414 | 417 | 412 | 419 | 425,2 |

Příloha č. 4: Výsledky výpočtů energie pulzu a energie na plochu

Tab. 29: Výsledky energie pulzu a energie na plochu

| Šířka pulzu [μs] | Energie pulzu [mJ] | Doba vypalování [s] | Energie na plochu [mJ/m ²] | |
|------------------|--------------------|---------------------|--|-------|
| 30 | 3 | 2,016 | 788 | 419 |
| 50 | 5 | 2,547 | 995 | 698 |
| 80 | 8 | 3,391 | 1325 | 1116 |
| 100 | 10 | 3,969 | 1550 | 1395 |
| 120 | 12 | 4,562 | 1782 | 1674 |
| 150 | 15 | 5,422 | 2118 | 2093 |
| 180 | 18 | 6,296 | 2459 | 2511 |
| 200 | 20 | 6,875 | 2686 | 2790 |
| 250 | 25 | 8,336 | 3256 | 3488 |
| 300 | 30 | 9,797 | 3827 | 4185 |
| 350 | 35 | 11,266 | 4401 | 4883 |
| 400 | 40 | 12,704 | 4963 | 5580 |
| 450 | 45 | 14,187 | 5542 | 6278 |
| 500 | 50 | 15,671 | 6121 | 6975 |
| 550 | 55 | 17,063 | 6665 | 7673 |
| 600 | 60 | 18,547 | 7245 | 8370 |
| 650 | 65 | 20,016 | 7819 | 9068 |
| 700 | 70 | 21,500 | 8398 | 9765 |
| 750 | 75 | 22,984 | 8978 | 10463 |
| 800 | 80 | 24,453 | 9552 | 11160 |

Příloha č. 5: Vzorník

Seznam tabulek příloh

Tab. 1: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

Tab. 2: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 3: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 4: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 5: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 6: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 7: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 8: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 9: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 10: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

Tab. 11: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 12: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 13: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 14: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 15: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

Tab. 16: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 17: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 18: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 19: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 20: Vzorek velikost 12 x 12 cm - jednostranné vypalování

Tab. 21: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 22: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 23: Vzorek velikost 16 x 16 cm - jednostranné vypalování

Tab. 24: Vzorek velikost 16 x 16 cm - oboustranné vypalování

Tab. 25: Lyocell

Tab. 26: Bavlna

Tab. 27: Viskóza

Tab. 28: Hedvábí

Tab. 29: Výsledky energie pulzu a energie na plochu

Seznam obrázků příloh

Obr. 1: Ozářený lyocell – šířka pulzu 30, jednostranné vypalování

Obr. 2: Ozářený lyocell – šířka pulzu 80, jednostranné vypalování

Obr. 3: Ozářený lyocell – šířka pulzu 120, jednostranné vypalování

Obr. 4: Ozářený lyocell – šířka pulzu 180, jednostranné vypalování

Obr. 5: Ozářený lyocell – šířka pulzu 200, jednostranné vypalování