



Laser v úpravě plstěných výrobků

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Pavlína Recmanová**
Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.





Laser in the adjustment of felt products

Diploma thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Bc. Pavlína Recmanová**
Supervisor: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavlína Recmanová**
Osobní číslo: **T14000025**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Laser v úpravě plstěných výrobků**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

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, plst.
2. Experimentálně se zaměřte na úpravu plstěných klobouků, resp. jejich polotovarů.
3. Navrhněte a laboratorně ověřte postup laserového vzorování, který umožní úpravu polotovaru klobouku po celém jeho obvodu v jediném výrobním kroku.
4. Na takto upravených polotovarech sledujte změny vybraných vlastností způsobené následnými kroky finalizace klobouku - zaměřte se zejména na odolnost vůči oděru, stálost v otěru, změny vzhledu.
5. Výsledky diskutujte z hlediska možností průmyslového využití vyvinuté technologie.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná


Seznam odborné literatury:

- Jirsák O., Kalinová K.: Netkané textilie. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 129 s. ISBN 80-708-3746-2
- Engst P., Horák M.: Aplikace laserů, 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 204 s. Populární přednášky o fyzice.
- Vrbová M., Jelínková, H., Gavrilov, P.: Úvod do laserové techniky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01108-9.

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

Datum zadání diplomové práce: 11. listopadu 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 13. května 2016


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. listopadu 2015

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych především poděkovala panu prof. Ing. Jakobovi Wienerovi Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, v první řadě za odbornou pomoc, věcné připomínky a rady. Dále tímto děkuji paní Ing. Marii Kašparové, mé konzultantce, rovněž za odbornou pomoc, pomoc při realizaci experimentální části, její rady a připomínky.

Poděkování náleží také firmě Tonak a.s., nejen za vstřícnost a ochotu při dodávání polotovarů, ale za poskytnutí informací pro zpracování práce.

V neposlední řadě děkuji mé rodině za podporu po celou dobu studia, a to nejen materiální, ale také psychickou. Děkuji mému příteli a nejbližším přátelům za podporu a povzbuzování během celého studia.

Anotace

Diplomová práce se zabývá laserovým vypalováním na plstěné polotovary ve spolupráci s firmou Tonak a.s, která má sídlo a výrobní závod v Novém Jičíně.

Teoretická část práce je zaměřena obecně na laserovou techniku, principy laseru, historii laseru, druhy laseru a možnosti využití laserového vypalování. Dále je stručně popsána kapitola o firmě Tonak a.s, jejich výrobcích a dále je zde stručně popsána výroba kloboukových polotovarů.

Experimentální část je rozdělena do dvou částí, kdy jedna část je věnována zjišťování parametrům pro laserové vypalování a jeho vyhodnocování, kdy byla zjišťována pevnost a tloušťka vypálených polotovarů, odolnost v oděru, stálost v otěru a zjišťování změn povrchu před a po vypálení pomocí elektronové mikroskopie. Jelikož laserový paprsek vlnu spálí, je potřeba eliminovat vzniklý zápach po vypálení vzoru. Druhá část experimentu je věnována vzorování polotovarů laserem po celém obvodu v jednom výrobním kroku, tedy pomocí rotace polotovaru.

Klíčová slova: laser, vypalování, plstěný polotovar

Annotation

The diploma thesis deals the laser burning felt semifinished hat in cooperation with Tonak a.s. which has its head office and manufacturing plant in Novy Jicin.

The theoretical part is focused generally on laser technology, principles of laser, history of laser, laser types and the possibility of using laser burning. Farther is briefly describes the section about Tonak a.s. company, their products and more is also briefly describes the production of semi-finished hat.

The experimental part is divided into two parts where one part is dedicated to the survey the parameters for laser burning and its evaluating, when the determined strength and thickness burned blanks, abrasion resistance, constancy to rubbing and detecting changes in the surface before and after firing by electron microscopy. As the laser beam wool burn, it is necessary to eliminate the odor generated after burning pattern. The second part of the experiment is given laser patterning semifinished around the perimeter in a single manufacturing step, thus by rotation of the blank.

Keywords: laser, burn, felt semifinished product

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	- 11 -
Úvod	- 12 -
ŘEŠERŠNÍ ČÁST	
2. Laserová technika	- 13 -
2.2 Historie laseru a jeho vývoje	- 13 -
2.3 Základní fyzikální principy laseru	- 14 -
2.4 Laserové zařízení a jeho součásti.....	- 16 -
2.5 Základní druhy laserů	- 18 -
2.5.1 Pevnolátkové lasery	- 20 -
2.5.2 Kapalinové lasery	- 21 -
2.5.3 Plynové lasery.....	- 22 -
2.5.4 Plazmatické lasery	- 23 -
2.6 Aplikace laserů	- 24 -
2.6.1 Aplikace laserů v medicíně.....	- 24 -
2.6.2 Aplikace laserů v průmyslu	- 24 -
2.6.3 Ostatní aplikace laserů	- 28 -
2.6.4 Přehled využití laserů.....	- 29 -
3. Výroba klobouků	- 30 -
3.2. Postup výroby klobouků	- 31 -
3.2.1 Materiály pro výrobu	- 31 -
3.2.2 Výroba kloboukových polotovarů	- 34 -
3.2.3 Úprava povrchu polotovaru	- 36 -

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Popis experimentu.....	- 38 -
4.1 Laserové zařízení	- 38 -
4.1.1 Výkon laseru	- 39 -
4.5 Materiál.....	- 41 -
4.6 Konstrukce rotačního zařízení	- 42 -
4.7 Sledování parametrů pro laserové vypálení.....	- 43 -
5. Metody experimentu.....	- 46 -
5.1 Analýza plstěných polotovarů	- 46 -
5.1.1 Stanovení pevnosti a tažnosti.....	- 46 -
5.1.2 Měření tloušťky	- 47 -
5.1.3 Stálost v otěru	- 48 -
5.1.4 Odolnost v oděru.....	- 49 -
5.2 Elektronová mikroskopie.....	- 50 -
5.3 Eliminace zápachu	- 52 -
5.4 Vzorování laserem při rotaci polotovaru	- 53 -
6. Vyhodnocení výsledků experimentů	- 54 -
6.1 Stanovení pevnosti.....	- 54 -
6.3 Měření tloušťky	- 55 -
6.4 Stálost v otěru	- 56 -
6.5 Odolnost v oděru.....	- 58 -
6.6 Elektronová mikroskopie.....	- 60 -
6.7 Eliminace zápachu	- 64 -
6.8 Vzorování laserem při rotaci polotovarů	- 65 -
8. Diskuze.....	- 69 -
8. Závěr	- 72 -
Zdroje.....	- 74 -

Seznam obrázků	- 77 -
Seznam tabulek	- 79 -
Seznam grafů	- 80 -
Seznam příloh	- 80 -
Přílohy	- 81 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

atd.	a tak dále
apod.	a podobně
obr.	obrázek
č.	číslo
tab.	tabulka
obr. bod	obrazový bod (pixel)
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
SEM	Scanning Electron Microscope, elektronová rastrovací mikroskopie
JPEG	Joint Photographic Experts Group, formát pro ukládání počítačových obrázků
BMP	Bitmap, formát pro ukládání rastrové grafiky
dpi	Dots per inch, počet obrazových bodů (pixelů) na 1 palec (2,54 cm)
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
RH	Relative humidity, relativní vlhkost vzduchu
μs	mikrosekunda
μm	mikrometr
nm	nanometr
mm	milimetr
cm	centimetr
kW	Kilowatt
Hz	Hertz
N	Newton
F	Síla
Pa	Pascal
Bit/ms	Bit za milisekundu
J/s	Joule za sekundu
a.s	akciová společnost

Úvod

Diplomová práce vznikla jako rozšíření mé bakalářské práce, která byla zaměřena na vzorování plstěných polotovarů ve spolupráci s firmou Tonak a.s. Firma Tonak a.s. se jako jediná společnost v České republice zabývá výrobou pokrývek hlav. Experimentálně byly v bakalářské práci vyzkoušeny různé techniky, např.: laser, strojní výšivka, či sítotisk. Právě vzorování pomocí laseru bylo podnětem pro rozšíření práce.

Hlavním cílem diplomové práce je důkladněji prozkoumat techniku laseru na plstěné tvarované výrobky různých povrchů a zhodnocení chování materiálu po vypálení. Dále je potřeba zohlednit fakt, že se jedná o vypalování na prostorové objekty - klobouky, tudíž je potřeba aplikovat danou metodu tak, aby bylo možné vzorovat výrobek po celém jeho obvodu v jediném výrobním kroku.

První část práce je zaměřena na teoretickou část, která pojednává jednak o základních principech laseru, či fyzikálních aspektech laseru. Dále je zde uvedeno základní rozdělení laserových zařízení a stručná charakteristika jednotlivých typů laserů. V rešeršní části je také zaměřena pozornost na stručný přehled výroby klobouků a informace o povrchových úpravách klobouků.

Další část práce je zaměřená na část experimentální, kdy jsou v první řadě zkoumány a vyhodnoceny parametry pro vypálení na plstěné polotovary. Jelikož laserové vypalování ovlivňují 3 parametry, je potřeba si určit pouze jeden proměnný parametr.

Další část práce je zaměřena na zkoumání vlastností po laserové úpravě výrobků a možnosti využití v průmyslové výrobě. Vyhodnocení laserového vypálení je provedeno pomocí zjišťování pevnosti před a po vypálení v závislosti na změně tloušťky materiálu, odolnost v oděru, či stálost v otěru. Dále bylo součástí sledování vybraných změn povrchu pomocí elektronové mikroskopie. Jelikož jsou polotovary vyráběny z vláken živočišného původu, po vypalování laserem polotovar zapáchá po rohovině, proto je vzniklý zápach zkoušen eliminován pomocí různých chemických roztoků.

Součástí práce je experimentování laserového vypalování na polotovaru s hladkou povrchovou úpravou s možností vzorování po celém jeho obvodu v jediném výrobním kroku pomocí rotace.

REŠERŠNÍ ČÁST

2. Laserová technika

Laserová technika je vědní obor, který se zabývá, nejen principy činností různých druhů laseru, ale také jejich konstrukčním řešením, měřícími metodami a principy použití laserů v různých odvětvích lidské činnosti. Je považována za část, která spadá do vědních oborů: kvantová elektronika, optoelektronika a fotonika.

Pro lepší orientaci a pochopení základů laserové techniky je potřeba stručně vysvětlit základní principy a definice daných vědních oborů.[1]

- Kvantová elektronika: *„je vědní obor zabývající se vzájemným působením elektromagnetického záření s vázanými elektrony(tj. elektrony, které jsou součástí atomů, iontů, molekul atd.) a jeho praktickým využitím pro zesilování, generaci a detekci elektromagnetického záření.“* [1, str.11]
- Optoelektronika: *„je vědní obor zabývající se generováním, přenosem a detekcí optického záření a jeho využití, zejména pro přenos a zpracování signálů.“* [1, str. 12]
- Fotonika: *„je vědní obor, zabývající se vlastnostmi a metodami využití optického záření, zejména metodami generace, detekce, a také přeměnami optického záření na jiné formy energie.“* [1, str. 12]

2.2 Historie laseru a jeho vývoje

Vývoj laseru trval několik desetiletí, než se laser objevil v podobě, jak jej známe dnes. Slovo laser vzniklo zkratkou prvních písmen z anglického názvu - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Jako první začal o laseru uvažovat Albert Einstein v roce 1917, kdy ukázal, že kromě jevů absorpce, či spontánní emise, musí existovat i emise stimulovaná. Další krok, který směřoval k vynálezu laseru udělal ruský fyzik V. A. Fabrikant. V roce 1939 ukázal, že stimulovanou emisí lze využít k zesílení elektromagnetického záření procházejícího prostředím. Poprvé byla stimulovaná emise aplikována k zesilování v mikrovlnné oblasti a roku 1954 byl vynalezen molekulární generátor tzv. Maser (zkratka prvních písmen z anglických slov Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Následujících 6 let se fyzici věnovali rezonátoru zejména pro vlnové délky z optické oblasti spektra a dalším vědeckým činnostem, kterými se snažili uskutečnit prvotní myšlenku Alberta Einsteina. Jako první byl vytvořen rubínový laser v roce 1960, kdy Theodore Maiman uveřejnil

článek o tvorbě záření v rubínové tyči ve viditelné oblasti spektra. O rok později tedy roku 1961 začal neuvěřitelný vývoj laseru, kdy začaly vznikat různé druhy laserů, a vývoj laserové technologie byl převratný. Dnes je známo mnoho druhů a typů laserů a také neuvěřitelné možnosti jejich využití.[1]

2.3 Základní fyzikální principy laseru

Za médium, které vyzařuje laserový paprsek lze považovat atomy s centrálním jádrem protonů a neutronů, které jsou obklopené elektrony. Tyto elektrony se pohybují mezi různými energetickými hladinami a probíhá absorpce, či uvolnění vnější energie. Elektrony mohou přecházet z jedné oběžné dráhy do druhé, pokud jsou schopny absorbovat a uvolňovat správné množství energie ve formě fotonů dané rovnicí:[4]

$$E = h\nu \quad [4]$$

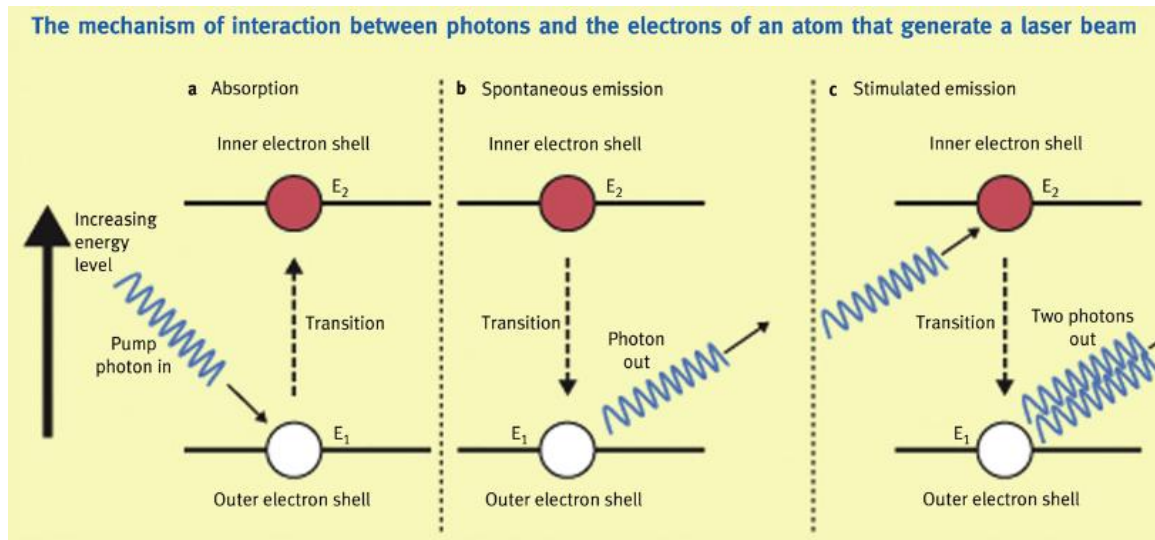
E... energie fotonu

h... Planckova konstanta ($6,63 \cdot 10^{-24}$ J/s)

v... frekvence fotonu

Existují tři různé principy, které popisují interakci mezi fotony a elektrony (zobrazeno na obr. č. 1):

- Absorpce: nastane, pokud elektron v základní poloze (E1) absorbuje energii fotonu $h\nu$ a přesune se na horní úroveň (E2)
- Spontánní emise: nastane, pokud se elektron v horní úrovni (E2) rozkládá, uvolňuje foton a přesouvá se na nižší úroveň (E1). Přitom má foton náhodný směr a vlnová délka závisí na rozdílu energie obou stavů.
- Stimulovaná emise: nastane, pokud se foton srazí s atomem v excitovaném stavu, uvolní se druhý stimulovaný foton. [4]

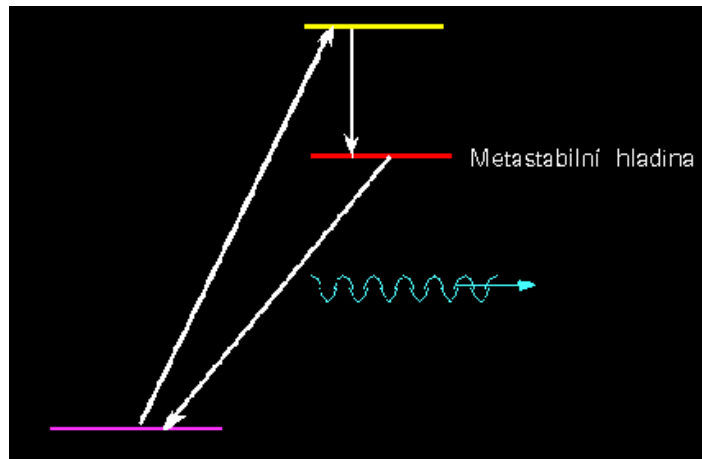


Obr. č. 1 Interakce mezi fotony a elektrony [5]

Tyto tři principy vždy probíhají současně. Absorpce a stimulovaná emise jsou dva vzájemné procesy, které jsou v podstatě podobné. Pro laser je však upřednostňován princip stimulované emise místo absorpce a spontánní emise, a to proto, že se vyskytuje více elektronů v horní úrovni. Toho je dosaženo pomocí přívodu energie z čerpadla, které může být napájeno kontinuálně nebo přerušovaně a to v případě pulzního laseru. [5]

Dále je důležité vysvětlení pojmů metastabilní hladina a inverze populace.

Metastabilní hladina: je potřebná k vytvoření aktivního prostředí laseru. Aktivní prostředí laseru je tvořeno prvky, či molekuly, které právě obsahují onu metastabilní hladinu. Rozdíl je v tom, že elektron na metastabilní hladině vydrží podstatně déle (až o 100 000 x) než na ostatních hladinách. Na obr. č. 2 je schematicky zobrazena metastabilní hladina. Pokud se foton srazí s právě takovým elektronem atomu, elektron se vybudí na vyšší hladinu a poté spadne na hladinu metastabilní. Opět se uvolní foton z elektronu, který má náhodný směr. [3]



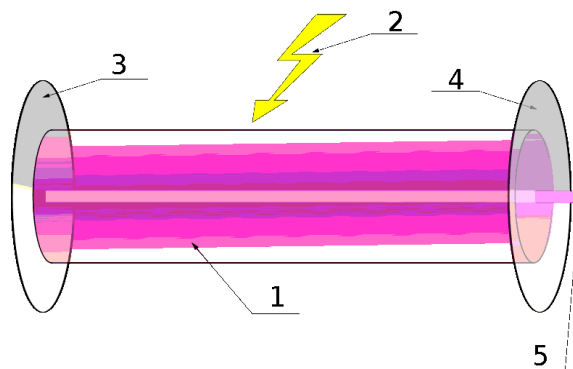
Obr. č. 2 Zobrazení metastabilní hladiny [3]

Inverze populace: k tomuto jevu dochází, pokud je víc elektronů atomu na hladině metastabilní, než na nižší hladině. Následně se spustí reakce, kdy přiletí stimulující foton, který přinutí všechny elektrony sestoupit na nižší hladinu a vypustí fotony. Poté se veškeré fotony sloučí v jednu vlnu a následuje zesílení světla právě stimulovanou emisí záření. Prozatím vytvořená vlna nemá požadovaný směr, směr laserového paprsku. Správný směr vytváří rezonátor, což je soustava dvou zrcadel viz kapitola 2.4. [3]

2.4 Laserové zařízení a jeho součásti

Laser je sestaven z pěti hlavních částí, které jsou vyobrazeny na schematickém obr. č. 3, a zahrnuje:

- Aktivní prostředí (1)
- Zdroj záření (2)
- nepropustné zrcadlo (3)
- polopropustné zrcadlo (4)
- laserový paprsek (5)



Obr. č. 3 Součásti laseru [2]

Aktivní prostředí je látka, která obsahuje oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. V aktivním prostředí přeskakují elektrony s nižší energetickou hladinou na elektrony s vyšší energetickou hladinou poté přeskakují na metastabilní hladinu a následně zpátky na elektrony s nižší energetickou hladinou. Elektrony mohou přeskočit na nižší energetickou hladinu dvěma způsoby, a to:

- stimulovanou emisí
- spontánní emisí [3]

Rezonátor je velice důležitý a slouží k zesilování světla. Rezonátor se skládá z dvou zrcadel, které jsou uloženy kolmo na osu laserového paprsku a zároveň jsou k sobě rovnoběžné. Jedno zrcadlo je nepropustné (3) a druhé je polopropustné (4), jak je vidět na schématu viz výše.

Pro nepropustné zrcadlo je často využíváno dielektrické zrcadlo, či se dá využít kvalitně leštěný kov např. zlato. U laserové diody, což je výjimečný případ může posloužit i rozhraní aktivního prostředí s vzduchem. Polopropustné zrcadlo udržuje fotony v aktivním prostředí a fotony jsou propouštěny mimo aktivní prostředí až při vyšší intenzitě.

Zrcadla ve většině případů jsou rovinná, ale mohou být také zakřivená, a to buď konkávně (vyduté směrem dovnitř) nebo konvexně (vypouklé). Důležité parametry jsou poloměr zakřivení zrcadla a délka rezonátoru, které souvisí se stabilitou záření v rezonátoru.

Existují také laserová zařízení, která mohou vyvinout dostatečně vysokou energii při jednom průchodu aktivním prostředím, a proto nepotřebují rezonátor a pracují tzv. superradiačně, což znamená, že dokážou získat energii pouze jedním průchodem např. dusíkový laser, či měděný laser.[3]

Zdroj záření je určen k dodání energie elektronů právě v aktivním prostředí. Energie je potřebná pro pohyb elektronů z nižší energetické hladiny na hladinu vyšší.

Mezi zdroje záření jsou zahrnovány např. elektrický proud, chemická reakce, výbojka atd. [3]

Laserový paprsek má následující charakteristiky je koherentní (nerozbíhavý) a monochromatický (jednobarevný) a jeho rychlost je stejná jako rychlost světla tedy 300 000 km/s. [3]

Samozřejmě laser obsahuje i další příslušenství a komponenty podle toho k čemu je primárně určen. Ve výše uvedené kapitole jsou uvedeny základní komponenty laseru. Dále může obsahovat tedy např.: kalibrační přístroje, chladič, měřič výkonů atd. [3]

2.5 Základní druhy laserů

Klasifikace laseru je velice členitá a lze je třídit podle mnoha hledisek např.: podle aktivního prostředí, typu kvantových přechodů, typu buzení atd. Na obr. č. 4 je zobrazeno schematické dělení různých typů laserů.

Dělení:

a) podle druhu aktivního prostředí:

- pevnolátkové
- polovodičové
- plynové
- kapalinové
- plazmové

b) podle vysílaných vlnových délek:

- infračervené
- ultrafialové
- rentgenové
- viditelné pásmo

c) podle energetických hladin:

- molekulární
- elektronové
- jaderné

d) podle časového režimu provozu laseru:

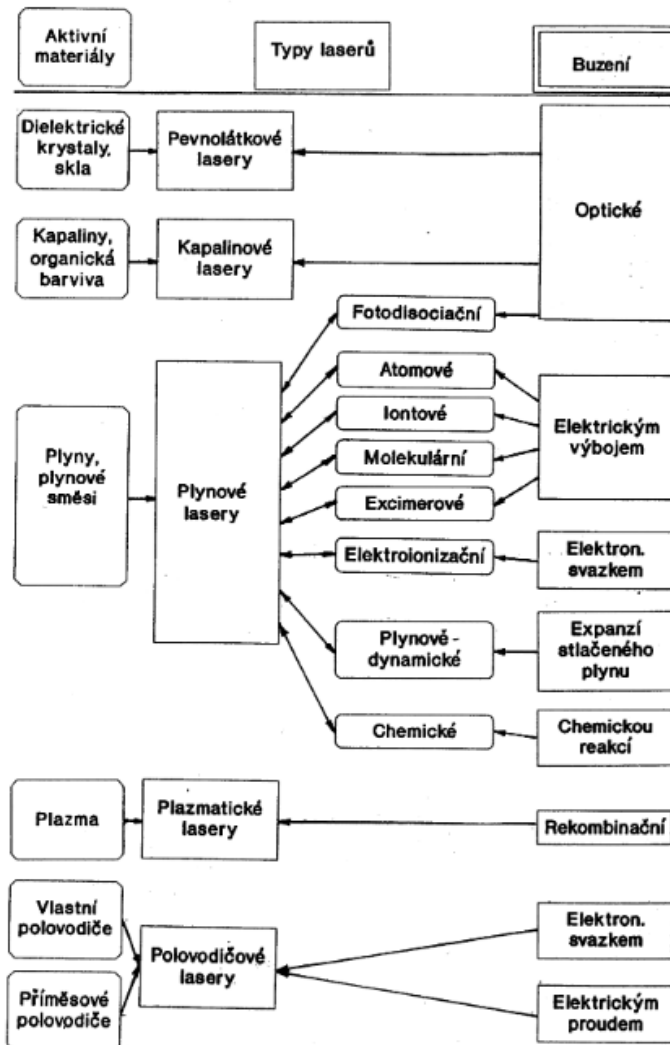
- impulsní
- pulzní
- kontinuální

e) podle trvání impulsu:

- s dlouhými impulsy
- s krátkými impulsy
- s velmi krátkými impulsy

f) podle typu buzení:

- opticky
- elektrickým výbojem
- elektronovým svazkem
- tepelnými změnami
- chemicky
- rekombinací
- injekcí nosičů náboje [1]



Obr. č. 4 Typy laseru [1]

2.5.1 Pevnolátkové lasery

Aktivním prostředím u pevnolátkových laserů je pevná látka, která je opticky propustná tzv. dielektrikum, což je matrice, která je nejen základním materiálem, ale také určuje řadu chemických, či fyzikálních vlastností pro daný krystal. Daná matrice musí mít následující vlastnosti:

- chemickou stabilitu
- mechanická pevnost
- tepelná odolnost
- snadné mechanické opracování

Dále je nezbytně nutné, aby matrice byla průzračná, opticky homogenní, a také je důležitá technologická možnost pro umělé vytvoření. Veškerým výše uvedeným požadavkům vyhovují tyto materiály:

- krystal (tyto materiály se dělí do mnoha skupin: oxidy, granáty, alumináty...)
- sklo (podstatná matrice, snadnější výroba oproti krystalům, matrice skla má skvělou homogenitu, je jednodušší na opracování, větší rozměry. Také má i nevýhody a těmi jsou nižší tepelná vodivost a v určitých případech nižší tvrdost.
- keramika (výhoda je nízká cena, avšak má vyšší tepelnou vodivost než sklo) [1]

U všech pevnolátkových laserů je aktivní prostředí dobrým luminoforem. Aktivní prostředí těchto typu laserů bývá ve tvaru válce a čela válce mohou být kolmá na osu válce, nebo skosená pod úhlem, který je pevně určen.

Pro buzení u pevnolátkových laserů se využívá nejčastěji optické buzení. Především se používá světlo z impulsní xenonové, nebo kontinuální kryptonové výbojky. Dále je potřeba dodat množství energie do výbojky a to je úkolem zdrojové části laseru, která se liší podle druhu použité výbojky. Pro xenonovou výbojku se využívá budicí obvod s kondenzátorem o dané kapacitě a pro kryptonovou výbojku se používá budicí elektrický obvod a má zdroj proudu 10 až 60 A. Jelikož je velká část energie pro buzení přeměněna na teplo je potřeba chladicí část laseru. Chlazení je prováděno dvěma způsoby:

- chladicí tekutina (destilovaná voda, jež protéká celou budicí jednotkou)
- skleněné trubičky (ve skleněných trubičkách jsou umístěny laserový krystal a výbojky a trubicemi protéká voda)[1]

Existuje mnoho různých typů pevnolátkových laserů, nejznámější jsou:

- Rubínový laser
- Neodymový laser (Nd:YAG laser, Nd:YLF laser)

Jako první byl vynalezen rubínový laser v roce 1960, který má, jak již název napovídá aktivní prostředí z krystalu rubínu vytvářející záření o vlnové délce 0,6943 μm . Toto záření umožňuje využití laseru v průmyslu-vrtání tvrdých materiálu, v dermatologii atd.

Nejvíce používaným typem se v dnešní době stává Nd: YAG laser. Uplatňuje se v mnoha druzích odvětví průmyslů. Nejvíce však se využívá k vrtání, řezání, sváření, dále v lékařství např. v mikrochirurgii. [1]

2.5.2 Kapalinové lasery

Jako aktivní prostředí je u kapalinových laserů především využíváno roztoků organických barviv. Mohou se také využívat speciální kapaliny s ionty vzácných zemin, avšak tyto kapaliny jsou využívány méně. Organické barviva bývají s příměsí různých kapalin např. vody, etylalkoholu, metylalkoholu, acetonu, toluenu, benzenu, glycerinu atd. Mají široké absorpční pásmo ve viditelné a ultrafialové oblasti spektra a výběrem vhodných barviv a konstrukce laseru, lze dosáhnout záření na jakékoli vlnové délce v oblasti od 0,3 μm do 1,3 μm .

Velice důležitý parametr u těchto typů laserů je šířka čáry, která je generována oproti šířce luminiscenční čáry. Luminiscenční čára má šířku v okolí 0,1 μm a generovaná čára může mít v řádech 10^{-4} μm , či ještě menší tzn., že generovaná vlnová délka se může měnit v ohledu na luminiscenční délku. Tyto lasery se pak označují jako *přeladitelné lasery*. Nevýhodou kapalinových laseru je životnost roztoků organických barviv, a proto musí být aktivní prostředí postupně vyměněno. [1]

Buzení probíhá pomocí optického záření a buzení může být:

- koherentní, či nekoherentní
- pulzní, či kontinuální
- podélné, či příčné

Barvivové lasery jsou často využívány ke spektroskopii, a to díky možnosti použití přesné vlnové délky. Lasery jsou využívány také v medicíně. [1]

2.5.3 Plynové lasery

Jak již název napovídá aktivní prostředí je v plynné fázi tvořeno atomy, ionty nebo molekulami a rozlišujeme tedy typy plynových laserů:

- atomární lasery
- iontové lasery
- molekulární lasery

Buzení plynových laserů nerůznorodé, uplatňuje se:

- chemickou reakcí
- elektrickým výbojem
- fotodisociací
- expanzí plynu
- opticky

Atomární lasery mají elektricky neutrální aktivní prostředí. Nejvýznamnější lasery, které jsou do atomárních typů zahrnovány: helium-neonový laser, měděný laser a jodový laser. [1]

Helium - neonový laser se stal prvním z řad plynových laseru již v roce 1960, jsou často používané a vyrábí se v mnoha úpravách dle toho k čemu je primárně laser určen. [6] U helium-neonového laseru je excitace založena na nepružné srážce výbojů elektronů s atomy neonu a helia. Tento laser může generovat záření v celé škále viditelných a infračervených vlnových délkách.

Měděný laser je významný, jelikož je velice účinný v zelené oblasti spektra s vlnovou délkou zhruba 510 nm - 578 nm, proto je využíván pro podmořskou komunikaci a lokaci.

Jodový laser také generuje záření viditelné nebo infračervené. [1]

Iontové lasery jsou další podskupinou, které spadají pod plynové lasery a zahrnují dva typy: argonový laser, či helium-kadmiový laser. Aktivní prostředí je vytvořeno z iontů vzácných prvků.

Argonový laser vysílá záření na různých vlnových délkách zhruba v rozmezí 457nm až 514nm.

Helium-kadmiový laser vydává záření na daných vlnových délkách ve viditelné oblasti.

[1]

Molekulární lasery zahrnují řadu různých typů laseru: vodíkový laser, dusíkový laser, excimerové lasery, CO₂ či CO lasery. Buzení je ve většině případů prováděno pomocí elektrického výboje, nebo elektronovým svazkem.

Vodíkový laser a jeho aktivní prostředí je využíváno pro tvorbu ultrafialového záření, a to v oblasti 140nm – 165nm vlnových délek, nebo v oblasti 100nm – 120nm. Oproti předchozímu laseru, laser dusíkový v aktivním prostředí generuje záření v třech oblastech spektra: infračervené, ultrafialové a viditelné. [1]

CO₂ laser používá v aktivním prostředí molekuly oxidu uhličitého, které jsou součástí atmosféry. Laser byl vynalezen v roce 1964 a dnes je jeho použití velice rozšířené pro jeho velkou účinnost a výkonnost. Laser produkuje záření v infračervené oblasti spektra.[6] Bylo vyvinuto mnoho podob CO₂ laseru od nízko výkonných malých rozměrů, až po větší lasery, které mají vysoký výkon. Laser může být buzen různými metodami např. chemickou reakcí, elektricky, či rychlým ochlazením.

2.5.4 Plazmatické lasery

Uvnitř chladnouceho plazmatu je vytvářena inverze populace v procesu relaxace plazmatu dochází za daných podmínek k rychlejšímu snížení počtu iontů a atomů (pouze u některých typů) v nižších energetických hladinách než ve vyšších hladinách. V minulosti již bylo experimentálně vytvořeno mnoho plazmatických laserů s vyzařováním o různých vlnových délkách.

Největší součinitel zisku byl zjištěn při laserových přechodech v rozpadajícím se plazmatu:

- iontů argonu s vlnovou délkou 747 nm
- iontů kadmia s vlnovou délkou 537,8 nm
- rtuti s vlnovou délkou 567 nm

K vytvoření rentgenového laseru lze použít plazmatický laser s aktivním prostředím, které je vytvořeno mnohonásobně nabitými ionty. Experimentálně byly rentgenové lasery vyzkoušeny s chladnucím laserovým plazmatem. [1]

2.6 Aplikace laserů

V dnešní době jsou lasery využívány v mnoha odvětvích: průmyslu, medicíně, výpočetní technice, astronomii, spektroskopii a mnoha dalších oborech. Díky tomu, že laser může generovat záření v oblasti infračerveného, viditelného a ultrafialového, se stává laser velice podstatným a využívaným nástrojem v dnešní době. [6]

2.6.1 Aplikace laserů v medicíně

Využití laserů v medicíně měl velký rozvoj v roce 1983, kdy byly zaznamenány největší přírůstky laserových aplikací. Jako první v medicíně byl laser využit v očním lékařství, a to pro diagnostické a terapeutické účely. Pro diagnostické účely se využívá He-Ne laser s velice malým výkonem, kterým lze zjistit kvalitu optické soustavy oka. Významné využití je také v oční chirurgii. Lasery se využívají např. pro operaci zeleného zákalu, odstranění nádorů na sítnici, přichycení odchlípené sítnice, odstranění očních vad apod. [7]

Pro odstranění, či zmírnění dalekozrakosti a krátkozrakosti je využíván excimerový laser. Při operaci je potřeba upravit zakřivení rohovky tak, aby se sbíhaly světelné paprsky přesně na sítnici a vytvářely tak ostrý obraz viděného předmětu. Zákroky jsou prováděny ambulantně, jelikož trvá krátkou dobu a zlepšení je pacientem pocíťováno ihned po zákroku.

V dermatologii a kosmetických salónech má laserové zařízení také velice rozšířené využití např. pro vyhlazení jizev, odstranění mateřských znamének, či kožních skvrn.

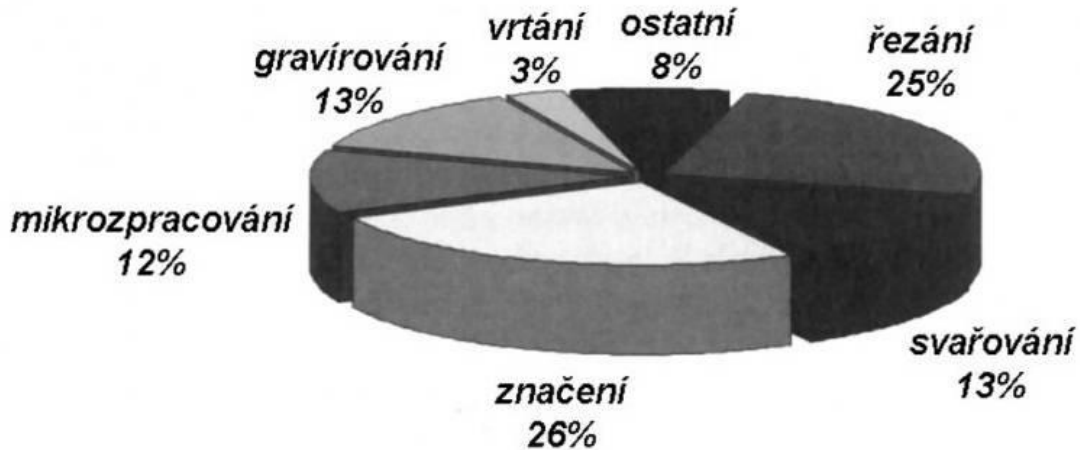
Lasery v medicíně se využívají v mnoha oborech. Své využití našly nejen v očním lékařství, ale také v dermatologii, stomatologii, chirurgii, gynekologii, angioplastice (zprůchodňování cév) atd. [6]

2.6.2 Aplikace laserů v průmyslu

Využití v různých odvětvích průmyslu našla laserová zařízení ihned po vytvoření prvního laserů. Lasery se nejen v průmyslu využívají pro své výhody, mezi které patří:

- přesnost a kvalita
- možnost reprodukce
- flexibilita, použití pro téměř jakýkoli materiál
- preciznost zpracování
- snížení provozních nákladů

Lasery v průmyslu se nejčastěji využívají pro řezání a značení, dále pak nacházejí významné uplatnění při svařování, či gravírování. Na obrázku č. 5 je znázorněn graf s využitím laserů v průmyslu. [8]



Obr.č. 5 Graf - využití laserů v průmyslu [8]

Obrábění materiálu, tedy řezání, či vrtání je prováděno takřka ve všech odvětví výroby. Díky přesnému výřezu je vhodný pro vyřezání složitých tvarů a je možné vyřezat snadno deformovatelné, či křehké materiály. [6] Pro řezání vy využívají zejména CO₂ lasery se středním výkonem do 15kW. Pro urychlení procesu lze možno přivádět např. kyslík, což zvětší tepelné účinky a tím i zrychlení procesu. Využití je opravdu široké, lze řezat různé materiály: ocel, titan, dřevo, keramiku, papír, sklo, fólie, plast, či textil. Při řezání materiálu, které se taví je přiváděn interní plyn, který umožní odstranit odpařující se materiál a taveninu.[3] Výhodou také je, že laser využívá jako spotřební materiál pouze elektřinu, zanedbáme-li přiváděné plyny pro zvýšení efektivity. Další výhodou je, že technologie je téměř bezodpadová, jelikož je během procesu materiál odpařován laserem. [8]

Řezání se provádí pomocí 3 kroků:

- přímé spalování materiálu
- odtavení materiálu, kdy následuje odfukování taveniny z řezného místa
- odpaření řezané hmoty [8]

Pro vrtání se využívá impulsivních laserů, a to z důvodu, že při vrtání využívá vysokých teplot pro odpaření materiálu v místě vrtání. Výhodou a předností využití laseru je možnost vrtat velmi malé otvory v μm a v místech, která jsou špatně dostupná.[3]

Svařování pomocí laserů patří mezi moderní technologie, kdy je vytvářen nerozebíratelný spoj dané součástky. Charakteristikou technologie je vysoká kvalita, a spolehlivost. Oproti klasickým technologiím svařování je svařování pomocí laseru rychlejší, možnost snadné automatizace, a v neposlední řadě svařování v poloze ve špatně dostupných místech. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a nutná tolerance rozměrů pro sváření, avšak pro sériovou výrobu je návratnost poměrně rychlá díky zrychlení procesu. Se zrychlením pak souvisí i výhoda energetických úspor. [8] Pro svařování je potřebná nižší intenzita záření, ale délka impulzů musí být větší. Je využíváno minimální odpaření materiálu a materiál je taven do potřebné hloubky. Svařování je prováděno převážně pomocí CO_2 laserů a je využíván např. pro automobilový, či letecký průmysl, svařování plechů, kardiostimulátorů, kontaktů v elektronice atd. [3]

Dalším významným odvětvím, kde je využíváno laserového paprsku je gravírování. Gravírování spočívá v odpaření materiálu, nebo pouze barvy do hloubky v řádech μm , kdy může vznikat i plastický povrch.

Výhody:

- přesnost, detailní vypracování
- trvanlivost, nelze smazat
- odolnost [8]

Gravírování má široké využití pro různé druhy kovových nebo nekovových materiálů s libovolným tvarem, i s různou úpravou povrchů. Technologie gravírování je tedy vhodná nejen pro ocel, měď, mosaz, ale také pro plast, plexisklo, dřevo folie, textil. Pro každé odvětví je důležitý jiný parametr např.: pro reklamní průmysl je důležitá kvalita grafického popisu, kdežto pro aplikace v technickém průmyslu je

kladen důraz především na trvanlivost. Nejpoužívanější laser pro gravírování je CO₂. [6]
Na obr. č. 6 je zobrazena ukázka gravírování a prořez pomocí laseru do kůže, na obr.č. 7 je ukázka gravírování na hotovém výrobku-botě a na obr.č. 8 je zobrazeno gravírování do textilního materiálu, konkrétně fleecu.



Obr.č. 6 Gravírování a prořez laserem do kůže [9]



Obr. č. 7 Gravírování - kožená bota [9]



Obr. č. 8 Gravírování na textilním materiálu [10]

2.6.3 Ostatní aplikace laserů

Aplikace laserů je velice široká a využívá se v mnoha odvětvích. V této kapitole budou zmíněny jen některé z nich.

V astronomii je laser využíván k měření vzdálenosti mezi různými objekty pomocí pulzních laserů. Na objektivu je umístěn tzv. koutový odražeč, který slouží pro měření vzdálenosti. Když se od odražeče odrazí světlo zpátky. Technologie měří vzdálenost např. družic, či měsíce s přesností na několik centimetrů. Další využití složí např. pro určení drah družic, při zemětřesení, nebo také při měření zemských kontinentů a jejich vzájemných pohybů. [6]

V ekologii jsou lasery tzv. LIDARY využívány především k určení znečištění ovzduší. Pomocí laserového paprsku, který je částečně odražen nebo rozptylován v ovzduší a právě odražené signály jsou vyhodnocovány. Díky tomuto způsobu lze stanovit rozložení, či směr kouřových částic, nebo jiných látek, kterými je ovzduší znečišťováno. LIDAR je využíván také v meteorologii, kdy lze měřit proudění vzduchu, turbulence, nebo stanovit výšku oblačnosti. [6]

Pro vojenské aplikace je laser hojně využíván k označení cíle, který je umístěn na jednotlivých zbraních. Dále se používají laserové dálkoměry, které měří přesnou vzdálenost, polohu a zaměření cíle. Takto zaměřené střely dosahují vysoce přesných hodnot. [3]

Velmi rozšířenou oblastí, kde je laserový paprsek využíván je označování zboží. Zboží je označeno čárovým kódem (těch existuje celá řada různých druhů) a informace z něj je získána pomocí čtečky, kdy se laserový paprsek od bílých mezer odráží a odesílá získaná data do počítače. [6]

Jak již na začátku kapitoly bylo zmíněno, existuje celá řada příkladů, kde se laser využívá a přínosem práce není zmapování všech odvětví, pouze uvést příklady.

2.6.4 Přehled využití laserů

V následující tabulce č.1 je zobrazeno shrnutí nejpoužívanějších laserů, jejich základní charakteristiky a nejčastější použití. V tabulce č. 2 jsou uvedeny konkrétní příklady využití vlastností laserového paprsku.

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Barva paprsku	Použití
Rubínový laser	Rubín	694,3 nm	Červená	Holografie, odstranění tetování
Nd:YAG laser	Neodym	1064 nm	Infračervená	Chirurgie, vojenské aplikace, řezání, vrtání, sváření..
He-Ne laser	Hélium, neon	543 nm, 633 nm	Zelená, červená	Výpočetní technika,
Měděný laser	Měď	510 nm, 578 nm	zelená	Podmořská komunikace. lokace
CO ₂ laser	Oxid uhličitý	10,6 μm	infračervená	průmysl

Tab. č. 1 Shrnutí nejpoužívanějších laserů [3]

Vlastnost	Konkrétní využití
Směrovost	Vyměřování (geodézie), měření vzdálenosti, přenos zpráv...
Výkonnost	Průmysl, obrábění materiálů, optický ohřev...
Monochromaticnost	Holografie, anemometrie (měření rychlostí proudu tekutin, interferometrie (metoda měření vzdálenosti)....

Tab. č. 2 Využití vlastností laserového paprsku [11]

3. Výroba klobouků

K nejvýznamnějším výrobcům pokrývek hlav v České republice patří firma Tonak a.s. se sídlem v Novém Jičíně, jejíž počátky výroby sahají až do roku 1799. V současné době má společnost dva výrobní závody, a to v Novém Jičíně a Strakonících. Výrobní program je velice různorodý, a proto může být vyhověno požadavkům zákazníků ve více než 50 zemích světa. [12]

Výrobní závod v Novém Jičíně se zabývá produkcí plstěných polotovarů a klobouků, které jsou vyráběny z přírodních vláken. Charakteristikou výroby je poměrně vysoký stupeň ruční řemeslné práce. Naopak závod ve Strakonících se specializuje na produkci zimních pletených čepic, baretů, fězů, štump, které jsou vyráběny na moderních strojích. [12] Na obr. č. 9 je ukázka pánského plstěného klobouku vyrobené ze 100% králičí srsti společností Tonak a.s.

Výrobní program:

- pánské plstěné polotovary a klobouky ze zvířecí srsti různých velikostí, úpravách a tvarech
- dámské plstěné polotovary a klobouky ze zvířecí srsti různých velikostí, úpravách a tvarech
- dámské a pánské čepice (různé typy-civilní i uniformní, zimní...)
- barety (různé typy - civilní, vojenské)
- letní klobouky ze syntetických, či přírodních materiálu[13]



Obr. č. 9 Pánský plstěný klobouk [14]

3.2. Postup výroby klobouků

Postup výroby klobouků, či jejich polotovarů je velice náročná a zdlouhavá, jelikož se skládá z velkých počtů operací, konkrétně okolo 130. Výrobu nelze ani zefektivnit např. automatizací, protože se zde uplatňuje velmi vysoký podíl ruční řemeslnické práce. [15]

Informace o výrobě klobouků jsou také uvedeny v mé bakalářské práci avšak je stručně popíšu i v následujících kapitolách.

3.2.1 Materiály pro výrobu

Pro výrobu klobouků se využívají vlákna ze srsti různých zvířat, konkrétně nejčastěji tedy králičí nebo zaječí srst a ovčí vlna.

Ovčí vlna

K nejvýznamnějším textilním vláknům živočišného původu je řazena ovčí vlna, která je získávána ve formě rouna z různých druhů ovcí. Rouno má různou kvalitu na různých místech. Velice kvalitní je vlna v oblasti lopatek a bocích ovce, méně jakostní je pak vlna získávána z hřbetu. Rouno obsahuje dva druhy chlupů, a to:

- pesíky (delší a hrubší chlupy)
- podsada (kratší a jemnější chlupy)

Ovce se dělí dle jakosti a jemnosti vlny na:

- merinové
- kříženecké
- anglické
- nížinné

Z ovcí merinových je získávána kratší a velmi jemná kvalitní vlna, která je tvořena podsadou. Naopak vlna ovcí anglických je tvořena zejména pesíky, která je charakteristická svou délkou a leskem. Kvalita vlny závisí, nejen na plemenu ovce, ale také na podmínkách, v nichž se ovce chovají.

Ve vlněných vláknech je obsažen keratin a skládá se ze tří částí:

- pokožka (vrchní část vlákna, která je tvořena šupinkami, je průhledná)
- kůra (převážná část vlákna je vyplňována právě kůrou, jejíž stavba určuje pevnost, tažnost, pružnost vlákna, či barvu - je zde obsažen pigment)
- dřev (objevuje se u hrubých vln jako vnitřní část vlákna)

Délka jednotlivých vláken vlny se pohybuje v rozmezí od 50 do 400 mm a tloušťka pak 6 až 120 μm . Charakteristickou vlastností těchto vláken je obloučkovitost, která bývá u jemnějších vláken větší.

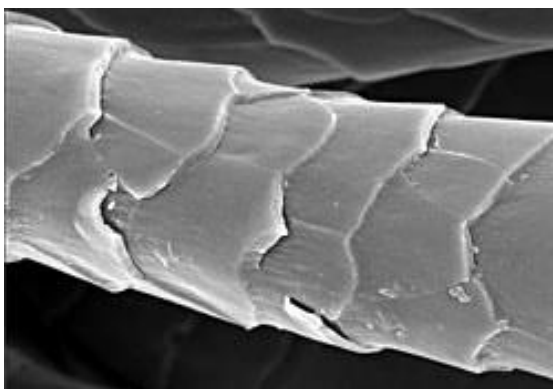
Pevnost u vlněných vláken je obecně nižší než pevnost u vláken rostlinných, avšak tažnost je naopak vysoká, která je za mokra zvyšována. Vlněná vlákna se mohou zamokra prodloužit až o polovinu své délky. Vlněná vlákna vynikají také výbornou pružností a velmi dobře se tvarují.

Velice snadno vlněná vlákna přijímají vlhkost, kdy vlákno dokáže přijmout 30-40 % vlhkosti, aniž by se projevila na omak jako mokrá.

Nejen u vlny, ale také u většiny vláken ze srsti zvířat je charakteristickou vlastností plstivost, která je ovlivněna pomocí stavby vláken. Povrch vlněného vlákna je tvořen šupinkami, kdy se do sebe zaklesnou při vzájemném pohybu. Díky tomu se mohou vlákna spojit za určitých podmínek tak, že utvoří souvislou vrstvu - takzvanou plst. Plstění probíhá za určité teploty, potřebného tlaku, vlhkosti, a působení některých chemických složek. Lépe se plstí kratší a jemnější vlákna, avšak plstivost je ovlivněna i tvárností, tažností a pružností. Na obr. č. 10 je snímek vlněného vlákna z elektronového mikroskopu.

Vlna má vynikající tepelně izolační vlastnosti, ale tepelná odolnost je nižší než u rostlinných vláken. Při žehlení odolávají teplotám do 160 $^{\circ}\text{C}$.

Pevnost vlny klesá působením slunečního záření a mohou ji poškodit moli. Po zapálení vlna zapáchá po rohovině a mění se v křehkou hmotu černé barvy. [16]



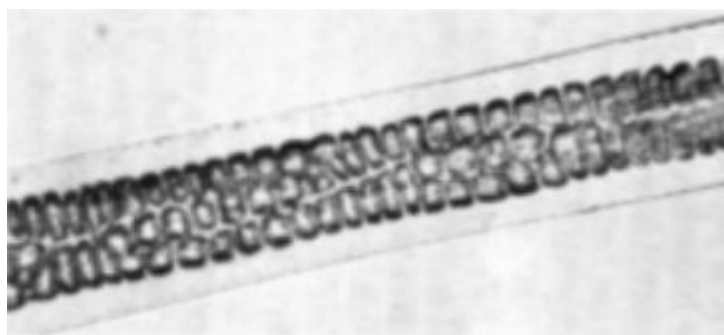
Obr. č. 10 Snímek vlněného vlákna z elektronového mikroskopu [17]

Velice důležité je zmínit působení chemikálií. Vlna je odolná proti působení kyselin, ovšem ji velice snadno poškozuje působení zásad. [16] Pokud však na vlnu působí silnější kyseliny začíná bobtnat a poté hydrolyzuje. Roztok hydroxidu sodného

vlněné vlákno při běžné teplotě poškozuje. Vlna je bělena pomocí určitých redukčních činidel. Velice důležité je působení chloru, kdy za určitých podmínek se na vláknech absorbuje a vlákna pak mají drsný omak, což zvyšuje afinitu k barvivům, ale výrazně potlačuje schopnost zplstění vlny. Hodnota pH 4,9 je tzv. izoelektrický bod, při němž je vlna nejodolnější. [18]

Králičí a zaječí srst

Srst z králíka, či zajíce je využívána zejména pro výrobu kloboukové plsti, jelikož mají výborné tepelně izolační vlastnosti díky vzduchovým kapsám, které jsou uvnitř vlákna obsaženy. [18] Pro výrobu kloboukové hmoty je využívají jemné pesíky, které se vzduchem oddělují od hrubší podsady. Na obr. č. 11 je mikroskopický snímek králičího vlákna, na kterém lze vzduchové kapsy zřetelně pozorovat.



Obr. č. 11 Mikroskopický snímek králičího vlákna [19]

Angorský králík je často chován právě pro jeho srst, jelikož růst srsti je až dvakrát vyšší než u jiných králíků. Srst se vyčesává každé tři měsíce a ročně je z jednoho králíka produkováno zhruba 1,5 kg vláken. Vlákna jsou dutá, velmi měkká na dotek s průměrem 14 - 16 um. Nejlepší prémiová vlákna jsou ze hřbetu králíka.

Předním výrobcem angorské vlny byla do roku 1960 Francie, avšak v dnešní době je na vrcholu Čína. Produkce angorské vlny se odhaduje na 2 500 až 3 000 tun ročně, přičemž asi 90% dodávek pochází z Číny.

Angorská vlna je především využívána pro pletené oblečení - svetry, šály, rukavice atd. Výrobky jsou vhodné právě pro lidi, kteří mají alergii na ovčí vlnu. Pro zlepšení zpracovatelských vlastností, či zvýšení komfortu při nošení se angorské vlákna mísí s jinými vlákny např. 80% angorská vlna, 20% vlna. [20]

3.2.2 Výroba kloboukových polotovarů

Jak již bylo řečeno výroba je velice zdlouhavá a je charakteristická pro velmi vysoký podíl ruční řemeslnické práce.

Tvorba kloboukové hmoty

Pro výrobu je využívána klobouková hmota, která vzniká postupně a předchází jí mnoho operací. Následující řádky se zabývají přípravou kožek a tvořením kloboukové hmoty pro následující tvorbu klobouků.

Na počátku jsou neroztříděné králičí kožky, které se musí nejprve roztřídit podle druhu, barvy a váhy. Následuje moření kožek a poté jsou při operacích ve vlasostřížně odřezány nepotřebné části kožky a také je odstraněn přebytečný tuk.

Na řezacím stroji je samotná srst oddělena od kůže a „chuchvalce“ chlupů jsou ve velkých bubnových pračkách přepírány. Po vyprání je čistá srst, kdy jsou odstraněny větší nečistoty, uložena do beden. Srst se nechává ve skladu určitou dobu odležet.

Po odležení následuje operace foukání, při které se odstraňují veškeré nečistoty, které se v srsti dosud nacházejí. Balíky se srsti jsou nejdříve mechanicky promíchány a poté uloženy do foukacího stroje, který pomocí vzduchu odděluje právě nečistoty a dlouhé pesíky. Na konci je výstupem očištěná měkká králičí vlákna a tato hmota je vhodná a připravená pro další výrobu. [13]

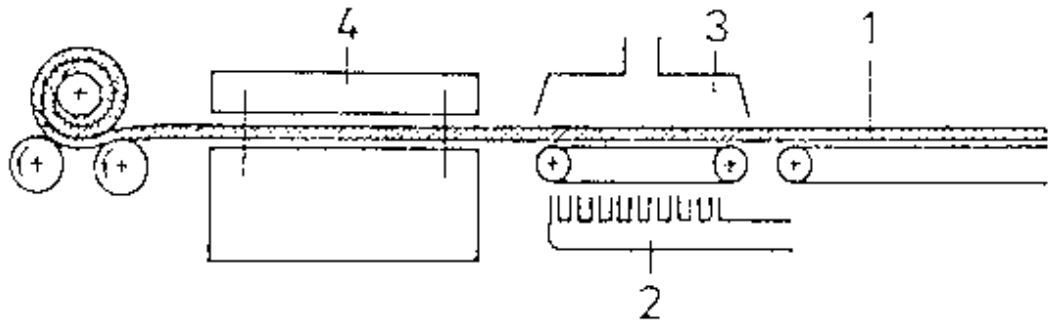
Zpevňování vlákných vrstev

Připravená klobouková hmota musí být následně zpevněna do požadovaného tvaru a velikosti. Při tvorbě polotovarů se uplatňuje mechanický způsob zpevňování vlákných vrstev, konkrétně pomocí plstění a valchování.

V první řadě je vytvořen tzv. plást, který je vytvořen pomocí nafoukání kloboukové hmoty na speciální perforovaný zvon s odsáváním. Zvon je následně zvlhčen, poté je plást pracovníkem sundán ze zvonu, stočen a odstředěn.

Nyní se může přejít na samotné plstění a valchování na válcovém stroji. Obecně valchování je proces, kdy na materiál působí vlhkost, teplo, mechanické namáhání a mimo jiné také neutrální, kyselé, či zásadité chemikálie.[13]

Na ob. č. 12 je obecné schéma valchovacího válcového stroje. Tato operace je velice důležitá. Je zde určována velikost a tvar klobouků, a je také potřeba, aby zde byla nepřetržitá kontrola zejména tvaru klobouku, či kontrola silných a slabých míst.



Obr. č. 12 Obecné schéma valchovacího stroje [21]

- 1 - přívod vlákenné vrstvy
- 2 - přívod páry
- 3 - odsávání páry
- 4 - plstící desky

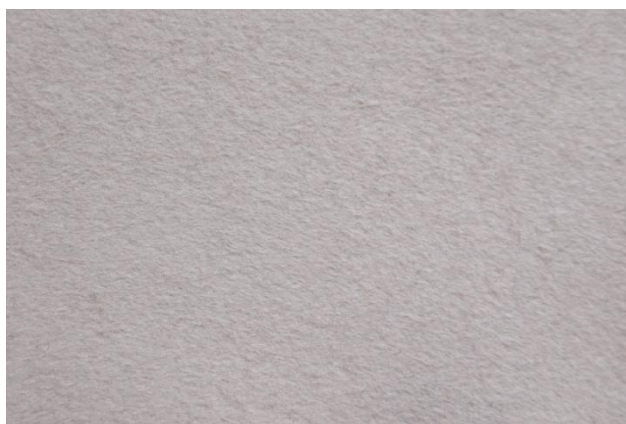
Polotovary jsou několikanásobně plstěny a valchovány, než dostanou finální podobu a tvar. Po plstění jsou polotovary znovu podrobeny důkladné kontrole, zda mají polotovary správné rozměry, tvar a jsou bez vad. Zkontrolované polotovary jsou uskladněny ve skladu. [13]

Takové polotovary mohou být dále tvarovány dle dané formy a potřeby, a to buď ručně nebo strojově. Před samotným tvarováním se polotovary propařují horkou parou. Polotovary se vyrábějí v různých povrchových úpravách

3.2.3 Úprava povrchu polotovaru

Hladký povrch

Hladký povrch, který je vyobrazen na obr. č. 13, vzniká opracováním na speciálním stroji. Stroj je vybaven smirkovým kotoučem. Pracovník pomalu a pravidelně otáčí klobouk tak, aby byl postupně opracován celý jeho povrch. Pomocí smirkového kotouče je povrch klobouku obroušen, tzn. že jsou odstraněny odstávající a přebytečná vlákna. Výsledkem je klobouk, jehož povrch je bez odstávajících vláken a vzniká tedy hladký povrch. [13]



Obr. č. 13 Hladký povrch klobouku

Velurový povrch

Velurový povrch (obr. č. 14) je tvořen na strojích s kovovým kotoučem, který simuluje žraločí kůži. Pracovník opět opracovává klobouk tak, aby byl postupně vytvořen povrch, který se vyznačuje mírným stojatým měkkým vlasem. Tento povrch polotovaru je označován jako tzv. velurový povrch. [13]



Obr. č. 14 Velurový povrch klobouku

Extra velurový povrch

Klobouk, jehož výsledný povrch se nazývá tzv. extra velurový, je opracováván speciální houbou, která je k tomu určena. Pracovník postupně uhlazuje nebo počesává odstávající vlákna. Vlákna jsou při počesávání orientována pouze jedním směrem. Vzniká tak klobouk, jehož povrch je pokryt ležatým, dlouhým lesklým vlasem tzv. extra velurový povrch (viz obr. č. 15). [13]



Obr. č. 15 Extra velurový povrch klobouku

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Popis experimentu

Cílem praktické části této práce bylo experimentování vypalování laserem na plstěné polotovary klobouků. Následně byly vyhodnocovány mechanické vlastnosti, povrchové změny vzhledu a eliminace zápachu po laserovém vypálení a v neposlední řadě vzorování polotovarů po celém obvodu pomocí rotace.

4.1 Laserové zařízení

Veškerá experimentální část práce byla provedena na CO₂ laserovém zařízení Marcatex Flexi V5 (viz obr. č. 16). V následující kapitole jsou uvedeny informace, které jsou přeloženy z anglického manuálu laserového zařízení dodávané výrobcem. Informace jsou rovněž uvedeny v mé předchozí bakalářské práci.



Obr. č. 16 Laser Marcatex Flexi V5 [22]

Laser je ovládán pomocí počítačového softwaru EasyMark, který je výrobcem dodáván současně s laserovým zařízením. Součástí daného softwaru je grafický editor, pomocí kterého lze ještě dodatečně provést úpravy v importovaných „JPEG“, či „BMP“ obrázcích.

Hlavní charakteristika softwaru je následující :

- umožňuje jednoduché propojení mezi uživatelem a laserovým zařízením
- ovládání přístroje se provádí zejména pomocí laserové řídicí karty
- informuje o neobvyklém stavu stroje, např.: nedostatek proudění vzduchu, problémy chlazení, zablokování a podobně
- optická konfigurace a označení parametrů : typ objektivu, vymezení plochy, korekce obrázků atd.
- zpracování, ukládání a vyznačení konkrétních vzorů definované uživatelem
- analýza výrobních údajů [13]

Importování souboru je standardní jako u jiných běžných programů. Při spuštění programu se otevře dialogové okno pro otevření a označí se daný soubor. Nejvhodnější je soubory importovat s příponou BMP. Dále je možné po nahrání souboru zobrazit informace o velikosti a rozlišení obrázku, které jsou přepočteny tak, aby odpovídaly rozměrům původního obrázku.

Importování souborů lze provést dvěma způsoby:

- s aktivovanými automatickými změnami velikosti: je zde možnost přepsat některé hodnoty a ostatní parametry jsou automaticky přepočítány
- s deaktivovanými automatickými změnami velikosti: není zde možnost změnit velikost obrázku v obrazových bodech.

Důležitý vliv na laserové vypálení má rozlišení importovaného souboru. Má-li soubor nižší rozlišení, úrovně šedi jsou jemnější a naopak pokud je rozlišení vyšší, úrovně šedi jsou vypáleny intenzivněji. [13]

Pro tvorbu návrhu pro laserové vypalování na kloboukové polotovary byly vždy návrhy vytvořeny s rozlišením 93 dpi.

4.1.1 Výkon laseru

Parametry laseru, které byly nastaveny před vypalováním:

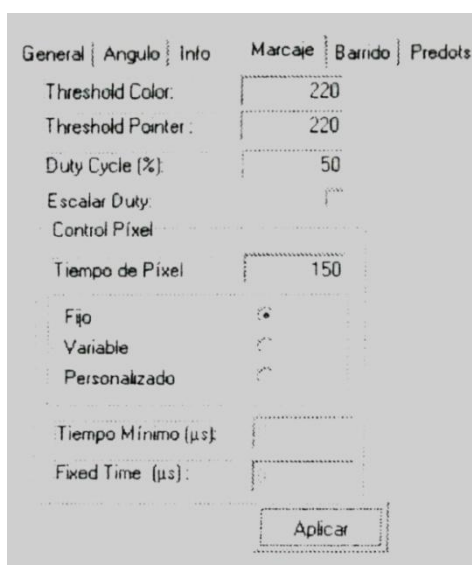
- Frekvence: 5 KHz = 5000 Hz
- Duty cycle: 50 %
- Výkon: 100 W
- Průměr laserového svazku : 0,8 mm = 0,08 cm

Tyto parametry musí být nastaveny tak, aby bylo dosaženo optimálního výsledku. Při nastavení této dané frekvence a tzv. duty cycle víme, že výkon laseru je 100 W.

Duty cycle, neboli pracovní cyklus je tvořen procentuálním podílem času během délky pulzu a jeho maximální hodnota je 50 %.

Frekvence udává celkovou dobu trvání každého jednoho cyklu. Nízká frekvence se vyznačuje dlouhým obdobím při aktivitě laseru a jedná se tedy o aplikaci maximálním výkonem v krátkém čase. Kdežto při vysoké frekvenci laseru se jedná o aplikaci s nízkým výkonem.[13]

V programu se mohou nastavovat různé parametry, které jsou důležité pro laserové vypalování. Parametry (obr. č. 17) ovlivňují konečný výsledek vypáleného vzoru a v této kapitole jsou vysvětleny přeložením z anglického manuálu daného softwaru. [13]



Obr. č. 17 Parametry ovlivňující laserové vypálení [13]

„Threshold colour“ je chápána jako hranice dané barvy, pomocí které lze stanovit míru šedi. Míra šedi je filtrována v intervalu mezi 0 (černá) a 255 (bílá). Obvykle bývá tato hodnota určována na 220.

„Threshold pointer“ je chápána jako hranice ukazatele. Doporučení pro určení hodnoty od výrobce je buď mírně snížená, nebo totožná s předchozí hodnotou. Hodnota nastavena na 220.

„Scalar duty“ umožňuje určení energie, která je distribuována ve vztahu k úrovni šedi dané předlohy. Pokud je tato funkce deaktivována, lze vytvořit dva stejné vzory, avšak v rozdílných stupních šedi. Oba návrhy se vyznačují rozdílnou energií a každý stupeň šedé je tedy vypálen různou intenzitou. Je - li funkce aktivována energie je nastavena nejsvětlejším odstínem šedi a rozvržena rovnoměrně mezi jednotlivé odstíny v daném vzoru.

„Pixel time“ je čas, uváděný v μs , který udává polohování hlavy v každém obrazovém bodu daného vypalovaného vzoru. Max. hodnota je $800 \mu\text{s}$.

„Fixed“ při využití tohoto režimu je daný návrh vytvořen stejnou délkou pulzu, který je vypalován pomaleji a stabilně, ale vyznačuje se vyšší kvalitou.

„Varied“ při využití tohoto režimu je daný návrh vytvořen rozdílnou délkou pulzu, který je vypalován rychleji a méně stabilně, ale vyznačuje se nižší kvalitou.

„Customized“ je kombinace obou předchozích metod. [13]

4.5 Materiál

Pro sledování a hledání parametrů laserového vypálení byly vybrány 3 druhy kloboukových polotovarů s různými povrchovými úpravami. Všechny polotovary v experimentální části jsou vyrobeny ze 100 % králíčích vláken. První materiál je kloboukový polotovar s hladkým povrchem, v tmavě hnědé barvě s plošnou měrnou hmotností 614 g/m^2 . Druhý materiál je kloboukový polotovar s velurovým povrchem v červené barvě s plošnou měrnou hmotností 521 g/m^2 . Třetí materiál je kloboukový polotovar s extra velurovým povrchem v černé barvě s plošnou měrnou hmotností 572 g/m^2 . Materiály jsou na ukázkou zobrazeny na obr. č. 18.



Obr. č. 18 Materiály s hladkým, velurovým, extra velurovým povrchem (zobrazeno zleva doprava)

Pro vyhodnocení všech mechanických vlastností, stálosti v otěru, elektronovou mikroskopii, eliminaci zápachu byl využit jeden typ kloboukového polotovaru, konkrétně s hladkým povrchem, který je zobrazen na obrázku 18. Pro vzorování po celém obvodu byl využit také jeden typ materiálu - různé kloboukové polotovary se stejnou povrchovou úpravou - hladkou.

4.6 Konstrukce rotačního zařízení

Jelikož je kloboukový polotovar vyráběn již od samého počátku jako tvarovaný objekt, není možné nejprve kloboukovou plst pomocí laseru vzorovat a poté vytvarovat v klobouk.

Pro vyvzorování klobouků po celém obvodu v jediném výrobním kroku byl zkonstruován držák s kuželem na plstěný polotovar (viz obr. č. 19) pouze pro účely této práce, který je pomocí elektrického motoru rotován. Vzory byly vždy vypalovány laserem ve stejném směru osy rotujícího kužele. Osa rotačního kužele byla umístěna rovnoběžně s rovinou země ve výšce 45 cm. Rotace probíhala ve směru hodinových ručiček (405 otáček/minutu). Obvod kužele v místě vypalování je 57,4 cm.



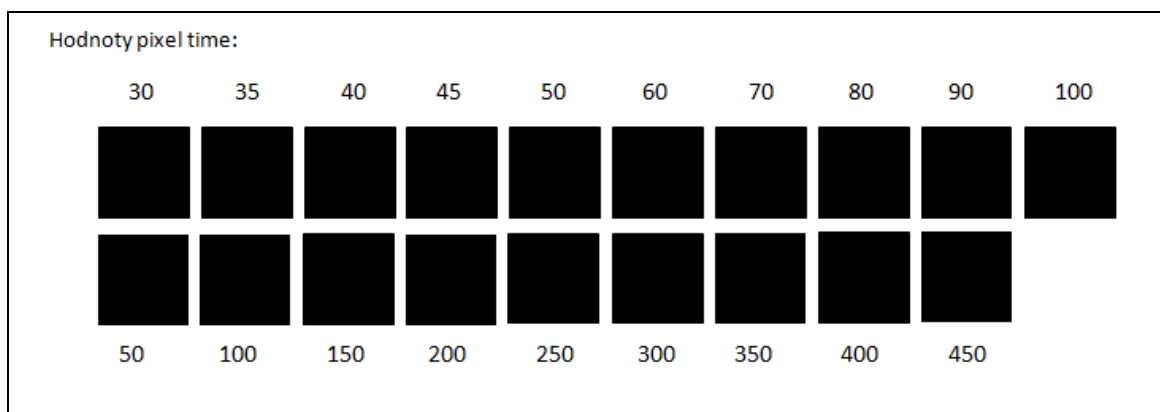
Obr. č. 19 Držák s formou na polotovar

4.7 Sledování parametrů pro laserové vypálení

Jak již bylo výše popsáno, výsledný efekt laserového vypálení lze ovlivnit mnoha parametry, které jsou uvedeny v předešlých kapitolách. Nastavení laseru bylo určeno a dále se pro tuto část experimentu neměnila. Byly důležité následující 3 parametry a to:

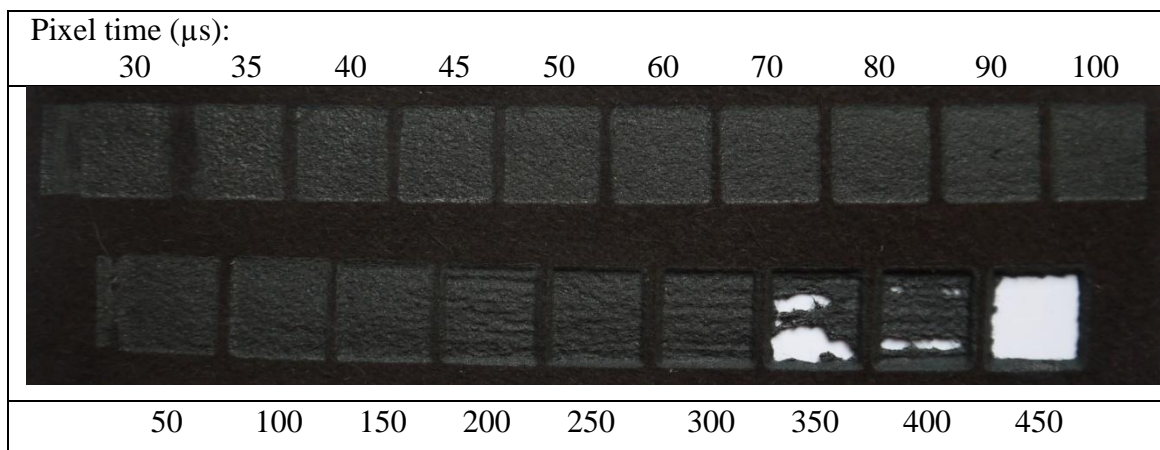
- stupně šedi návrhu
- rozlišení návrhu (dpi)
- změna hodnot pixel time

Proto bylo nutné vytvořit vzory tak, aby byly 2 parametry konstantní. V tomto případě a následně pro celý experiment byla zvolena možnost měnit pouze hodnotu pixel time. V programu Adobe Photoshop byl vytvořen 100% černý čtverec velikosti 15 x 15 mm s rozlišením 93 dpi. Následně byl tento bitmapový obrázek importován do softwaru EasyMark. Aby mohly být vyhodnoceny a zvoleny parametry pro vypálení na kloboukový polotovar, byla vytvořena řada čtverců v daném softwaru, kdy pro jednotlivé čtverce byla nastavená jiná hodnota pixel time, což je pro představu zobrazeno na obrázku. č. 20

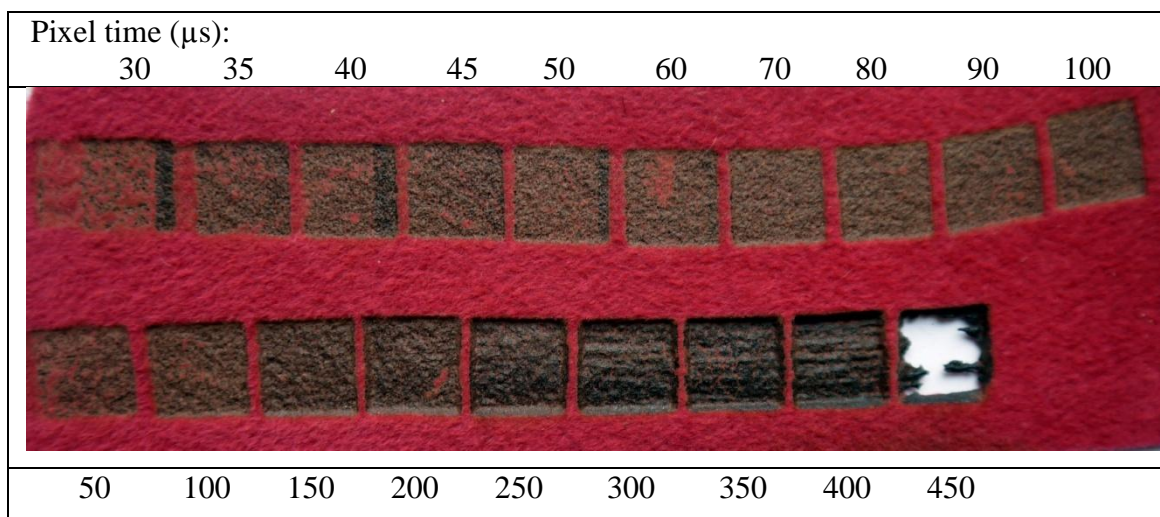


Obr. č. 20 Řada čtverců s rozdílnými hodnotami pixel time v μs

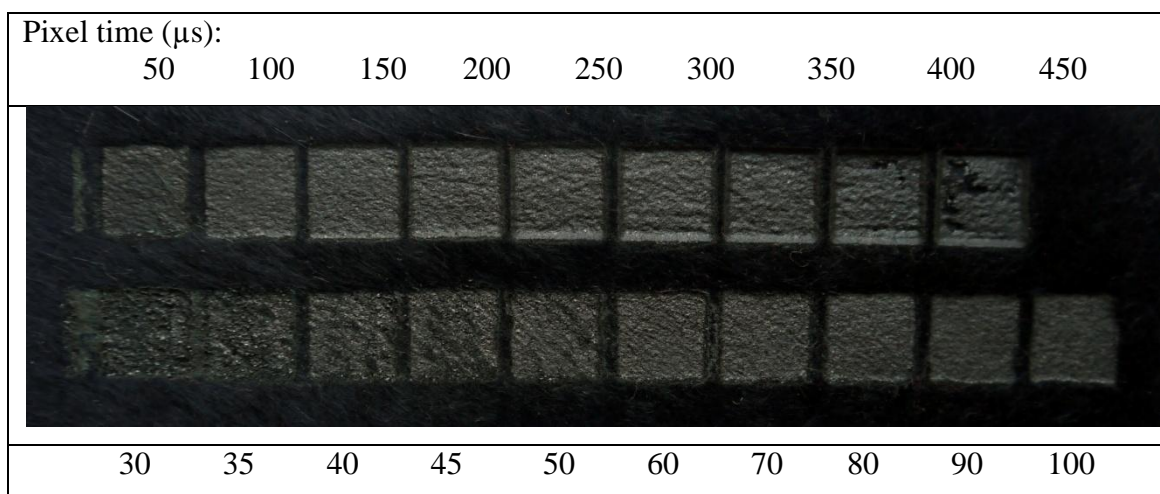
Řada čtverců s rozdílnými hodnotami pixel time byly vypáleny laserovým zařízením na všechny tři druhy povrchových úprav polotovarů. Na obr. č. 21 je vyobrazena již vypálená řada čtverců na hladký povrch polotovaru. Tato řada čtverců byla aplikována jak na velurový (obr. č. 22), tak i extra velurový povrch (obr. č. 23).



Obr. č. 21 Vypálená řada čtverců na polotovar s hladkou povrchovou úpravou



Obr. č. 22 Vypálená řada čtverců na polotovar s velurovou povrchovou úpravou



Obr. č. 23 Vypálená řada čtverců na polotovar s extra velurovým povrchem

Po vypálení na všech 3 různých povrchových úpravách polotovaru lze pozorovat velice podobné chování na jednotlivých materiálech po vypálení. Pokud by bylo potřeba z designérského hlediska vytvořit perforovaný motiv, či pouze ořez materiálu, bylo by nutné při těchto parametrech využít hodnotu pixel time od 450 μs výš, v závislosti na druhu polotovaru, jeho tloušťce a plošné hmotnosti. Naopak při daném rozlišení a použití hodnoty pixel time 30 μs je laserový paprsek nestabilní a dochází zde k nepřesnému vypálení vzoru.

Z hlediska hodnocení mezi různými povrchovými úpravami polotovarů lze vyhodnotit, že hladký povrch se jeví, co se týče jednodlosti plochy, jako nejvhodnější jelikož nemá povrch pokrytý odstávajícími vlákny. Pokud porovnáme oba povrchy, jak velurový i extra velurový, můžeme pozorovat, že při nižších intenzitách vypálení není zcela odstraněn odstávající vlasový povrch polotovaru. Zvláště u extra velurového povrchu lze pozorovat u hodnot pixel time 30 - 50 μs jakýsi reliéfní povrch, který je tvořen z částečně odstraněných odstávajících vláken.

Pomocí vypálené řady čtverců na 3 různých polotovarech bylo subjektivně vybráno 5 intenzit vypálení, z kterých byly vytvořeny vzorky pro vyhodnocení mechanických vlastností, tedy pevnosti a tloušťky polotovaru před a po laserovém vypálení, stálost v otěru, či odolnost v oděru. Na daných intenzitách byly také zjišťovány změny vzhledu pomocí elektronové mikroskopie. Veškeré následující zkoušky byly provedeny na jednom typu polotovaru s hladkou úpravou povrchu.

5. Metody experimentu

5.1 Analýza plstěných polotovarů

Pro hodnocení mechanických vlastností bylo vybráno 5 intenzit s hodnotami pixel time 50, 100, 150, 200 a 250 μs pro porovnání změny pevnosti s nevypáleným vzorkem. Následně byly vypáleny také vzorky výše uvedených intenzit pro zjištění tloušťky. Tloušťka byla měřena z důvodů porovnání změny pevnosti v závislosti na změně tloušťky polotovaru po vypálení. Dále byly provedeny zkoušky stálosti v otěru, odolnost v oděru při vypálených hodnotách pixel time 150 μs . Měření mechanických vlastností bylo zjišťováno pouze na jednom typu polotovaru, konkrétně hladkém povrchu.

5.1.1 Stanovení pevnosti a tažnosti

Definice pevnosti

- pevnost je definována jako maximální síla do přetrhu

Měřicí přístroj

- trhací přístroj Testometric M350 - 5CT

Norma

- ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812) - Textilie - tahové vlastnosti plošných textilií část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip. Pro trhací zkoušku bylo vycházeno z příslušné normy, avšak byly upraveny rozměry zkoušeného vzorku.

Podstata zkoušky

- Pomocí mechanického zařízení je vzorek materiálu upnutý a následně protahován do přetrhu. V daném softwaru je zaznamenávána síla, která působí na materiál v závislosti na prodloužení do přetrhu materiálu. Předpětí je nutné nastavit podle materiálu respektive podle plošné hmotnosti materiálu, který je zkoušen. Poté je také přizpůsobena rychlost prodloužení.

Měřená veličina

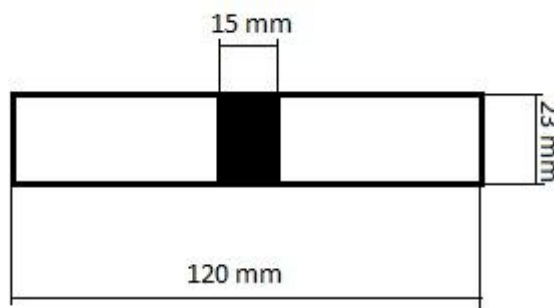
- síla - F [N]

Klimatické podmínky při měření:

- dle příslušné normy ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení (klimatické podmínky při měření: 21 °C, 65% RH)

Velikost vzorku:

- délka: 120 mm
- šířka: 23 mm
- šířka vypálení: 15 mm



Materiál:

- hladký povrch plstěného polotovaru (100% králičí srst)

Parametry při měření:

- předpětí: 1,00 N
- rychlost zkoušky: 50,00 mm/min
- upínací délka: 80 mm

Vyhodnocení zkoušky:

- pevnost je vyhodnocena pomocí aritmetického průměru dílčích pevností jednotlivých opakování měření a následně jsou vypočítány základní statistické charakteristiky

5.1.2 Měření tloušťky

Definice tloušťky:

- tloušťka je definována jako kolmá vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, kdy na materiál působí přítlak 1 kPa nebo nižší.

Norma:

- ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie - Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků

Měřicí přístroj:

- tloušťkoměr SDL M034A

Podstata zkoušky:

- nejprve jsou nastaveny základní jednotky jednak na počítači, tak měřicím přístroji pro přítlak a následné zaznamenání tloušťky materiálu. Přítlačná patka

se nadzvedne, vzorek materiálu je vložen pod něj a je také nutné anulovat přístroj o hmotnost měřeného vzorku. Poté je přístroj připraven k měření. Měření lze opakovat a po ukončení měření je zobrazena statistická analýza dat.

Měřená veličina:

- tloušťka [mm]

Klimatické podmínky při měření:

- dle příslušné normy ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení (klimatické podmínky při měření: 21 °C, 65 % RH)

Velikost vzorku:

- není určena žádnou normou. Vzorek musí být větší než přítlačná patka, což je kruh o ploše 20 nebo 100 cm².

Materiál:

- hladký povrch plstěného polotovaru (100% králičí srst)

Parametry při měření:

- přítlak: 1000 Pa
- plocha přítlaku: 20 cm²
- zátěž vzorku: 200 g

Vyhodnocení zkoušky:

- tloušťka je vyhodnocena pomocí aritmetického průměru jednotlivých opakování měření a následně jsou vypočítány základní statistické charakteristiky

5.1.3 Stálost v otěru

Norma:

- ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie - Zkoušky stálobarevnosti - Část X12: stálobarevnost v otěru

Měřicí přístroj:

- STAININGTESTER

Podstata zkoušky:

- Zkušební vzorek je upevněn na podložku. Na zkušební palec se upevní suchá, popřípadě mokrá normovaná otírací tkanina. Otírá se palcem suchý zkušební

vzorek po lineární dráze 100 mm po dobu 10 sekund, tzn. 10x sem a tam. Působící síla na palec je 9 N. Vyhodnocení probíhá porovnáním s šedou stupnicí, kdy se hodnotí pouze zapouštění barviva. Pokud se během zkoušky na materiál ulpí vláknový materiál je nutné ho odstranit.

Velikost vzorku:

- dle normy 50 mm x 140 mm

Počet vzorků:

- 2 ks - vzorek před laserovým vypálením (suchý a mokrá otěr)
- 2 ks - vzorek po laserovém vypálení s intenzitou 150 μ s (suchý a mokrá otěr)

Zkoušený materiál:

- hladký povrch plstěného polotovaru (100% králičí srst)

Otírací materiál:

- bělená bavlna 50 mm x 50 mm, bez šlichty a úprav, odpovídající ISO 105-F09

Měřená veličina:

- stupeň zapuštění (1 - 5)

Klimatické podmínky při měření:

- dle příslušné normy ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení (klimatické podmínky při měření: 20°C, 63 % RH)

5.1.4 Odolnost v oděru

Norma:

- ČSN EN ISO 12947-4 (80 0846): Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 4: Hodnocení změny vzhledu

Měřicí přístroj:

- Martindale

Podstata zkoušky:

- Odírací materiál se upne do kruhového držáku a vloží se do stroje při určitém zatížení vzorků. Vzorky jsou odírány standardní tkaninou a po daném stanoveném počtu otáček se hodnotí určitá změna vzhledu

Velikost vzorku:

- 38 mm

Počet vzorků:

- 3 ks - vypálená drážka přes celou délku zkoušeného vzorku
- 3 ks - souvislá vypálená plocha hodnotou pixel time 150 μ s

Zkoušený materiál:

- hladký povrch plstěného polotovaru (100% králičí srst)

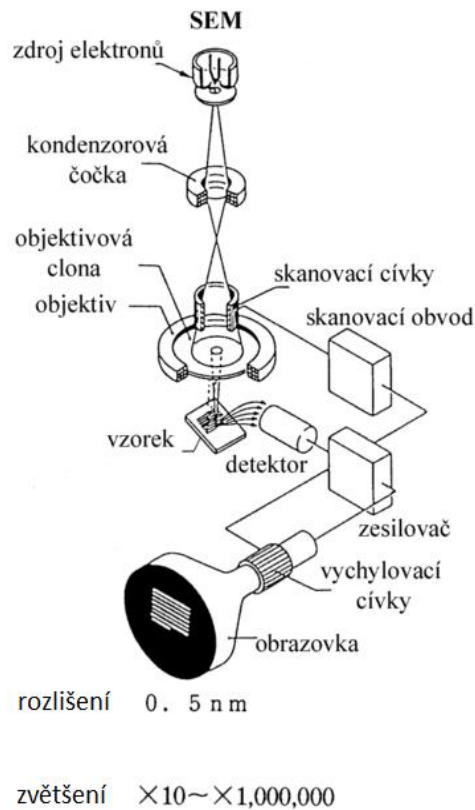
Klimatické podmínky při měření:

- dle příslušné normy ČSN EN ISO 139 (800056) Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení (klimatické podmínky při měření: 21 °C, 65 % RH)

5.2 Elektronová mikroskopie

V roce 1965 byl vynalezen typ elektronového mikroskopu, a to rastrovací nebo-li skenovací elektronový mikroskop (SEM), který využívá sekundárních elektronů pro zobrazení povrchu preparátu. Tento mikroskop je především určen k pozorování povrchů různých objektů. Výsledný obraz je tvořen pomocí sekundárních nebo odražených elektronů. Oproti světelnému mikroskopu má SEM přednost v hloubce ostrosti, což umožní pozorovat ve 2D fotografii jistý 3D efekt. Při interakci elektronů se vzorkem vznikají i jiné signály např. Augerovy elektrony, rentgenové záření, katoduminiscence, což umožňuje zjistit prvkové složení daného vzorku. Pokud je vzorek porovnáván s patřičným standardem lze určit také počet zastoupení individuálních prvků. Na obr. č. 24 je znázorněno schéma skenovacího elektronového mikroskopu. [23]

Celá činnost mikroskopu využívá svazek elektronů, které jsou vyzařovány ze žhavené katody, které jsou následně v elektronové trysce urychlovány. Pomocí elektromagnetických čoček je paprsek zpracováván a následně je rozmísťován po povrchu daného pozorovaného preparátu. Urychlený elektronový paprsek je velice stabilizovaný v elektrickém poli a proto může být vychýlen v ose x, nebo y pomocí systému elektromagnetických cívek. Takto je povrch preparátu řádek po řádku snímán a obraz je postupně tvořen. Mikroskop využívá při práci vakuum min. 10^{-2} Pa. [24]



Obr. č. 24 Schéma skenovacího elektronového mikroskopu [23]

V experimentální části bylo pro rastrovací elektronový mikroskop vybráno 6 vzorků, z nichž jeden byl základní před laserovým vypálením pro porovnání. 5 vzorků bylo vypáleno při daném nastavení laseru s hodnotou pixel time 50, 100, 150, 200 a 250 μs . Preparáty před vložením do mikroskopu musí být pokoveny, v tomto případě byl povrch jednotlivých vzorků poprášen prachovými částicemi zlata. Snímky byly pořízeny z přístroje VEGA-TESCAN a byly vytvořeny snímky 50x a 500x zvětšené.

5.3 Eliminace zápachu

Jelikož jsou polotovary vyráběny z vláken živočišného původu, při laserovém ozáření vzniká nepříjemný zápach po spálené rohovině. Při případném vzorování plstěných polotovarů v praxi je zápach velice nežádoucí a je potřeba ho eliminovat. Proto byl navržen experiment, kdy byla vyzkoušena aplikace dvou různých chemických roztoků v různých koncentracích, a to:

- Eliminátor zápachu 1 (roztok č.1)
- Eliminátor zápachu 2 (roztok č.2)

Na polotovar byly vypálené obdélníčky velikosti 23 x 15 mm při rozlišení 93 dpi s hodnotou pixel time 150 μ s. Pro hodnocení bylo vytvořeno 5 variant aplikací z každého roztoku. Vzorky byly označeny písmeny A až E v následujícím pořadí. Rozpis aplikace roztoků na jednotlivé vzorky je zobrazeno v tabulce č. 3.

Druh roztoku	Roztok č. 1	Roztok č. 2
Označení vzorku	Druh aplikace	Druh aplikace
A	Předúprava*	Předúprava*
B	Doúprava*	Doúprava*
C	A + B*	A + B*
D	žádná úprava*	žádná úprava*
E	Nevypálený*	Nevypálený*

Tab. č. 3 Rozpis aplikací roztoků na vzorky

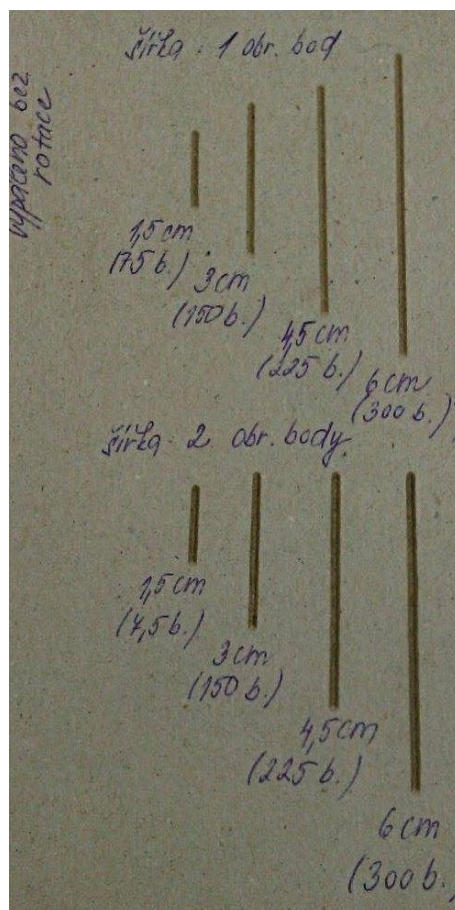
*Předúprava=postřík roztokem před laserovým vypálením. Doúprava=postřík roztokem po laserovém vypálení. A+B=kombinace obou úprav. Žádná úprava=bez roztoku před/po vypálení. Nevypálený=vzorek bez roztoku a bez laserového vypálení.

Před aplikací roztoku byl příslušný vzorek zvážen a každá aplikace jednotlivých roztoků byla provedena na váhách. Aplikace roztoku byla provedena postříkem pomocí rozprašovače. Na všechny dané vzorky bylo použito při každém postříku 1 g roztoku (+ - 0,1 g). Vzorky byly usušeny a následně uchovány v uzavíratelném sáčku.. Po 24 hodinách od aplikace byly jednotlivé vzorky předloženy respondentům k subjektivnímu vyhodnocení. Vzorky byly z rubní strany označeny jednotlivými písmeny, a položeny lícem dolů, aby nebylo vyhodnocení ovlivněno zrakovým vjemem.

5.4 Vzorování laserem při rotaci polotovaru

Pro vyhodnocení experimentu byly v Adobe Photoshopu vytvořeny 4 různě dlouhé čáry, které byly vypáleny před a během rotace, při tom se zaznamenávaly časy vypálení a změna délky jednotlivých čar. Jedna čára je charakterizována tak, že její šířka je 1 obr. bod, dvě čáry = 2 obr. body, 3 čáry = 3. obr. body atd. Pro představu jsou jednotlivé čáry vypáleny do kartónu na obr. č. 25 před rotací.

Jelikož je rychlost rotace v případě tohoto využití poměrně rychlá (cca 405 otáček/min) bylo při rotaci využíváno nejvyšší možné intenzity vypálení, a to 800 μ s. Bez rotace by se daný vzor propálil skrz materiál při takové intenzitě, jelikož rozlišení vytvořených čar je 93 dpi (obr. bodů/palec) a doba pulzu v jednom bodě je 800 μ s. Avšak při takové rychlosti rotace je vzor roztažen na jednotlivé obrazové body a pomocí rotace tvoří po obvodu tečkovaný vzor ve spirále.



Obr. č. 25 Jednotlivé vypálené čáry

6. Vyhodnocení výsledků experimentů

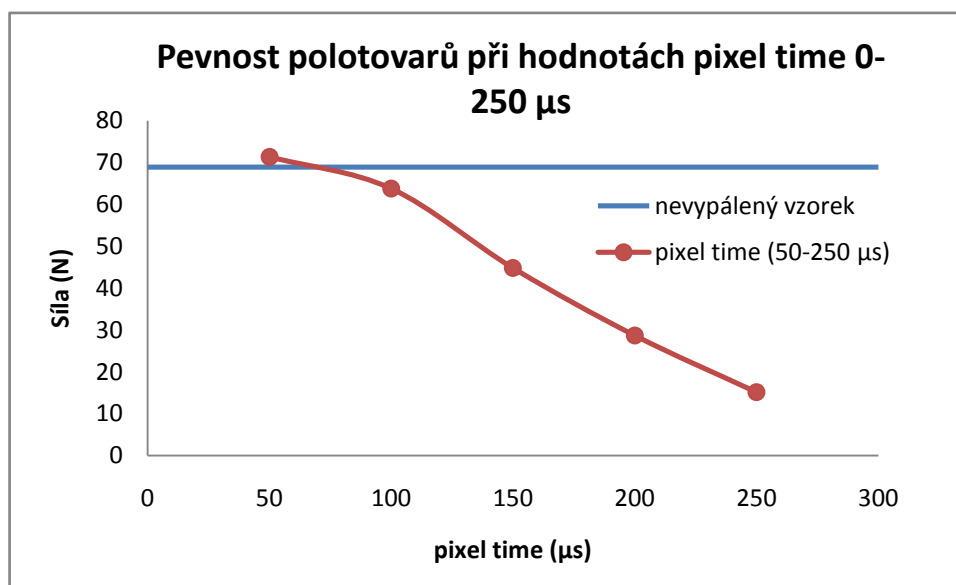
6.1 Stanovení pevnosti

Z důvodu náročnosti výroby polotovarů a ekonomické úspornosti byla provedena pouze 3 opakovaná měření u každé dané intenzity. Na konci této práce v příloze 1 jsou uvedeny jednotlivé tabulky (č. 12 - 17) s informacemi z každé zkoušky a z daných zkoušek jsou vytvořeny grafy (č. 6 - 11) jednotlivých dílčích měření pevnosti, které jsou rovněž uvedeny v příloze 1. Stanovení pevnosti bylo provedeno na vzorcích popsaných v kapitole 5.1.1.

V tabulce č. 4 jsou uvedené průměrné pevnosti jednotlivých zkoušených vzorků. Na grafu č. 1 jsou zobrazeny průměrné hodnoty pevností u jednotlivých vzorků před a po vypálení s danými hodnotami pixel time v rozmezí 50 - 250 μs .

Pixel time (μs)	0	50	100	150	200	250
Prům. pevnost (N)	68,9	71,4	63,7	44,8	28,7	15,2
Procentuální vyjádření (%)	100	103	92	65	42	29

Tab. č. 4 Průměrná pevnost jednotlivých vzorků s danými hodnotami pixel time



Graf č. 1 Průměrné hodnoty pevnosti jednotlivých vypálených vzorků s hodnotami pixel time 0 - 250 μs

Z grafu lze vyčíst, že při zvyšování hodnot pixel time, pevnost materiálu postupně klesá. Pokud byl vzorek vypálen s hodnotou pixel time 50 μs paradoxně je pevnost materiálu o 3% vyšší a u některých zkoušek se materiál roztrhl mimo místo vypálení. Lze tedy podotknout, že rozdíl mezi nevypáleným a vypáleným vzorkem s

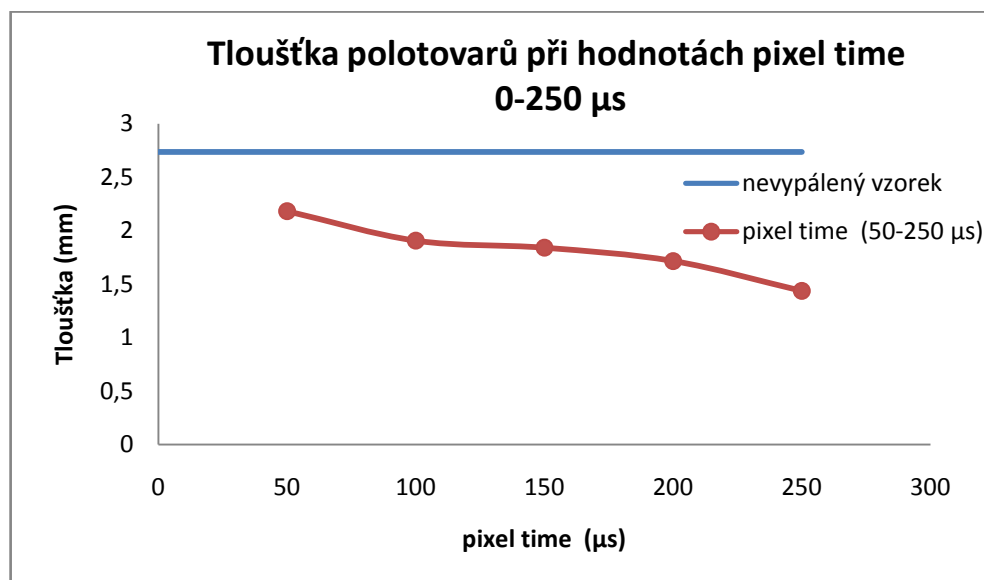
pixel time 50 μs není významný a při nižších hodnotách laserového vypálení je průměrná pevnost téměř neměnná. Dle výsledků můžeme vyhodnotit, že pevnost materiálu při vypálení intenzitě do 100 μs , razantně neklesá. Velký rozdíl, kdy hodnota pevnosti rychle klesá, je při intenzitě vypálení pixel time 150 μs . Úbytek pevnosti při této intenzitě je zhruba na 64 % celkové pevnosti a úbytek tloušťky je zhruba na 67%. Lze tedy podotknout, že úbytek pevnosti materiálu při této intenzitě, má téměř stejný úbytek tloušťky.

6.3 Měření tloušťky

V tabulce č. 18 jsou zobrazeny hodnoty jednotlivých měření a tabulka je uvedena v příloze 2 na konci této práce. Z jednotlivých dat je vypočítán průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Průměrné hodnoty tloušťky jednotlivých vypálených hodnot pixel time (viz tab. č. 5) jsou graficky znázorněny na grafu č. 2.

pixel time (μs)	0	50	100	150	200	250
průměrná tloušťka (mm)	2,7	2,2	1,9	1,8	1,7	1,4
procentuální vyjádření (%)	100	79,8	69,9	67,3	62,2	53,48

Tab. č. 5 Průměrné hodnoty tloušťky



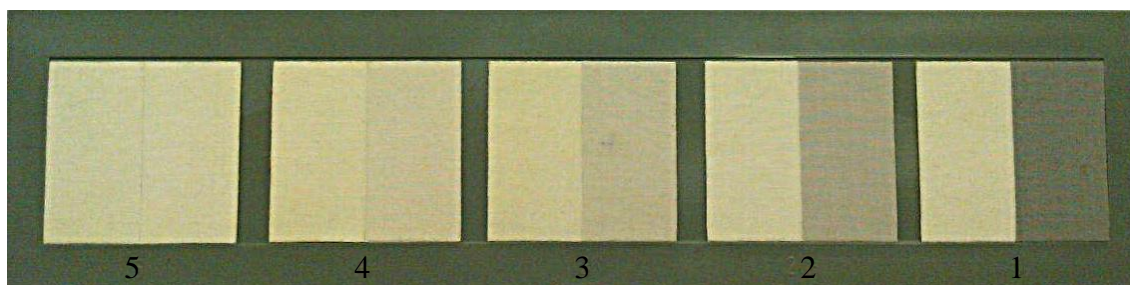
Graf č. 2 Průměrná tloušťka jednotlivých vypálených vzorků s hodnotami pixel time 0 - 250 μs

Základní tloušťka kloboukového polotovaru před laserovým vypálením je průměrně 2,73 mm. Z grafu je patrné, že čím více je materiál vypalován s vyšší hodnotou pixel time, tím je tloušťka menší. Pokud porovnáme úbytek pevnosti a

tloušťky materiálu mezi sebou, lze podotknout, že i při ztrátě 20 % tloušťky je pevnost materiálu stále neměnná. Lze také upozornit na fakt, že při hodnotě pixel time 250 μ s pevnost materiálu klesá zhruba na třetinu pevnosti nevypáleného vzorku, avšak tloušťka při dané intenzitě klesá pouze na polovinu. Dle výsledku můžeme zhodnotit, že klesání tloušťky materiálu při různých intenzitách nemá žádnou posloupnost. Mezi hodnotami 100, 150 a 200 μ s není procentuální úbytek tloušťky příliš razantní.

6.4 Stálost v otěru

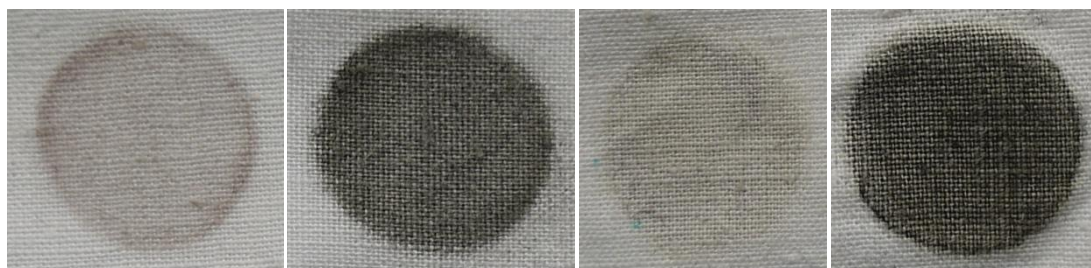
Po suchém a mokřém otěru byly jednotlivé zkoušky porovnávány s normovaným etalonem - šedou stupnicí ISO 105-A03, která je zobrazena na obrázku č. 26.



Obr. č. 26 Normovaná šedá stupnice pro hodnocení zapouštění

Na dalších snímcích jsou fotografie jednotlivých otíraných vzorků A až D (viz obr. č. 27 - 30) po suchém a mokřém způsobu otírání. Jednotlivé vzorky byly označeny:

- A = bez laserového vypálení - suchý otěr
- B = vypáleno laserem - suchý otěr
- C = bez laserového vypálení - mokřý otěr
- D = vypáleno laserem - mokřý otěr



Obr. č. 27 Vzorek A Obr. č. 28 Vzorek B Obr. č. 29 Vzorek C Obr. č. 30 Vzorek D

Pomocí šedé stupnice byl ke každému vzorku subjektivně přiřazen stupeň zapuštění. V tabulce č. 6 jsou uvedeny výsledky.

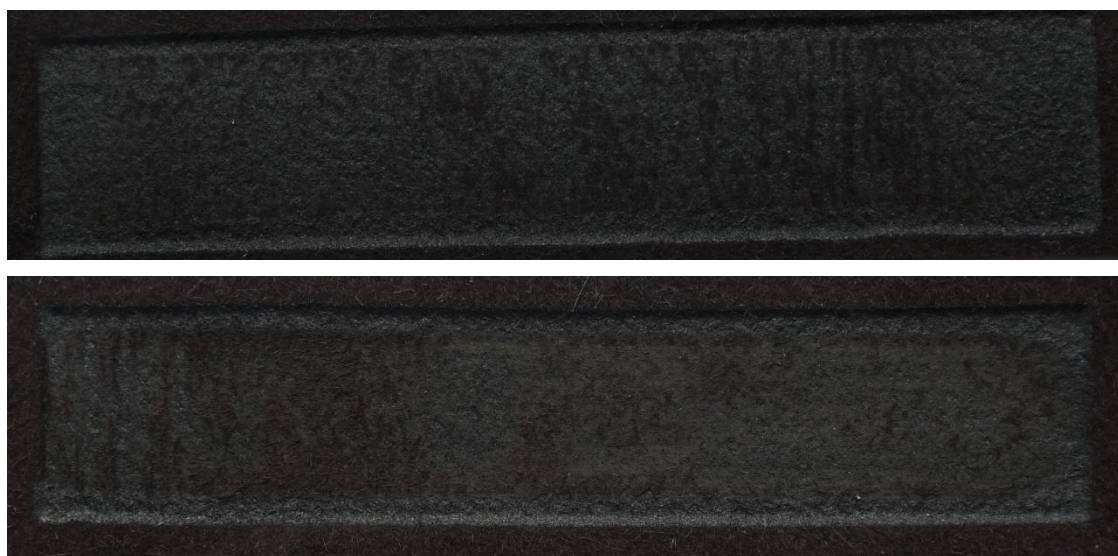
Vzorek	A	B	C	D
Stupeň zapuštění	3	1	3-4	1

Tab. č. 6 Výsledné stupně zapuštění jednotlivých vzorků

Podle výsledků uvedených v tabulce č. 6 můžeme zhodnotit, že vzorek B (po laserovém vypálení - suchý otěr) a D (po laserovém vypálení - mokrý otěr) mají nejvyšší stupeň zapuštění, tedy číslo 1 a tudíž se materiál po použití laserového vypálení jeví jako nevhodný. Pokud porovnáme vzorky A a C (před laserovým vypálením - suchý/mokrý otěr) se vzorky B a D můžeme konstatovat, že i u samotného nevypáleného vzorku lze vidět zapuštění barvy na otírací textilii.

Vzhledem k poškození a zuhelnatění vláken při laserovém vypálení se toto zhoršení dalo předpokládat. Dalo by se také poukázat na to, že takto velká souvislá vypálená plocha, by se zřejmě na vzorování klobouků nevyužívala např. z designérského hlediska.

Po suchém i mokrém otěru se zkoušené vzorky, které byly vypálené laserem také poškodily. Při otírání byl jejich povrch stírán a místy se odřela povrchová struktura, která vznikla po vypálení a vzorek takto částečně ztratil vypálený povrch. Odřený povrch po suchém i mokrém otěru je zobrazen na obr. č. 31. Z obrázku můžeme tedy zhodnotit, že i samotný vzorek po mokrém otěru je více poškozen, než vzorek po suchém otěru.



Obr. č. 31 Odřený povrch vzorku po suchém (nahore) a mokrém (dole) otěru

6.5 Odolnost v oděru

Pro zkoušku oděru byla vytvořena sada dvou druhů vzorků. Jeden druh vzorku je celoplošně vypálen hodnotou pixel time 150 μ s, a druhý typ vzorků je vypálen s tenkou drážkou, také s intenzitou 150 μ s (obr. č. 32). Vzorky byly upnuty do držáku a následně vloženy do odíracího přístroje. Na začátku zkoušky byly stanoveny počty otáček u jednotlivých cyklů. Obě sady vzorků byly vyhodnoceny při 100, 150 a 200 otáčkách. Navíc byl každý vzorek před a po oděrem zvážen a zjišťován i váhový úbytek hmotnosti, což je zobrazeno v tab. č. 7.

Vzorek - celá vypálená plocha			
počet otáček	hmotnost před oděrem (g)	hmotnost po oděru (g)	úbytek (g)
100	0,4712	0,4454	0,0258
150	0,4632	0,4301	0,0331
200	0,4457	0,4099	0,0358
Vzorek - vypálená drážka			
počet otáček	hmotnost před oděrem (g)	hmotnost po oděru (g)	úbytek (g)
100	0,6167	0,6109	0,0058
150	0,8311	0,8251	0,006
200	0,6557	0,647	0,0087

Tab. č. 7 Úbytek hmotnosti jednotlivých vzorků po oděru



Obr. č. 32 Ukázka vzorků před oděrem

Na obrázku č. 33 jsou vyobrazeny všechny tři vzorky s celoplošně vypáleným povrchem po 100, 150 a 200 otáčkách. Na obrázku č. 34 jsou tři vzorky s vypálenou tenkou drážkou po 100, 150 a 200 otáčkách. Vyhodnocením je popsání rozdílného vzhledu mezi vzorky při různých počtech otáčkách.



Obr. č. 33 Tři druhy vzorků s celoplošně vypáleným povrchem po 100, 150 a 200 otáčkách (zobrazeno z leva doprava)



Obr. č. 34 Tři druhy vzorků s vypálenou drážkou po 100, 150 a 200 otáčkách (zobrazeno z leva doprava)

Dle přiložených obrázku můžeme zhodnotit, že pokud je materiál vypálen souvisle v celé ploše, je velice nevyhovující, jelikož už při 100 otáčkách je vypálený povrch téměř odstraněn. Na vzorku po 150 otáčkách je povrch materiálu zcela odřen až na pár malých skvrn a vzorek po 200 otáčkách má vypálený povrch odstraněn úplně celý. Což je také vidět na obr. č. 31, jelikož v místě, kde byl vzorek upnutý do držáku je vypálený povrch stále neporušený. Je tak možné jednoduše zhodnotit rozdíl před a po vypálení.

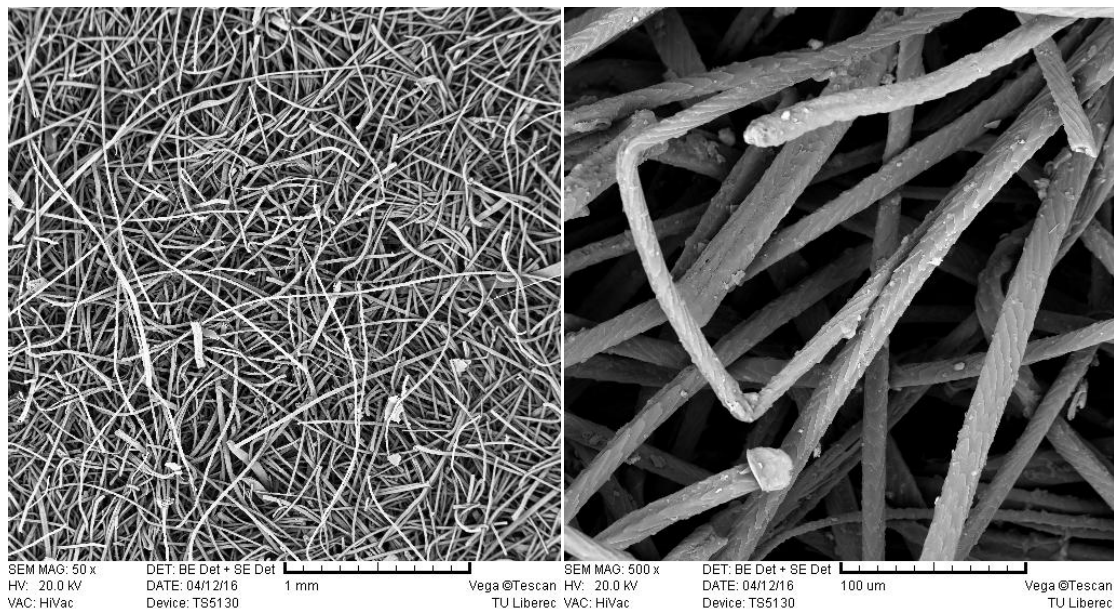
Druhá část zkoušky byla pro porovnání provedena na vzorku, kdy byla vypálená pouze tenká drážka a bylo sledováno zda drážka po oděru zaniká. Právě z obr. č. 27 můžeme vidět, že i základní materiál polotovaru má špatný oděr a už při 100 otáčkách se začínají vytvářet žmolky, což je ale pro plst charakteristické. Při porovnání obrázků mezi jednotlivými zkouškami, lze pozorovat, že vypálená drážka je po 200 otáčkách méně zřetelná.

Jak již však bylo řečeno, i základní materiál není příliš odolný proti oděru. Pokud zohledníme fakt, že klobouky nejsou vystaveny takovému namáhání při běžném užívání, tak můžeme předpokládat, že při laserovém vzorování v malých plochách bude vzor stabilní.

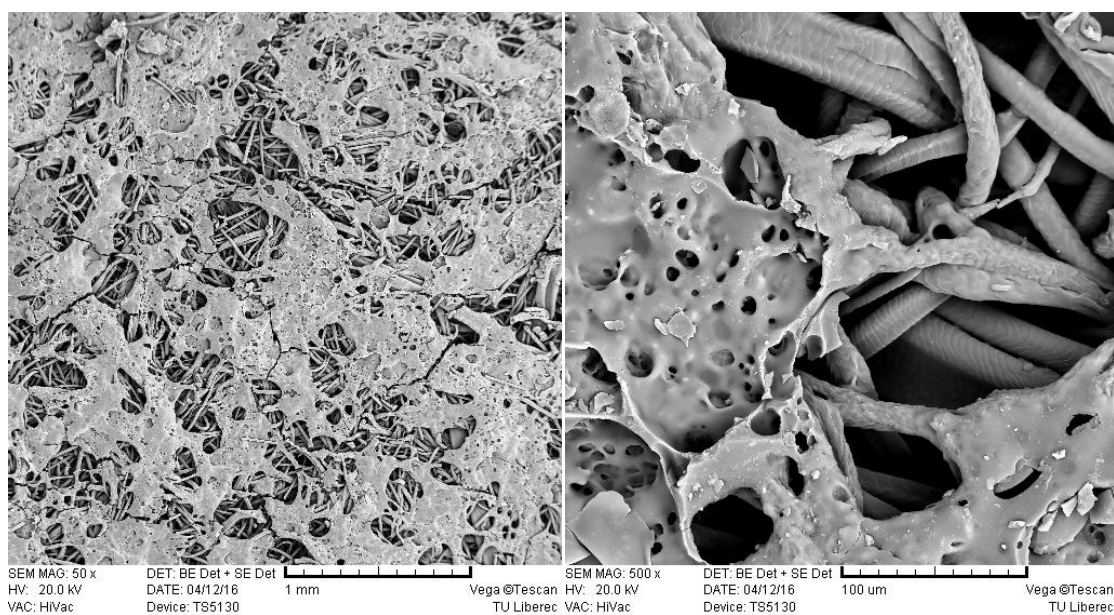
Dle zaznamenání hmotnosti před a po zkoušce oděru (viz tab. č. 12), lze taky poukázat na fakt, že váhový úbytek u vzorků s vypálenou drážkou je mnohem menší než u vzorků celoplošně vypálených. Tímto můžeme podpořit výše uvedou myšlenku, že při vzorování v malých plochách (čárkách, tečkách apod.) je vzor v oděru stabilnější.

6.6 Elektronová mikroskopie

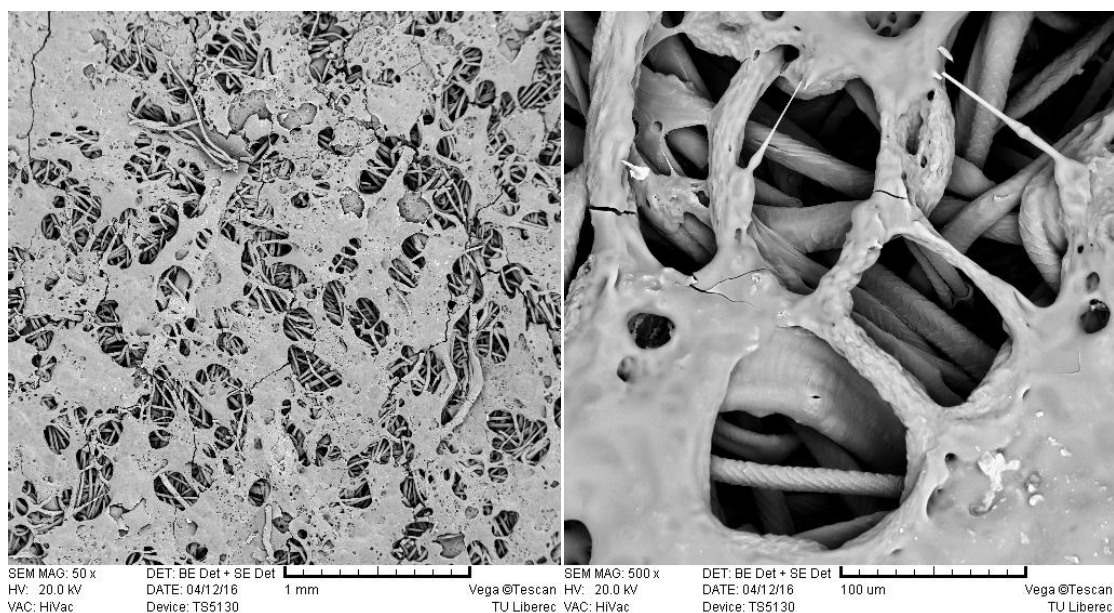
Byly vytvořeny preparáty z jednotlivých ozářených polotovarů s hodnotami pixel time 50, 100, 150, 200 a 250 μ s. Pro porovnání byly pořízeny snímky před laserovým vypálením. Všechny snímky jsou 50x a 500x zvětšené. Na obr. č. 35 jsou jednotlivé mikroskopické snímky vzorku před laserovým vypálením a na obrázcích č. 36 - 40 jsou zobrazeny jednotlivé mikroskopické snímky vzorků po působení laseru daných intenzit.



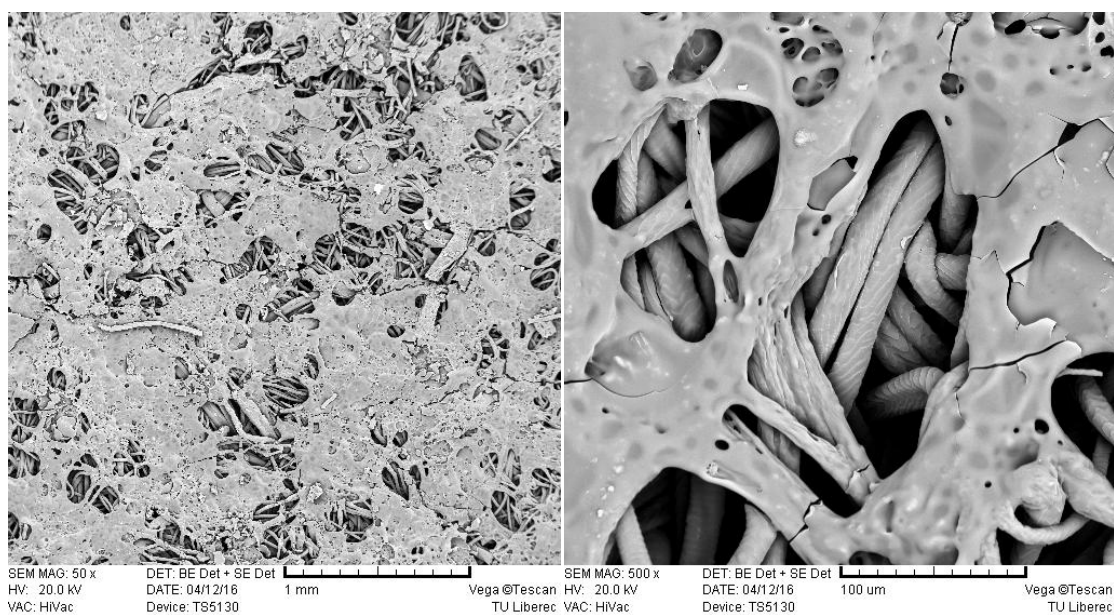
Obr. č. 35 Mikroskopický snímek polotovaru před laserovým vypálením



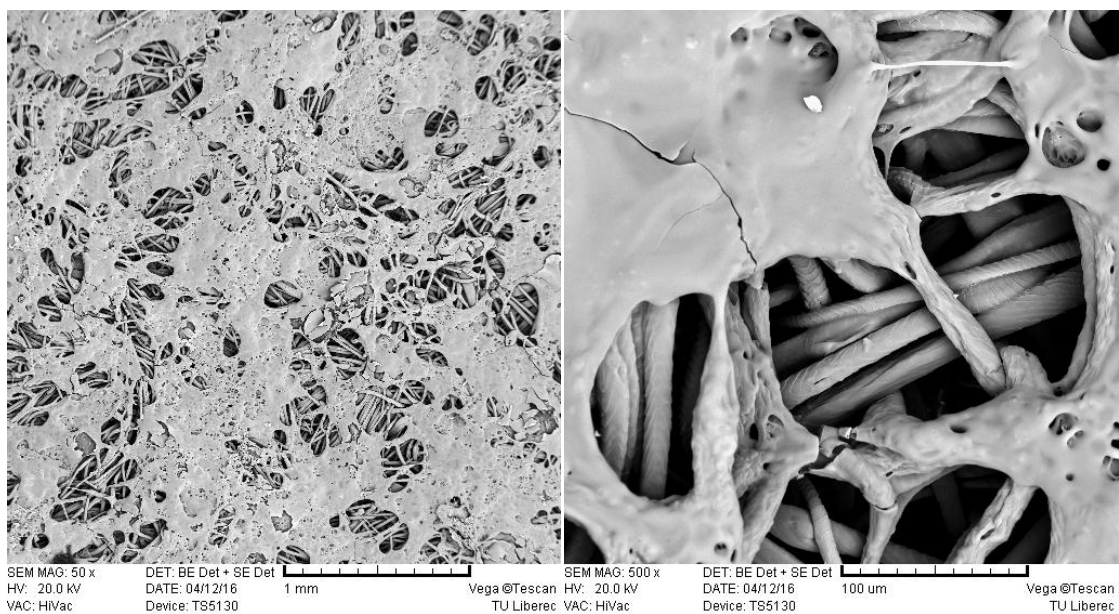
Obr. č. 36 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 50 μs



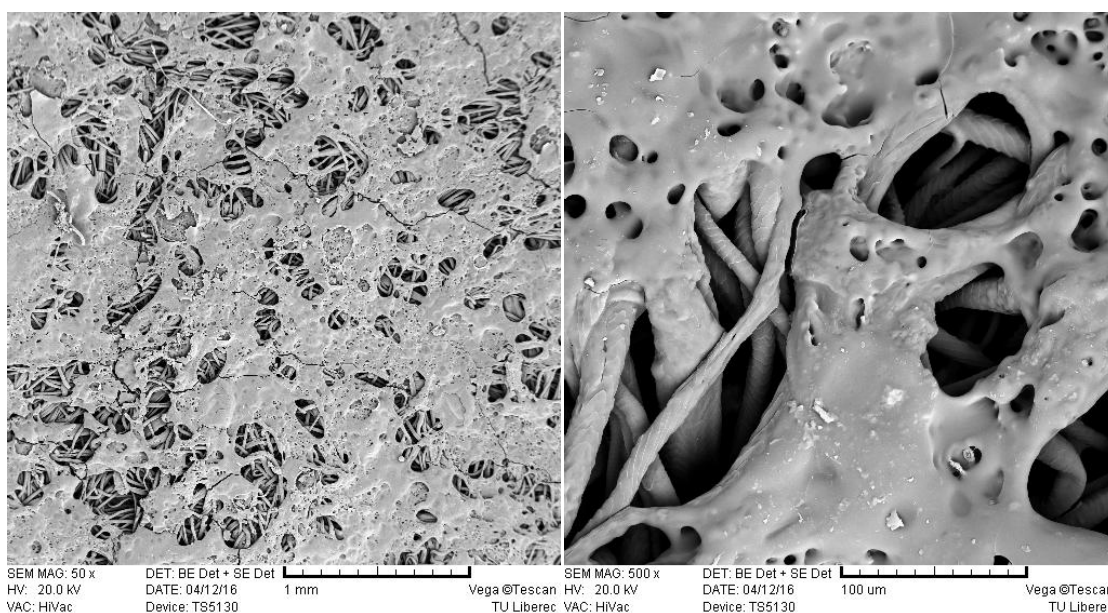
Obr. č. 37 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 100μs



Obr. č. 38 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 150 μ s



Obr. č. 39 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 200 μ s



Obr. č. 40 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 250µs

Na prvním snímku můžeme vidět pro porovnání s ostatními snímky neozářený polotovar. U vzorku s vypálenou hodnotou pixel time 50 µs lze pozorovat, že povrch je poškozen, a dochází zde k popraskání struktury na povrchu. U snímků s hodnotami pixel time od 100 µs můžeme vidět, že struktura je poškozená popraskáním, či natrhnutím struktury ve větším rozsahu, a tomu odpovídají i hodnoty maximální síly, které byly měřeny na trhacím přístroji. Jelikož se materiál vykazuje větší tloušťkou není při hodnotě pixel time 250 µs perforován a pod zuhelnatělým povrchem se stále nachází neporušená struktura polotovaru.

6.7 Eliminace zápachu

Pro hodnocení bylo dotázáno 10 respondentů, kteří měli za úkol srovnat jednotlivé vzorky obou aplikací roztoků zvlášť od nejméně zapáchajících po nejhůře zapáchající. Stupnice pro hodnocení byla tvořena 5 stupni, od 1 (nejhorší) až 5 (nejlepší). Data byla následně statisticky zpracována. V tabulce č. 8 je zobrazeno vyhodnocení pro roztok č. 1, eliminátor zápachu 1. V tabulce č. 9 jsou zobrazeny data a výsledky pro roztok č. 2, eliminátor zápachu 2.

vzorek/stupeň	1	2	3	4	5	počet hodnotitelů	průměr	výsledný stupeň
A	7	3	0	0	0	10	1,3	1
B	0	0	6	2	2	10	3,6	3,5
C	0	0	4	2	4	10	4	4
D	3	7	0	0	0	10	1,7	1,5
E	0	0	5	3	2	10	3,7	3,5

Tab. č. 8 Vyhodnocená data pro roztok č. 1

vzorek/stupeň	1	2	3	4	5	počet hodnotitelů	průměr	výsledný stupeň
A	0	9	1	0	0	10	1,8	2
B	0	0	5	3	2	10	3,7	3,5
C	0	0	3	3	4	10	4,1	4
D	9	1	0	0	0	10	1,1	1
E	1	0	6	1	2	10	3,2	3

Tab. č. 9 Vyhodnocená data pro roztok č. 2

Eliminace zápachu byla provedena nejen pomocí dvou druhů roztoků s rozdílnými koncentracemi, ale také s různými variantami aplikacemi např. před, nebo po laserovém vypálení. Pomocí hodnot z výše uvedených tabulek č. 14 a 15 můžeme hodnotit, že vzorky C, což byl v obou případech daný roztok aplikován před i po laserovém vypálení, byl zhodnocen jako nejvhodnější. Při seřazování vzorků u roztoku č. 2 - dělalo mnoho respondentům problém jednotlivé vzorky seřadit od 1 do 5, jelikož většina z nich se shodla, že nejvyšší zápach vykazovaly vzorky A a D a zbylé tři řadily na stejný stupeň zápachu. Nedokázali jednoznačně určit, který vzorek je nejméně zapáchající. Avšak při statistickém vyhodnocení byly jednotlivé vzorky uspořádány do jednotlivých stupňů.

Dané vzorky s nejlepším hodnocením, v obou případech vzorky C (aplikace roztoku před i po laserovém vypálení), byly znova předloženy 10 respondentům k porovnání, zda se liší zápach při použití 2 roztoků při stejné aplikaci. 8 z 10 respondentů vyhodnotilo, že u vzorku C, kdy byl aplikován roztok č. 2, necítí téměř žádný zápach. 2 Respondenti nedokázali určit pořadí vzorků.

Lze tedy vyhodnotit, že eliminace zápachu byla velice úspěšná, což znamená, že nežádoucí zápach je možné chemickými roztoky regulovat.

6.8 Vzorování laserem při rotaci polotovarů

Pro zjišťování jednotlivých časů a délek při rotaci bylo na rotační kužel přichyceno pomocí oboustranné lepicí pásky bavlněné plátno v místě laserového vypalování. Jednotlivé čáry byly vypáleny na zkoušející bavlněný materiál a po vypálení byly zaznamenány časy vypálení a změřeny délky čár při rotování (viz tab. č. 10).

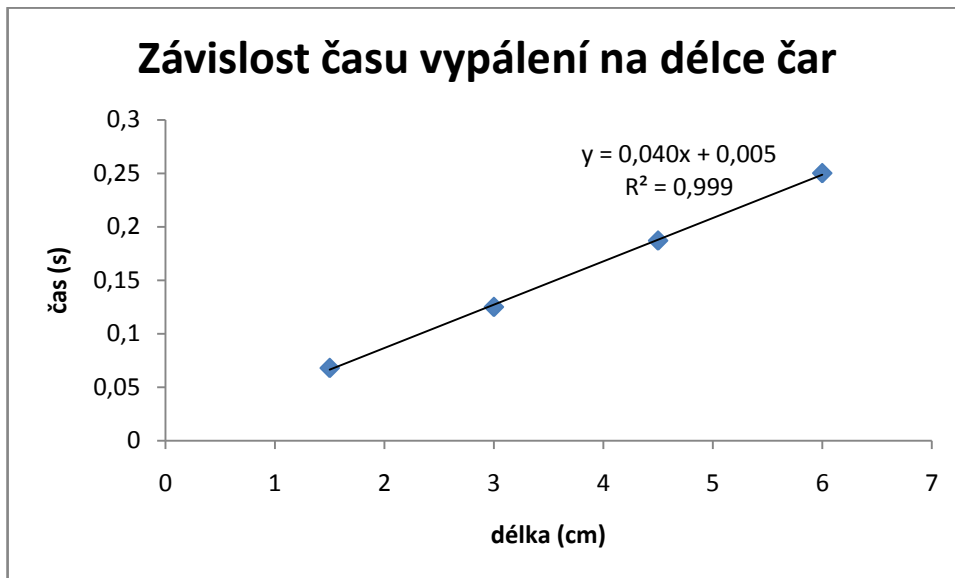
JEDNA ČÁRA				
Velikost	75 x 1 obr. bodů	150 x 1 obr. bodů	225 x 1 obr. bodů	300 x 1 obr. bodů
Délka	1,5 cm	3 cm	4,5 cm	6 cm
Délka při rotaci	23,8 cm	47,2cm	72,2 cm	97 cm
Celkový Čas vypálení*	0,068 s	0,125 s	0,187 s	0,25 s
DVĚ ČÁRY				
Velikost	75 x 2 obr. bodů	150 x 2 obr. bodů	225 x 2 obr. bodů	300 x 2 obr. bodů
Délka	1,5 cm	3 cm	4,5 cm	6 cm
Délka při rotaci**	51,2 cm	99,9 cm	150,8 cm	201,8 cm
Celkový čas vypálení*	0,141	0,266 s	0,39 s	0,503 s

Tab. č. 10 Vytvoření různých čar

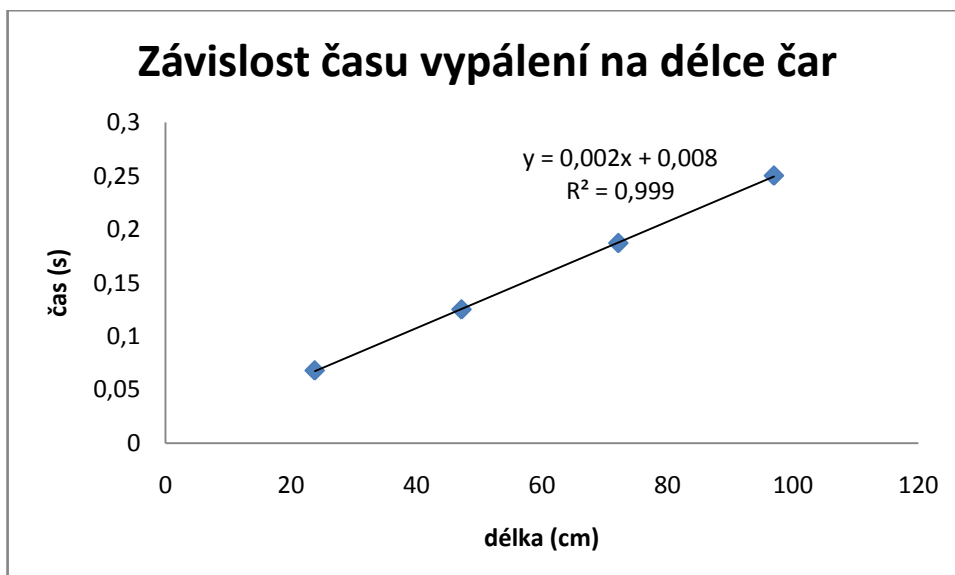
*Celkový čas vypálení udává dobu laseru kdy byl vypalován vzor včetně prodlev (posunu), údaj byl zjištěn přímo z ovládací jednotky laseru.

**je délka čáry při rotaci i s mezerou mezi jednotlivými čarami vzoru při posunu laseru z koncového bodu první řady na první bod další řady.

Z těchto dat byly vytvořeny následující grafy. Na grafu č. 3 a č. 4 je znázorněna závislost času laserového vypalování na délce jednotlivých čar bez a při rotaci, a lze pozorovat lineární závislost času na délce a v obou případech se hodnota spolehlivosti R^2 blíží k číslu 1.

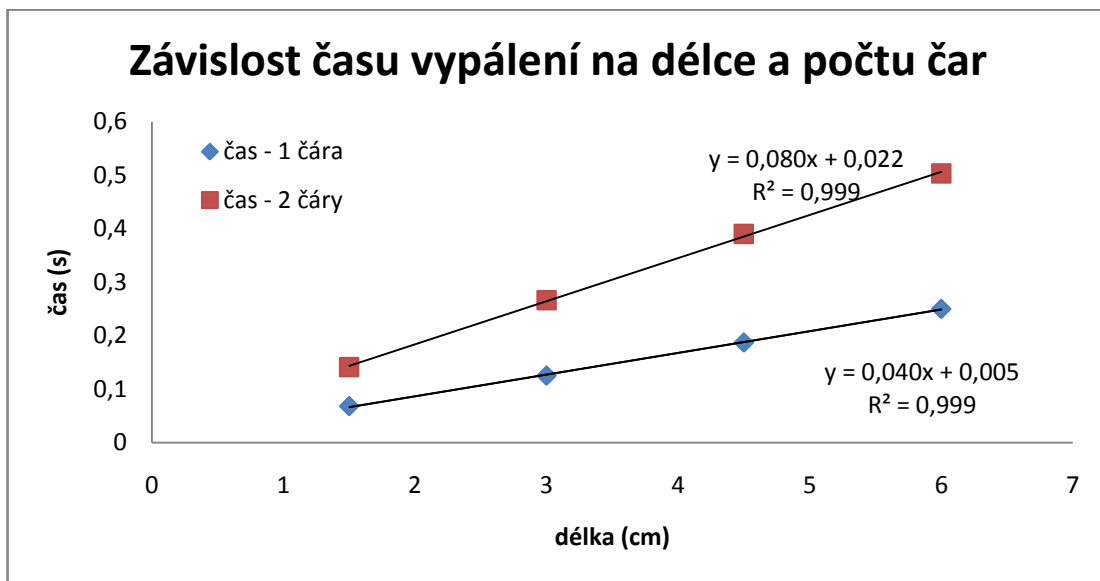


Graf č. 3 Závislost celkového času laserového vypalování na délce jednotlivých čar bez rotace



Graf č. 4 Závislost celkového času laserového vypalování na délce jednotlivých čar při rotaci

Jelikož se jedná o pulzní laser a vzor se vypaluje po jednotlivých obrazových bodech, je v celkové době (čase) vypalování zahrnuta také určitá doba na prodlevu (posun), kdy se laserový paprsek přesouvá po vypálení koncového bodu první řady na začátek prvního bodu druhé řady. V tomto případě to můžeme chápat jako prodlevu (posun), kdy se laserový paprsek přesune z posledního bodu na konci první řady na první bod druhé řady. Dá se tedy říct, že se jedná o chod laseru na prázdko (nevypaluje vzor), ale v celkovém čase vypalování je tato doba zahrnuta. Na grafu č. 5 je zobrazena závislost času na délce při vypalování jedné a dvou čar.



Graf .č. 5 Závislost celkového času laserového vypalování na délce a počtu jednotlivých čar

V grafu jsou vyneseny body jednotlivých délek, kdy modré body zobrazují čas vypálení jedné čáry v (označeno čas - čára 1), a červené body zobrazují vypálení dvou čar po sobě (označeno čas - čára 2). V obou případech byla vykreslena lineární spojnice trendů a lze pozorovat že délka vypálené čáry je lineárně závislá na čase vypálení.

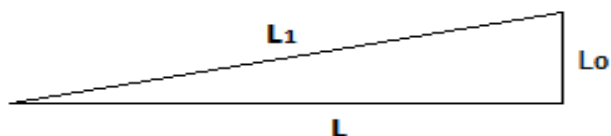
Regresní rovnice u 1 čáry ukazuje čas prodlevy při vypalování jedné čáry, a to 0,005 s (prodleva během vypalování jedné čáry mezi jednotlivými body) a regresní rovnice u 2 čar zobrazuje čas prodlevy 0,022 s (posun jednotlivých bodů během vypalování + prodleva při přesunu laserového paprsku mezi dvěma čárami). Při odečtení udaných hodnot zjistíme prodlevu laseru, která je 0,017 s. Toto číslo představuje dobu prodlevy při přesunu paprsku z koncového bodu první řady na začátek (první bod) druhé řady.

Ze známých dat při vypalování čar při rotaci lze spočítat obvodovou rychlost a počet otáček rotačního zařízení, dle následujících výpočtů:

$$L_0 = 6 \text{ cm}$$

$$L_1 = 97 \text{ cm}$$

$$L = ? \text{ cm}$$



$$L = \sqrt{L_1^2 - L_0^2} = 96,8 \text{ cm} = 0,968 \text{ m}$$

Výpočet obvodové rychlosti a počet otáček:

obvod: $o = 57,4 \text{ cm} = 0,574 \text{ m}$

průměr: $d = 18,27 \text{ cm} = 0,1827 \text{ m}$

dráha: $s = 96,8 \text{ cm} = 0,968 \text{ m}$

čas: $t = 0,25 \text{ s}$

Obvodová rychlost: $v = (\pi \cdot d \cdot n) / 60$

počet otáček: $n = (s/d) / t$

$n = 6,75 \text{ otáček/sek} = 405 \text{ otáček/min}$

$v = 3,87 \text{ m/s}$

8. Diskuze

Hotové klobouky vznikají tvarováním polotovarů, buď ručně nebo strojově a následně už probíhá pouze zdobení a kompletace klobouků (našití potních pásků, ochranné známky, dozdobení atd.). Jelikož byly vypalovány kloboukové polotovary bylo potřeba následně zjistit v jaké míře se při tvarování polotovarů vzor deformuje. Pro vytvarování byl použitý jeden polotovar s hladkou povrchovou úpravou s vypáleným vzorem po celém jeho obvodu (viz obr. č. 41). Informace o vypáleném vzoru jsou v tab. č. 11.

Velikost vzoru	Rozlišení vzoru	Pixel time	Celková doba vypálení
75 x 15 obr. bodů	93 dpi	800 μ s	1,046 s

Tab. č. 11 Informace o vypáleném vzoru

Před samotným strojním tvarováním je nutné klobouk propařit. Vlivem propaření se vzor stává méně výrazným a již v tak nenápadném vzoru to je značná nevýhoda. Na obr. č. 42 je snímek již vytvarovaného polotovaru. Jelikož je klobouk tvarován rovnoměrně po obvodu, nedošlo zde k deformaci vzoru. Rozteč mezi jednotlivými body v jedné řadě je 0,3 cm a tato rozteč byla i po vytvarování zachována. vzor se nám nikam neposunul. Samozřejmě byl odzkoušený pouze jeden tvar. Klobouky se tvarují i do mnohem složitějších tvarů např. se zátlaky. Polotovar se v určitých místech více napíná a mohlo by tedy dojít k posunu motivu. Za předpokladu, že se využije abstraktní vzor není potřeba tuto deformaci zohledňovat, pokud by nebyla příliš razantní. Při použití konkrétních vzorů není problém vypálit vzor již na vytvarovaný klobouk.



Obr. č. 41 Polotovar před tvarováním



Obr. č. 42 Polotovar po strojním tvarování

8. Závěr

Diplomová práce je pokračováním předchozí bakalářské práce na téma vzorování plstěných polotovarů. Cílem této diplomové práce byla úprava plstěných polotovarů pomocí laseru. Experimentální část byla založena na 2 částech, kdy první část byla věnována parametrům pro vypalování a následně vyhodnocení vybraných vypálených intenzit pomocí daných zkoušek, druhá část byla zaměřena na vzorování kloboukových polotovarů po celém obvodu v jednom výrobním kroku. Bylo potřeba zhotovit držák na polotovar a navrhnout experiment tak, aby vzorovaný polotovar rotoval a tím vznikala vzor po celém obvodu.

Pro zjišťování optimálních parametrů byl vytvořen jednoduchý vzor a následně byly vypáleny na polotovary s třemi různými povrchovými úpravami danými intenzitami (viz kap. 5). Pomocí takto vypálených vzorků bylo zhodnoceno, že chování povrchů klobouků je velice podobné u všech třech druhů povrchových úprav, nejlepší vzhled, se však jeví u polotovaru s hladkým povrchem, jelikož nemá odstávající vlas. Na hladkém polotovaru byla provedena řada mechanických zkoušek (pevnost, tloušťka, odolnost v oděru, stálost v otěru), sledována změna struktury pomocí elektronové mikroskopie pro intenzity vypálení 0-250 μs . V neposlední řadě byl eliminován zápach po laserovém vypálení.

Při zjišťování pevnosti a tloušťky materiálu bylo zjištěno, že čím větší hodnotou pixel time se působí na daný materiál, tím klesá pevnost, což lze předpokládat, jelikož ubývá i tloušťka materiálu. Nelze však predikovat lineární závislost úbytku tloušťky na pevnosti. Z výsledků vyplývá, že i při ztrátě 20 % tloušťky je pevnost materiálu neměnná, což je při intenzitě vypálení 50 μs . Z výsledků, lze pozorovat, že ani při intenzitě 100 μs není úbytek pevnosti nijak razantní, a zkušební vzorky se trhaly mimo místo vypálení v některých případech. Od hodnot vypalování 150 μs a výš je úbytek pevnosti již zřetelný a vzorky se trhaly vždy v místě vypálení (viz kap. 5.1.1 a 5.1.2).

Stálost v otěru (suchý/mokrý způsob) a odolnost v oděru byly provedeny na materiálu před a po laserovém vypálení intenzitou 150 μs . Obě zkoušky byly vyhodnoceny negativně. Stálost v otěru (suchý i mokrý) se velice zhoršuje na vypáleném materiálu a pomocí etalonu byl určen nejvyšší stupeň zapuštění, tedy 1. Avšak zapuštění barvy na otírací textilii, je možno pozorovat i na nevypáleném materiálu (viz kap. 5.1.3). Odolnost v oděru byla hodnocena na celoplošně vypáleném vzorku a vzorku s vypálenou drážkou. Z výsledků vyplývá, že ani základní materiál

není příliš odolný proti oděru. Materiál s větší celoplošně vypálenou plochou je nevhodný, jelikož je již při 100 otáčkách zcela odstraněna vzniklá povrchová struktura. Měli bychom však zohlednit skutečnost, že klobouky při běžném užívání nejsou vystaveny takovému namáhání na oděr, a lze tedy předpokládat, že vzor vypálený v malých ploškách je stabilní (viz kap. 5.1.4)

Pomocí elektronové mikroskopie byly zjišťovány změny struktury před a po vypálení různými intenzitami. Mezi intenzitami 100 - 250 μ s nejsou příliš výrazné změny struktury. Ve všech případech dochází k poškození, či popraskání povrchové struktury, a můžeme se domnívat, že při nižších intenzitách vypálení pevnost díky vzniklému povrchu neklesá. Materiál není při 250 μ s perforován a pod zuhelnatělým povrchem se stále nachází neporušený materiál.

Naopak zkoušky pro eliminaci zápachu byly velice zdařilé (viz. kap. 6). U aplikace obou roztoků bylo prokázáno určité zlepšení zápachu oproti vzorkům kde roztoky nebyly aplikovány. Většina respondentů se shodlo, že při aplikaci roztoků před i po laserovém vypálení byl zápach téměř odstraněn. 8 z 10 respondentů vyhodnotilo jako nejlepší vzorek bez zápachu ten, kde byl aplikován roztok č. 2 před i po laserovém vypálení. Lze tedy podotknout, že vzniklý zápach po vypálení lze odstranit, a to je další plus pro případné využití pro vzorování králičích polotovarů.

Vzorování po celém obvodu lze také aplikovat. Bylo však experimentováno na alternativním zařízení, které bylo vytvořeno pouze pro účely této diplomové práce a pokud by se zavedlo do praxe, muselo by dojít k vyhotovení rotačního zařízení. Nachází se zde také možnost, že by rotační zařízení bylo synchronizováno s počítačovým softwarem, který řídí laserovou jednotku. Pak by bylo možné vzorovat po celém obvodu konkrétní navržený vzor.

Závěrem lze podotknout, že technologii vypalování laserem, lze stále optimalizovat a déle se tomuto tématu věnovat.

Zdroje

- [1] Vrbová M., Jelínková H., Gavrilov P. Úvod do laserové techniky. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01108-9 : 29.40.
- [2] Postavte si Nd:YAG laser. František Batysta [online]. 2012 [cit. 2015-08-13]. Dostupné z: <http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~batysfra/laser.php>
- [3] Laser [online]. 2013 [cit. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/>
- [4] Black S., Jobling L., Physical principles of lasers, Anaesthesia & Intensive Care Medicine, 2014, 530-532 s., [online], [cit. 2015-08-15]
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1472029914002410>
- [5] Thomas G., Isaacs R., Basic principles of lasers, Anaesthesia & Intensive Care Medicine, 2011, 574-577 s., [online], [cit. 2015-08-15]
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147202991100227X>
- [6] Lasery kolem nás [online]. 2004 [cit. 2015-09-16].
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>
- [7] Engst P., Horák M., Aplikace laserů. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 204 s. Populární přednášky o fyzice.
- [8] Lintech: Co je laserová technologie [online]. [cit. 2015-10-19].
Dostupné z: <http://www.lintech.cz/co-je-laserova-technologie>
- [9] Povrchová úprava materiálu laserem [online]. [cit. 2015-10-19].
Dostupné z: <http://www.bruci.cz/cz/gravirovani-kuze/>
- [10] Koos: Gravírování laserem [online]. [cit. 2015-10-19].
Dostupné z: http://old.koos.cz/index.php?text=gravira_laser
- [11] Fyzika007: laser [online]. [cit. 2015-10-21].
Dostupné z <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/laser>
- [12] Tonak: profil společnosti [online]. [cit. 2015-11-10].
Dostupné z: <http://www.tonak.cz/profil-spolecnosti>

- [13] Recmanová P., Vzorování plstěných polotovarů. 2014. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, katedra designu. Vedoucí práce Ing. Jana Černá.
- [14] Tonak: e-shop [online]. [cit. 2015-11-10].
Dostupné z: <http://www.tonak.cz/e-shop/luxusni-plstene-klobouky/panske/luxusni-plsteny-klobouk-10159-05-s179047622>
- [15] Marketing firmy Tonak, a.s. [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://www.antiskola.eu/cz/referaty/19634-marketing-firmy-tonak-a-s#page.3>
- [16] Kozlovská H., Bohanesová B., Oděvní materiály I. 2., přeprac. vyd. 2. Praha: Informatorium, 1998, 132 s. ISBN 80-85427-28-9
- [17] Ecotextiles [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <https://oecotextiles.wordpress.com/category/fibers/wool/>
- [18] Militký J., Textilní vlákna: klasická a speciální. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 423 s. ISBN 978-80-7372-169-5
- [19] Hair Analysis. [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.chymist.com/HAIR%20ANALYSIS.pdf>
- [20] Natural fibres. [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/angora.html>
- [21] Jirsák O., Kalinová K., Netkané textilie. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 129 s. ISBN 80-708-3746-2
- [22] Štěpánková M., Wiener J., Dembický J., Impact of Laser Thermal Stress on Cotton Fabric. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2010* [online]. 2009, 12(3), 70-73 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUK Ewjcp7mW3pfMAhUJOxQKHT3xCdkQjRwIBQ&url=http%3A%2F%2Fwww.fibtex.lodz.pl%2F2010%2F3%2F70.pdf&bvm=bv.119745492,d.bGs&psig=AFQjCNFUmoX WpgnMMTnKsatiqQFvA20m2A&ust=1461053381765085>
- [23] Elektronová mikroskopie pro biology [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/7.0.html>

[24] KOD, studijní materiály [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z:
http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/dalsi_podklady/STE-04-elektronova.pdf

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Interakce mezi fotony a elektrony [5].....	- 15 -
Obr. č. 2 Zobrazení metastabilní hladiny [3].....	- 16 -
Obr. č. 3 Součásti laseru [2].....	- 16 -
Obr. č. 4 Typy laseru [1].....	- 19 -
Obr.č. 5 Graf - využití laserů v průmyslu [8]	- 25 -
Obr.č. 6 Gravírování a prořez laserem do kůže [9]	- 27 -
Obr. č. 7 Gravírování - kožená bota [9].....	- 27 -
Obr. č. 8 Gravírování na textilním materiálu [10]	- 28 -
Obr. č. 9 Pánský plstěný klobouk [14].....	- 30 -
Obr. č. 10 Snímek vlněného vlákna z elektronového mikroskopu [17]	- 32 -
Obr. č. 11 Mikroskopický snímek králičího vlákna [19].....	- 33 -
Obr. č. 12 Obecné schéma valchovacího stroje [21]	- 35 -
Obr. č. 13 Hladký povrch klobouku	- 36 -
Obr. č. 14 Velurový povrch klobouku	- 36 -
Obr. č. 15 Extra velurový povrch klobouku	- 37 -
Obr. č. 16 Laser Marcatex Flexi V5 [22].....	- 38 -
Obr. č. 17 Parametry ovlivňující laserové vypálení [13].....	- 40 -
Obr. č. 18 Materiály s hladkým, velurovým, extra velurovým povrchem (zobrazeno zleva doprava).....	- 41 -
Obr. č. 19 Držák s formou na polotovar	- 42 -
Obr. č. 20 Řada čtverců s rozdílnými hodnotami pixel time v μs	- 43 -
Obr. č. 21 Vypálená řada čtverců na polotovar s hladkou povrchovou úpravou.....	- 44 -
Obr. č. 22 Vypálená řada čtverců na polotovar s velurovou povrchovou úpravou ...	- 44 -
Obr. č. 23 Vypálená řada čtverců na polotovar s extra velurovým povrchem	- 44 -
Obr. č. 24 Schéma skenovacího elektronového mikroskopu [23]	- 51 -
Obr. č. 25 Jednotlivé vypálené čáry.....	- 53 -
Obr. č. 26 Normovaná šedá stupnice pro hodnocení zapouštění	- 56 -
Obr. č. 27 Vzorek A Obr. č. 28 Vzorek B Obr. č. 29 Vzorek C Obr. č. 30 Vzorek D ..	- 56 -
Obr. č. 31 Odřený povrch vzorku po suchém (nahore) a mokřém (dole) otěru.....	- 57 -
Obr. č. 32 Ukázka vzorků před oděrem	- 58 -

Obr. č. 33 Tři druhy vzorků s celoplošně vypáleným povrchem po 100, 150 a 200 otáčkách (zobrazeno zleva doprava).....	- 59 -
Obr. č. 34 Tři druhy vzorků s vypálenou drážkou po 100, 150 a 200 otáčkách.....	- 59 -
Obr. č. 35 Mikroskopický snímek polotovaru před laserovým vypálením	- 60 -
Obr. č. 36 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 50 μ s -	61 -
Obr. č. 37 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 100 μ s-	61 -
Obr. č. 38 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 150 μ s-	62 -
Obr. č. 39 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 200 μ s-	62 -
Obr. č. 40 Mikroskopický snímek polotovaru po laserovém vypálení s pixel time 250 μ s-	63 -
Obr. č. 41 Polotovar před tvarováním.....	- 70 -
Obr. č. 42 Polotovar po strojním tvarování	- 71 -

Seznam tabulek

Tab. č. 1 Shrnutí nejpoužívanějších laserů [3].....	- 29 -
Tab. č. 2 Využití vlastností laserového paprsku [11]	- 29 -
Tab. č. 3 Rozpis aplikací roztoků na vzorky.....	- 52 -
Tab. č. 4 Průměrná pevnost jednotlivých vzorků s danými hodnotami pixel time....	- 54 -
Tab. č. 5 Průměrné hodnoty tloušťky	- 55 -
Tab. č. 6 Výsledné stupně zapuštění jednotlivých vzorků.....	- 57 -
Tab. č. 7 Úbytek hmotnosti jednotlivých vzorků po oděru	- 58 -
Tab. č. 8 Vyhodnocená data pro roztok č. 1	- 64 -
Tab. č. 9 Vyhodnocená data pro roztok č. 2	- 64 -
Tab. č. 10 Vytvoření různých čar	- 65 -
Tab. č. 11 Informace o vypáleném vzoru	- 69 -
Tab. č. 12 Pevnost a tažnost polotovaru před laserovým vypálením.....	- 81 -
Tab. č. 13 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 50 μ s	- 82 -
Tab. č. 14 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení - hodnota pixel time 100 μ s.....	- 83 -
Tab. č. 15 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 150 μ s.....	- 84 -
Tab. č. 16 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 200 μ s.....	- 85 -
Tab. č. 17 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 250 μ s.....	- 86 -
Tab. č. 18 Hodnoty jednotlivého měření na tloušťkoměru při daných vypálených intenzitách.....	- 87 -
Tab. č. 19 Vypočítaná energie pulzu	- 89 -

Seznam grafů

Graf č. 1 Průměrné hodnoty pevnosti jednotlivých vypálených vzorků s hodnotami pixel time 0 - 250 μ s	- 54 -
Graf č. 2 Průměrná tloušťka jednotlivých vypálených vzorků s hodnotami pixel time 0 - 250 μ s.....	- 55 -
Graf č. 3 Závislost celkového času laserového vypalování na délce jednotlivých čar bez rotace.....	- 66 -
Graf č. 4 Závislost celkového času laserového vypalování na délce jednotlivých čar při rotaci	- 66 -
Graf .č. 5 Závislost celkového času laserového vypalování na délce a počtu jednotlivých čar.....	- 67 -
Graf č. 6 Tahové křivky jednotlivých měření před laserovým vypálením	- 81 -
Graf č. 7 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení - hodnota pixel time 50 μ s	- 82 -
Graf č. 8 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 100 μ s.....	- 83 -
Graf č. 9 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 150 μ s.....	- 84 -
Graf .č. 10 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 200 μ s	- 85 -
Graf .č.11 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 250 μ s	- 86 -

Seznam příloh

Příloha 1 Jednotlivé dílčí měření při stanovení pevnosti a tažnosti.....	81
Příloha 2 Jednotlivá dílčí měření tloušťky.....	87
Příloha 3 Vypočítání energie pulzu.....	89

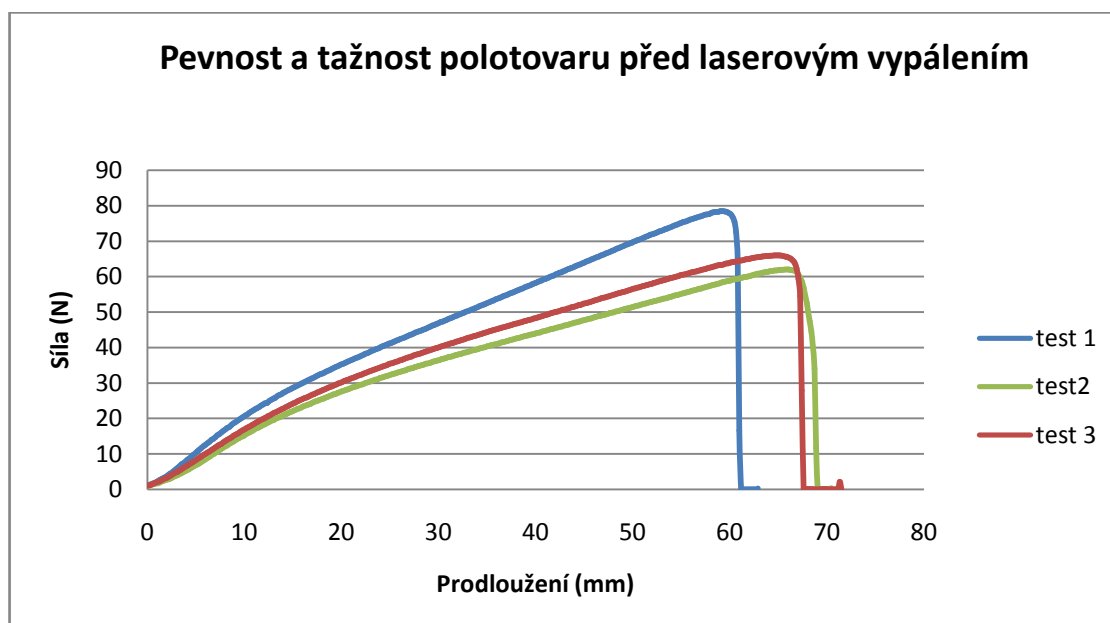
Přílohy

Příloha 1 - jednotlivé dílčí měření při zjišťování max. síly

V tabulce č. 12 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovaru před laserovým vypalováním. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru před laserovým vypálením

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	78,6	59,1	29,4
2	62,2	65,6	32,5
3	66	64,7	32,2
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	68,9	63,2	31,3
Minimum [N]	62,2	59,1	29,4
Maximum [N]	78,6	65,6	32,5
Směrodatná odchylka [N]	8,6	3,5	1,7
Variační koeficient [%]	12,5	5,6	5,5

Tab. č. 12 Pevnost a tažnost polotovaru před laserovým vypálením

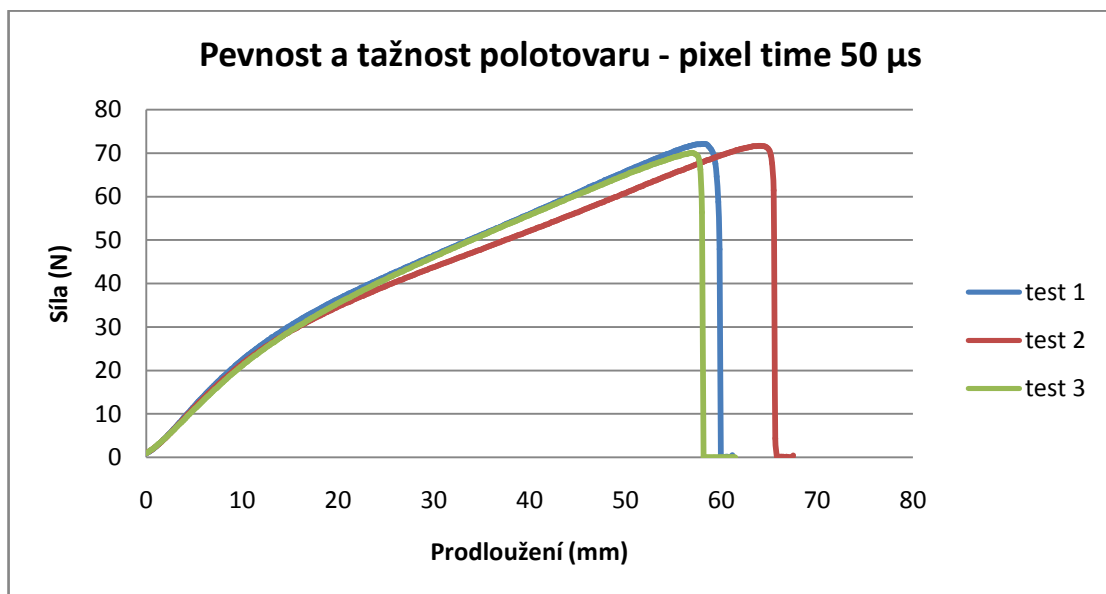


Graf č. 6 Tahové křivky jednotlivých měření před laserovým vypálením

V tabulce č. 13 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovarů po laserovém vypálení s hodnotou pixel time 50 μ s. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru po laserovém vypálení 50 μ s.

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	72,2	58,1	72,2
2	71,7	63,9	78,7
3	70,1	56,9	70,7
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	71,3	59,6	73,9
Minimum [N]	70,1	56,9	70,7
Maximum [N]	72,2	63,9	78,7
Směrodatná odchylka [N]	1,1	3,8	4,3
Variační koeficient [%]	1,6	6,3	5,8

Tab. č. 13 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 50 μ s

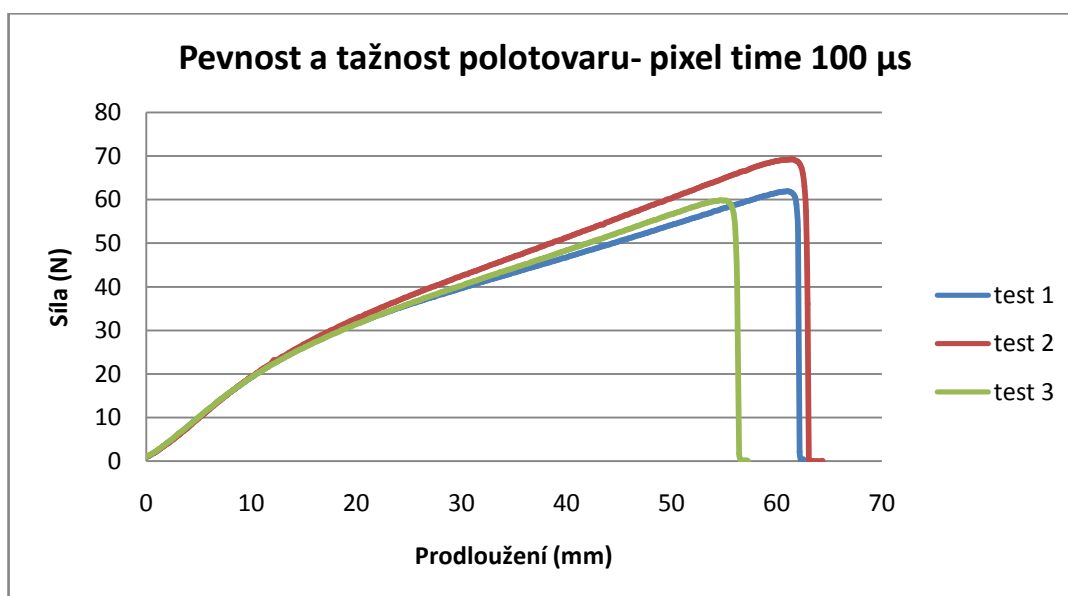


Graf č. 7 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení - hodnota pixel time 50 μ s

V tabulce č. 14 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovarů po laserovém vypálení s hodnotou pixel time 100 μ s. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru po laserovém vypálení 100 μ s (graf. č.8)

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	61,9	61	75,5
2	69,3	61,2	76,1
3	59,9	54,6	67,3
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	63,7	58,9	72,9
Minimum [N]	59,9	54,6	67,3
Maximum [N]	69,3	61,2	76,1
Směrodatná odchylka [N]	4,9	3,8	4,9
Variační koeficient [%]	7,8	6,4	6,8

Tab. č. 14 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení - hodnota pixel time 100 μ s

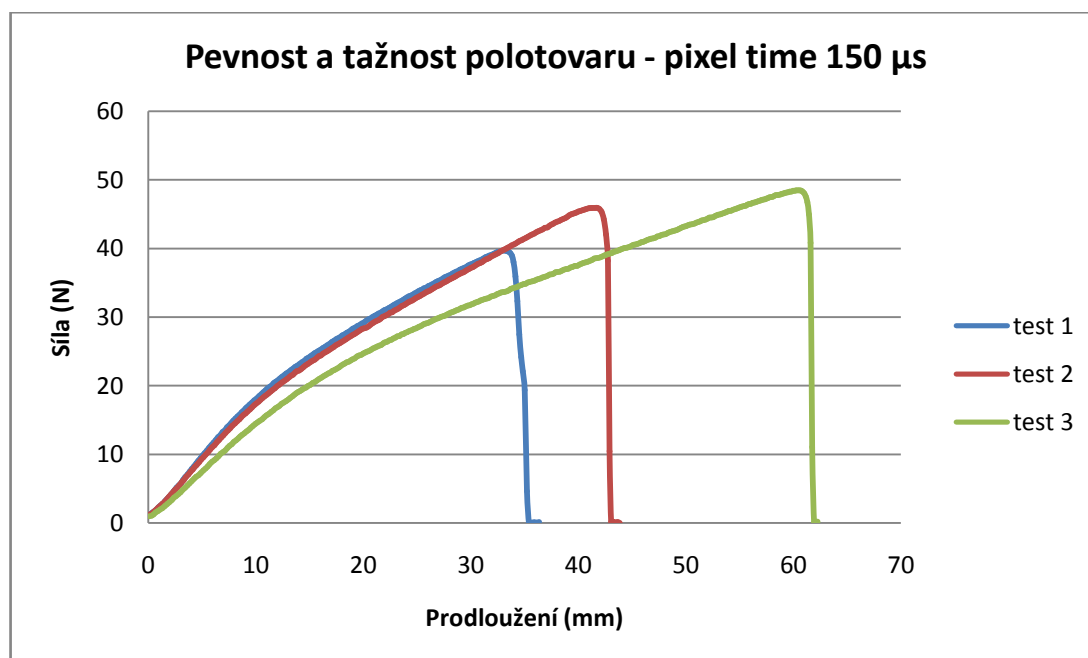


Graf č. 8 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 100 μ s

V tabulce č. 15 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovarů po laserovém vypálení s hodnotou pixel time 150 μ s. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru po laserovém vypálení 150 μ s (graf. č.9)

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	39,8	33	40,8
2	46	41,7	50,9
3	48,6	60,3	72
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	44,8	44,9	54,6
Minimum [N]	39,8	33	40,8
Maximum [N]	48,6	60,3	72
Směrodatná odchylka [N]	4,5	13,9	15,9
Variační koeficient [%]	10	30,9	29,1

Tab. č. 15 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 150 μ s

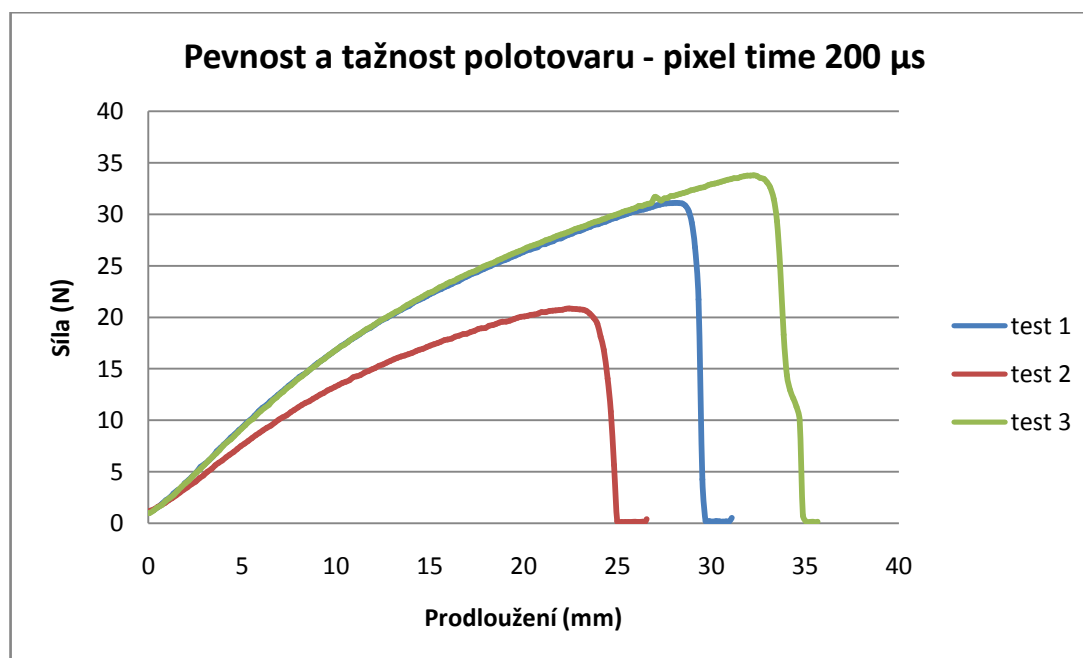


Graf č. 9 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 150 μ s

V tabulce č. 16 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovarů po laserovém vypálení s hodnotou pixel time 200 μ s. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru po laserovém vypálení 200 μ s (graf. č. 10)

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	31,2	28,8	34,3
2	21	22,5	27,4
3	33,8	31,8	39
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	28,8	27,3	33,6
Minimum [N]	21	22,5	27,4
Maximum [N]	33,8	31,8	39
Směrodatná odchylka [N]	6,8	4,7	5,9
Variační koeficient [%]	23,7	17,1	17,5

Tab. č. 16 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 200 μ s

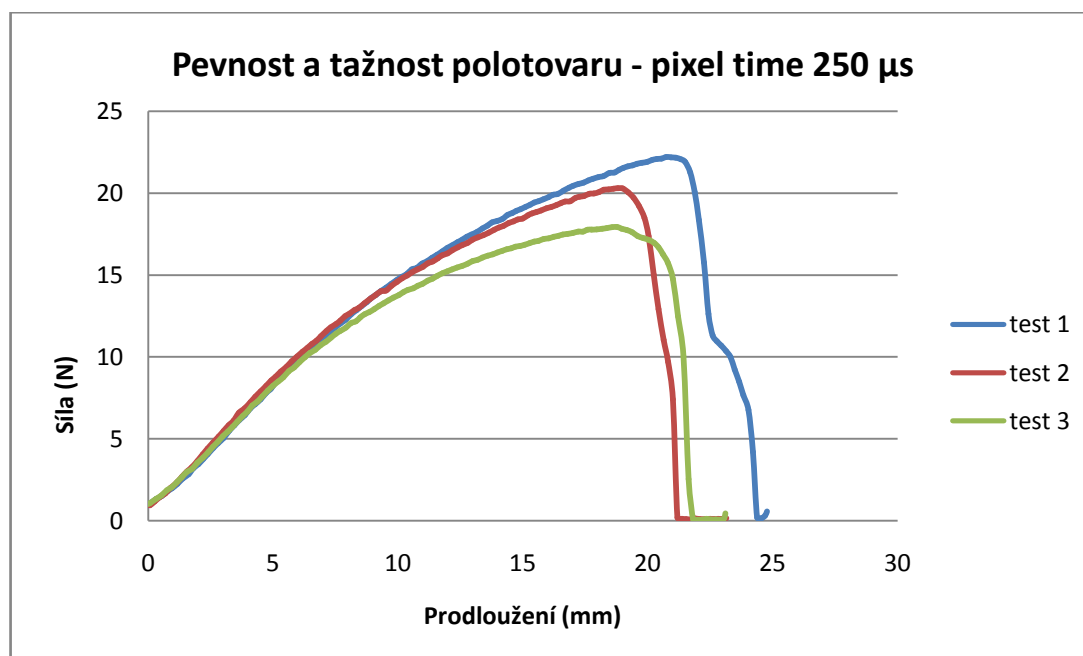


Graf. č. 10 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 200 μ s

V tabulce č. 17 jsou data o tahové zkoušce jednotlivých měření daných vzorků polotovarů po laserovém vypálení s hodnotou pixel time 250 μ s. Z jednotlivých dat získané ze softwaru jsou vykresleny tahové křivky jednotlivých měření vzorku základního polotovaru po laserovém vypálení 250 μ s (graf. č. 11)

Číslo měření	Nejvyšší pevnost [N]	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	22,3	21,1	25,7
2	20,4	18,6	23,1
3	18,1	18,8	23,1
Základní statistické charakteristiky			
Aritmetický průměr [N]	20,2	19,5	24
Minimum [N]	18,1	18,6	23,1
Maximum [N]	22,3	21,1	25,7
Směrodatná odchylka [N]	1,7	1,4	1,5
Variační koeficient [%]	8,5	7	6,2

Tab. č. 17 Pevnost a tažnost polotovaru po laserovém vypálení-hodnota pixel time 250 μ s



Graf .č.11 Tahové křivky jednotlivých měření po laserovém vypálení-hodnota pixel time 250 μ s

Příloha 2 - Jednotlivá dílčí měření tloušťky

V následující tabulce jsou jednotlivé data z měření tloušťky na tloušťkoměru základního materiálu před laserovým vypálením a jednotlivých vzorků polotovarů vypálených laserem s hodnotami pixel time 50 - 250 μ s.

Základní statistické charakteristiky	Pixel time (μ s)	Č. měření	Tloušťka (mm)
	0	1	2,77
		2	2,7
		3	2,69
		4	2,73
		5	2,78
průměr (mm)			2,73
směrodatná odchylka (mm)			0,036
var.koeficient (%)			1,32
	50	6	2,18
		7	2,18
		8	2,2
		9	2,15
		10	2,2
průměr (mm)			2,18
směrodatná odchylka (mm)			0,018
var.koeficient (%)			0,84
	100	11	1,89
		12	1,93
		13	1,94
		14	1,9
		15	1,87
průměr (mm)			1,91
směrodatná odchylka (mm)			0,026
var.koeficient (%)			1,35
	150	16	1,79
		17	1,89
		18	1,89
		19	1,8
		20	1,83
průměr (mm)			1,84
směrodatná odchylka (mm)			0,043
var.koeficient (%)			2,33

Základní statistické charakteristiky	Pixel time (μs)	Č. měření	Tloušťka (mm)
	200	21	1,7
		22	1,7
		23	1,69
		24	1,75
		25	1,74
průměr (mm)			1,72
směrodatná odchylka (mm)			0,024
var.koeficient (%)			1,41
	250	26	1,45
		27	1,46
		28	1,39
		29	1,42
		30	1,46
průměr (mm)			1,44
směrodatná odchylka (mm)			0,027
var.koeficient (%)			1,90

Tab. č. 18 Hodnoty jednotlivého měření na tloušťkoměru při daných vypálených intenzitách

Příloha 3 - Vypočítání energie pulzu

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé výpočty energie pulzu (či energii pulzu na plochu) pro jednotlivé hodnoty pixel time při vypalování laserem, které byly v experimentální práci nastavovány.

pixel time (μs)	energie pulzu (J)*	energie pulzu na plochu (J/cm²)*
30	0,003	0,5968
35	0,0035	0,6963
40	0,004	0,7958
45	0,0045	0,8952
50	0,005	0,9947
60	0,006	1,1937
70	0,007	1,3926
80	0,008	1,5915
90	0,009	1,7905
100	0,01	1,9894
150	0,015	2,9842
200	0,02	3,9789
250	0,025	4,9736
300	0,03	5,9683
350	0,035	6,9630
400	0,04	7,9577
450	0,045	8,9525
800	0,08	15,9155

Tab. č. 19 Vypočítaná energie pulzu

* při laserovém vypalování na nepohybující se materiál

Př.: výpočtu pro pixel time 30 μs

frekvence: $f = 5000 \text{ Hz}$

výkon: $P = 100 \text{ W}$

Celková energie pulzu = $P/f = 100/5000 = 0,02 \text{ J}$

Energie pulzu = $\text{pixel time} \cdot 10^{-6} \cdot f = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 0,15 \text{ J}$

Celková energie pulzu * Energie pulzu = $0,02 \cdot 0,15 = 0,003 \text{ J}$

Průměr laserového svazku: $d = 0,8 \text{ mm} = 0,08 \text{ cm}$

Energie pulzu na plochu = $\text{energie pulzu} / (\pi \cdot d^2 / 4) = 0,003 / (\pi \cdot 0,08^2 / 4) = 0,5968$