



STABILIZACE ČÁSTIC UHLÍKU NA SKLENĚNÁ VLÁKNA POMOCÍ LASERU

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

Studijní obor: 3107R011 – Textilní materiály a zkušebnictví

Autor práce: **Leoš Vlček**

Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTŮ, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Leoš Vlček**
Osobní číslo: **T07000168**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní materiály a zkušebnictví**
Název tématu: **Stabilizace částic uhlíku na skleněná vlákna pomocí laseru**
Zadávací katedra: **Katedra materiálového inženýrství**

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

- 1) Vypracujte rešerši na uvedené téma
- 2) Navrhněte a aplikujte metodu depozice částic uhlíku na textilie ze skleněných vláken, částice stabilizujte na vláknech pomocí IR laseru
- 3) Na všech sledovaných vzorcích sledujte změny vlastností, zaměřte se na elektrickou vodivost vzorků a její potenciální využití ve filtračních systémech
- 4) Výsledky diskutujte z hlediska možného uplatnění v praxi

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 45

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. Htisheger, H., Potel, J., Neimann, E.-G. Electric Field Effects on Bacteria and Yeast Cells. Radiat Environ. Biophys. (1983), 22:149-162.
2. Hülsheger, H., Potel, J., Neimann, E.-G. Killing of Bacteria with Electric Pulses of High Field Strength. Radiat. Environ. Biophys. (1981), 20:53-65.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.


Katedra materiálového inženýrství

Konzultant bakalářské práce: Ing. Marie Kašparová

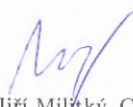
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 14. května 2015


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




prof. Ing. Jiří Milátký, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. října 2014

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce. Mé poděkování patří Ing. Marii Kašparové za spolupráci v laboratořích a laserovém ozařování vzorků. Děle Ing. Janě Grábmullerové za pomoc při obrazové analýze a doc. Mgr. Ireně Lovětinské-Šlamborové, Ph.D. za pomoc se zpracováním a vyhodnocením bakteriální inhibice.

Mé poděkování patří i manželce, která mě podporovala v průběhu mého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá metodami depozice částic uhlíku na skleněné textilie. Dále jejich upevňováním na tyto textilie pomocí infračerveného laserového paprsku s různou dobou laserového pulzu. Na vzorcích ozářených laserovým paprskem byly testovány mechanické, elektrické a filtrační vlastnosti, dosažené výsledky byly porovnány s původním vzorkem skleněné textilie. Zdrojem laserového záření je vrstvý systém laseru CO₂ buzený vysokou frekvencí, zařízení Marcatex Flexi.

Abstract

This thesis deals with methods of deposition of carbon particles on glass textiles . Furthermore, the deposition of these carbon particles on glass textiles by using of an infrared laser beam with different laser pulse duration. There were tested mechanical, electrical and filtration properties of laser irradiated samples. The obtained results were compared with the original sample of the glass textile . The source of the laser beam is layered laser system, Marcatex 150 Flexi, of CO₂ excited by high frequency devices.

Klíčová slova: laser, skleněná textilie, depozice částic, filtr, infračervené záření, stabilizace, bakteriální inhibice

Key words: laser, glass textile, particle deposition, filter, infrared, stabilization, bacterial inhibition

Obsah

Obsah.....	6
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	8
Úvod.....	9
1.Rešeršní část.....	10
1.1. <i>Laser</i>	10
1.1.1. Historie laseru	10
1.1.2. Základní princip laseru	12
1.1.3. Unikátní vlastnosti laserového svazku	16
1.1.4. Součásti laseru	16
1.1.5. Klasifikace-typy laserů	18
1.1.6. Využití laserů.....	21
1.1.7. Laserové zpracování materiálů	29
1.2. <i>Textilní materiály</i>	30
1.2.1. Vlastnosti vlákněné struktury	31
1.2.2. Vliv IR záření	33
1.2.3. Tepelné poškození textilie	35
1.2.4. Skleněná textilní vlákna	36
1.2.5. Uhlík – C.....	39
2.Experimentální část.....	43
2.1. <i>Použité přístroje a pomůcky</i>	43
2.1.1. Ultrazvuk Sonopuls Bandelin	43
2.1.2. Lasarové zařízení Marcatex Flexi	44
2.1.3. Další přístroje a pomůcky	46
2.1.4. Použité chemikálie.....	47
2.1.5. Použitý materiál	50
2.2. <i>Příprava vzorků a disperzí</i>	51
2.2.1. Příprava vzorků z textilie ze skleněných vláken	51
2.2.2. Příprava disperze	51
2.2.3. Metoda aplikace roztoku na skleněnou textilii	52
3.Výsledky a diskuse.....	53
3.1. <i>Optimalizace přípravy disperze uhlíku</i>	53
3.1.1. Přehled kontrolních úkapů v závislosti na čase působení ultrazvuku u disperze uhlík + voda koncentrace 5g/l.....	53
3.1.2. Přehled kontrolních úkapů v závislosti na čase působení ultrazvuku u disperze uhlík + aceton koncentrace 5g/l	54
3.2. <i>Stabilizace částic uhlíku na skleněná vlákna pomocí IR laseru</i>	57
3.2.1. Ozařování IR laserem	58
Pro ozařování vzorků IR laserem bylo použito nastavení stanovené v předešlé kapitole. ...	58
3.3. <i>Hodnocení změn</i>	59

3.3.1.	Změna elektrických vlastností.....	59
3.3.2.	Změny ve struktuře skleněné textilie.....	61
3.3.3.	Mechanické vlastnosti – Trhací zkouška	64
3.4.	<i>Vliv elektrického pole na bakterie E-Coli</i>	66
3.4.1.	Použité přístroje a pomůcky	66
3.4.2.	Příprava vzorků	68
4.	Závěr.....	71
5.	Seznam literatury.....	73
6.	Seznam obrázků, tabulek	75

Seznam použitých symbolů a zkratek

AČR	- Armáda České republiky	
ČSN	- Česká státní norma	
ISO	- Mezinárodní organizace pro standardizaci	
m	- plošná hmotnost textilie	[kg .m ⁻²]
PC	- počítačový systém	
q _v	- objemová měrná hmotnost (hustota) textilie	[kg.m ⁻³]
T _M	- teplota tání	[°C]
UV	- ultrafialové záření	

Úvod

V roce 2010 laser oslavil 50 let své existence. Od té doby laser pronikl do všech možných odvětví lidské činnosti. Hlavní využití nalézá v průmyslu, medicíně, vědě a výzkumu, elektronice, zábavním průmyslu jakožto i ve zcela „běžných“ věcech jako jsou laserová ukazovátka, počítačové CD/DVD-ROM apod. Předpoklad využití laseru stále roste a je stále předmětem výzkumu a vývoje pro nové technologie.

V této bakalářské práci jsou zaznamenány experimenty pro stabilizaci částic uhlíku na skleněná vlákna pomocí laseru. Skleněná textilní vlákna se začala vyrábět koncem 19. století. V odborné literatuře se rozlišují dvě velké skupiny:

- 1) textilní výrobky ze skla na izolace a zpevnění jiných materiálů,
- 2) vlákna ve formě kabelu pro elektronický přenos dat tzv. optická vlákna.

U skleněných vláken využíváme hlavně jejich odolnost proti ohni, mnoha chemikáliím, mají též poměrně vysokou pevnost v tahu a nízký modul pružnosti. Při experimentech byl též použit uhlík, jehož vlastností bylo využito ke zvýšení filtračních vlastností skleněné textilie.

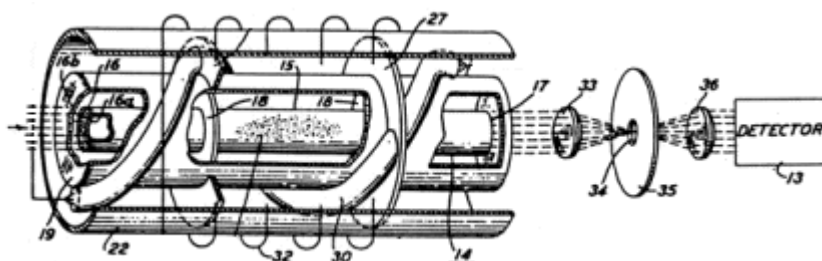
1. Rešeršní část

Rešeršní část se zabývá vznikem a vývojem laserových přístrojů, jejich využitím v současné době a zmiňuje i výrobu, vlastnosti a použití skleněných textilií a vlastnosti a použití uhlíku a vlivu el. napětí na růst bakterií.

1.1. Laser

1.1.1. Historie laseru

Historie laseru se „rozbíhala“ velmi pomalu. Na začátku byla Einsteinova předpověď, že by mohlo za vhodných podmínek vzniknout záření neobvyklých vlastností. Trvalo však téměř 40 let, než se podařilo zdroj takového záření sestavit. Od toho okamžiku však dostaly události nesmírně rychlý spád. Nové zdroje - lasery - začaly z laboratoří fyziků pronikat do nejrůznějších oblastí vědy, průmyslu i běžného života a dnes už nás přímo nebo nepřímo provázejí prakticky na každém kroku. Tvůrci laseru oprávněně získali nejen patent na vynález, ale i Nobelovu cenu.



Obr. 1. Schéma prvního laseru, [3]

V první řadě si musíme uvědomit, že laser je zdroj světla. Abychom porozuměli principům, na jakých je založena jeho konstrukce, musíme se seznámit aspoň se základními poznatky atomové a kvantové fyziky. Atomy látek jsou charakterizovány mj. svým energetickým stavem a světlo vzniká při přechodech atomů z jednoho energetického stavu do druhého. Při těchto přechodech mohou nastat tři případy - absorpce, spontánní emise a stimulovaná emise záření. Tvořivé a originální využití stimulované emise vedlo až ke zkonstruování prvního laseru.[3]

Hlavní mezníky ve vývoji laserové techniky

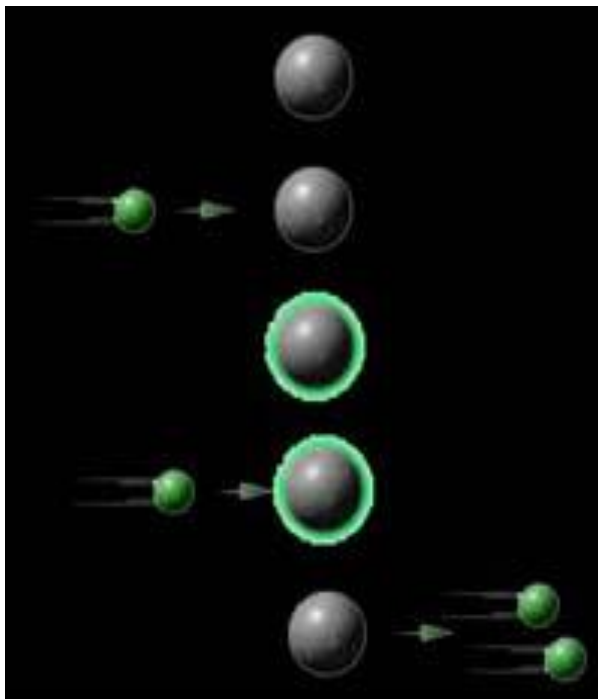
- **1917** Albert Einstein předpovídá, že kromě absorpce a emise záření existuje ještě stimulovaná emise, při níž dochází k zesílení světla, procházejícího látkou.
- **1928** Poprvé byla stimulovaná emise pozorována R. Ladenburgem a H. Kopfermannem v plynu.
- **1940** Sovětský fyzik V. A. Fabrikant navrhl využít stimulovanou emisi v plynném prostředí k zesilování světla.
- **1947** Britsko-maďarský vědec D. Gabor vypracoval teorii holografie.
- **1954** Sovětští fyzikové N. G. Basov a A. M. Prochorov a americký fyzik Ch. H. Townes položili základy novému fyzikálnímu oboru - kvantové elektronice. Byl sestrojen první maser, ve kterém docházelo ke vzniku mikrovlnného záření molekul čpavku. V následujících letech vznikla řada maserů různých typů.
- **1958** Američtí vědci A. L. Schawlow a jeho švagr Ch. H. Townes publikovali v odborném časopise Physical Review článek "Infračervený a optický maser". V něm navrhli konstrukci optického kvantového generátoru, později nazvaného "laser".
- **1960** Theodore H. Maiman, pracující v laboratořích firmy Hughes Aircraft, zkonstruoval první laser, jeho aktivní látkou byla tyčinka ze syntetického rubínu. Vydával červené světlo o vlnové délce 694,3 nanometrů.
- **1960** A. Javan, W. Bennett a D. Herriott sestrojili první plynový laser, aktivní látkou byla směs hélia a neonu. Vlnová délka jeho světla byla 1150 nanometrů. Začal bouřlivý vývoj různých typů laserů a hledání jejich využití.
- **1962** Vznikly první polovodičové lasery, využívající přechodu p-n (R. Hall). Musely být chlazeny kapalným dusíkem na teplotu -196 °C.
- **1964** Basov, Prochorov a Townes obdrželi Nobelovu cenu za fyziku jako ocenění zásluh o vznik a rozvoj kvantové elektroniky.
- **1964** Kumar Patel sestrojil první výkonný laser s oxidem uhličitým jako aktivní látkou, vlnová délka záření 1060 nanometrů.

- **1964** První neodymový laser (Nd:YAG) uvedli do provozu J. F. Geusic a R. G. Smith.
- **1965** První chemický laser, ve kterém dochází k buzení energií, uvolněnou při chemických reakcích.
- **1965** Pomocí laserového světla byly vytvořeny první hologramy (D. Gabor a další).
- **1971** I. Hayashi a M. Panish zkonstruovali první polovodičový laser, pracující při pokojové teplotě.
- **1975** První excimerový laser s excitovanými molekulami xenonu.
- **1983** V USA byl uveden do provozu první excimerový laser, pracující v ultrafialové oblasti (vlnová délka 193 nanometrů).[7]

1.1.2. Základní princip laseru

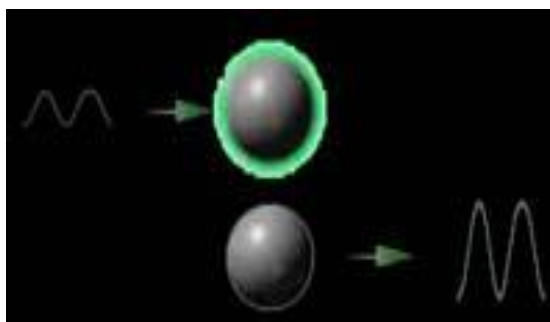
Princip laseru je poměrně složitý, využívá mnoho fyzikálních poznatků, které když dokážeme správně spojit, dokážeme vytvořit světlo obvykle nevyskytující se v přírodě, rozhodně ne v takovém měřítku. [5]

Nejprve než začneme s laserem, bylo by dobré říct si něco o **interakci fotonu a elektronu**. Nachází-li se někde elektron, do něhož vletí foton, elektron pohltí energii fotonu a přesune se (excituje se) na vyšší energetickou hladinu, přičemž foton musí mít přesně stejnou energii, která je potřebná k přesunu elektronu na jinou vyšší energetickou hladinu. Tím pádem nám foton zanikne. Avšak tento elektron na vyšší energetické hladině dlouho nezůstane (řádově 10⁻⁸ s) a spontánní emisí se elektron přesune zpět na jeho základní energetickou hladinu, přičemž vyše foton o stejné energii pryč, avšak náhodným směrem!



Obr. 2. interakce fotonu a elektronu, [5]

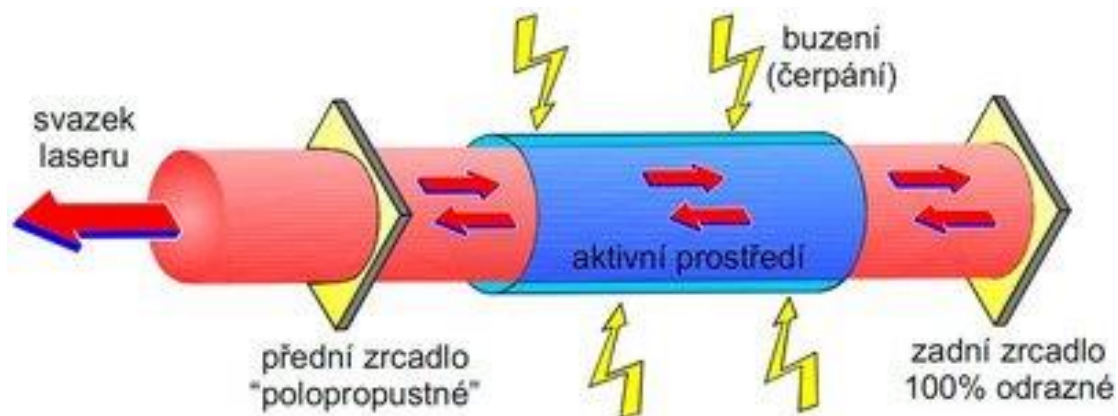
Tentokrát si vezmeme 2 fotony o stejné vlnové délce rychle letící ve velmi malé vzdálenosti od sebe. První foton vletí do elektronu, elektron se excituje, foton zanikne. Ale než se stihne elektron vrátit zpět na základní hladinu, narazí do něho druhý foton. Tento druhý foton donutí elektron přesunout se na základní hladinu, čímž elektron vypustí první foton a první foton letí na rozdíl od prvního případu stejným směrem jako druhý foton. Dva fotony letící stejným směrem o stejné vlnové délce s nulovým posunutím nemůžou udělat nic jiného, než se spojit. Fotony mají jak částicový, tak vlnový charakter. Takže při skládání dvou vln dojde ke vzniku jedné, která má dvojnásobnou amplitudu a tedy 2x větší energii. [5]



Obr. 3 spojení-vln, [5]

Slovo **LASER** je zkratka pro „zesilování světla stimulovanou emisí záření“ z anglického *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Laser tak obecně označuje optický zesilovač, který generuje elektromagnetické záření (světlo) pomocí procesu stimulované emise fotonů, který vychází ze zákonů kvantové fyziky a termodynamiky.

Obecné schéma laseru je zobrazeno na obr.4 níže. Základem laseru je aktivní prostředí, které je nějakým způsobem buzeno (opticky, elektricky apod.). Buzením dodáváme do laseru energii, která je potom právě pomocí procesu stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. K tomu je zapotřebí ještě vytvořit tzv. optický rezonátor, který je nejčastěji tvořen odraznými zrcadly. [1]

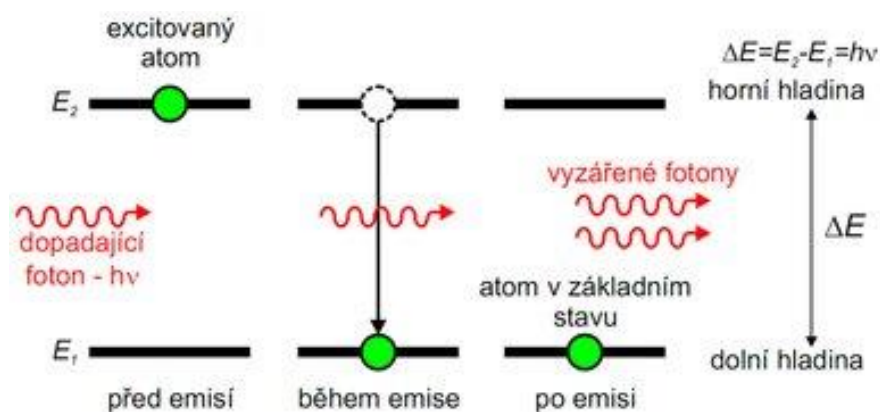


Obr. 4. Obecné schéma laseru, [1]

Jak se tedy dodaná energie do rezonátoru přemění na laserový svazek?

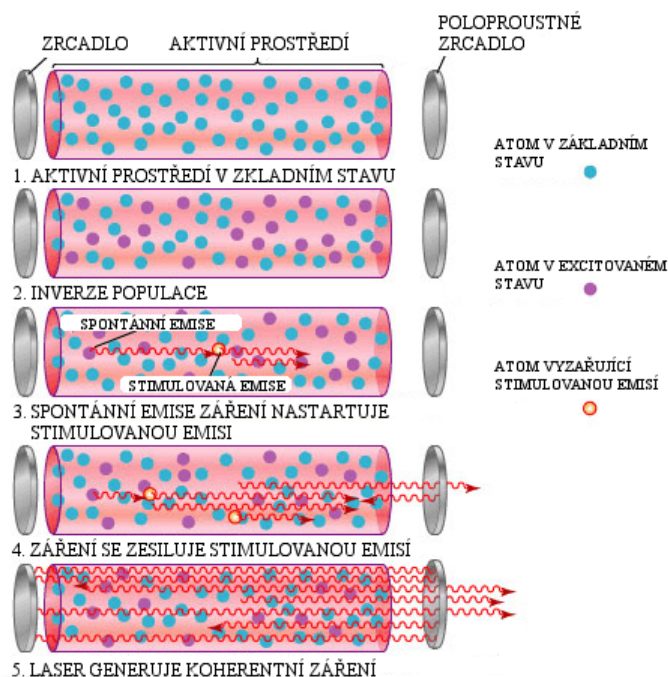
Obecně můžeme říci, že aktivní prostředí vždy obsahuje element, který se může nacházet v základním stavu s nižší energií nebo v excitovaném (vybuzeném) stavu s vyšší energií. Tímto elementem je nejčastěji atom, ale není tomu tak vždy (může to být např. vibrační stav molekuly, chemická vazba apod.). Pro tuto chvíli je důležité, že při přechodu z vyššího do nižšího energetického stavu tento element vyzáří foton (kvantum elektromagnetického záření). Tento zářivý přechod se děje spontánně sám od sebe a prostředí má vždy snahu být ve stavu s co nejnižší energií – ve stavu termodynamické rovnováhy. Právě díky buzení tento stav porušíme a převedeme aktivní prostředí do excitovaného stavu, kdy je většina našich elementů ve stavu s vyšší energií (tento stav se nazývá inverze populace).

Teprve v tuto chvíli můžeme energii dodanou aktivnímu prostředí přeměnit na laserový svazek (proud fotonů) pomocí procesu stimulované emise, který je zobrazen na obr.5 níže. Jedná se v podstatě o lavinovitý efekt, kdy nám foton dopadající na excitovaný atom způsobí (stimuluje) jeho přechod z horní na dolní energetickou hladinu a při tom dojde k emisi dalšího fotonu. [1]



Obr. 5. Přeměna energie na laserový paprsek, [1]

Jak fotony putují rezonátorem od jednoho zrcadla k druhému jejich počet rapidně narůstá a dochází k lavinovitému efektu a uvolnění energie v podobě proudu fotonů (svazek laseru) – viz. obr.6 níže:



Obr. 6. Rezonátor, [1]

1.1.3. Unikátní vlastnosti laserového svazku

Co dělá laserový svazek tak unikátním? Důležité je, že při procesu stimulované emise má dopadající a emitovaný foton stejnou energii (frekvenci), stejný směr, polarizaci a fázi. Z toho plynou základní tři vlastnosti laseru, které ho odlišují od jiných zdrojů záření. Svazek laseru je:

Kolimovaný (tj. nerozbíhá se)

Monochromatický („jednobarevný“, tj. generované fotony mají stejnou frekvenci resp. vlnovou délku)

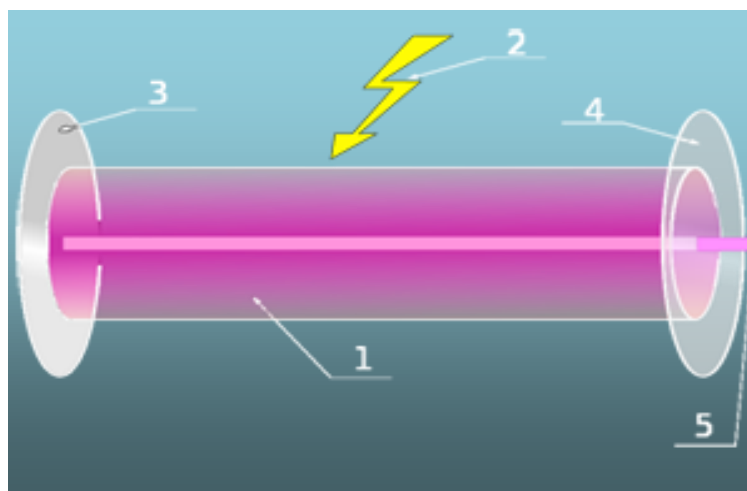
Koherentní (generované fotony jsou tzv. ve fázi jak časové tak prostorové)

Opakem je např. klasická žárovka, která generuje záření zcela „chaoticky“ a generuje fotony rozbíhající se do všech směrů, různých vlnových délek a s náhodnou fází.

Právě díky těmto vlastnostem se stal laser tak cenným pomocníkem v tolika různých aplikacích. U průmyslových aplikací se využívá zejména možnosti fokusovat svazek laseru do malého bodu a dosáhnout tak vysoké plošné hustoty energie, která je potřebná pro opracování daného materiálu (řezání, svařování, značení, kalení apod.). V jiných aplikacích jako je např. holografie je zapotřebí hlavně vlastnosti koherence, atd. [1]

1.1.4. Součásti laseru

Laser se skládá z pěti hlavních částí:



Obr. 7. Části Laseru, [4]

- 1) *Aktivní prostředí*
- 2) *Zdroj záření (výbojka)*
- 3) *Nepropustné zrcadlo*
- 4) *Polopropustné zrcadlo*
- 5) *Laserový paprsek*
- 6) *Ostatní příslušenství*

1) Aktivní prostředí

Aktivní prostředí je látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Na těch přeskakují elektrony z nižší energetické hladiny na vyšší, poté na metastabilní a zpět na nižší energetickou hladinu.

Na nižší energetickou hladinu můžou elektrony přeskočit dvěma způsoby:

- a) Stimulovaná emise
- b) Spontánní emise

Aktivní prostředí lze dělit do čtyř základních skupin:

- **Plynové** - aktivní prostředí se skládá z jednoho či více plynů
- **Pevnolátkové** – prostředí je tvořeno krystalem
- **Diodové** – tvořené polovodičem s přechodem typu p-n
- **Kapalinové** - tvořeny roztoky různých organických barviv
- **Volné elektrony**

2) Rezonátor

Laser využívá rezonátor k zesilování světla.

Rezonátor jsou 2 k sobě rovnoběžné zrcadla a zároveň kolmé na osu laseru. Jedno z nich je nepropustné a druhé je polopropustné.

Jako nepropustné zrcadlo se většinou používá dielektrické zrcadlo, nebo lze také použít kvalitně leštěný kov (zlato). Ve výjimečných případech, především u laserové diody, nám poslouží rozhraní aktivního prostředí se vzduchem.

Polopropustné zrcadlo propouští fotony ven až při větší intenzitě, jinak udržuje fotony dále v aktivním prostředí.

Některé lasery, které dokážou vyvinout dostatečně velkou energii při jednom průchodu aktivním prostředím, nepotřebují rezonátor a pracují tzv.

"superradiačně" - dokážou získat dostatečnou energii jedním průchodem. Mezi ně patří např. měděný laser nebo dusíkový laser.

Rezonátor se také nepoužívá u laserových zesilovačů. To je aktivní prostředí, kterým akorát prochází laserový paprsek z důvodu jeho zesílení a pokračuje dál bez jakéhokoliv odrazu.

Zrcadla jsou většinou rovinná, ale můžou být i zakřivená. V některých případech je lepší použít zrcadla konkávní (vydutá - směr dovnitř) a v jiných zase konvexní (vypuklé - směr ven). Stabilita záření v rezonátoru závisí především na poloměru zakřivení zrcadla, ale i na délce rezonátoru.

3) Zdroj záření

Zdroj záření slouží k dodávání energie elektronům v aktivním prostředí, aby se mohly přesouvat z nižší energetické hladiny na vyšší energetickou hladinu. Zdroj záření může být např. elektrický proud, výbojka, chemická reakce a jiné.

4) Laserový paprsek

Laserový paprsek vycházející z aktivního prostředí přes polopropustné zrcadlo je koherentní (nerozbíhavý) a monochromatický (jednobarevný)

Jeho rychlost v je stejná jako rychlost světla, tedy $v = 300\,000$ km/s.

5) Ostatní příslušenství

- Chladič laseru - při vyšších výkonech důležitý, slouží k ochlazení laseru a k ochraně probíhajícího procesu.
- Součásti pro dodávání energie aktivnímu prostředí
- Měřič výkonu
- Kalibrační přístroje
- Nelineární krystal měnící vlnovou délku[4]

1.1.5. Klasifikace-typy laserů

I když všechny lasery pracují na stejném základě (stimulované emise), liší se velmi výrazně svou konstrukcí i vlastnostmi.

Pro jejich rozdělení do skupin můžeme zvolit různá kritéria, např.:

- **skupenství aktivního prostředí:** pevná látka, kapalina, plyn, polovodič
- **vlnová délka:** submilimetrové, infračervené, viditelné světlo, ultrafialové, rentgenovské
- **excitace (buzení, „pumpování“):** optickým zářením, elektrickým polem, chemickou reakcí, elektronovým svazkem atd.
- **počet energetických hladin:** dvou, tří a vícehladinové
- **režim práce:** pulzní, kontinuální (spojitý)

Z těchto kritérií zůstává prakticky beze změny jen rozdělení podle prvního kritéria. S vývojem stále nových typů se ostatní uvedené skupiny neustále doplňují a mění.



Obr. 8. Příklady laserových přístrojů, [6]

Podle typu aktivního prostředí se dělí na:

- **pevnotátkové lasery**
- **polovodičové lasery**
- **plynové lasery**
- **kapalinové lasery**
- **plazmatické lasery**

Pevnolátkové lasery

Aktivním prostředím jsou krystalické nebo amorfni izolanty s příměsí vhodných iontů, excitace je obvykle optická. Tyto lasery mohou pracovat v různých režimech a za různých provozních podmínek, jsou stabilní a mají malé nároky na údržbu. Jejich záření má vlnové délky v oboru infračerveného a viditelného světla. Nejznámějším představitelem je laser **rubínový**, jehož aktivním prostředím je krystal syntetického rubínu. Právě z rubínové tyčinky se Maimanovi podařilo získat první laserový paprsek červeného světla. Nejrozšířenější je dnes laser **neodýmový**. Vyzařuje IR nebo zelené světlo.

Kapalinové lasery

Aktivním prostředím těchto laserů jsou roztoky různých organických barviv. Pomocí několika druhů barviv a metod tzv. nelineární optiky je možno dosáhnout prakticky všech vlnových délek od 300 nm do 1500 nm. Proto se kapalinové lasery používají např. ve spektroskopii. Jejich nevýhodou je krátká životnost aktivního prostředí, které se teplem a světlem rozkládá.

Plynové lasery

Aktivní plynné prostředí může být tvořeno atomy, ionty nebo molekulami. Plynové lasery pracují ve velmi širokém rozsahu vlnových délek v kontinuálním nebo pulzním režimu. Jejich excitace je většinou pomocí elektrického výboje ve zředěném plynu, optická excitace se používá jen zřídka. Plynové lasery mají homogenní aktivní prostředí, které zajišťuje jejich výborné parametry. Nevýhodou je poměrně malý výkon. K nejrozšířenějším typům patří červeně zářící **helium - neonový** laser, v průmyslu a medicíně se nejvíce používá **infračervený** laser **CO₂**. Světelné efekty poskytuje např. modře a zeleně zářící laser **argonový**. Zvláštním typem plynových laserů jsou lasery **excimerové**, které jsou výkonným zdrojem ultrafialového záření. Aktivním prostředím jsou molekuly, vzniklé spojením dvou atomů různých vzácných plynů (argon - krypton, krypton - fluor apod.) působením svazku elektronů.

Polovodičové lasery

Tato skupina laserů dnes patří mezi nejrozšířenější, zdrojem záření je tzv. laserová dioda. Diody mají velmi malé rozměry, což je na jedné straně jejich

výhoda, na druhé straně je jejich paprsek rozbíhavější než u jiných typů laserů. Účinnost diod je vysoká (až 50 %), jejich výkon se dá snadno měnit (modulovat) změnou elektrického proudu . [6]

Podle vysílaných vlnových délek:

- infračervené lasery
- lasery v oblasti viditelného pásma
- ultrafialové lasery
- rentgenové lasery

Podle energetických hladin zjištěných při laserovém kvantovém přechodu:

- molekulární
- elektronové
- jaderné

Podle délky generovaného impulsu – lasery:

- s dlouhými impulsy
- s krátkými impulsy
- s velmi krátkými impulsy (pikosekundové, femtosekundové)

Podle typu buzení – lasery buzené:

- opticky
- elektrickým výbojem
- elektronovým svazkem
- tepelnými změnami
- chemicky
- rekombinací [8]

1.1.6. Využití laserů

Využití laserů je obrovské, najdeme je v mnoha oborech jako např. v **medicíně**, **průmyslu**, **mikroelektronice**, **měřicí technice**, **výpočetní technice** ale i ve **vojenství**.

Laser v medicíně

V medicíně se začal **rubínový laser** využívat ihned. Nejprve v oftalmologii (operace oční sítnice) a v kožním lékařství, při odstraňování pigmentových skvrn. Pro lékaře byly hlavní důvody použití laseru možnost seskupit světlo na miniaturní plochu, možnost řezání tkání velmi úzkými řezy a možnost odpařování tkání. Dnes toto odvětví nazýváme jako laserovou chirurgii.

Výhody této techniky jsou i v šetrnosti a bezpečnosti při operacích. Při řezání nedochází k dotyku s tkání a tím se zabrání zanesení infekce do rány. S postupným rozvojem laserové fyziky a vynalezením různých druhů laserů se využití v medicíně rozšířilo i na dermatologii, plastickou chirurgii, neurochirurgii, gynekologii, stomatologii a další.

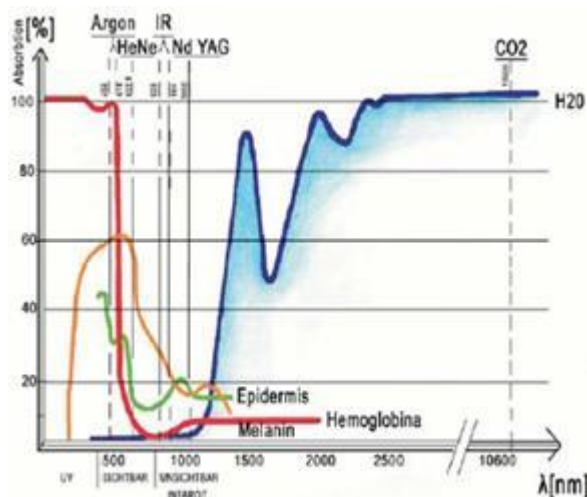
Laserová terapie

Laser se používá i v terapii. Využívá se pohlcování laserového světelného paprsku ozařovanou tkání, která zlepšuje své vlastnosti. Především se zlepšuje prokrvování tkáně a tím se zrychlí rychlost hojení případné rány, taktéž se může zvýšit kapilární tlak a tím dosáhneme lepší absorpce tekutin, zlepšuje se funkce nervů a celkově se stimuluje a optimalizuje daná část pokožky.

Lasery se v laserové terapii dají dělit do základních skupin:

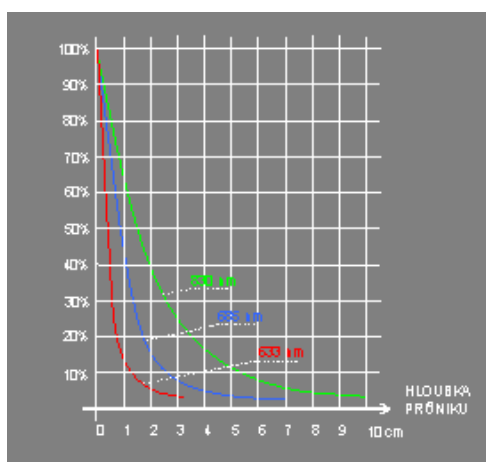
- Podle výkonu laseru
 - do 1mW
 - do 5mW
 - do 500mW
- Podle vlnové délky laseru
 - spektrum modré barvy
 - spektrum zelené barvy
 - spektrum červené barvy
 - spektrum infračervené barvy
- Podle ovládání laseru
 - ruční
 - strojové (řádkové)
 - strojové (rastrovací)

Každá vlnová délka je pohlcována jinak. Graf nám znázorňuje míru pohlcení laserového paprsku v závislosti na jeho vlnové délce a pohlcované tkáni. Jak je vidět, hemoglobin, neboli červené barvivo v krvi pohlcuje lépe lasery o malé vlnové délce, zatímco voda pohlcuje lasery o větší vlnové délce.



Obr. 9. Pohlcování laserového paprsku, [9]

Zajímavější graf je přitom závislost průniku laserového paprsku do tkáně na jeho vlnové délce. Z logiky věci vyplývá, že výkonnější laser bude mít větší průnik, avšak není tomu tak ani naopak. Největší průnik tvoří laser o vlnové délce zeleného světla, tudíž menší i větší vlnová délka laseru mají menší hloubku průniku. Vlnovou délkou laseru tedy můžeme zajistit hloubku ošetřovaného místa. [9]



Obr. 10. Průniku laserového paprsku do tkáně, [9]

Laser v průmyslu

Laser se v tomto oboru využívá především ke svařování, vrtání, řezání (dekorace skla, rýhování skla), žihání a další. Hlavní výhodou použití laseru je možnost opracování bez kontaktu s výrobkem, pro opracování na dálku a v ochranné atmosféře. Dále se nabízí možnost opracování špatně přístupných míst materiálu a lepší opracování z hlediska technologického.

Konkrétní využití laseru v průmyslu:

Laserové řezání

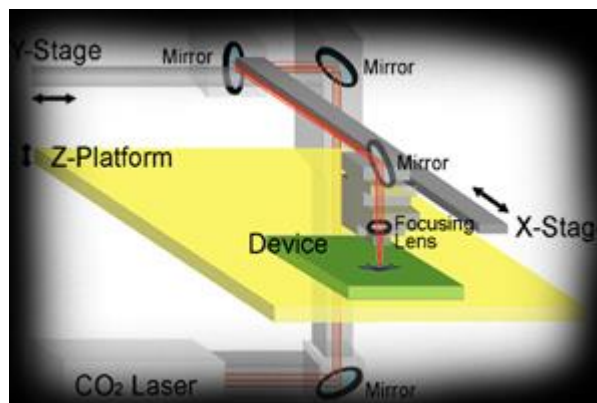
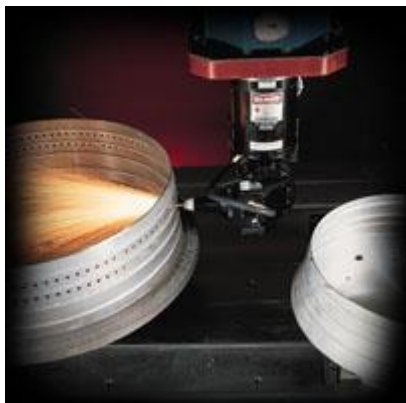
Laserové řezání materiálů se využívá především u materiálů s malou tepelnou vodivostí. Cílem je oddělit části od sebe bez většího rozšíření tepla na zbytek součásti. Používají se především kontinuální CO₂ lasery se středním výkonem (do 15kW). V průmyslu se při řezání dále přivádí plyn, např. kyslík, který zvětší tepelné účinky a urychlí proces řezání. Tímto způsobem se dají řezat součásti jako např. titan, oceli s nízkým obsahem uhlíku a nerezové oceli. Při řezání keramiky, plastů a dřeva je přiváděn interní plyn, který slouží pro odstranění tavenin a odpařujícího se materiálu. Dále se tímto způsobem dají řezat textilní materiály, papír či sklo. Výhodou použití laseru k řezání je hlavně velká rychlost, velká přesnost a s tím možnost automatizace, bezkontaktnost a nezahřívání materiálu.



Obr. 11. Příklady laserového řezání, [9]

Laserové vrtání

Laserové vrtání využívá vysokou teplotu k odpaření materiálu v místě vrtu. Intenzita proto musí být mnohem větší než u svařování. Využívá se proto impulsních laserů s délkou impulsu menší než 1 ms. Již v roce 1965 byl využit laser pro vrtání do diamantu, kde aktivní prostředí byl rubínový laser. Předností laserového vrtání je možnost vrtání velmi úzkých otvorů řádově v desítkách μm a v těžce dostupných místech.



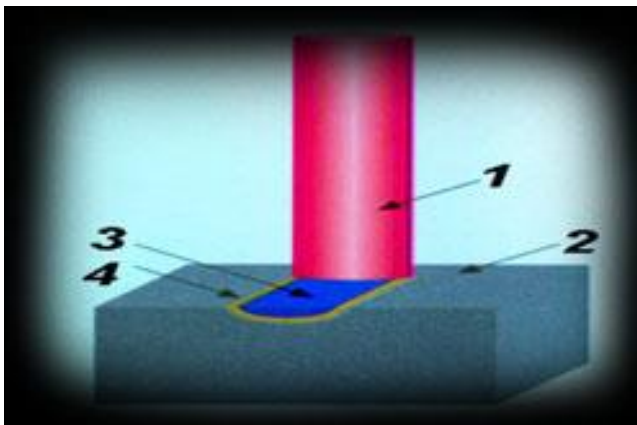
Obr. 12. Příklady laserového vrtání, [9]

Laserové svařování

Využívá se roztavování materiálu optickým zářením do požadované hloubky s minimálním odpařením materiálu. V praxi se používají obzvláště kontinuální lasery s vlnovou délkou v infračervené oblasti spektra CO₂ laseru. Svařování oproti jiným aplikacím vyžaduje menší intenzitu záření, a větší délku impulsu (v ms). Výhodou svařování laserem je jak absence dotyku s materiálem, tak lokální ohřev na malých plochách, ale i rychlé chladnutí, schopnost svářet materiály různých druhů a svářet v ochranné atmosféře. Dnes se toho využívá při svařování kardiostimulátorů, kontaktů v elektronice, plechů v automobilismu a letectví.

Laserové kalení

Laserové kalení je tepelné zpracování kovů, přičemž laser se využívá jako velmi rychlý zdroj tepla. Výhodou je lokálnost ohřívání materiálu a ohřev na těžce přístupných místech. Využívá se k tzv. transformačnímu zpevňování materiálu v letectví a automobilismu.



Obr. 13. Příklad laserového kalení, [9]

Laserová dekorace skla

Laserová dekorace skla využívá laserového paprsku k řezání, přičemž při dopadu paprsku na sklo dojde k částečnému roztavení skla a k povrchovému popraskání. To způsobí rozptyl laserového paprsku, který nám způsobí zářivost skla. K dekoraci skla se musí využívat laser, které sklo dobře pohlcuje, proto se využívá kontinuálního CO₂ laseru.



Obr. 14. Příklad Laserová dekorace skla, [9]

Laserové značkování

Je založena stejně jako vrtání na odpařování materiálu. Laser avšak u značkování prochází šablonou, ve které máme vyřiznuté potřebné tvary. Při dopadu záření na materiál se na něm tvoří obrazec. Další způsob je pohyb laseru resp. materiálu na místa kde mají být znaky.

Lze nanášet na polovodičové materiály, kovové a keramické materiály, papír, sklo, plasty atd. Tloušťka znaků se pohybuje v řádech μm . Používají se impulsní lasery s vyšším výkonem. Výhodou laserového značkování je samozřejmě bezkontaktnost a tím vyloučení zbytečných deformací.

Laser v ostatních odvětvích

Laser se v ostatních odvětvích využívá především díky mnoha jeho vlastnostem, jako jsou nerozbíhavost, rychlost laserového paprsku, odraz a intenzita.

Lasery a vojenské využití

Laser se ve vojenství využívá především k zaměřování a označování cílů. Laserové zaměřovače se nacházejí na zbraních, které mohou poté viditelně označit cíl. Laserové dálkoměry slouží k přesnému změření vzdálenosti cíle, jeho polohy a k lepšímu zaměření např. tanků. Přesnost raketových střel s laserovým naváděním dosahuje velmi přesných hodnot, které lze jinak jen velmi těžko dosáhnout. Na základě výsledků ze zaměření cíle lze potom stanovit optimální dráhu balistických raket. Laser by se dal taktéž využít přímo ke zničení cíle laserovým paprskem, ale musel by mít obrovskou energii, kterou nelze jen tak na nějaké zbrani vytvořit. Výhodou by byla především rychlost laserové "střely" (300000km/s) a lehké zaměření cíle.

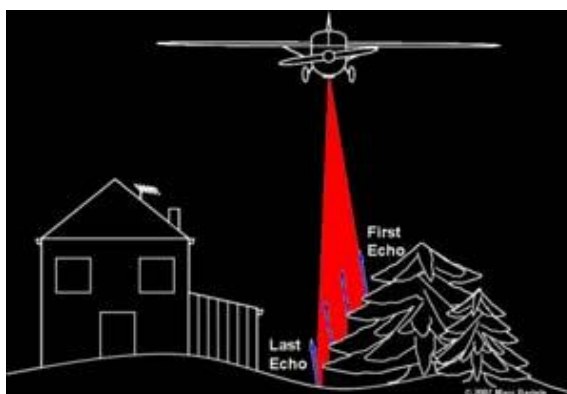


Obr. 16. Příklady vojenského použití, [9]

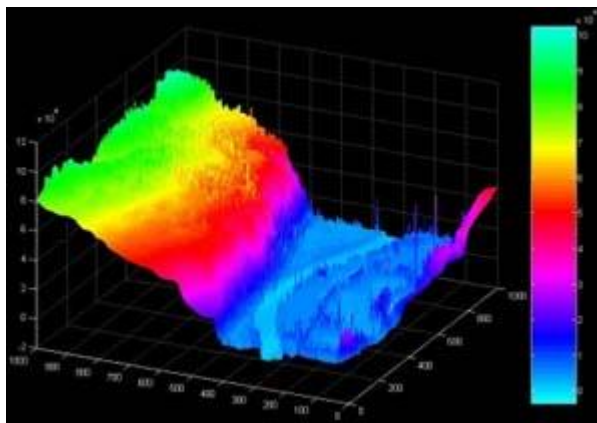
Laser v ekologii a meteorologii

Laserové radary nazývané jako "Lidary", se používají k měření částic v ovzduší. Laserový paprsek je vyslaný do atmosféry, kde se částečně odráží a částečně rozptyluje molekulami a aerosoly.

Pomocí těchto zařízení tedy změříme výšku spodní hranice oblačnosti, profil mraků, turbulence, proudění vzduchu v atmosféře nebo výskyt různých látek v ovzduší.



Obr. 17. Příklad použití radaru Lidary, [9]



Obr. 18. Výstup z radaru Lidary, [9]

Nejběžněji se setkáváme s lasery:

- v laserové tiskárně
- v čtečce čárových kódů
- v laserovém ukazovátku
- v laserovém metru

1.1.7. Laserové zpracování materiálů

Ve zpracování materiálů se laser využívá jako nositel intenzivní radiační energie, usměrněné na zpracovaný objekt. Energetický účinek laseru na materiály závisí na fyzikálních vlastnostech materiálů a na parametrech laseru, samozřejmě, významně ho ovlivňuje čas interakce laseru s materiálem.

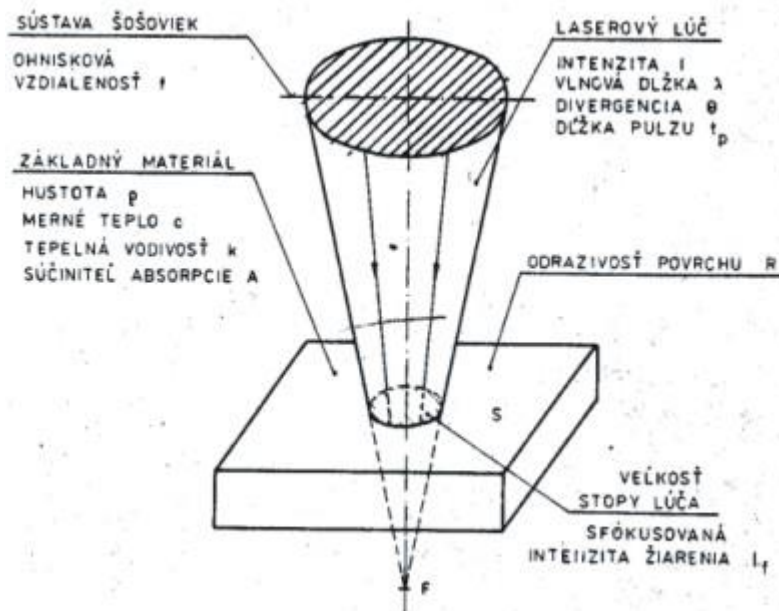
Laserový materiál je možné charakterizovat laserovatelností, kterou můžeme definovat jako způsobilost materiálu v interakci s výkonovým laserem za vhodných ostatních podmínek, dosáhnout požadovaný výsledek operace. Tento pojem je otevřenou soustavou.

V technologických aplikacích se používají lasery s vlnovou délkou z intervalu $(0,4 ; 10,6) \cdot 10^{-3}$ mm. Optické vlastnosti laseru se řídí zákony optiky elektromagnetického vlnění. Velký stupeň koherentnosti a velmi malá divergence paprsku umožňují zkoncentrovat laser optickými zařízeními do průměrů 0,05 až 0,25 mm, takže hustota energie laseru v místě jeho interakce s materiálem je potom větší než 10^6 až $10^9 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, což umožňuje dosáhnout v ultrakrátkém čase - několika nanosekund - v této lokalitě teplotu až $25 \cdot 10^3$ K.

Výsledek interakce laserového paprsku s materiálem podstatně závisí na součiniteli absorpce laserového paprsku v materiálu. Velikost tohoto součinitele určují: druh materiálu, stav jeho povrchu a teplota, vlnová délka laseru. Absorpce se zvětšuje zmenšením vlnové délky laseru, zvýšením teploty materiálu, úpravou povrchu materiálu (zvětšení nerovnosti povrchu, nekovová vrstva, předcházející poškození povrchu laserem apod.). Z ostatních vlastností materiálů je důležité tepelná vodivost - malá tepelná vodivost je výhodná pro dosažení vysoké teploty v místě interakce laserového paprsku s materiálem (obrábění, dělení), velká tepelná vodivost zase tehdy, když se má splnit požadavek minimalizace vypařování kovu v první fázi této interakce (tepelné zpracování, svařování, apod.).

O velikosti odevzdané energie laseru do materiálu významně spolurozhoduje divergence paprsku, která se musí minimalizovat, a poloha ohniska laserového paprsku vzhledem k zpracovávanému povrchu. Největší energetické ovlivnění materiálu se dosáhne ztotožněním ohniska laserového paprsku s povrchem materiálu. Některé technologické operace však vyžadují velkou šířku stopy laserového paprsku při menší požadované energii. Dosáhne se toho defokusací laseru vzhledem k povrchu materiálu.

Vyslovená tvrzení o vlivu materiálových charakteristik a laserových parametrech na proces laserování ilustruje obr. 19.



Obr. 19. Schéma parametrů laserového technologického procesu, [10]

Většina laserových technologických procesů je založená na tepelném účinku laseru na neprůhledná prostředí. Absorbovaná energie laseru se odevzdá tepelným kmitem mřížky pevné látky, zvětší se tím střední kinetické energie atomů anebo molekul látky, tj. zvýší se teplota látky, látka se zahřívá. Teplota látky se v této interakci zvyšuje s dobou trvání interakce laserového paprsku s látkou. Už i na základě této zjednodušené představy o mechanismu ohřevu látek je možné vysvětlit možné aplikace laseru v technologických procesech. [10]

1.2. Textilní materiály

Z hlediska získávání vláken, dělíme vlákna na přírodní, chemická a syntetická. Přírodní vlákna jsou rostlinná, živočišná a anorganická. Rostlinná jsou získávána ze semen (bavlna) nebo ze stonků (len, juta, ramie, konopí). Živočišná vlákna jsou z chlupů (vlna) nebo včíměšků (hedvábí bource morušového, pavučinová vlákna). Chemická vlákna mají za surovinu přírodní polymer, např. celulózu, která se chemicky zpracovává ve vlákna. Nejznámější z nich jsou vlákna viskózová,

modalová, acetátová a další. Syntetická vlákna jsou vlákna připravená ze syntetických polymerů, které svými dlouhými molekulami jsou předurčeny za vláknotvorné materiály. Každé textilní vlákno je útvarem značně složitým a to jak po stránce jeho struktury a z ní vyplývajících vlastností. Po chemické stránce řadíme textilní vlákna mezi polymerní látky, jejichž chemická a fyzikální struktura umožňuje vytvářet lineární makromolekuly – dlouhé molekuly nitkovitého tvaru bez objemných bočních řetězců. Mezi jednotlivými molekulami existují velmi pevné vazby (chemické, kovalentní), které drží základní molekuly pohromadě. Makromolekula může být složena ze dvou nebo i ze tří různých, vzájemně snášejících se polymerů. Příčinou těchto modifikací jsou cílené vlastnosti budoucího vlákna [11].

1.2.1. Vlastnosti vlákenné struktury

Struktura vlákna, ať se jedná o vlákno přírodní, kde vzniká v průběhu jeho růstu nebo chemického je základem jeho vlastností. Do jisté míry je tu nesrovnalost v rychlosti její tvorby. U vláken přírodních celulósových je dána jejich pozvolným růstem v závislosti na klimatických poměrech a změnách, u vláken přírodních živočišných je dána životními podmínkami jejich nositele. Proti vláknům chemickým (regenerovaným a syntetickým), kde k jejich tvorbě dochází ve zlomkách sekund včetně prodloužení, je cílená jejich struktura svou stavbou diametrálně odlišná proti vláknům přírodním. Stavbu struktury přírodních vláken lze těžko dosáhnout, proto chemických vláken se používá v kombinaci s vlákny přírodními k získání cílených vlastností plošných textilií, ale i samotných speciálně profilovaných vláken využívajících tepelných a vlhkostnětransportních vlastností pletenin jako je např. pětilaločnaté polypropylenové vlákno fy Moira. Vždy se volí struktura vláken vstupujících do směsi taková, aby výsledná vlastnost výrobku odpovídala požadavku. [11]

Je známo, že čisté látky mají definovaný bod tání T_m , pod nímž dochází ke vzniku náhodného uspořádání v kapalině. V pevném stavu dochází k periodickému 3D přesnému uspořádání, tj. krystalizaci. Zde jsou jednotlivé atomy umístěny v definovaných vzdálenostech a směrech (krystalické mřížce). Krystaly

mají uspořádání jak na malých délkách (0,1 – 0,3 nm) tak i na velkých (100 nm) vzdálenostech.

Charakteristikou polymerů je:

- vysoká viskozita rostoucí se snižováním teploty. Krystalizují pouze ty struktury, kde jsou lineární řetězce bez bočních skupin. Řada polymerů je po ztuhnutí v amorfním stavu.
- kromě krystalických oblastí jsou ve struktuře také amorfní oblasti a imperference
- z roztoku lze připravit polymerní monokrystaly
- většina vláken patří mezi semikrystalické polymery se stupněm krystalinity X .

Základním útvarem stabilizovaného vlákna je vřetenovitý útvar o délce $l = 1 \mu\text{m}$, tloušťce $d = 10 \text{ nm}$, nazývaný mikrofibrila. Ta se skládá z pravidelně se střídajících krystalických oblastí K a amorfních oblastí A. délka amorfní oblasti 1 – 6 nm. Uspořádání je zde vysoké, rozdíl hustot mezi K a A je 10%. Vyšší útvar je fibrila tvořená paralelními svazky mikrofibril spojených vaznými řetězci. Fibrilární struktura odpovídá vlákenné struktuře u většiny klasických vláken. V případě působení tlaku nebo tahového mechanického namáhání je již tavenina nebo roztok vlivem silového pole orientována. Ve velmi zředěném míchaném roztoku vzniká struktura typu „ražničí“, kdy na centrální části tvořené lamelami napřímených řetězců jsou bočně umístěny lamely se skládanými řetězci. Z koncentrovaných roztoků vznikají fibrily s napjatými řetězci. Polymery s tuhými řetězci se uspořádávají již v tavenině nebo roztoku. Vzniká 1D nebo 2D uspořádání tyčinkovitých makromolekul. Ve vláknech jsou pak oblasti s napjatými řetězci. Stupně krystalinity se určují z hustoty [12].

Vlastnosti vláken souvisejí s:

- chemickým složením
- způsobem výroby
- kombinací obou
- popisující zpracovatelnost

- popisující užitnost
- popisující trvanlivost

Typické vlastnosti související s použitím technických vláken se dělí do několika skupin:

- geometrické vlastnosti: délka, jemnost a tvar příčného řezu
- mechanické vlastnosti: pevnost, tažnost, modul, tuhost, zotavení atd.
- termické a termomechanické vlastnosti: bod tání, zesklnění, přechodové teploty, ztrátový úhel, ztrátový modul, atd.
- elektrické vlastnosti: statický náboj, dielektrické chování, isolační schopnosti
- povrchové vlastnosti: adheze, transportní chování
- oděr a stárnutí
- chemická odolnost

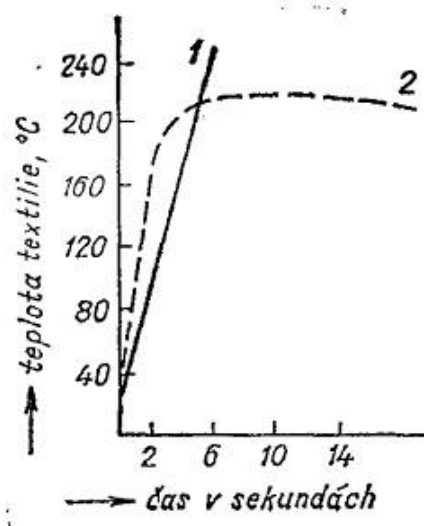
1.2.2. Vliv IR záření

Proniká-li IR záření látkou, která je nepohlcuje, nedochází prakticky k žádným ztrátám zářivé energie, nýbrž pouze ke změně rychlosti jeho šíření. Poměr rychlosti, jakou se záření šíří ve vakuu, k rychlosti, jakou se šíří v látce je dán jejím indexem lomu. Neexistuje látka, která by propouštěla elektromagnetické záření v celém jeho rozsahu. Každá je alespoň v jedné nebo v několika oblastech absorbuje. Vzduchem, které obsahuje vodní páry, opar, prach apod., se šíří na větší vzdálenosti než záření viditelné, protože ztráty rozptylem jsou vzhledem k větší vlnové délce menší. Podle Rayleighových měření je intenzita rozptýleného záření všeobecně nepřímo úměrná čtvrté mocnině délky vlny procházejícího záření.

Elementárním zdrojem všech druhů záření jsou atomy a molekuly hmoty, které vyjadřují změny stavu. Vracejí-li se elektrony ze vzdálenějších drah na základní dráhu, uvolněná energie ve formě bohatých fotonů má odpovídající vlnovou délku. Jestliže energetický rozdíl drah elektronů je malý, jsou i vzniklé fotony energeticky chudé a vzniká dlouhovlnné záření infračervené. Dalším zdrojem IR

paprsků jsou kmitající molekuly s dipólovou stavbou. Změny v chování celých molekul mohou způsobit, že je vysílána energie malého kmitočtu.

Použití infračervených zářičů při zpracování tkanin, zejména při fixaci syntetických textilií, vyvolává stejné problémy jako sušení nebo zpracování horkým vzduchem. Základním problémem zůstává pravidelné rozdělení teploty po celém průřezu textilie. Místní přehřátí vede k poškození materiálu a současně probíhá oxidace. Poškození infračervenými paprsky probíhá za vyšší teploty, než jaká je zaznamenávána čidly v tepelném zařízení. Energie absorbovaná textilními vlákny z IR zářičů je podstatně větší. Průběh absorpce tepla probíhá jinak než u horkovzdušného zařízení, kde maximálně absorbovaná tepelná energie je úměrná teplotě okolí.



Obr. 20 Průběh zahřívání textilií infračerveným zářením a horkým vzduchem v závislosti na čase 1 – infračervené záření, 2 – horký vzduch

Na základě podrobnějších měření byly sledovány vztahy mezi podmínkami ozařování a absorbovanou energií. IR záření zahřívá textiliu paprsky, jejichž vlnová délka se pohybuje od 2800 až do 10 000 nm. Emise technických zářičů má rozdílnou intenzitu, přičemž energetického maxima je dosahováno u krátkých vln v oblasti 800 až 2000 nm, u středních 4000 nm a 3000 až 8000 nm u vln dlouhých. Polyamidová folie o tloušťce 20 mikronů absorbuje střední infračervené vlny za časovou jednotku o 30% více než polyesterová folie za stejných podmínek. Závislost absorpce na vlnové délce klesá s rostoucí tloušťkou

a při intenzitě $0,5 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ v hloubce 60 až 70 mikronů je již nepatrná. Intenzitu záření W lze vyjádřit jako funkci vzdálenosti R a energií záření zářiče

$$W = S / R^2$$

Se zmenšující se vzdáleností přibývá intenzity záření exponenciálně. Náhlý růst teploty při malé vzdálenosti proto zvyšuje nebezpečí poškození vlákna. Pronikání infračerveného záření je silně ovlivňováno vlastnostmi povrchu textilií. U tkanin s obvyklou strukturou a hustotou dostavy je absorpce záření třikrát větší než u kompaktnějšího materiálu, jakým je například fólie. Ve srovnání s použitím horkého vzduchu znamená však použití infračervených zářičů se střední vlnovou délkou podstatné zkrácení fixace a sušení při přesném dodržování technologických podmínek.

1.2.3. Tepelné poškození textilie

Znalost tepelných degradačních procesů různých druhů textilních vláken může sloužit jako vodítko při jejich výběru a správném průmyslovém využití. Všechna organická přírodní vlákna při teplotách nad 100°C prodělávají určité změny, které mají podstatný vliv na jejich další vlastnosti. Bavlna je při teplotě 100°C poměrně odolná. Při 120°C se rozkládá poznenáhle, při 150°C se tvoří pyrocelulosa a při 240°C vznikají plynné zplodiny za současného zuhelnatění. Působením suchého vzduchu od 110°C výše na celulosová vlákna nastává rychlý úbytek pevnosti a tažnosti, doprovázený snížením polymeračního stupně. Vlhký a horký vzduch při 60°C a relativní vlhkosti 95% způsobuje při dlouhodobém působení hydrolytickou destrukci, která se projevuje poklesem pevnosti vlákna.

Vlna ztrácí vlivem vlhkého horka na pevnosti, stává se však tvárnou. Suché teplo při 100°C až 106°C působí po delší době velmi nepříznivě, vlna pozbývá tvárnost a stává se nepružnou a lámavou. V suchém teple kolem 115°C ztrácí vlna vodu chemicky vázanou, kterou již nemůže pojmouti zpět. Při teplotě nad 120°C po delší době hnědne, přičemž lze pozorovat únik amoniaku i sirovodík. Všeobecně možno říci, že suché teplo působí na vlnu méně škodlivě než teplo vlhké při stejné teplotě.

Polyaromatická vlákna a příze

První výrobek s tepelně stabilními vlastnostmi byl uveden na trh pod značkou NOMEX. NOMEX má poměrně nízký bod měknutí a rozkladu (kolem 550°C). Také jeho oxidační odolnost není dobrá, alespoň ne taková jako u některých jiných dalších aromatických polyamidů, například polytereftalamid-benzidinu [13].

1.2.4. Skleněná textilní vlákna

Skleněná textilní vlákna se začala vyrábět koncem 19. století. V odborné literatuře se rozlišují dvě velké skupiny:

- textilní výrobky ze skla na izolace a zpevnění jiných materiálů,
- vlákna ve formě kabelu pro elektronický přenos dat

Vlastnosti

Sklo je odolné proti ohni a mnoha chemikáliím, má poměrně vysokou pevnost v tahu a nízký modul pružnosti. Vlhkost však pevnost vláken snižuje a odolnost proti trvalému namáhání a pevnost v oděru je rovněž nízká. Průměrná hmotnost je asi 2500 kg/m³, bod tání až přes 1000°C, dlouhodobě snáší sklo teploty až 450°C.

V tabulce je příklad 3 druhů skla nejčastěji používaných k výrobě textilního vlákna. Všechny obsahují nejméně 50 % oxidu křemičitého (SiO₂), obsahem ostatních chemických prvků se jednotlivé druhy liší.

Například E-sklo obsahuje 55 % SiO₂, 18 % CaO, 8 % Al₂O₃, 4,6 % MgO a jiné prvky s podíly pod 5 %. Vlákna z E-skla jsou vhodná jako elektroizolační materiál. S-sklo snáší teploty přes 1000°C a je méně pružné. C-sklo je mimořádně odolné proti chemikáliím.

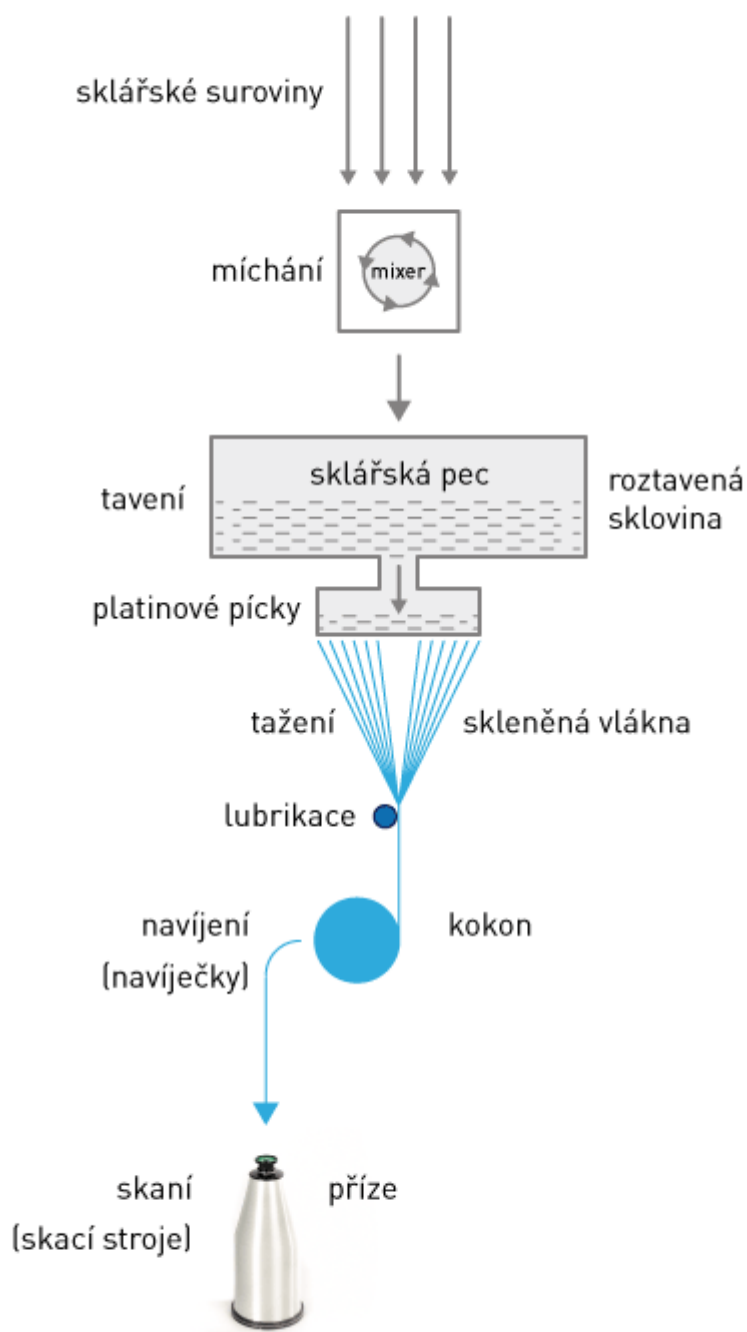
Výroba

Nejčastěji se vyrábí metodou sol/gel: Z disperze (solu) se těkáním rozpouštědla tvoří gel. Je to kapalina tak viskózní, že se chová jako pevná látka. Tepelným zpracováním za současného dloužení se vytváří kompaktní struktura, což je skleněné vlákno.

Metody zvlákňování

- Zvlákňování přes trysky: Skelná tavenina při odtahování z trysky rychlostí 30-60 m/sek. tuhne. Jednotlivé filamenty s jemností 4-13 μm se spojují do jednoho svazku, šlichtují a navíjí. Tímto způsobem se vyrábí více než 90% skleněných filamentů.
- Pro staplová vlákna se používá dvoufázová technologie. V prvním stupni se zhotovují z taveniny tzv *pelety*, které se případně skladují a ve druhé fázi roztaví a zvlákňují tažením přes trysku s pomocí síťového bubnu rychlostí do 60 m/sek.
- Foukání přes trysku. Odtah z trysky se provádí stlačeným vzduchem. Rychlostí 150-200 m/sek. se vytahují niti rozdílných délek a ukládají na síťový buben. Odtud se vlákenný materiál odtahuje, prochází olejovou mlhovinou a navíjí na cívku.
- Tažení tyčemi: 100-200 skleněných tyčí 150-190 cm dlouhých a o průměru 4-5 mm se taví na dolním konci při konstantním posunu. Odletující kapky táhnou vlákna a padají na buben, na který se rychlostí 40-50 m/sek. nitě navíjí, zatímco se kapky odhazují.
- Modifikované tažení tyčemi: Nitě, které leží na odtahovacím bubnu vedle sebe, se zvedají pomocí proudu vzduchu a vedou do sběrného kanálu. Zde se pak se lámou na různé délky, odtahují a vytváří pramen vláken, který se navíjí jako přást na cívku.

Vlákno se dodává jako hladký nebo tvarovaný filament v tloušťce 400-4000 tex (s průměrem jednotlivých vláken od 6 μm) nebo jako skaná příze 400-2000 tex, případně s mosazným nebo chromovým jádrem nebo jako stříž.



Obr. 21 Základní princip výroby skleněných vláken[17]

Použití

Staplové příze se dopřádají na odstředivých nebo frikčních strojích. (Prstencové stroje jsou svým systémem udělování zákrutu pro skleněná vlákna nezpůsobilé).

Běžně vyráběné příze mají jemnost 125-2000 tex a požívají se většinou pro podkladové tkaniny na tapety a dekorační látky.

Filamenty se zpracovávají na př. na tkaniny ve všech základních vazbách s váhou 600-1300 g/m², tloušťkou 0,8-2 mm, pevností v tahu: osnova 5000 N/5 cm, útek 2500 N/5 cm, bod tání až 1200°C. Ve tkaninách se též kombinuje osnova nebo útek s přízemí z aramidových nebo uhlíkových vláken.[5]

Z tkanin se šijí ochranné oděvy, především pro extrémně horké provozy (hutníci, svářeči).

Tkaniny nebo paralelně ložené filamenty (jednosměrné svazky, angl.: UD-Rovings) se vkládají jako armatury do kompozit a stavebních hmot (snímek vlevo).

Celosvětová výroba skleněných textilních vláken dosáhla v roce 2010 asi 4,7 miliony tun, z toho cca 80% jako roving a 20% příze.

V roce 2005 bylo v Evropě zhotoveno přes milion tun kompozit (tyto plasty obsahují cca. 50 % váhového množství skleněných vláken), které se používají na nejrůznější účely: od nárazníků na auta, přes čluny, vrtule větrných elektráren, až k mostům pro chodce.

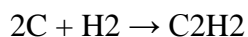
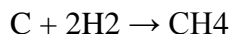
Ze skleněných vláken se také zhotovují izolace proti žáru nebo chemickým vlivům ve formě rohoží (soudržnost je zajištěna lisováním nebo prošíváním vrstvy vláken) a hadic, stuh a šňůr.[14]

1.2.5. Uhlík – C

Chemické vlastnosti a reakce

Chemický prvek **uhlík** se vyskytuje ve třech základních formách. Krystalický uhlík je znám jako **diamant**, amorfní uhlík se nazývá **grafit**, **fulleren** je modifikací uhlíku s molekulovou krystalickou stavbou, charakterizují ho kulovité útvary se 60 atomy uhlíku. Uhlík má nejvyšší teplotu tání ze všech nekovů.

Za vyšších teplot se uhlík slučuje s vodíkem, pokud reakce probíhá při teplotě okolo 600°C je jejím produktem methan, pokud je reakční teplota vyšší než 1500°C vzniká syntézou uhlíku s vodíkem ethyn:



Za zvýšené teploty reaguje s kyslíkem, halogeny, křemíkem, sírou, selenem, tellurem, dusíkem a s řadou kovů. Ochotně reaguje s lithiem, se kterým se slučuje již při teplotě 200°C na snadno hydrolyzující acetylid lithný Li_2C_2 . Binární sloučeniny uhlíku s prvky o nižší elektronegativitě se nazývají karbidy.

V anorganických sloučeninách vystupuje uhlík nejčastěji v oxidačním stavu IV, méně často i v ox. stavu II, v některých organických sloučeninách (*např. některé alkaloidy*) se může vyskytovat i s oxidačním číslem III.

Unikátní vlastností uhlíku je jeho schopnost tvořit stabilní řetězce, ve kterých mohou být jednotlivé atomy uhlíku vzájemně vázány jednoduchými, dvojnými i trojnými vazbami.

český název	Uhlík
latinský název	Carboneum
anglický název	Carbon
chemická značka	C
protonové číslo	6
relativní atomová hmotnost	12,011
perioda	2
skupina	IV.A
zařazení	nekovný
rok objevu	-
teplota tání [°C]	3825
teplota varu [°C]	4827
hustota [g cm ⁻³]	2,62
elektronegativita	2,55
oxidační stavy	-IV, II, III, IV
elektronová konfigurace	[He]2s² 2p²
atomový poloměr [pm]	67
kovalentní poloměr [pm]	77
specifické teplo [J g ⁻¹ K ⁻¹]	0,71
slučovací teplo [kJ mol ⁻¹]	105
tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	140
elektrická vodivost [S m ⁻¹]	1.10⁵
1. ionizační potenciál [eV]	11,2603
2. ionizační potenciál [eV]	24,383
3. ionizační potenciál [eV]	47,887
tvrdost podle Mohse	gráfit - 0,5 diamant - 10
skupenství za norm. podmínek	s

Tab. 1. Uhlík – základní informace, [16]

Výskyt v přírodě

V přírodě se uhlík vyskytuje zejména jako součást obrovského množství organických látek a ve formě oxidu uhličitého se nachází v atmosféře. Ryzí uhlík se v přírodě vyskytuje v několika krystalografických modifikacích jako **grafit**, **diamant**, **lonsdaleit** a **chaoit**. Přírodní fulleren C_{60} se vyskytuje jako minerál **šungit**.

Mezi významné nerosty s obsahem uhlíku patří minerály 5. třídy Strunzova mineralogického systému karbonáty **kalcit** $CaCO_3$, **magnezit** $MgCO_3$, **siderit** $FeCO_3$ a velká řada dalších. Přírodní karbidy **moissanit** SiC , **qusongit** WC , **tongbait** Cr_3C_2 nebo **tantalkarbid** TaC se zařazují mezi minerály 1. třídy a jsou naopak velmi vzácné. Mezi minerály s obsahem uhlíku se řadí i nepočtená skupina organoidů patřící mezi minerály 10. třídy. Mezi organoidy patří např. **karpatit** $C_{24}H_{12}$, **fichtelit** $C_{19}H_{34}$, **evenkit** $(CH_3)_2(CH_2)_{22}$ nebo **hoganit** $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$. Celkem bylo popsáno přes 400 minerálů s obsahem uhlíku.

[16]

2. Experimentální část

Experimentální část se zabývala depozicí uhlíkových částic na textilii ze skleněných vláken aplikovaných lázní v disperzi uhlíku a ozářením IR laserem. Předmětem experimentální části bylo zjistit změnu vlastností ozářených textilií. Vliv zjišťovaných vlastností byl ovlivněn různě volenými parametry (tj. různým složením a koncentrací disperze, různou intenzitou ozáření).

2.1. Použité přístroje a pomůcky

2.1.1. Ultrazvuk Sonopuls Bandelin

Technické údaje přístroje [2]:

- výkon 200 W
- frekvence jednotné zvukové vlny 20 kHz
- napájení 230 V, 50/60 Hz
- průměr titanové sonotrody 13mm
- objem lázně 20 – 900 ml

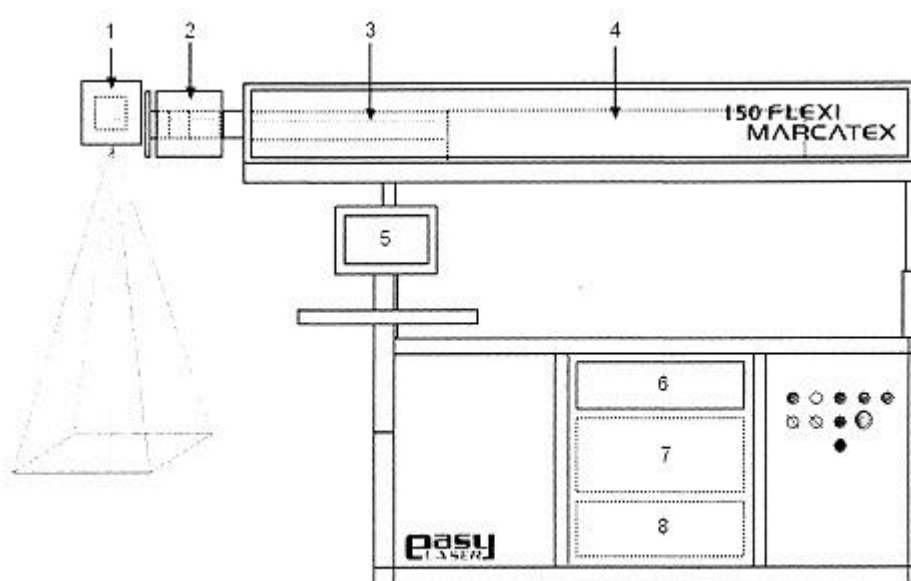
Ultrazvukový homogenizátor Sonopuls Bandelin je možné využívat pro chemické a sonochemické aplikace, biologické a medicínské aplikace a pro technické a analytické aplikace. Přístroj se skládá ze sonotrody propojenou s měřicí jednotkou. [2]



Obr. 22. Ultrazvukový homogenizátor Sonopuls Bandelin

2.1.2. Lasarové zařízení Marcatex Flexi

K ozařování bylo použito zařízení Marcatex Flexi. Marcatex Flexi - vrstvý systém laseru CO₂, buzený vysokou frekvencí, konstruovaný jako přístroj pro řezání, svařování nebo rytí pro průmyslové aplikace. Systém Marcatex 150/250 Flexi je zcela kompaktní, jak je patrné z obr. 23. Schématické znázornění CO₂ laseru Marcatex 150 Flexi, tzn. všechny prvky jsou integrovány do jedné ovládací skříně.



Obr. 23 Schématické znázornění CO₂ laseru Marcatex 150 Flexi

Laserový optický rezonátor (1) generuje laserové záření, je spojen s optickou trubicí (2), která stimuluje laserový paprsek. Všechny optické systémy jsou umístěny v optické skříni (3). Značící hlava (4) moduluje laserový paprsek. Celkovou kontrolu značení provádí PC jednotka (5), zdroj dc (7), zdroj rf (8), centrální modul PC (6).

Technická data:

Maximální průměr svazku	20 mm
Posuv svazku paprsků	25.74 mm
Provozní vlnová délka	10.6 μm

Maximální hustota laserové energie:

Nepřerušovaná vlna	300 W/cm ²
Impulsová (délka impulsu pulse 50 ns)	100 W/cm ²

Nastavitelné parametry laserového zařízení:

Stupně šedi (Treshhold color): 0-255

Pracovní cyklus (Duty cycle): 30-50%

Šířka pulzu (Pixel time):30 - 800 [μs]

Frequency: 5 kHz

Stupně šedi umožňují nastavení jednotlivých bodů pro vypalování v rozmezí 0 (černý bod) až 255 (bílý bod). Pracovní cyklus představuje výkon laseru v procentech a je dán poměrem zapnutí (šířky pulzu v μs) a vypnutí laseru. Jeho maximální hodnota je 50%. Úpravou tohoto parametru se mění hodnota vypnutí laseru, což znamená, že doba odpojení energie aplikované na povrchu materiálu bude kratší. Nízká frekvence znamená krátkou dobu trvání laserového pulzu a tím vysoký výkon, což se projeví tak, že v krátkém čase na povrchu materiálu působí vysoká energie. Šířka pulzu je doba působení laserového svazku v jednom bodě.

Výpočet intenzity/energie laserového paprsku na plochu:

Výpočet počtu pulzů: Pixel time [μs] . Frequency [Hz] = počet pulzů

Výpočet energie pulzu: Výkon [W] / Frequency [Hz] = energie pulzu

Pixel time [μs]	Doba vypalování [s]	Počet pulzů	Energie laser. paprsku [mJ]	Energie laser. paprsku na plochu [mJ/cm ²]
100	1,53	0,5	10	0,43
110	1,64	0,55	11	0,48
120	1,75	0,6	12	0,52
130	1,86	0,65	13	0,56
140	1,97	0,7	14	0,61

Tab. 2. Přehled nastavení parametrů laserového paprsku

2.1.3. Další přístroje a pomůcky

- Laboratorní váhy



Obr. 24. Laboratorní váhy

- Univerzální multimetr VC-20 (výrobce VOLTCRAFT)



Obr. 25. Univerzální multimetr

Technické parametry:

Rozsah měření kapacity: 1 pF - 200 F

Rozsah měření A/AC: 0,1 A - 200 mA

Rozsah měření V/AC: 1 mV - 600 V

Rozsah měření A/DC: 0,1 A - 200 mA

Rozsah měření V/DC: 0,1 mV - 600 V

Rozsah měření frekvence: 0 Hz - 10 kHz

Základní přesnost: 0,5 %

Displej: LCD, 4000 hodnot

Rozsah měření odporu: 0,1 - 40 MOhm

- Filtrační papír Filtrak 388



Obr. 26 Filtrační papír Filtrak 388

- Kádinka
- Odměrný válec
- Pinzeta
- Injekční stříkačka
- Petriho miska

2.1.4. Použité chemikálie

Lampová čern – Saze – Technický uhlík

Jedná se vlastně o téměř čistý uhlík (99%), který se získává spalováním organických látek bohatých na uhlík (dehtové oleje, zemní plyn, nafta, acetylén). Z usazených sazí se žiháním v retortách odstraňují dehtové směsi. Lampová čern je naprosto stálá, má velmi hluboký odstín, dobrou kryvost a vysokou barvicí vydatnost. [15]

Výskyt

Saze vznikají zvláště při spalování na uhlík bohatých organických paliv za nedostatku kyslíku. Hromadí se v komínech, automobilových výfucích (hlavně u automobilů se vznětovým (dieselovým) motorem) a dalších površích vystavených kouři.

Výroba

Saze se dají jednoduše experimentálně připravit na nehořlavém povrchu, např. na víčku od plechovky nebo sklenice. Saze vyrobené tímto způsobem patří k nejtmaším známým látkám.

Technický uhlík (saze) se průmyslově vyrábí ve válcových reaktorech z těžkého topného oleje a zemním plynem předehřátého vzduchu. Vzniká jemná hmota – fluffy – (o hustotě cca 100 g/l), která se dále zahušťuje (granuluje) obvykle mokrou cestou na hustotu 300 až 500 g/l. Po přidání vody 1:1 se intenzivním mícháním dosáhne vzniku granulí s minimálním obsahem nežádoucího prachového podílu (ten se při výrobě pneumatik a podobných výrobků špatně vmíchává do kaučukových směsí). Po vzniku granulí se tyto vysuší a expedují převážně v silničních autocisternách a v menším množství i po železnici.

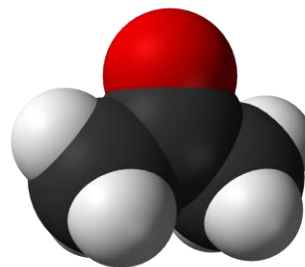
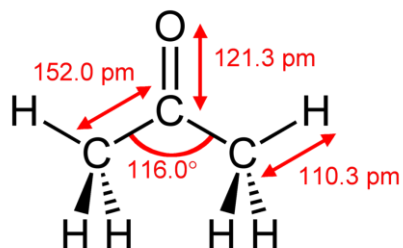
Využití



Obr.27 Uhlíková čern – saze využívané jako pigment

Saze byly užívány jako černé barvivo v barvách a inkoustech již od prehistorických časů, a jsou ještě široce používány v tiskařských inkoustech, tonerech pro xerografii, laserových tiskárnách a v chemickém průmyslu. Jsou také využívány jako potravinářské barvivo, například lékořicové bonbóny.

Nejdůležitějším způsobem využití je jako plnivo kaučukových pneumatik. Toto použití spotřebuje 85 % průmyslově vyrobených sazí. [15]

Aceton

Obr. 28. Aceton - vzorec

Obr. 29. Molekula acetonu - model

Aceton je triviální pojmenování pro propan-2-on nebo též dimethylketon. Charakteristickou skupinou je karbonyl. Aceton je bezbarvá kapalina specifického zápachu, hořlavá, s vodou neomezeně mísitelná. Směs par s kyslíkem je výbušná. Používá se jako rozpouštědlo organických látek.



Obr. 30. Konkrétně použité chemikálie

Voda – H₂O

2.1.5. Použitý materiál

SPEPAT – F Leboratorní materiál Z270

- je vyroben ze 100% skleněných mikrovláken.

Vlastnosti	Jednotka	Typické hodnoty	Norma
Plošná hmotnost	g/m^2	270	ISO 536
Tloušťka při 50kPa přitlaku	mm	1,6	ISO 534
Účinnost	%	99,9999999	ASTM D2986
Propustnost při 200 Pa	l/m^2s	10	ASTM D2986
Tlaková ztráta při 5,33 cm/s	Pa	750	ASTM D2986
Tržná délka podél	m	260	ISO 1924 – 2
Protážení podél	%	1,5	ISO 1924 – 2
Tržná délka napříč	m	200	ISO 1924 – 2
Protážení napříč	%	2,5	ISO 1924 – 2
Obsah popela	%	99,5	ISO 2144

Tab. 3. SPEPAT – F Z270 – Technická specifikace

SPEPAT – F Laboratorní materiál Z75

- je vyroben ze 100% skleněných mikrovláken.

Vlastnosti	Jednotka	Typické hodnoty	Norma
Plošná hmotnost	g/m^2	75	ISO 536
Tloušťka při 50kPa přitlaku	mm	0,3	ISO 534
Účinnost	%	99,9	ASTM D2986
Propustnost při 200 Pa	l/m^2s	40	ASTM D2986
Tlaková ztráta při 5,33 cm/s	Pa	200	ASTM D2986
Tržná délka podél	m	200	ISO 1924 – 2
Protážení podél	%	1,5	ISO 1924 – 2
Tržná délka napříč	m	150	ISO 1924 – 2
Protážení napříč	%	2,5	ISO 1924 – 2
Obsah popela	%	99,5	ISO 2144

Tab. 4. SPEPAT – F Z75 – Technická specifikace

2.2. Příprava vzorků a disperzí

2.2.1. Příprava vzorků z textilie ze skleněných vláken

Pro další pokusy byl stanoven jako ideální rozměr textilního vzorku 50x50 mm. Tento rozměr byl připraven nařezáním z formátu A4.

2.2.2. Příprava disperze

Bylo nutno vyzkoušet, v jakém rozpouštědle se lampová černá dokonaleji rozpustí s ohledem na její další aplikaci na skleněnou textilií.

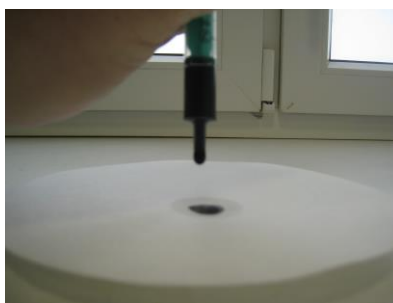
Disperze lampové černi ve vodě

Za pomoci laboratorních vah bylo odváženo příslušné množství lampové černě (0,5g), toto množství bylo následně přesypáno do kádinky a doplněno destilovanou vodou (100ml) tak aby byla dodržena stanovená koncentrace 5g/litr. Kádinka byla následně vložena do ultrazvukového homogenizátoru (s nastavením na 50% výkonu).



Obr. 31. Míchání v ultrazvukového homogenizátoru + nastavení

Po každých 10 sekundách byl proveden kontrolní odběr a pomocí injekční stříkačky byl proveden samotížný úkap na filtrační papír s cílem zjistit vliv ultrazvuku na rozpouštění sazí ve vodě.



Obr. 32. Samotížný úkap na filtrační papír

Disperze lampové černi v acetonu

Za pomoci laboratorních vah bylo odváženo příslušné množství lampové černě (0,5g), toto množství bylo následně přesypáno do kádinky a doplněno acetonem (100ml) tak aby byla dodržena stanovená koncentrace 5g/litr.. Kádinka byla následně vložena do ultrazvukového homogenizátoru (s nastavením na 50% výkonu). Po každých 10 sekundách byl proveden kontrolní odběr a pomocí injekční stříkačky byl proveden samotížný úkap na filtrační papír s cílem zjistit vliv ultrazvuku na rozpouštění sazí v acetonu.

2.2.3. Metoda aplikace disperze na skleněnou textilii

Bylo zvažováno několik metod aplikace disperze (uhlíku v acetonu) na vzorky ze skleněné textilie rozměru 5x5 cm, v laboratorních podmínkách:

- Pokapávání vzorku injekční stříkačkou
- Ponořením do roztoku za pomoci drátěné mřížky a na které by vzorek i uschl
- Ponořením do roztoku za použití pinzety a schnutí na skleněné desce laboratorního stolu



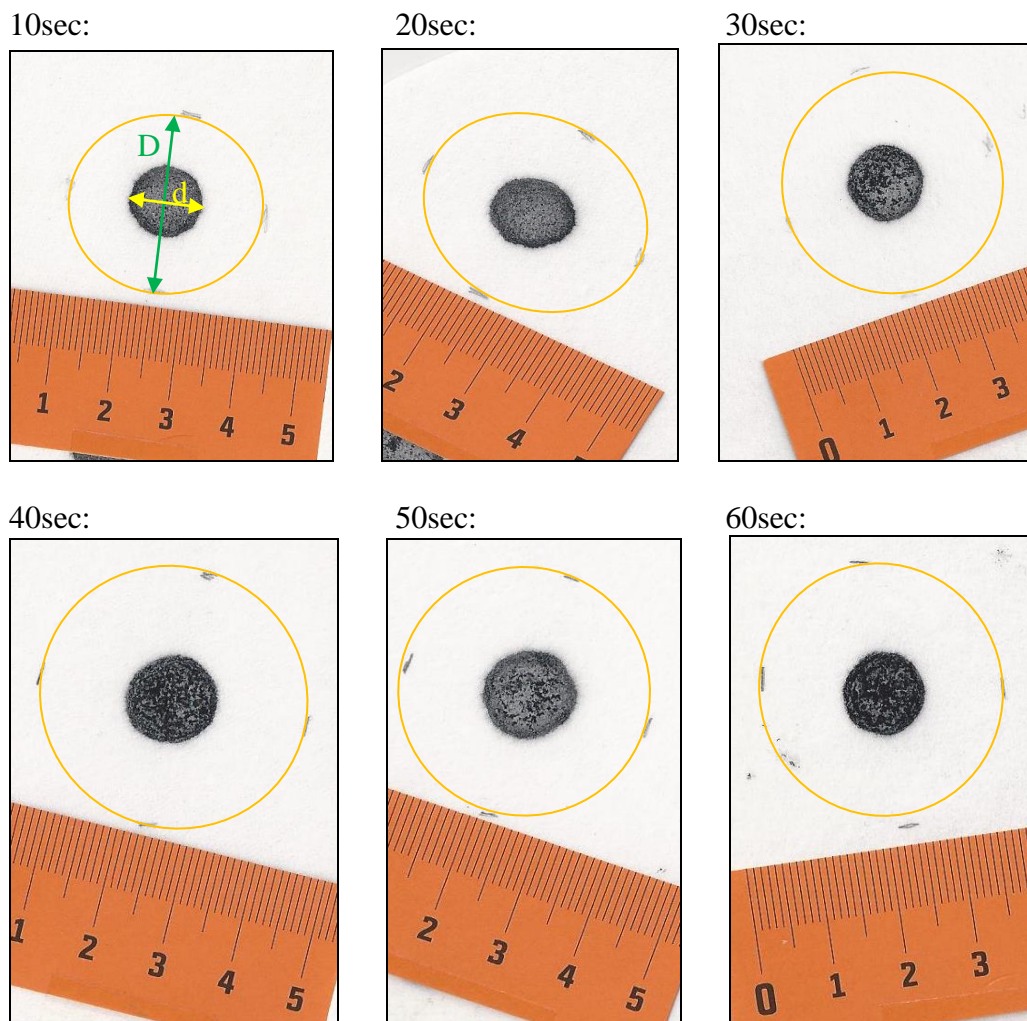
Obr. 33. Čistý vzorek skleněné textilie

3. Výsledky a diskuse

3.1. Optimalizace přípravy disperze uhlíku

3.1.1. Přehled kontrolních úkapů v závislosti na čase působení ultrazvuku u disperze uhlík + voda koncentrace 5g/l

(Postup popsán v kapitole 2.2.2.)



Obr. 34. Kontrolní úkapy disperze saze + voda koncentrace 5g/litr.

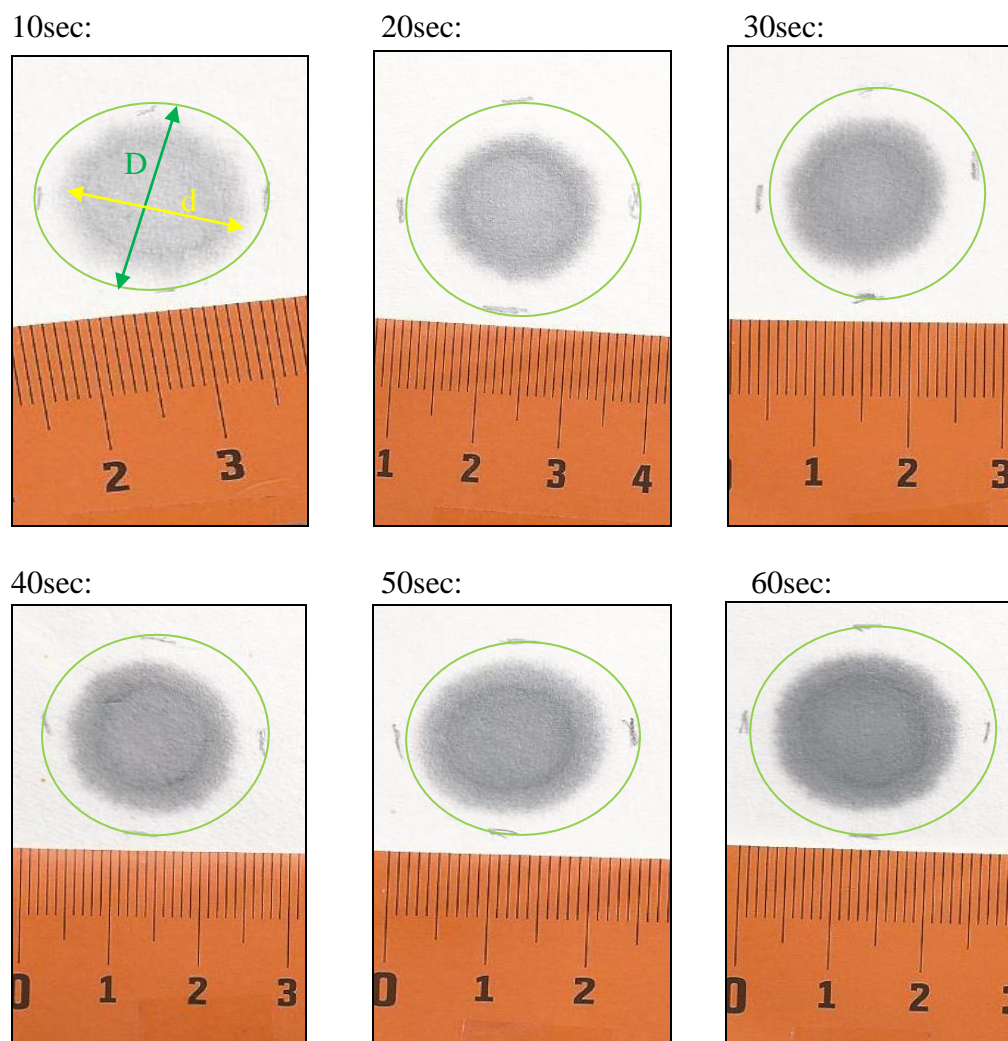
čas [s]	D - průměr navzlínání[mm]	d - průměr skvrny[mm]	poměr D/d[-]	S - plocha navzlínání[mm ²]	s - plocha skvrny[mm ²]	Zakrytí smočené plochy skvrnou [%]
10	32	12	2,67	804,25	113,10	14%
20	32	12	2,67	804,25	113,10	14%
30	37	12	3,08	1075,21	113,10	11%
40	38	12,5	3,04	1134,11	122,72	11%
50	36	13	2,77	1017,88	132,73	13%
60	36	11	3,27	1017,88	95,03	9%

Tab. 5. Hodnoty navzlínání a překrytí Disperze koncentrace 5g sazi /l vody

Po prozkoumání kontrolních úkapů na filtračním papíru, bylo zjištěno, že s ohledem na čas nedochází k úplnému rozpuštění sazí ve vodě a tato kombinace není vhodná k dalším pokusům. Plošné zakrytí smočené plochy skvrnou se pohybuje v rozmezí 9 až 14%.

3.1.2. Přehled kontrolních úkapů v závislosti na čase působení ultrazvuku u disperze uhlík + aceton koncentrace 5g/l

(Postup popsán v kapitole 2.2.2.)



Obr. 35. Kontrolní úkapy saze + aceton

čas [s]	D - průměr navzlínání[mm]	d - průměr skvrny[mm]	poměr D/d[-]	S - plocha navzlínání[mm ²]	s - plocha skvrny[mm ²]	Zakrytí smočené plochy skvrnou [%]
10	20	16	1,25	314,16	201,06	64%
20	25	18	1,39	490,87	254,47	52%
30	25	17	1,47	490,87	226,98	46%
40	25	18	1,39	490,87	254,47	52%
50	25	19	1,32	490,87	283,53	58%
60	26	18	1,44	530,93	254,47	48%

Tab. 6. Hodnoty navzlínání a překrytí disperze koncentrace 5g sazí /l acetonu

Po prozkoumání kontrolních úkapů na filtračním papíru, bylo zjištěno, že s ohledem na čas dochází k postupnému rozpuštění sazí v acetonu a tím ke zvyšování sytosti a proto je tato kombinace vhodná k dalším pokusům. Plošné zakrytí smočené plochy skvrnou se pohybuje v rozmezí 46 až 64%, což je taktéž výhodnější s pohledu aplikace na skleněnou textilii.

3.2. Vyhodnocení metod aplikace disperze na skleněnou textilii

3.2.1. Pokapávání vzorku injekční stříkačkou

Tato metoda se ukázala jako nevyhovující, jelikož při pokapávání vzorku ležícího na skleněné desce stolu nebylo možno zaručit souměrné nasycení vzorku disperzí. To se projevilo po zaschnutí, nesouměrnou barevností povrchu vzorku.



Obr. 36. Vzorek – pokapání injekční stříkačkou

3.2.2. Ponoření vzorku skleněné textilie do disperze

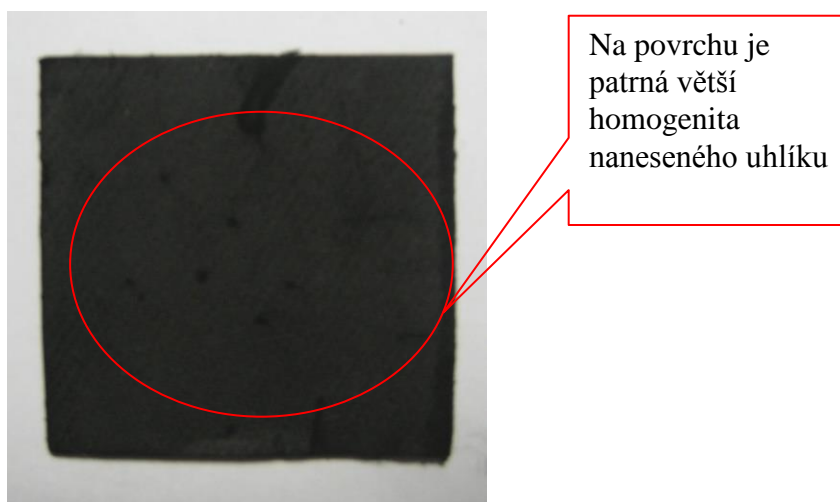
Tento způsob aplikace roztoku na vzorek skleněné textilie se ukázal jako vyhovující v laboratorních podmínkách.

Byly zkoušeny oba způsoby, jak pomocí drátěné mřížky, tak pomocí pinzety. Použití drátěné mřížky se ukázalo jako nevyhovující, jelikož mřížka na povrchu vzorku zanechávala obtisk a místa, která byla v kontaktu s drátkem, nebyla dokonale probarvena.

Na základě těchto testů byl stanoven následující postup pro aplikaci roztoku namáčením:

- roztok byl nalit do Petriho misky
- vzorek byl vložen do roztoku na dobu 1 minuty (po 30 sec byl otočen)
- po 1 minutě byl vzorek vyndán a položen na skleněnou desku stolu kde za stálého otáčení po 1 minutě uschl.

Aby bylo možno určit hmotnostní přírůstek, byl každý vzorek zvážen před namočením v roztoku a po uschnutí. Pokus byl prováděn pro různé koncentrace roztoku. Průměrný hmotnostní přírůstek v závislosti na koncentraci ukazuje tabulka viz. níže.



Obr. 37. Vzorek – namočení v roztoku

Vzorek	Koncentrace disperze (g/l)	Průměrný přírůstek hmotnosti (g)	Průměrný gram uhlíku / gram textilie	Průměrný (g/m ²)
Z-270	10	0,020	0,030	8,060
Z-270	20	0,039	0,057	15,472
Z-270	30	0,063	0,093	25,160
Z-75	10	0,008	0,045	3,380
Z-75	20	0,015	0,085	6,370
Z-75	30	0,041	0,230	17,276

Tab. 7. Hodnoty průměrných hmotnostních přírůstků

3.3. Stabilizace částic uhlíku na skleněná vlákna pomocí IR laseru

Ještě dříve než bylo zahájeno ozařování vzorků, jejichž příprava byla popsána v předchozí kapitole. Bylo nutné provést zkoušku na neupravené skleněné textilií, z důvodu stanovení parametrů, které se nastaví pro ozařování připravených vzorků.

Zvolené nastavení IR laseru pro destrukční zkoušku:

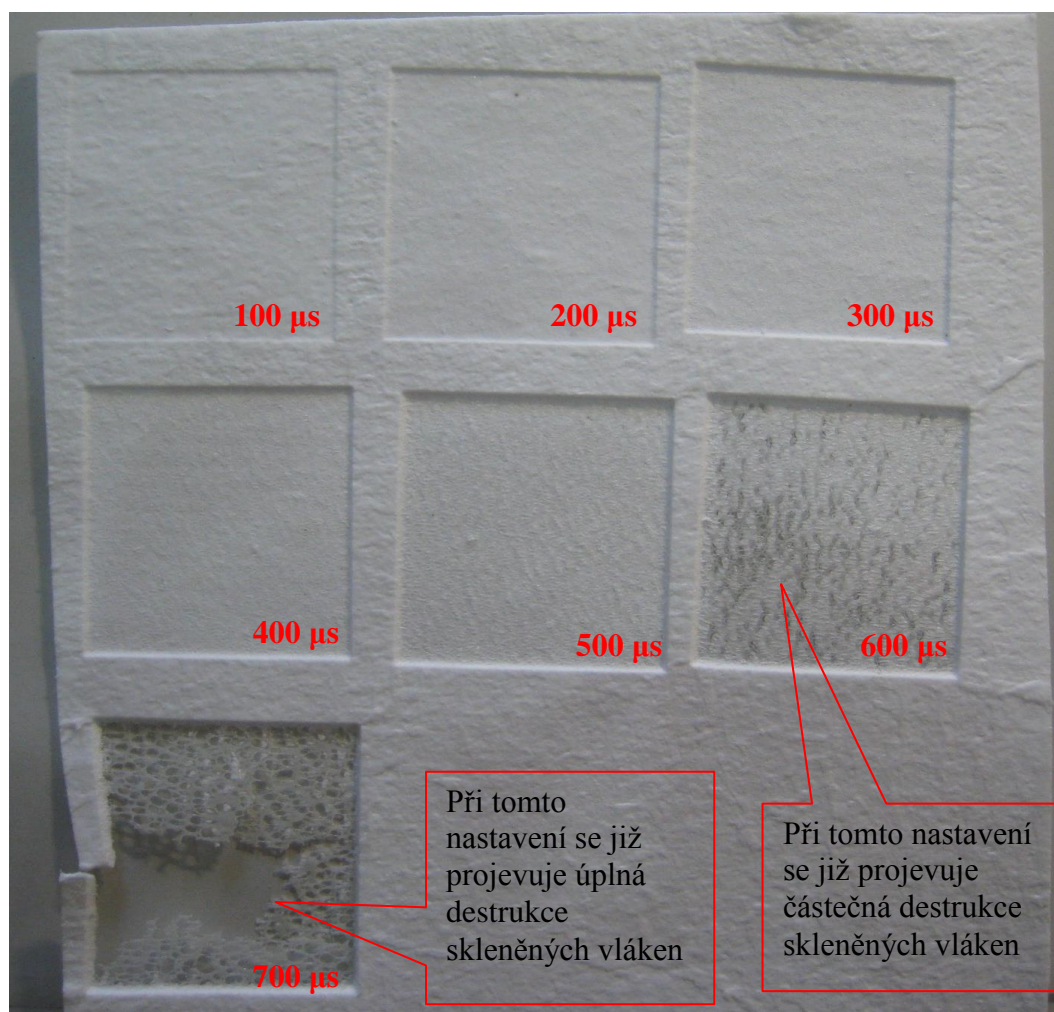
Treshhold color: 220

Duty cycle: 50%

Pixel time: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 μ s

Marking time : 74453 s

Frequence: 5 kHz



Obr. 38. Vliv zvyšování pixel time na skleněnou textilií (Z-270)

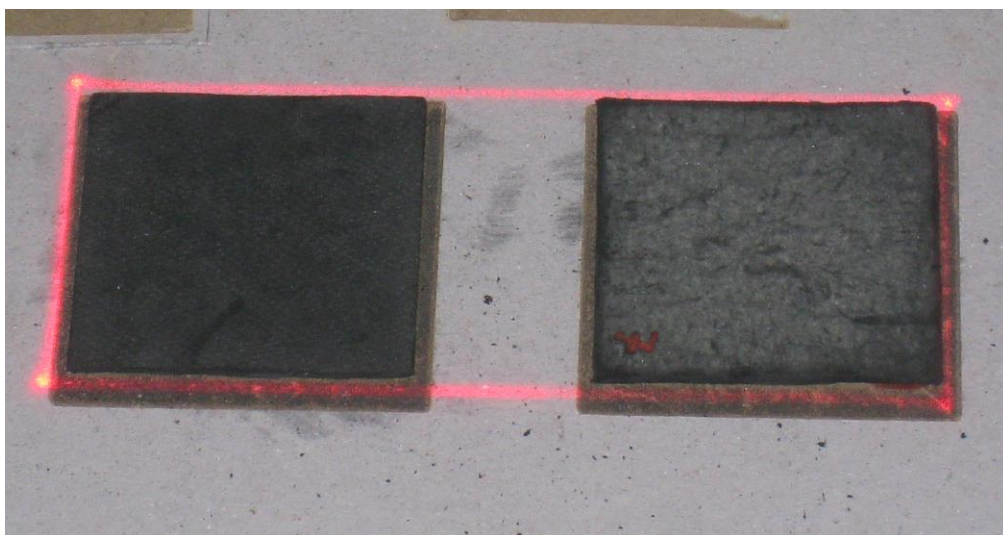
Na základě provedeného pokusu bylo stanoveno, že použité nastavení pixel time pro uhlíkové vzorky se bude pohybovat od **100** do **150 μ s**.

3.3.1. Ozařování IR laserem

Pro ozařování vzorků IR laserem bylo použito nastavení stanovené v předešlé kapitole.

Postup ozařování:

- umístit vzorky na pracovní stůl laseru (v jednom kroku stejným nastavením ozařujeme vzorky jednou rub, jednou líc)
- nastavit v PC laseru příslušné parametry
- spustit ozařování
- odebrat ozářené vzorky



Obr. 39. Umístění vzorků v záměrném poli laseru

3.4. Hodnocení změn

Po odebrání ozářených vzorků z laseru, bylo provedeno první vizuální porovnání změn ozářených vzorků oproti vzorku neozářenému.

Na první pohled je patrné, že ozářená strana vzorku je světlejší než neozářený vzorek. Pohmatem je též patrné, že ozářením ztratil skleněný vzorek vlastnosti textilie je tvrdší a při ohybu křehčí.

3.4.1. Změna elektrických vlastností

Pomocí universálního multimetru byl změřen elektrický odpor na čistém vzorku. Zde bylo zjištěno, že čistý vzorek se chová jako izolant. Následně bylo stejné měření provedeno na vzorcích s aplikovaným uhlíkem a zde byly naměřeny hodnoty v řádech $k\Omega$ až $M\Omega$. Avšak je nutno podotknout, že měřený odpor není po celé ploše vzorku stejný a dosti kolísá.

Pomínky měření:

Vzorek položen na skleněné desce

Vzdálenost elektrod 1 až 1,5 cm

Počet měření na každé straně vzorku: 5

Vlhkost: 65% (vzorky byly 24 hodin před měřením klimatizovány)

Teplota: 21°C

Koncentrace: 10g/l		Vzorek Z-270		Vzorek Z-75	
Ozařování Laserem		Průměrné hodnoty odporu na		Průměrné hodnoty odporu na	
Pixel TIME (ns)	strana vzorku	RUBu	LÍCi	RUBu	LÍCi
-	-	0	300 $K\Omega$	0	0
100	LÍC	0	0,7 $M\Omega$	0	0
100	RUB	0	113 $K\Omega$	0	0
110	LÍC	0	1,1 $M\Omega$	0	0
110	RUB	0	7,8 $M\Omega$	37 $M\Omega$	5 $M\Omega$
120	LÍC	0	29 $K\Omega$	0	0
120	RUB	0	7,5 $K\Omega$	0	0
130	LÍC	0	27 $K\Omega$	0	0
130	RUB	0	13 $K\Omega$	0	0
140	LÍC	0	20 $K\Omega$	0	1,2 $M\Omega$
140	RUB	0	12 $K\Omega$	14,2 $M\Omega$	0

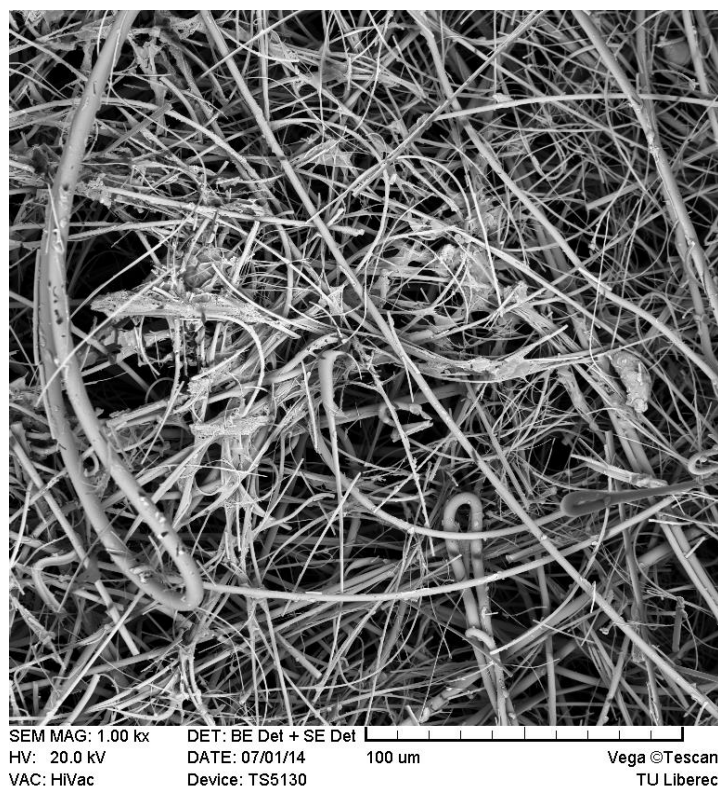
Tab. 8. Naměřené hodnoty elektrického odporu - koncentrace 10g/l

Koncentrace: 20g/l		Vzorek Z-270		Vzorek Z-75	
Ozařování Laserem		Průměrné hodnoty odporu na		Průměrné hodnoty odporu na	
Pixel TIME (ns)	strana vzorku	RUBu	LÍCi	RUBu	LÍCi
-	-	11 MΩ	6 KΩ	0	0
100	LÍC	0	5,8 KΩ	0	0
100	RUB	0	4,5 KΩ	0	3,8 MΩ
110	LÍC	0	5,1 KΩ	11,2 MΩ	1,6 MΩ
110	RUB	0	5,2 KΩ	0	1,1 MΩ
120	LÍC	0	1,5 KΩ	0	0
120	RUB	20,8 MΩ	1,4 KΩ	18,2 MΩ	0
130	LÍC	0	3,8 KΩ	0	0
130	RUB	5,8 MΩ	1,6 KΩ	37 MΩ	5 MΩ;
140	LÍC	0	1,8 KΩ	0	0
140	RUB	2,1 MΩ	1,3 KΩ	0	2,8 MΩ

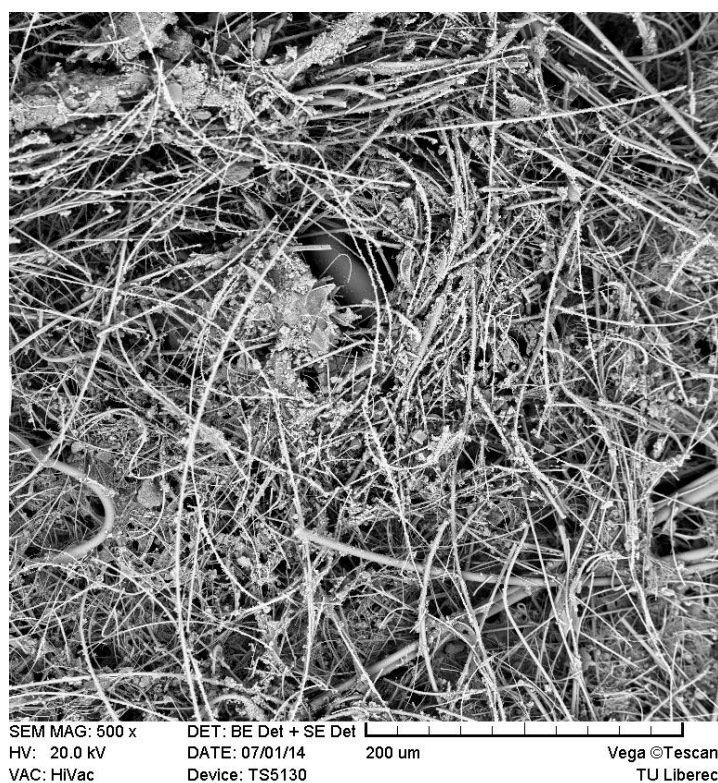
Tab. 9. Naměřené hodnoty elektrického odporu - koncentrace 20g/l

Z provedeného měření elektrického odporu vyplývá, že aplikací uhlíku na skleněnou textilií došlo ke změně elektrických vlastností a tyto vlastnosti se mění v závislosti na koncentraci. Při vyšších koncentracích dochází i k vyššímu počtu náměrů. Nepodařilo se však prokázat závislost na zvýšení pixel time a změnou elektrických vlastností.

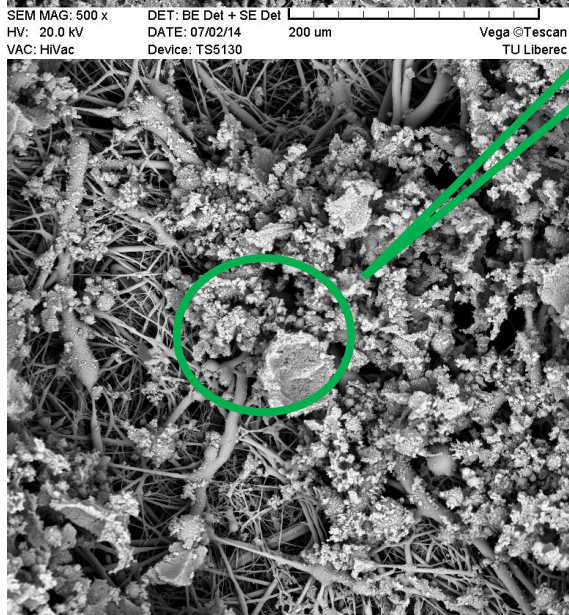
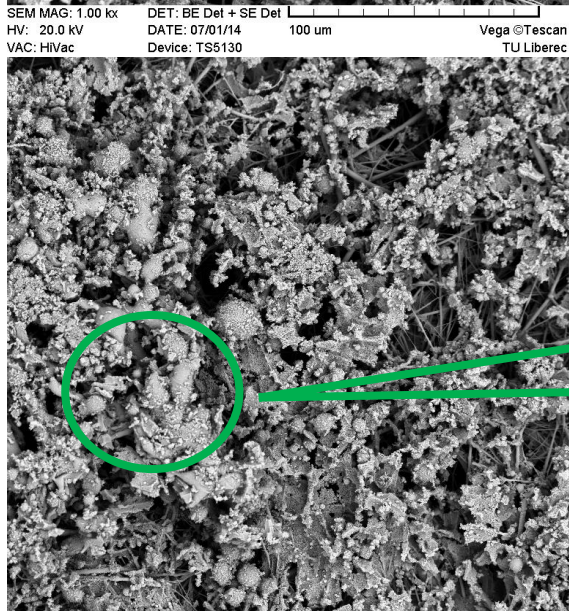
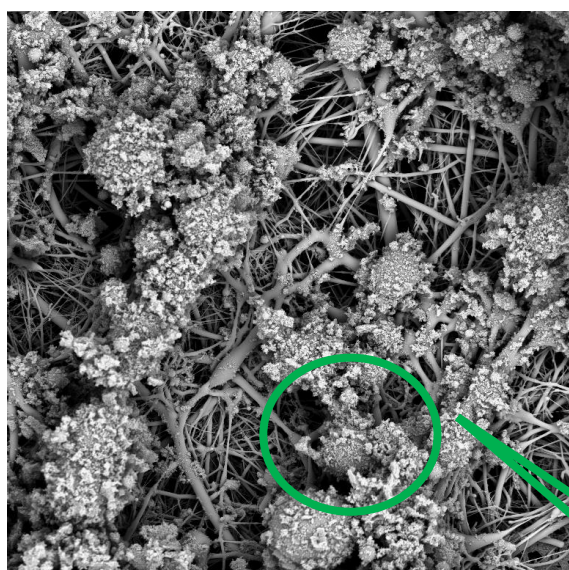
3.4.2. Změny ve struktuře skleněné textilie



Obr. 40. Struktura – čistý vzorek

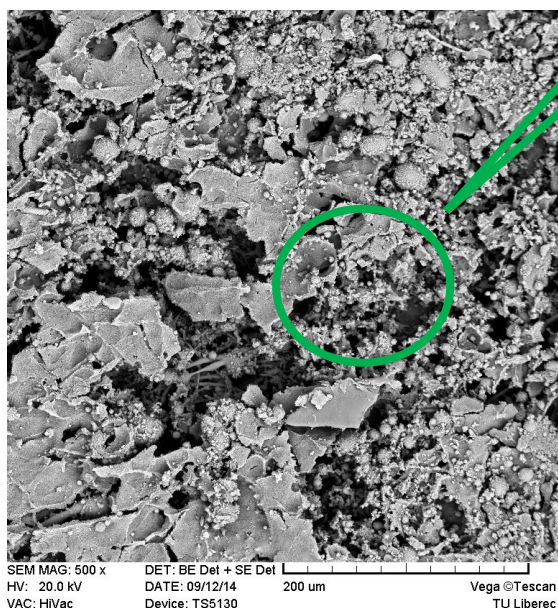
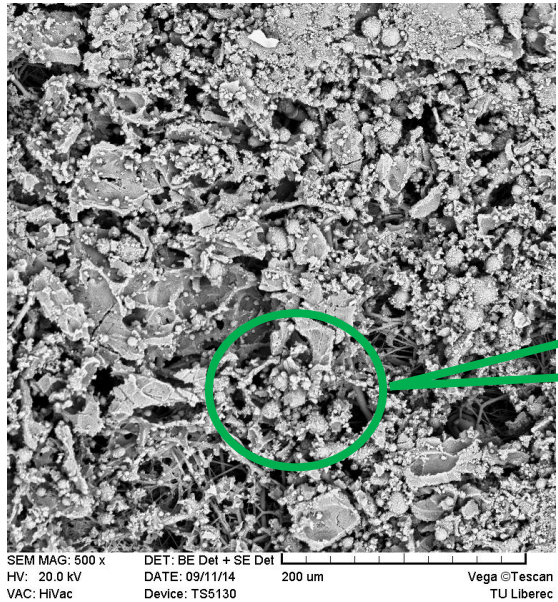
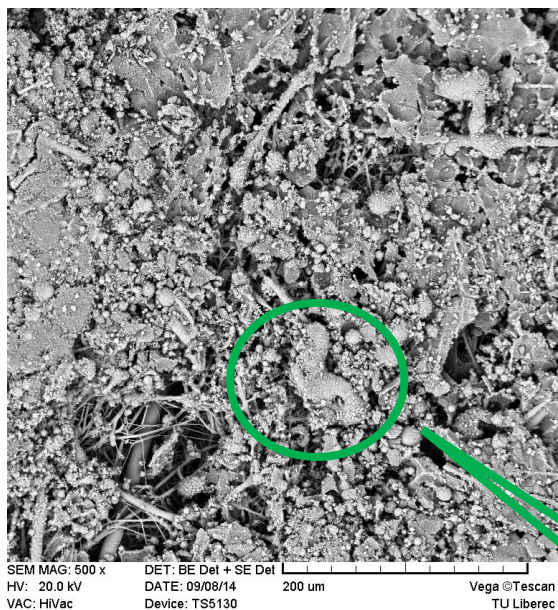


Obr. 61. Struktura – uhlík 10g/l bez ozáření



Roztavená skleněná
vlákna s uhlíkovými
částicemi na povrchu
(koncentrace 10g/l)

Obr. 62. Struktura – uhlík 10g/l –
ozáření 100, 120 a 140 (µs)



Roztavená skleněná
vlákna s uhlíkovými
částicemi na povrchu
(koncentrace 20g/l)

Obr. 63. Struktura – uhlík 20g/l –
ozáření 100, 120 a 140 (µs)

S použitím rastrovací elektronové mikroskopie je možno sledovat závislost mezi zvyšujícím se pixel time a přibývajícím taveninou skleněných vláken, na jejímž povrchu jsou patrné uhlíkové částice, vtavené do skloviny.

3.4.3. Mechanické vlastnosti – Trhací zkouška

Dle normy: ČSN EN ISO 13937-2, ČSN EN ISO 13934-1

Příprava vzorků:

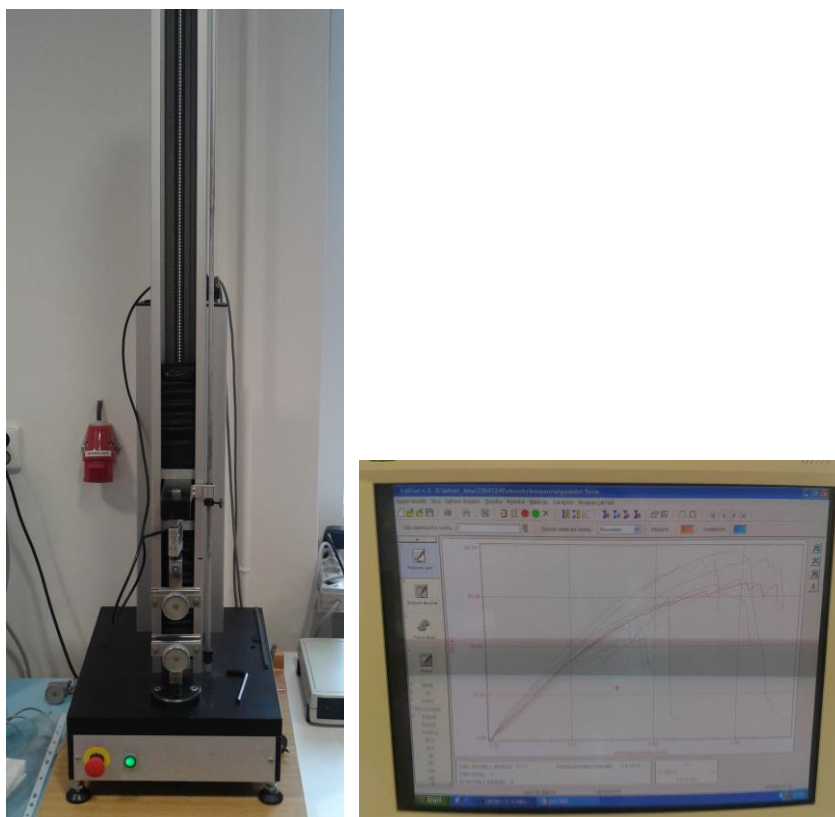
Pro trhací zkoušky byly připraveny vzorky:

rozměr 5x20 cm

- 10x vzorek neupravené skleněné textilie
- 10x vzorek ozářené skleněné textilie (pixel time 130 (ns))
- 10x vzorek skleněné textilie s uhlíkem 20g/l ozářen (pixel time 130 (ns))

Použitý přístroj:

Trhačka Labor Tech 2.010 r.v.2001



Obr. 64. Trhačka Labor Tech 2.010

		Fmax (N)	E (MPa)	Amax (%)	Fmax (N)	t (sec)	W (J)
Vzorek neupravené skleněné textilie	Průměrná hodnota zkoušek	30,569	78,52	0,66	30,57	6,61	0,02
	Směrodatná odchylka zkoušek	6,146	11,26	0,15	6,15	1,66	0,01
	Minimální hodnota zkoušek	21,399	64,77	0,45	21,4	4,5	0,01
	Maximální hodnota zkoušek	39,16	98,79	0,88	39,16	8,8	0,03
Vzorek ozářené skleněné textilie (pixel time 130 (ns))	Průměrná hodnota zkoušek	24,761	63,53	0,6	24,76	6,54	0,02
	Směrodatná odchylka zkoušek	4,452	16,73	0,08	4,45	0,88	0
	Minimální hodnota zkoušek	18,825	32,68	0,5	18,82	4,96	0,01
	Maximální hodnota zkoušek	29,92	85,86	0,76	29,92	7,96	0,02
Vzorek skleněné textilie s uhlíkem 20g/l ozářen (pixel time 130 (ns))	Průměrná hodnota zkoušek	30,121	84,12	0,69	30,12	7,67	0,03
	Směrodatná odchylka zkoušek	5,92	17,8	0,22	5,92	2,66	0,01
	Minimální hodnota zkoušek	18,559	57,86	0,29	18,56	3,32	0,01
	Maximální hodnota zkoušek	36,928	112,63	1	36,93	11,5	0,04

Tab. 10. Výsledky tahových zkoušek

Z výsledků tahových zkoušek vyplývá, že oproti původnímu materiálu dochází pouhým ozářením skleněné textilie ke zhoršení její pevnosti v tahu. Avšak paradoxně dodáním uhlíku do struktury textilie se pevnost v tahu „vrací“ na původní hodnoty. Z toho lze usoudit, že uhlík se pozitivně projevuje na pevnosti ozářeného skleněného materiálu.

3.5. Vliv elektrického pole na bakterie E-Coli

3.5.1. Použité přístroje a pomůcky

Digitální měřič izolačního odporu - C.A 6543 – výrobce Chauvin Arnoux



Obr. 65. C.A 6543 - Digitální měřič izolačního odporu

Měření izolačního odporu:

Zkušební napětí / rozsah	/	50V/10kΩ...400MΩ 100V/20kΩ...400MΩ 250V/5kΩ...20GΩ 500V/100kΩ...20GΩ 1000V/100kΩ...20 GΩ
--------------------------	---	---

Přesnost	±(3 % z č.h. +2 dig)
----------	----------------------

Měření napětí:

Rozsah	0...1000 V AC/DC
Přesnost	±(1 % z č.h. +3 dig)

Měření kapacity:

Rozsah	0...4999 nF
Přesnost	±(10 % z č.h. +1 dig)

Měření odporu:

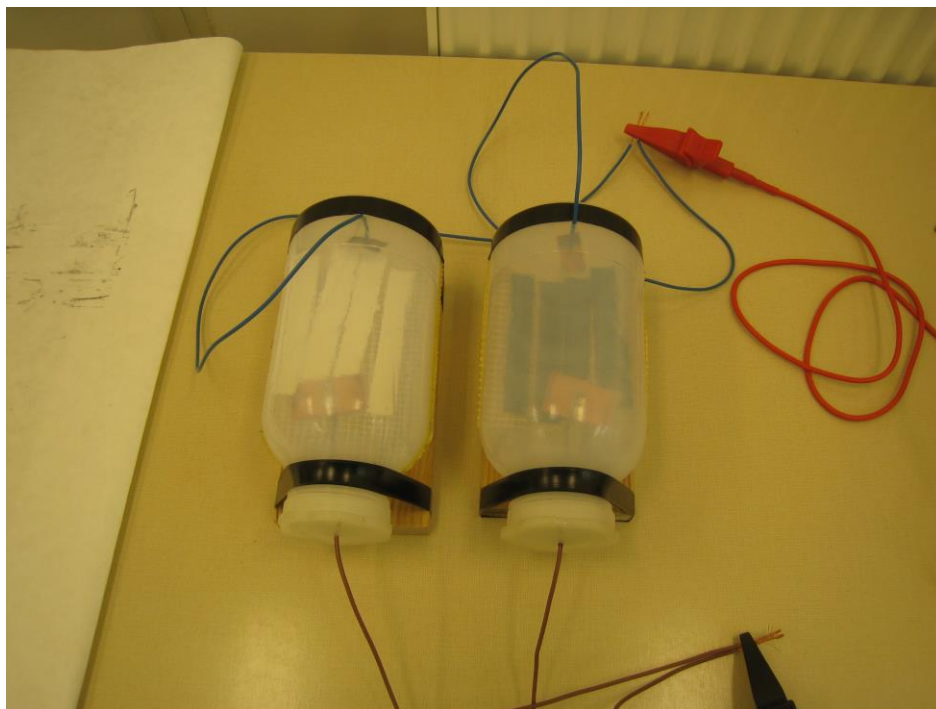
Rozsah	0...400 kΩ
--------	------------

Přesnost $\pm(3 \% \text{ z č.h. } +3 \text{ dig})$

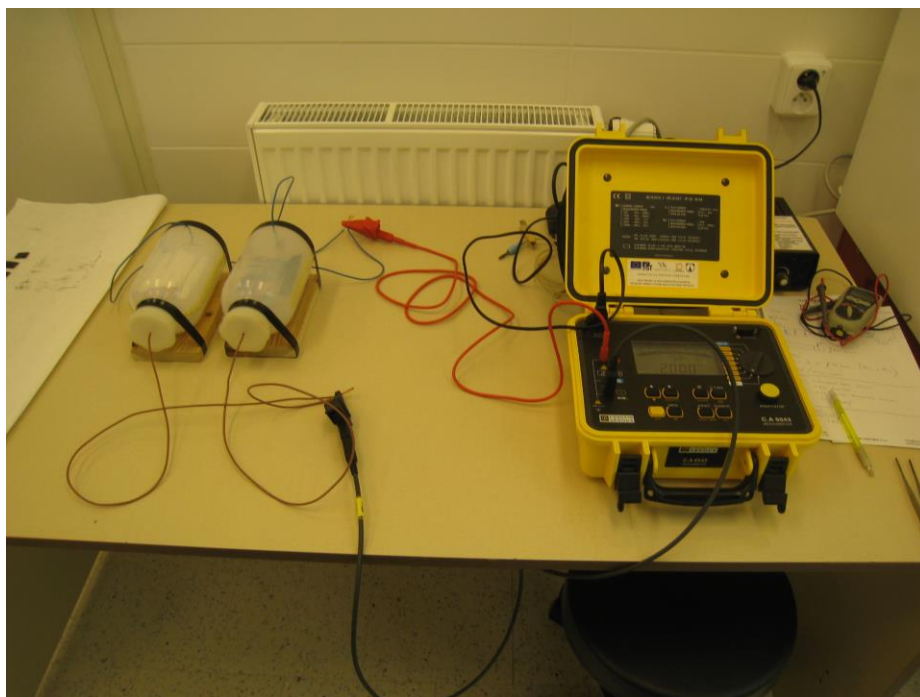
Měření propojení:

Rozsah 0,01...40 Ω

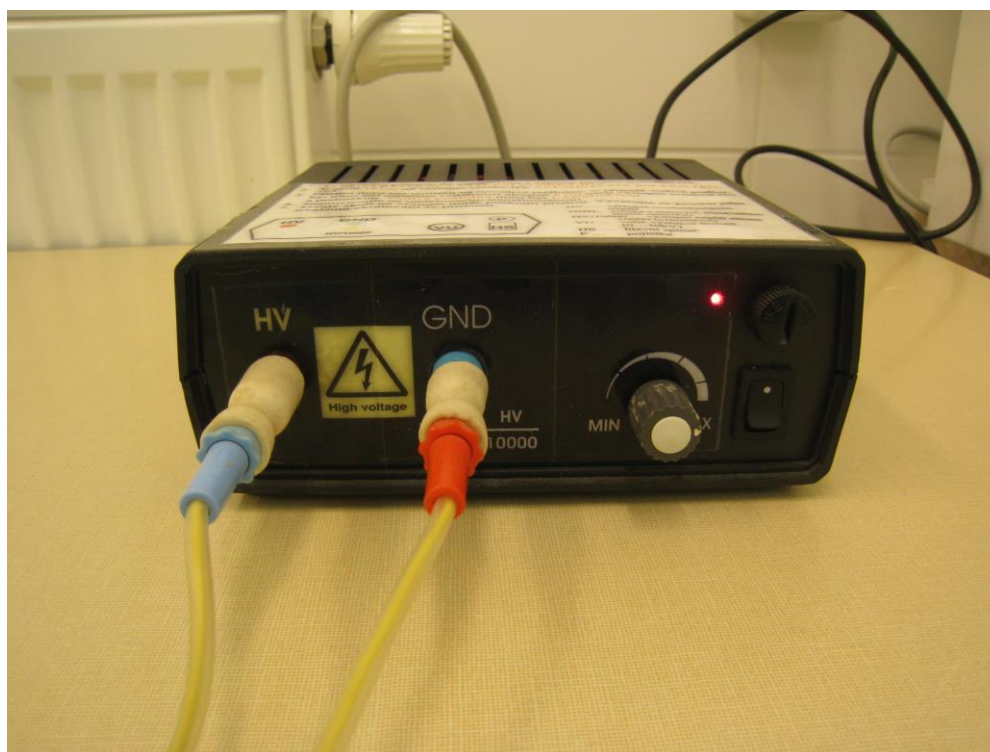
Přesnost $\pm(3 \% \text{ z č.h. } +4 \text{ dig})$

Kultivační nádoba s integrovaným generátorem el. pole

Obr.66. Kultivační nádoba s integrovaným generátorem el. pole



Obr. 67. Testovací sestava



Obr. 68. Zdroj 30KV

3.5.2. Příprava vzorků

Pro testy s bakteriemi byly připraveny vzorky:

rozměr 1,5x10 cm

- 10x vzorek neupravené skleněné textilie
- 10x vzorek skleněné textilie s uhlíkem 20g/l ozářen (pixel time 130 (µs))

Na vzorky nanese 20 µl bakteriálního kmene *Escherichia coli* CCM 2024, ATCC 9637 (jedná se o gramnegativní tyčinkovitou bakterii) o koncentraci 10^5 CFU/ml.

Postup:

Postup byl modifikován (velikost vzorků) na mezinárodní testovací metodu AATCC Method 100 – An American Standard 1993.

V první sérii byly testovány 4 vzorky upravené a 4 neupravené vzorky bez napětí – označeno jako **standard**. Vzorky byly ponechány při laboratorní teplotě ve vlhkém prostředí (v Petriho miskách, které byly přikryté, aby nedocházelo k vysychání roztoku a tím k odumírání bakterií vlivem nevhodného prostředí).

Časové odběry vzorků korespondují s časovými odběry vzorků při napětí – tedy po 5, 10, 30 a 60 minutách.

V druhé sérii byly vloženy 4 vzorky upravené a 4 neupravené do nádoby a odebírány v časových intervalech **5, 10, 30, a 60 minut**, které byly shodné pro všechny testované vzorky. Testy probíhaly při napětí **50 V, 1000 V a 30 kV**.

Odebrané vzorky byly umístěny do sterilních kontejnerů, bylo přidáno 10 ml fyziologického roztoku a vzorky byly po dobu 5 minut vortexovány. Z takto připravených vzorků byl odpipetován 1 ml a vyočkován na Petriho misku s krevním agarem. Vzorky byly inkubovány 24 hod. při 37° C v termostatu.

Výsledky byly vyhodnoceny a bylo vypočítání % bakteriální inhibice vždy vůči standardu.

Poznámka:

Čísla udávají počet bakteriálních kolonií.

Bez napětí	5 min	10 min	30 min	60 min
Standard neupravený	940	900	680	660
Standard upravený	4	2	5	5
Napětí 50 V				
Vzorek neupravený	253	250	182	180
Vzorek upravený	68	26	45	28
Napětí 1000 V				
Vzorek neupravený	830	850	640	645
Vzorek upravený	68	17	64	38
Napětí 30 kV				
Vzorek neupravený	93	82	2	1
Vzorek upravený	63	51	45	0

Tab. 11. Testování vzorků bakteriálních kolonií

Výsledky:

Z výpočtů pro bakteriální inhibici vyplývá, že napětí 30kV vykazuje nevyšší bakteriální inhibici. Znamená to tedy, že na neupraveném vzorku při tomto napětí bakterie nepřežívají.

Je velmi zajímavé porovnání napětí 50 V a 1000 V. Z výsledků je patrné, že napětí 1000 kV nijak zvlášť bakterii *E. coli* nevádí. Předpokládali bychom jiný efekt, tedy že se zvyšujícím se napětím bude docházet ke zvyšování bakteriální

inhibice. Tento efekt je velice zajímavý a bylo by vhodné ho otestovat na dalších bakteriálních kmenech a tento jev sledovat.

Na upraveném vzorku bakteriální inhibice počítána nebyla, protože dosažené výsledky nejsou relevantní k výpočtu. Byly opakovány testy s vlastním standardem a výsledky jasně potvrzují, že vlastní standard má velmi výrazný inhibiční efekt.

Abychom mohli vyslovit jednoznačný názor a výsledky vyhodnotit, je opět nutné testy opakovat i s dalšími bakteriálními kmeny.

.

4. Závěr

Výsledky bakalářské práce byly hodnoceny za předpokladů dalších navazujících experimentů s možností budoucího využití v průmyslových aplikacích. Další práce by se mohly zaměřit na použití jiných látek upevňovaných na skleněnou textilií, například oxidů železa, namísto uhlíku. Jejich expozice infračervenému laseru na skleněnou textilií by mohla dodat filtrům zcela jiné vlastnosti než aplikace uhlíku.

V části zaměřené na přípravu vhodné disperze bylo prokázáno, že uhlík je lépe dispergovatelný v acetonu než ve vodě, za působení ultrazvuku při běžné teplotě v laboratoři.

Nejvhodnější metodou aplikace uhlíkové disperze na skleněnou textilií se ukázalo její namočení do disperze a následné vyschnutí na skleněné desce za pravidelného otáčení.

Pomocí infračerveného laserového paprsku se podařilo upevnit částice uhlíku do roztavené struktury skleněných vláken. Bylo zjištěno, že s rostoucí intenzitou laserového ozáření vzniká celistvější roztavený povrch skleněné textilie a částice uhlíku jsou více vtaveny do struktury.

Měřením elektrických vlastností vzorků bylo zjištěno, že s rostoucí koncentrací uhlíku v disperzi a s vyšší intenzitou laserového paprsku (vyšší šířkou pulzu – pixel time), dochází ke zlepšování elektrických vlastností vzorků. Toto může být výhodné tam, kde potřebujeme odvést elektrostatický náboj, například filtry montážních linek.

Zajímavé výsledky poskytl pokus s bakteriální inhibicí s bakterií *E. coli*. Tento pilotní pokus prokázal, že na neupravených vzorcích při napětí 30 kV dochází k nevyšší inhibici, která se v jednotlivých časových intervalech odběru 5, 10, 30, a 60 minut pohybuje 90,1%, 90,9%, 98,4% a 99,6%. Logicky se také s časem zvyšuje % bakteriální inhibice. Je nutno však podotknout, že při takto silném elektrickém poli by pravděpodobně došlo k inhibici i bez deponovaného uhlíku do skleněné textilie. Bylo prokázáno, že napětí 50 V a 1000 V nijak zvlášť bakterii *E. coli* nevadí. Předpokládali bychom však jiný efekt, tedy že se zvyšujícím se napětím bude docházet ke zvyšování bakteriální inhibice. Tento efekt je velice zajímavý a bylo by vhodné ho otestovat na dalších bakteriálních kmenech a tento jev sledovat.

Nebylo možné provést zkoušku filtrace průchodem vzduchu, jelikož deponovaný uhlík se uvolňoval a ucpával zkušební přístroj. Zkouškou však bylo zjištěno, že neupravená skleněná textilie má vlastnosti podobné Hepafiltru. V dalším kroku by bylo vhodné se zaměřit na zamezení separace uhlíkových částic při průchodu vzduchu. Například složením do sendviče, kdy by skleněná textilie s uhlíkem byla ve středu sendviče.

5. Seznam literatury

- [1] Ing. Pavel Kořán: Seriál na téma lasery - Základní princip laseru a jejich dělení . [online]. © 19. 2. 2013. [cit. 20. 6. 2014] Dostupné z www: <<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>>.
- [2] <http://www.bandelin.com/datenblaetter/5552de_2004-04.pdf>.
- [3] Objev a objevitelé [online]. [cit. 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/kap1.htm>>.
- [4] Součásti laseru [online]. [cit. 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.lasery.wz.cz/soucasti.html>>.
- [5] Princip laseru [online]. [cit. 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.lasery.wz.cz/soucasti.html>>.
- [6] Kusala, J.: Součást vzdělávacího programu Svět energie. Lasery kolem nás [online]. [citováno 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>>.
- [7] Objev a objevitelé [online]. [cit. 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k12.htm>>.
- [8] Vrbová, M., Jelínková, H., Gavrilov, P.: Úvod do laserové techniky . vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. 233s.
- [9] Využití laseru [online]. [cit. 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.lasery.wz.cz/vyuziti.html>>.
- [10] Použití laseru při spojování autokarosérií – laserové zpracování materiálů. [online]. Léto 2003 [citováno 20. 6. 2014]. Dostupné z www: <<http://dp.bajaja.net/05.html>>
- [11] Staněk, J.: Textilní zbožíznalství: Vlákenné suroviny, příze, nitě, Liberec: Technická univerzita, 2006. 114s.
- [12] Militký, J.: Technické textilie: vybrané kapitoly, Liberec: Technická univerzita, 2007. 238s.
- [13] Krčma, L.: Degradace textilních vláken a ochrana proti ní, Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1976. 163s.
- [14] Skleněná textilní vlákna [online]. 8.5. 2014 [citováno 8.5. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.wikipedia.cz/>>.

- [15] Lampová čern [online]. 8.5. 2014 [citováno 8.5. 2014].
Dostupné z www: < <http://ivahonkova.webnode.cz/olejove-barvy/cern>>.
- [16] Uhlík [online]. 8.5. 2014 [citováno 8.5. 2014].
Dostupné z www: < <http://www.prvky.com/6.html>>.
- [17] Základní princip výroby skleněných vláken [online]. 8.5. 2014
[citováno 8.5. 2014]. Dostupné z www: < <http://www.btto.cz/cs/sklenena-prize/zakladni-princip-vyroby-sklenenych-vlaken>>.

6. Seznam obrázků

Pořadové číslo obrázku - popis	Strana
Obr. 1. Schéma prvního laseru, [3]	10
Obr. 2. Interakce fotonu a elektronu, [5]	13
Obr. 3. Spojení-vln, [5]	13
Obr. 4. Obecné schéma laseru, [1]	14
Obr. 5. Přeměna energie na laserový paprsek, [1]	15
Obr. 6. Rezonátor, [1]	15
Obr. 7. Části Laseru, [4]	16
Obr. 8. Příklady laserových přístrojů, [6]	19
Obr. 9. Pohlcování laserového paprsku, [9]	23
Obr. 10. Průniku laserového paprsku do tkáně, [9]	23
Obr. 11. Příklady laserového řezání, [9]	24
Obr. 12. Příklady laserového vrtání, [9]	25
Obr. 13. Příklad laserového kalení, [9]	26
Obr. 14. Příklad Laserová dekorace skla, [9]	26
Obr. 16. Příklady vojenského použití, [9]	27
Obr. 17. Příklad použití radaru Lidary, [9]	28
Obr. 18. Výstup z radaru Lidary, [9]	28
Obr. 19. Schéma parametrů laserového technologického procesu, [10]	30
Obr. 20 Průběh zahřívání textilií infračerveným zářením a horkým vzduchem v závislosti na čase 1 – infračervené záření, 2 – horký vzduch	34
Obr. 21 Základní princip výroby skleněných vláken[17]	38
Obr. 22. Ultrazvukový homogenizátor Sonopuls Bandelin	43
Obr. 23 Schématické znázornění CO2 laseru Marcatex 150 Flexi	44
Obr. 24. Laboratorní váhy	46
Obr. 25. Universální multimetr	46
Obr. 26 Filtrační papír Filtrak 388	47
Obr.27 Uhlíková čern – saze využívané jako pigment	48
Obr. 28. Aceton - vzorec	49
Obr. 29. Molekula acetonu - model	49
Obr. 30. Konkrétně použité chemikálie	49
Obr. 31. Míchání v vultrazvukového homogenizátoru + nastavení	51
Obr. 32. Samotížný úkap na filtrační papír	51
Obr. 33. Čistý vzorek skleněné textilie	52
Obr. 34. Kontrolní úkapy disperze saze + voda koncentrace 5g/litr.	53
Obr. 35. Kontrolní úkapy saze + aceton	54
Obr. 36. Vzorek – pokapání injekční stříkačkou	55
Obr. 37. Vzorek – namočení v roztoku	56
Obr. 38. Vliv zvyšování pixel time na skleněnou textilií (Z-270)	57

Obr. 39. Umístění vzorků v záměrném poli laseru	58
Obr. 40. Struktura – čistý vzorek	61
Obr. 61. Struktura – uhlík 10g/l bez ozáření	61
Obr. 62. Struktura – uhlík 10g/l – ozáření 100, 120 a 140 (ns)	62
Obr. 63. Struktura – uhlík 20g/l – ozáření 100, 120 a 140 (ns)	63
Obr. 64. Trhačka Labor Tech 2.010	64
Obr. 65. C.A 6543 - Digitální měřič izolačního odporu	66
Obr. 66. Kultivační nádoba s integrovaným generátorem el. pole	67
Obr. 67. Testovací sestava	67
Obr. 68. Zdroj 30KV	68

7. Seznam tabulek

Pořadové číslo tabulky - popis	Strana
Tab. 1. Uhlík – základní informace, [16]	41
Tab. 2. Přehled nastavení parametrů laserového paprsku	45
Tab. 3. SPEPAT – F Z270 – Technická specifikace	50
Tab. 4. SPEPAT – F Z75 – Technická specifikace	50
Tab. 5. Hodnoty navzlínání a překrytí Disperze koncentrace 5g sazí /l vody	53
Tab. 6. Hodnoty navzlínání a překrytí disperze koncentrace 5g sazí /l acetonu	54
Tab. 7. Hodnoty průměrných hmotnostních přírůstků	56
Tab. 8 Naměřené hodnoty elektrického odporu - koncentrace 10g/l	59
Tab. 9. Naměřené hodnoty elektrického odporu - koncentrace 20g/l	60
Tab. 10. Výsledky tahových zkoušek	65
Tab. 11. Testování vzorků bakteriálních kolonií	69