



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



INTERAKCE INFRAČERVENÉHO LASEROVÉHO ZÁŘENÍ S TEXTILIÍ

Ing. Marie Kašparová

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Interakce infračerveného laserového záření s textilií
Autor: Ing. Marie Kašparová
Obor doktorského studia: Textilní technika a materiálové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Školící pracoviště: Katedra materiálového inženýrství
Školitel: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Složení komise pro obhajobu disertační práce

předseda: prof. Ing. Jiří Militký, CSc.	FT TUL, katedra materiálového inženýrství
místopředseda: prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.	FT TUL, katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc.	TUL, Odd. nanomateriálů v přírodních vědách
prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D. (oponent)	Univerzita T. Bati ve Zlíně, ústav technologie potravin
doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.	FT TUL, katedra hodnocení textilií
doc. Ing. Ladislav Burgert, CSc. (oponent)	UPCE, odd. syntetických polymerů, vláken a textilní chemie
doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.	FP TUL, katedra fyziky
Ing. Michal Černý, Ph.D.	UPCE, odd. syntetických polymerů, vláken a textilní chemie
Ing. Věra Jenčová, Ph.D.	FT TUL, katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

S disertační prací je možno seznámit se na děkanátu Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Anotace

Disertační práce je zaměřena na ozařování bavlněné tkaniny s použitím pulzního CO₂ laseru, který emituje laserový svazek v infračervené oblasti s vlnovou délkou 10,6 μm. Ozařování jednotlivých vzorků bylo prováděno celoplošně a jednostranně. V práci byl sledován vliv ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření na neobarvenou a kypovými barvivy obarvenou bavlněnou tkaninu. Tepelný účinek infračerveného laserového záření na bavlněnou tkaninu lze zároveň chápat jako její poškození, které je samozřejmě nežádoucí a je třeba zachovat vlastnosti textilie. Z tohoto důvodu bylo třeba sledovat změny mechanických, strukturních, ale i termických a chemických vlastností bavlněné tkaniny po ozáření. Změna odstínu obarvené bavlněné tkaniny po ozáření pulzním infračerveným laserovým zářením byla zkoumána objektivně spektrofotometricky, ale také po následném praní jednotlivých vzorků.

Byl nalezen model pro „odbarvování“ obarvené bavlněné tkaniny vlivem ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření, který vychází z Kubelka-Munkovy funkce. Také byl navržen jednoduchý model pro závislost K/S hodnot neobarvené bavlněné tkaniny na různé plošné hustotě energie infračerveného laserového záření.

Klíčová slova: CO₂ laser, odbarvování, bavlna, kypová barviva, indigo

Annotation

The topic of this thesis is the irradiation of cotton fabric with using of pulsed infrared laser beam of CO₂ laser device. The wavelength of laser beam is 10,6 μm. Samples were irradiated by infrared laser beam from the one side and area-wide. There has been observed the influence of the irradiation of areal density infrared laser beam on non-dyed and dyed cotton fabric. The dyeing of cotton fabric was used three different vat dyes. Heat effects of infrared laser beam on dyed cotton fabric is presented as the damage of cotton fabric. These thermal effects are not desirable and it is necessary to maintain the properties of the fabric. There were observed changes of mechanical and structural properties of cotton fabric after irradiation by pulsed infrared laser beam. There was also requirements to analysed changes of thermal and chemical properties of cotton fabric. After irradiation of infrared laser beam, the color shade of dyed cotton fabric was measured objectively by spectrophotometric method. Then samples were washed to analysed changes of color shade after washing tests.

The model of decolorization of dyed cotton fabric after irradiation by pulsed infrared laser beam was found influenced by various areal density energy of pulsed infrared laser beam based on Kubelka-Munk function. Also there were suggested the model for the dependence of K/S values of non-dyed cotton fabric on various areal density energy of pulsed infrared laser beam.

Keywords: CO₂ laser, decolorization, cotton, vat dyes, indigo

Anotace

Thèse s'occupe sur le tissu de coton irradiation utilisant d'impulsion laser CO₂ émettant un faisceau laser dans la région infrarouge avec une longueur d'onde 10,6 microns. Irradiation des échantillons a été effectuée à l'échelle nationale et unilatéralement. Dans ce travail, l'effet de l'irradiation faire varier l'énergie de densité surfacique de la lumière laser infrarouge à un colorants estompées et tva teints tissu de coton. l'effet thermique du laser à rayonnement infrarouge sur un tissu de coton peut aussi être comprise comme le dommage qui est évidemment indésirable et il est nécessaire de maintenir les propriétés du tissu. Pour cette raison, il est nécessaire de suivre l'évolution mécanique, structurelle, mais aussi thermique et les propriétés chimiques du tissu de coton après l'irradiation. En faisant varier les teintes ombre des tissus de coton après l'irradiation avec un rayonnement laser infrarouge à impulsions a été étudiée de manière objective spectrophotométrie, mais aussi après un lavage ultérieur de chaque échantillon.

Il a été trouvé pour le modèle "décoloration" tissus de coton teints en raison de la différence de densité d'énergie d'irradiation à base d'un rayonnement laser infrarouge, qui est basé la fonction de Kubelka-Munk. En outre, un modèle simple pour la dépendance Les valeurs *K/S* coton différente de la densité d'énergie de surface non colorée du rayonnement laser infrarouge.

Clé mot: CO₂ laser, expédier, coton, vat colorant, indigo Anotace v některém dalším světovém jazyce.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Předmět a cíle disertační práce.....	2
3	Přehled současného stavu problematiky	3
4	Použité metody.....	6
5	Přehled dosažených výsledků	12
6	Zhodnocení výsledků a nových poznatků	33
7	Seznam použité literatury	35
8	Práce autora se vztahem ke studované problematice	36
	Publikace v odborných časopisech.....	36
	Příspěvek ve sborníku z konference.....	36
	Citace	36
9	Práce autora bez vztahu k dané problematice.....	38
	Curriculum Vitae.....	39
	Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti	40
	Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky	41
	Vyjádření školitele doktoranda	42
	Oponentské posudky disertační práce.....	43

1 Úvod

Pracovní kalhoty barvené indigem (denim neboli džínovina) byly nejprve určeny dělníkům a horníkům. Denimová tkanina je keprové vazby, nejčastěji z barvených osnovních přízí a bílého útku. Osnova je obarvena indigem.

Popularita džínového oblečení, přijatelnější vzhled opotřeбенých džín a dokonce i vyzorovaná tendence uživatelů si k džínám po dlouhém nošení vytvořit citový vztah, vedla k vývoji technologií nechat „zestárnout“ džíny v procesu výroby nebo je nějakým jiným způsobem odlišit. Mezi použitelné technologie patří např. potiskování, vyšívání nebo vytvoření „sepraného“ vzhledu tkaniny.

Nižší stálost indiga v otěru umožňuje jeho odstranění různými způsoby, a barevnost osnovních přízí tedy může klesat během finálních zušlechťovacích procesů a praní. Populární technikou je třepení určitých oblastí tkaniny pro vytvoření vzoru buď broušením nebo právě stone washed technologií. Tato technologie spočívá v tom, že se finální výrobek pere s kameny, a tím se vytváří „sepraný“ vzhled výrobku.

Tato běžná technologie má však z ekologického hlediska určité nevýhody jako je spotřeba velkého množství vody, navíc znečištěné použitými chemikáliemi. Proto jsou kladeny požadavky na získání textilie podobného vzhledu s lepší kvalitou a za mnohem výhodnějších výrobních podmínek. Technologií stone washed se nedosáhne jen opraného, ale také „onošeného“ vzhledu – oděr probíhá po celé ploše textilie a ne jen na místech odíraných při nošení.

Alternativní možnost vzorování tedy spočívá ve využití laserového záření. K tomuto účelu jsou využívány CO₂ laserové zdroje, kterými je možno vytvářet na textiliích i velmi jemné ornamenty či obrázky. K hlavním výhodám tohoto postupu patří jednak vysoká rychlost produkce, přesnost a zároveň flexibilita celého procesu.

Další výhodou je i fakt, že se jedná o bezkontaktní „suchou“ metodu, a zpracovávaný materiál tedy nepřichází do styku s laserovým zdrojem. Laserové zdroje jsou uchycené do plotrů nebo do systému s rozmítací hlavou. V případě laserových plotrů se laser pohybuje přímo nad materiálem, na který je vzor přenášen dle zadané předlohy. Zatímco při vzorování laserem s rozmítací hlavou se samotný laser nepohybuje, zde k přenášení vzoru na materiál slouží nastavitelná optika.

Ze širokého uplatnění aplikace infračerveného laserového záření CO₂ laserů např. řezání textilie v oddělovacím procesu nebo spojování textilií, bylo třeba vybrat zaměření práce. Cílem práce je sledovat lokální odbarvování bavlněné textilie vlivem ozáření infračerveným zářením pomocí CO₂ laseru.

2 Předmět a cíle disertační práce

V textilním průmyslu je nejběžnější a zároveň nejvíce se rozvíjející oblastí odbarvování textilií keprové vazby obarvené indigem působením infračerveného laseru. Tato technologie byla vyvinuta a zavedena na základě empirického pozorování a metod „pokus-omyl“.

Interakci infračervený laserový paprsek-textilie lze charakterizovat jako míru poškození bavlněných vláken tepelným účinkem infračerveného laserového záření a s ohledem na možné termické poškození textilie je třeba dávkovat energii laseru velmi přesně, aby se předešlo ztrátě vlastností textilie. Vlivem ozařování textilních materiálů infračerveným laserovým zářením dochází k modifikaci jejich povrchu, což vede ke změně nejen mechanických, strukturních ale i chemických vlastností.

Cílem práce je prokázat souvislost plošné hustoty energie infračerveného laserového záření s barvenou změnou zkoumaného vzorku. Dále je třeba popsat probíhající děje během expozice obarvené bavlněné tkaniny infračervenému laserovému záření a zároveň kvantifikovat míru poškození bavlněného vzorku vlivem ozáření na základě změny jeho mechanických vlastností stanovením tahových křivek. Strukturní změny lze zkoumat pomocí Skenovací elektronové mikroskopie nebo Diferenční skenovací kalorimetrie. Chemické změny bavlněného vzorku po ozáření infračerveným laserovým zářením lze určit pomocí Infračervené spektroskopie, Rentgenové fotoelektronové spektroskopie nebo stanovením měďného čísla.

Pro možnost vzorování bavlněné textilie je důležité zaměřit se také na změnu odstínu textilie posouzením remisních vlastností po jejím ozáření infračerveným laserovým zářením.

Dílčími úkoly je posoudit a predikovat citlivost bavlněné textilie obarvené kypovým barvivem na účinky infračerveného laserového záření. Úkolem je nalézt model pro neobarvenou bavlněnou tkaninu po expozici infračervenému laserovému záření, ale i pro „odbarvování“ obarvené bavlněné textilie.

První kapitola je zaměřena na charakteristiku jednotlivých druhů laserů. Dále vlastnosti a charakteristiku laserového záření. V druhé kapitole je popsána interakce laserového záření s homogenním materiálem a s vláknennou soustavou. Charakteristika bavlněného materiálu a princip barvení bavlněného materiálu kypovými barvivy.

Kapitola třetí je součástí experimentální části práce a zabývá se infračerveným laserovým zařízením použitým pro experimenty. Čtvrtá kapitola je věnována popisu textilního materiálu použitého pro experimenty. V páté kapitole jsou uvedeny charakteristiky a způsoby aplikace kypových barviv použitých v předložené práci. Metodami analýzy vzorků po ozáření infračerveným laserovým zářením se zabývá kapitola šestá. V sedmé kapitole jsou uvedeny změny mechanických, strukturních, termických vlastností vzorku před a po ozáření laserovým zářením. Nedílnou součástí této kapitoly jsou i barevné změny vzorků po ozáření.

3 Přehled současného stavu problematiky

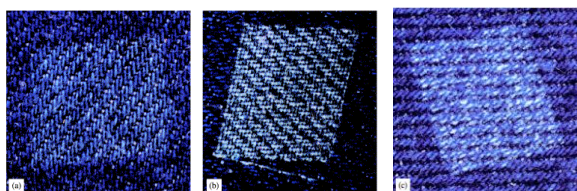
Čím větší je reflexe povrchu vláken vůči záření, tím je nižší i zahřátí materiálu. O tom, že odrazivost IR paprsků je závislá na vybarvení textilií, přináší důkaz tab. 1.

Tab. 1 Barviva odrážejí monochromatické infračervené paprsky o vlnové délce 1000 nm [1]

Substantivní barviva	70-80%
Kypová barviva	30-50%

Výhody využití laserového záření při tvorbě “vzoru“ jsou např. méně znečištěné prostředí, snížené množství chemických prostředků a vody. Celý postup tvorby “vzoru“ je velice flexibilní a je spojen s vysokou reprodukovatelností návrhů. Laserové návrhářství poskytuje projektování vzorů s požadovanými rozměry a intenzitou [2, 3].

Interakce infračerveného laserového paprsku s polymerem vykazuje tepelný účinek, jehož výsledkem je stejnoměrné vyblednutí textu či obrázku. Vhodnou volbou parametrů laserového paprsku lze dosáhnout různého stupně odbarvení s nízkým poškozením nebo bez poškození tkaniny [3]. V posledních pěti až deseti letech lze nalézt studie zabývající se odbarvováním denimu pomocí vhodné volby vlnové délky laserového záření [3, 4], a zároveň využitím laseru s vlnovou délkou 10,6 μm (CO_2 laser – oxid uhličitý) [5, 6, 7]. Odbarvováním denimu pomocí dvou typů pulzních laserů s vlnovou délkou 1064 nm, 532 nm (Nd:YAG laser – krystal yttrium-aluminium-granátu dopovaný neodymem) a 10,6 μm (CO_2 laser) se zabývá literatura [3]. Nejsilnější interakce denimu s laserovým paprskem nastává v případě CO_2 laseru, ale vlivem laserového ozáření dochází ke strukturálním změnám denimu. Výhodnější se tedy jeví Nd:YAG s vlnovou délkou 532 nm (obr. 1). Pro nastavení laserového paprsku je nejdůležitějším parametrem hustota energie laserového paprsku. Odbarvenou plochu denimu se stejným stupněm remise je možné získat vhodnou volbou různého nastavení intenzity a hustoty energie laserového paprsku.

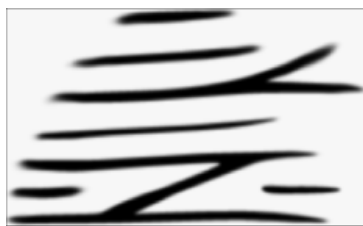


Obr. 1 Snímky denimu ozářeného různými lasery: (a) CO_2 laser, $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, (b) Nd:YAG laser, $\lambda = 532 \text{ nm}$ a (c) Nd:YAG, $\lambda = 1064 \text{ nm}$ [3]

Další studie se zabývá se porovnáním různých druhů pulzních laserů při odbarvování denimu, Nd:YAG laser s vlnovými délkami 1064 nm a 532 nm, CTH:YAG (yttrium-aluminium-granát dopovaný chromem, thuliem a holmiem) laser s vlnovou délkou 2.09 μm a pulzní CO_2 laser s vlnovou délkou 10.6 μm [4]. Experimenty prokázaly, že odbarvování denimu pomocí laserového záření vykazuje podobné a v některých případech dokonce lepší výsledky než běžné technologie. Upravený vzorek denimové textilie neztrácí svou kvalitu, i když se prokázal nepatrný rozdíl v barevném odstínu odbarveného denimu. Jen CO_2 laser představuje dobrou alternativu pro odbarvování denimové textilie, neboť u ostatních laserových zařízení jsou přehnané investiční náklady, dodávka energie a údržba. CO_2 laser má vysokou účinnost, levnější systémy chlazení a tím menší spotřebu vody.

V literatuře [8] jsou porovnávány výhody pigmentového tisku a vzoru vytvořeného pomocí CO_2 laseru. Pigmentový tisk je jedna z nejpoužívanějších metod tisku aplikovaných na textilie, a zahrnuje 45 % tiskařského obchodu posledních deseti až patnácti let. Vedle

mnoha výhod je jeden z hlavních problémů při pigmentovém tisku nižší stálost v otěru. Pigmentový tisk byl proveden ručně s plochým sítem. Navržené vzorky byly srovnávány v rámci kvality výrobku, reprodukovatelnosti a doby produkce (obr. 2). Doba celkové produkce byla stanovena s použitím stopek pro každý krok výroby. Bylo zjištěno, že vzorování laserem je 13,24krát rychlejší než pigmentový tisk, pokud jde o celkovou dobu aplikace vzoru na denimovou tkaninu. Obě metody při společném srovnání nevykazovaly rozdílné hodnoty pevnosti v tahu upravené textilie. Převod vzoru do počítače skenováním a jeho příprava v počítačovém programu laseru trvá velmi krátkou dobu. Pigmentový tisk vyžaduje pořízení nástrojů jako je síto a stěrka, a je tedy nutný delší čas v porovnání s laserovým tiskem. Vzorky navržené laserem mají lepší suché a mokré stálosti v otěru v porovnání se vzorky z pigmentového tisku. Jednou z výhod laserového návrhu je jeho dobrá reprodukovatelnost. Při pigmentovém tisku se prodlužuje doba tisku a klesá reprodukovatelnost vlivem obtíží, jako jsou příprava pasty, pohyb stěrky, ucpání síta. Mimoto vzorování laserem nevyžaduje žádné další kroky jako je sušení a fixace, které zvyšují dobu provedení i cenu výrobku. Výsledky z této práce ukazují, že návrhářství založené na laseru představuje vážného konkurenta běžným technologiím [8].



Obr. 2 Návrh použitý pro obě metody [8]

Změny mechanických vlastností odbarveného denimu vlivem pulzního CO₂ laseru se zabývá studie [5, 6]. Byl zkoumán účinek CO₂ laserového paprsku na vlastnosti denimových tkanin, jako je pevnost v tahu, odolnost proti přetrhu, odolnost v otěru. Faktorem zůstává, že jakýkoliv pokles pevnosti v tahu textilie je způsoben poškozením struktury tkaniny. Bylo prokázáno, že při jakékoliv šířce pulzu poklesla pevnost v tahu textilie, a nejvýraznější pokles nastal při šířce pulzu 350 μs. Ve směru osnovy byl pokles pevnosti vyšší než ve směru útku. Účinkem laserového záření došlo také k poklesu tažnosti. Odolnost v otěru klesla o 24,6 % při délce pulzu 100 μs. Odolnost v otěru klesá se zvyšující se šířkou pulzu. Nejvhodnější doba trvání laserového pulzu je v rozmezí 100 - 150 μs bez efektu žloutnutí odbarvené oblasti vzorku. Slabší efekt odbarvení vykazují hodnoty šířky pulzu nad stanovené rozmezí a dochází ke žloutnutí vláken vlivem jejich degradace. Ozářená textilie získala světlejší odstín (zvýšená hodnota L^*) a zeleno-žlutý vzhled (snížení a^* a zvýšení b^*) vyjádřením barevnosti v hodnotách CIE $L^* a^* b^*$.

Analýza SEM odhalila změny morfologie povrchu bavlny vlivem ozáření CO₂ laseru [7, 9]. Na povrchu ozářených vláken byly pozorovány póry, trhliny a jejich množství bylo ovlivněno nastavením různých parametrů laserového paprsku. Působením infračerveného laserového paprsku se mění struktura povrchu bavlny, což má za následek úbytek hmotnosti a mírné snížení pevnosti. V porovnání s neupraveným vzorkem bylo zjištěno zežloutnutí ozářeného vzorku, ale vizuálně nebyla barevná změna patrná. Také došlo ke zhoršení úhlu zotavení. Výsledky prokazují, že laserová úprava poskytuje textilií plnější omak, ale ozáření tkaniny laserem snížilo hladkost povrchu. Nebyla prokázána změna barevnosti vzorků po ozáření, pouze došlo k jejich mírnému odbarvení. Výsledky stálosti v praní se u vzorků ozářených laserem příliš neliší. Nedošlo ani ke zhoršení ani ke zlepšení stálosti

v praní. Nicméně se zvýšeným probarvením tkaniny došlo ke zhoršení stálosti v praní po ozáření laserem. Došlo ke snížení stálosti v otěru u vzorků ozářených laserem.

Byl zkoumán účinek laserového záření CO₂ laseru na dva typy denimové bavlněné tkaniny [10]. Pro vzájemné srovnání byla jedna tkanina zhotovena z příze vyrobené pomocí prstencového předení, zatímco druhá tkanina z příze vyrobené bezvřetenovým (rotorovým) předením. Obě tkaniny byly dále obarveny indigem a poté ozářeny CO₂ laserem při různém nastavení laserového paprsku. Většího odbarvení textilie je dosaženo vyšší hustotou energie laserového paprsku, ale je nezbytné sledovat poškození materiálu, protože k němu může snadno dojít. Použitím textilie z bezvřetenové příze pro odbarvování pomocí laseru bylo dosaženo lepších výsledků než u tkaniny z prstencové příze. Nebyl prokázán vliv metody předení příze na zajištění rozměrové stability při simulovaném domácím praní po ozáření textilie laserem. Porovnáním běžné metody tzv. stone washed a ozáření laserem bylo zjištěno, že je možno vytvořit stejný vzor pomocí laserového záření za 3 minuty při pokojové teplotě. Zatímco metoda stone washed trvá přibližně 45 minut při 55 °C a ještě je spotřebováno velké množství vody pro následné oplachování textilie [10].

4 Použité metody

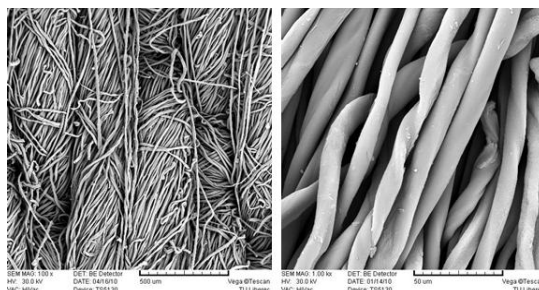
Interakci infračervený laserový paprsek-textilie lze charakterizovat jako míru poškození bavlněných vláken tepelným účinkem infračerveného laserového záření. S ohledem na možné termické poškození textilie je třeba dávkovat energii laseru velmi přesně. Vlivem ozařování textilních materiálů infračerveným laserovým zářením dochází k modifikaci jejich povrchu, což vede ke změně nejen mechanických, strukturních ale i chemických vlastností, které byly zkoumány různými metodami.

4.1 Materiál použitý pro barvení kypovými barvivy a indigem

Materiál: bělená bavlněná tkanina s keprovou vazbou (tab. 2, obr. 3). Stanovení plošné hmotnosti bylo provedeno v souladu s normou EN ISO 3801. Stanovení tloušťky textilie bylo provedeno v souladu s normou EN ISO 5084. Osnovní a útková příze byly jednoduché příze vyrobené bezvřetenovým předením.

Tab. 2 Parametry bavlněné tkaniny použité pro ozařování infračerveným laserem

Tloušťka [mm]	0,58
Plošná měrná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	0,26
Objemová měrná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	44,83
Vazba	Keprová (3/1 ↖)
Pórovitost [%]	70,51
Jemnost osnovy [tex]	36,4
Jemnost útku [tex]	52,8
Dostava osnovy [nití.1 cm^{-1}]	31
Dostava útku [nití.1 cm^{-1}]	14
Setkání osnovy [%]	6
Setkání útku [%]	7
Procento setkání osnovy [%]	5,66
Procento setkání útku [%]	6,54
Počet přádních zákrutů osnovy [z.1 m^{-1}]	841
Počet přádních zákrutů útku [z.1 m^{-1}]	1027



Obr. 3 SEM snímky neozářené bavlněné tkaniny

4.2 Barviva a jejich aplikace – kypová barviva

Pro experimenty byla použita následující kypová barviva: **C.I. Vat Green 1**, **C. I. Vat Yellow 2**, **C. I. Vat Red 13** (výrobce kypových barviv: Synthesia, a.s. C. I. Vat Green 1: A 6764 200 %, C. I. Vat Yellow 2: A 6146 100 %, C. I. Vat Red 13: E 5505 100 %)

Barvicí postup:

Sytost vybarvení jednotlivých kypových barviv byla 0,5; 1; 1,5 a 3 %. Poměr barvicí lázně byl zvolen 1:50 dle velikosti barvicí patry. Složení barvicí lázně je uvedeno v tab. 3. Postup barvení byl proveden v souladu s obr. 4 dle receptury pro vytahovací postup uvedený ve vzorkovnici. Hmotnost vzorků pro barvení byla 5 g a od každé sytosti vybarvení byly obarveny dva vzorky.

Zpracování vzorků po barvení:

Oplach: vzorky byly po barvení propláchnuty 2 minuty střídavě pod teplou a studenou vodou.

Oxidace: byla provedena v lázni obsahující 3 ml.l⁻¹ peroxidu vodíku.

Poměr lázně byl stejný jako v předchozím postupu, tedy 1:50 a teplota lázně pro oxidaci byla 30 °C. Vzorky byly v lázni pro oxidaci ponechány po dobu 20 minut.

Oplach: vzorky byly po barvení propláchnuty 2 minuty střídavě pod teplou a studenou vodou.

Mydlení: bylo provedeno v lázni obsahující 2 g.l⁻¹ Syntaponu ABA (anioaktivní tenzid)

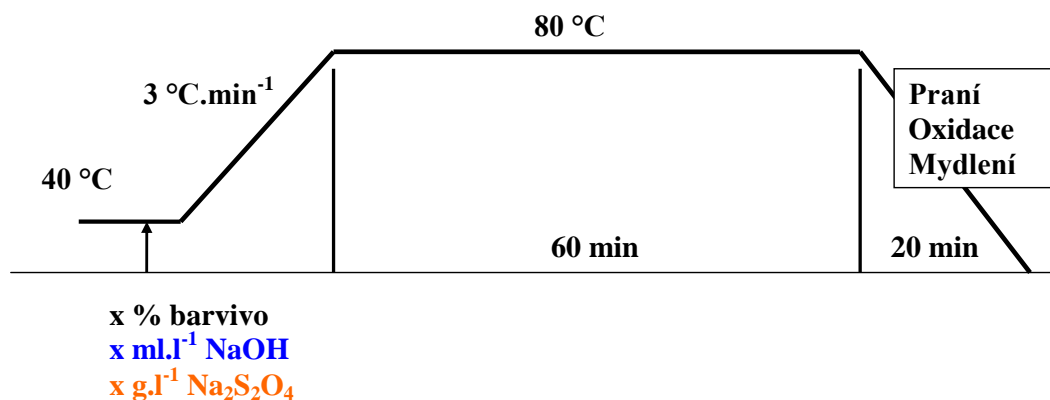
Poměr lázně byl zvolen 1:50 a mydlení vzorků bylo prováděno za varu po dobu 20 minut.

Oplach: vzorků byl prováděn střídavě teplou a studenou vodou po dobu 2 minut.

Sušení: bylo provedeno v laboratorní sušárně při teplotě 100°C.

Tab. 3 Složení barvicí lázně

% vybarvení	Celkový obsah chemikálií	
	NaOH [ml.l ⁻¹]	Na ₂ S ₂ O ₄ [g.l ⁻¹]
0,5	1,95	0,35
1	2,0	0,38
1,5	2,2	0,4
3	2,5	0,45



Obr. 4 Schéma postupu barvení kypovými barvivy dle receptury vytahovacím způsobem

Slepý pokus:

Složení lázně pro slepý pokus odpovídá složení barvicí lázně ovšem bez barviva. Dávkuje se pouze hydroxid sodný a dithioničitan sodný (2,2 ml.l⁻¹ hydroxidu sodného a 0,4 g.l⁻¹ dithioničitanu sodného). Poměr lázně byl zvolen 1:50. Hmotnost vzorků byla 5 g a lázeň pro slepý pokus byla připravena pro 2 vzorky.

Oplach: vzorky byly po barvení propláchnuty 2 minuty střídavě pod teplou a studenou vodou.

Oxidace: byla provedena v lázni obsahující 3 ml.l⁻¹ peroxidu vodíku.

Poměr lázně byl stejný jako v předchozím postupu, tedy 1:50 a teplota lázně pro oxidaci byla 30 °C. Vzorky byly v lázni pro oxidaci ponechány po dobu 20 minut.

Oplach: vzorky byly po barvení propláchnuty 2 minuty střídavě pod teplou a studenou vodou.

Mydlení: bylo provedeno v lázni obsahující 2 g.l⁻¹ Syntaponu ABA (anioaktivní tenzid) Poměr lázně byl zvolen 1:50 a mydlení vzorků bylo prováděno za varu po dobu 20 minut.
Oplach: vzorků byl prováděn střídavě teplou a studenou vodou po dobu 2 minut.
Sušení: bylo provedeno v laboratorní sušárně při teplotě 100°C.

Použitá zařízení:

Rotační barvicí zařízení Ahiba Nuance Eco (Datacolor)
Sušárna Chirana HS 62A

C.I. 73000 (Indigo)

Matečná kýpa: obsahovala 2 g barviva C. I. 73000 (indigo), 2 ml hydroxidu sodného 38 %, 1,25 g dithionicitanu sodného, 500 ml destilované vody. Pro úpravu pH barvicí lázně byla přidána kyselina octová.

Barvicí postup: viz. Kap. 4.2

4.3 Nastavení laserového zařízení použité pro ozařování jednotlivých vzorků

Pro ozařování všech vzorků bylo použito stejné nastavení laserového zařízení (tab. 4). Vzorky byly ozařovány celoplošně a jednostranně ve směru osnovy. Ozařovaná plocha neobarvených vzorků bavlněné tkaniny pro analýzu pevnosti měla rozměry 300 x 60 mm². Ozařovaná plocha obarvených bavlněných vzorků měla rozměry 150 x 95 mm², aby je bylo možné vložit do barvicí patry aparátu Ahiba.

Tab. 4 Hustota energie infračerveného záření na jednotku plochy použitá pro ozařování

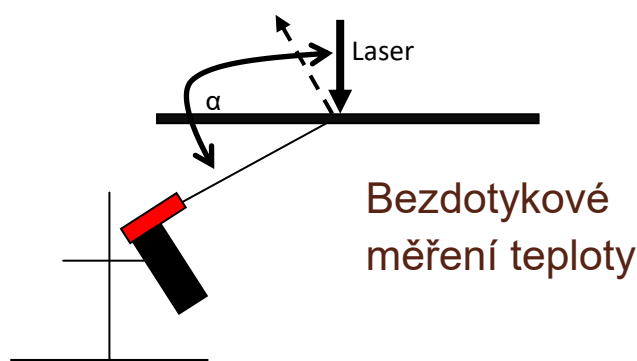
Doba trvání laserového pulzu [μs]	Energie na jeden obrazový bod [J]	Plošná hustota energie při DPI 36 x 36 [J.cm ⁻²]
50	0,005	0,99
100	0,01	1,99
150	0,015	2,98
200	0,02	3,98
250	0,025	4,97
300	0,03	5,97
350	0,035	6,96

Interakci infračervený laserový paprsek-textilie lze charakterizovat jako míru poškození bavlněných vláken tepelným účinkem infračerveného laserového záření a s ohledem na možné termické poškození textilie je třeba dávkovat energii laseru velmi přesně. Bylo třeba Je třeba popsat probíhající děje během expozice obarvené bavlněné tkaniny infračervenému laserovému záření a kvantifikovat míru poškození obarveného bavlněného vzorku na základě změny jeho mechanických vlastností stanovením tahových křivek. Strukturální změny lze zkoumat pomocí Skenovací elektronové mikroskopie nebo Diferenční skenovací kalorimetrie. Chemické změny bavlněného vzorku po ozáření infračerveným laserovým zářením lze určit pomocí Infračervené spektroskopie, Rentgenové fotoelektronové spektroskopie nebo stanovením měďného čísla. Pro možnost vzorování bavlněné textilie je důležité zaměřit se také na změnu odstínu textilie posouzením remisních vlastností po jejím ozáření infračerveným laserovým zářením.

4.4 Měření teploty rubové strany vzorku

Bezkontaktní digitální infračervený teploměr GIM 3590 (Greisinger electronic GmbH, Německo) byl napojen na počítač a po dobu ozařování infračerveným pulzním laserovým svazkem snímal teplotu rubové strany bavlněných vzorků. Byl umístěn pod desku pracovního stolu a nastaven pro snímání plochy ozařovaného vzorku pod úhlem cca 140° (obr. 5). Velikost ozařované plochy byla 4,5 cm x 4,5 cm.

Zaznamenaná data byla ukládána do datového souboru. Ze získaných dat byly vypracovány grafy zaznamenávající průběh teploty v závislosti na čase. Byla měřena teplota rubové strany neobarveného bavlněného vzorku textilie při ozařování infračerveným pulzním laserovým svazkem pomocí bezkontaktního teploměru v intervalu 20 ms.



Obr. 5 Měření teploty rubové strany vzorku při ozařování infračerveným pulzním laserovým svazkem

4.5 Mechanické vlastnosti

Měření pevnosti a tažnosti bavlněné příze bylo provedeno na přístroji Labortech 2010. Testovány byly osnovní a útkové příze vypárané z obarvených vzorků bavlněné tkaniny z důvodu omezené velikosti barvených vzorků. Od každého vzorku bylo testováno 10 přízí. Před vlastním měřením byly vzorky klimatizovány po dobu 24 hodin. Upínací délka přízí byla 50 mm. Rychlost posuvu byla 100 mm.min⁻¹ a hodnota předpětí byla 0,03 N.

4.6 Strukturní vlastnosti

Rastrovací elektronová mikroskopie: pro analýzu byl použit rastrovací mikroskop (Vega Tescan TS 5130, Brno, Česká Republika). Před snímáním byly vzorky naprášeny vodivou vrstvou kovu (zlata) pomocí zařízení Proben SCD 030 (Balzers Union Ltd., Lichtenštejnsko) po dobu 120 s.

Řezy tkanin: nejprve byl vzorek zalit do vosku. Následně byl řezaný vzorek upevněn do zařízení Leica RM 2265, jednotlivé řezy byly umístěny na podložní skličko. Řezy tkanin byly provedeny pomocí ocelových nožů. Snímky řezů byly pořízeny pomocí mikroskopu s kamerou Nikon Progres CT3 a zpracování snímků bylo provedeno pomocí obrazové analýzy Nis Elements na Katedře textilních technologií.

4.7 Termické vlastnosti

Diferenční skenovací kalorimetrie: pro analýzu byl použit kalorimetr Pyris 6 DSC (Perkin-Elmer) chlazený dusíkem. Pro analýzu byl použit neobarvený bavlněný materiál, jednotlivá kypová barviva (C. I. Vat Green 1, C. I. Vat Yellow 2 a C. I. Vat Red 13) i vzorek obarvený kypovým barvivem a indigem (C. I. 73000) v násadní sytosti 3 %. Experiment byl proveden jednou pro každý vzorek.

Program pro analýzu – pomalý ohřev:

Začátek měření: po dobu 1 minuty byla udržována teplota 25 °C. Následoval ohřev: z teploty 25 °C na teplotu 450 °C se zvolenou rychlostí ohřevu 15 °C.min⁻¹. Ochlazování: probíhalo z teploty 450 °C na teplotu 25 °C, rychlost chlazení byla 15 °C.min⁻¹. Experiment trval přibližně 60 minut.

4.8 Chemické vlastnosti

Měďné číslo: metoda spočívá ve zpracování vzorku přesně stanovené velikosti ve Fehlingově činidlo. Číslo mědi udává množství mědi v gramech, které se vyredukuje 100 gramy absolutně vysušeného zkoušeného materiálu.

Rentgenová fotoelektronová spektroskopie: měření bylo provedeno na přístroji ESCA PROBE P (Omicron Nanotechnology Ltd.) v ultra vysokém vakuu (za tlaků řádu 10⁻¹⁰ mbar). Analyzovaná plocha měla průměr cca 1 mm. Informace jsou získávány z povrchové vrstvy o tloušťce cca 5 - 10 nm. Na ose X je uvedena vazebná energie v elektronvoltech. Na ose Y je vynesena měřená intenzita v jednotkách cps, které udávají počet pulzů odpovídající počtu detekovaných elektronů za jednu sekundu.

Infračervená spektroskopie: byla provedena na přístroji Nicolet iZ10 (ThermoFisher Scientific) byla provedena analýza pomocí infračervené spektroskopie. Měření bylo prováděno metodou zeslabené totální reflexe s jednodrazovým krystalem ze ZnSe.

4.9 Barevné vlastnosti

Měření barevnosti: na vzorcích bavlny po ozáření infračerveným pulzním laserovým zářením a neozářených vzorkcích bylo provedeno na spektrofotometru SF600 (Datacolor) v rozmezí vlnových délek 400 až 700 nm. Zdrojem světla je pulzní xenonová výbojka. Geometrie měření byla d/8°. Získána byla remisní data, ze kterých byla pomocí Kubelka-Munkovy funkce vypočítána K/S data.

Změny barevnosti bavlněné textilie vlivem praní: Neobarvená i obarvená bavlněná tkanina po ozáření infračerveným pulzním laserovým svazkem byla podrobena praní. Měření na zařízení Datacolor byly získány hodnoty CIE $L^* a^* b^*$ pro neobarvenou bavlněnou tkaninu po ozáření laserem a také pro bavlněnou tkaninu obarvenou kypovým barvivem. Kde L^* představuje jasovou složku v hodnotách 0 – tmavý odstín až 100 – světlý odstín. Je-li složka a^* kladná, potom má vzorek červený odstín. Pokud je složka a^* záporná, pak je odstín vzorku zelený. Odstín vzorku je žlutý pokud je složka b^* kladná. Vzorek má modrý odstín pokud je složka b^* záporná.

Použitá zařízení:

Rotační barvicí zařízení Ahiba Nuance Eco (Datacolor)

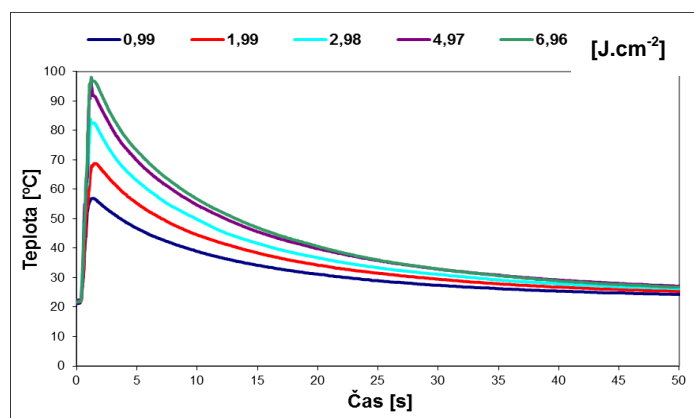
Složení prací lázně: byl použitý prací prostředek dle normy pro praní EN ISO 105-C06 (Textilie – Zkoušky stálobarevnosti: Stálobarevnost v domácím a komerčním praní) o koncentraci 4 g.l⁻¹, poměr lázně byl zvolen 1:50. Teplota prací lázně byla 40 °C a doba praní byla 30 minut.

5 Přehled dosažených výsledků

5.1 Teplota rubové strany vzorku

Se zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření se zvyšuje i teplota na rubní straně bavlněného vzorku během ozařování infračerveným pulzním laserovým svazkem (obr. 6). Při plošné hustotě energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ byla nejvyšší teplota $56,3 \text{ °C}$. Při nejvyšší použité plošné hustotě energie $6,96 \text{ J.cm}^{-2}$ bylo dosaženo teploty na rubní straně vzorku $97,7 \text{ °C}$. Při plošné hustotě energie laserového záření $2,98 \text{ J.cm}^{-2}$ bylo dosaženo teploty $82,5 \text{ °C}$ na rubní straně bavlněného vzorku.

Získaná data byla podkladem k navržení speciální jednorázové ochranné textie, např. rukavic, jako ochrana člověka před infračerveným laserovým zářením.



Obr. 6 Závislost teploty rubové strany neobarvených bavlněných vzorků na čase při jejich ozařování infračerveným pulzním laserovým svazkem pro různé plošné hustoty energie laserového záření

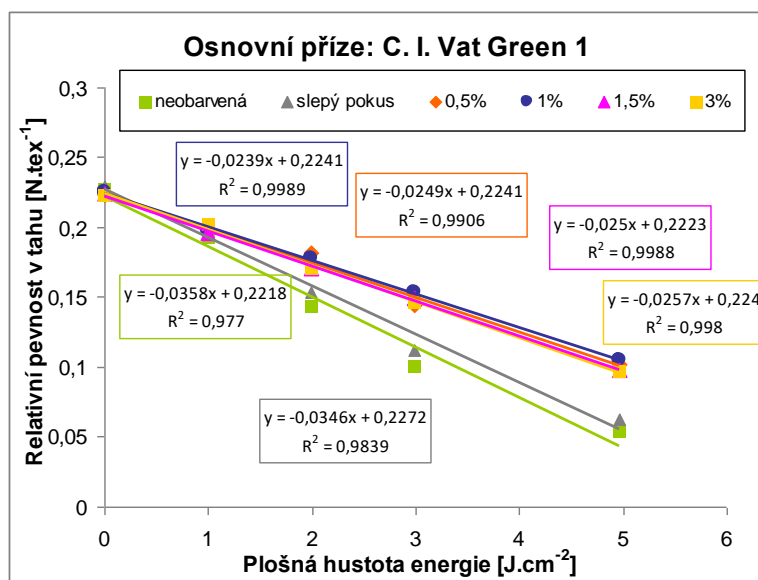
5.2 Mechanické vlastnosti neobarvených, obarvených vzorků kypovými barviva a slepého pokusu na bavlněné přízi

Pro testování mechanických vlastností byly použity příze vypárané z neobarvené, obarvené bavlněné textie a slepého pokusu (má stejné složení jako lázeň obsahující barvivo, jen je bez barviva) po ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření z důvodu omezené velikosti obarvených vzorků. Mechanické vlastnosti byly sledovány stanovením pevnosti v tahu neobarvené bavlněné příze ve směru osnovy a útku. Z provedených měření byl vypočítán průměr, směrodatná odchylka, variační koeficient a 95 % interval spolehlivosti.

Se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného pulzního laserového svazku působící na vzorky bavlněné příze dochází k její většímu poškození, což se projevuje vyšší ztrátou relativní pevnosti v tahu ve směru osnovy pro všechny vzorky (tedy neobarvená příze, slepý pokus a obarvená příze) u kypového barviva C. I. Vat Green 1 (obr. 7) a C. I. Vat Yellow 2 (obr. 8).

Ozářením plošnou hustotou energie laserového záření $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ klesla relativní pevnost v tahu neobarvené bavlněné příze vypárané z osnovy o 76 % a o 72,5 % pro slepý pokus (obr. 6). Relativní pevnost v tahu, neobarvené osnovní bavlněné příze a vzorku slepého pokusu, klesla o 15,2 % a 13% vlivem plošné hustoty energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ infračerveného laserového záření. Ozářením s plošnou hustotou energie laserového záření $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ klesla relativní pevnost v tahu obarvené osnovní příze o přibližně 10 % pro 0,5 % vybarvení pro C. I. Vat Green 1 a C. I. Vat Yellow 2. Pokles relativní pevnosti v tahu osnovní příze

ozářením s plošnou hustotou energie laserového záření $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ je okolo 12 % pro vybarvení 1 % a 1,5 % C. I. Vat Green 1. Pro 3 % vybarvení C. I. Vat Green klesla pevnost o přibližně 10 % při ozářením s plošnou hustotou energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$. Relativní pevnost osnovní bavlněné příže klesla vlivem ozářením s plošnou hustotou energie laserového záření $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ o více než 50 % pro všechna vybarvení C. I. Vat Green 1. O přibližně 30 % klesla relativní pevnost osnovní bavlněné příže pro všechna vybarvení C. I. Vat Green 1 při ozářením s plošnou hustotou energie $2,98 \text{ J.cm}^{-2}$.

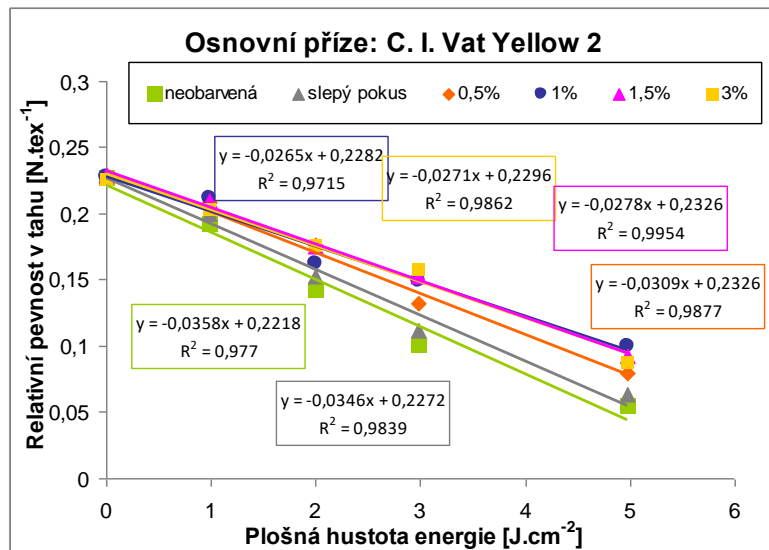


Obr. 7 Závislost relativní pevnosti osnovní příže(neobarvené, slepého pokusu a vybarvení C. I. Vat Green 1) na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření

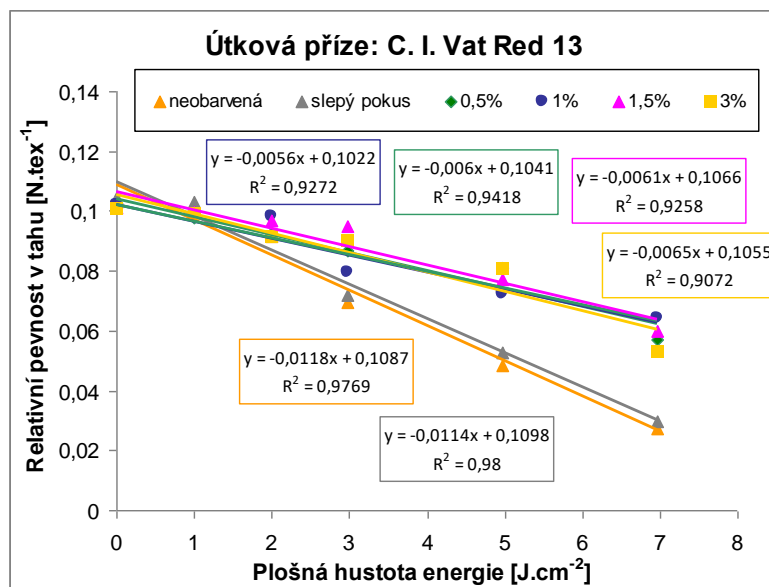
Relativní pevnost v tahu osnovní bavlněné příže ozářením s plošnou hustotou energie laserového záření $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ klesla o přibližně 8 % pro 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2. O přibližně 20 % klesla relativní pevnost v tahu pro všechna vybarvení C. I Vat Yellow ozářením s plošnou hustotou energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$. Pro 1, 1,5 a 3 % vybavení C. I. Vat Yellow 2 klesla relativní pevnost v tahu bavlněné osnovní příže ozářením s plošnou hustotou energie o přibližně 30 %. O více než 50 % klesla relativní pevnost u všech vybarvení C. I Vat Yellow 2 při ozářením s plošnou hustotou energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ (obr. 8).

Dle očekávání se projevuje pokles relativní pevnosti v tahu útkové příže se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného pulzního laserového záření u kypového barviva C. I. Vat Red 13 (obr. 9). Relativní pevnost v tahu neobarvené útkové bavlněné příže a vzorku slepého pokusu ozářením plošnou hustotou energie $6,96 \text{ J.cm}^{-2}$ infračerveného laserového záření klesla o přibližně 74 % a 71,4 %. Relativní pevnost v tahu neobarvené bavlněné příže vypárané z útku a vzorku slepého pokusu klesla o 53,5 % a 49,4 % při plošné hustotě energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$. Zatímco při ozařování s plošnou hustotou energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ útkové bavlněné tkaniny a vzorku slepého pokusu klesla relativní pevnost v tahu jen o přibližně 10 %.

Nejmenší pokles relativní pevnosti v tahu bavlněné útkové příže se projevuje u 1,5 a 3 % vybarvení pro C. I. Vat Red 13, kdy je pokles přibližně 1,5 % při ozářením s plošnou hustotou energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$. Relativní pevnost útkové příže vlivem ozářením s plošnou hustotou energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ klesla o 4 a 3 % pro 0,5 a 1 % vybarvení pro C. I. Vat Red 13. Při ozářením plošnou hustotou energie $6,96 \text{ J.cm}^{-2}$ klesla pevnost útkové příže o přibližně 40 % pro všechna vybarvení C. I. Vat Red 13 [A2, A3, B1, B2, B5, B6].



Obr. 8 Závislost relativní pevnosti bavlněné osnovní příze (neobarvené, slepého pokusu a vybarvení C. I. Vat Yellow 2) na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření



Obr. 9 Závislost relativní pevnosti útkové příze (neobarvené, slepého pokusu a vybarvení C. I. Vat Red 13) na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření

Ve všech případech vykazuje relativní pevnost v tahu neobarveného vzorku a vzorku pro slepý pokus nižší hodnoty než relativní pevnost obarveného vzorku. Z toho lze usuzovat na ochranu příze obarvením při následném ozařování textilie. Zda platí předpoklad, že s vyšším procentem vybarvení bavlněného materiálu vlivem ozáření infračerveným laserovým zářením dojde k nižšímu poklesu relativní pevnosti v tahu, bylo nutné ověřit shodou regresních přímek u jednotlivých kypových barviv.

Lineární regresní model pro závislost relativní pevnosti příze na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření má tvar $y = b_1x + b_2$. Odhady parametrů b_1 a b_2 a také koeficient determinace R^2 jsou uvedeny na obr. 7 – 9. Byla testována shoda regresních přímek osnovní neobarvené příze a slepého vzorku osnovní bavlněné příze u kypového barviva C. I. Vat Green 1 a C. I. Vat Yellow 2. Dále byla testována shoda jednotlivých regresních přímek obarvených kypovým barvivem C. I. Vat Green 1 a C. I. Vat Yellow 2. Mimo jiné byla testována shoda regresních přímek neobarvené osnovní

příze a obarvené osnovní příze kypovými barvivy C. I. Vat Green 1 a C. I. Vat Yellow 2. Obdobně byla testována útková příze obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Red 13.

Princip metody spočívá v tom, že všechny skupiny dat se proloží jedinou společnou přímkou s odhady parametrů b_{1K} a b_{2K} , a tím lze získat reziduální součet čtverců RSC_K . Ten se následně porovnává s reziduálním součtem čtverců, který je vytvořený pro každou skupinu zvlášť. Tvar testační charakteristiky je následující

$$F_A = \frac{\frac{RSC_K - RSC_C}{2M - 2}}{\frac{RSC_C}{n - 2M}} \quad (1)$$

V případě platnosti nulové hypotézy H_0 má testační F_A statistika F -rozdělení s $2M - 2$ a $n - 2M$ stupni volnosti. Je-li $F_A < F_{1-\alpha}(2M - 2, n - 2M)$, pak na hladině významnosti α lze považovat všechny testované regresní přímky za totožné se společným odhadem úseku b_{2K} a směrnici b_{1K} . Je možné sloučit jednotlivé skupiny dat do jednoho společného výběru o velikosti n .

Pro jednotlivé regresní přímky byla testována jejich shoda. Nejprve byla testována shoda regresní přímky pro osnovu neobarvenou a slepý pokus. Z této analýzy plyne, že je kvantil F -rozdělení $F_{0,95}(2,6) = 5,143$ vyšší než $F_A = 87,512$. Proto lze považovat regresní přímky pro neobarvenou osnovu a slepý pokus za statisticky nevýznamně odlišné. Dále byla testována shoda regresních přímek obarvené bavlněné příze barvivem C. I. Vat Green 1, kde $F_A = 1,304$ je menší než $F_{0,95}(6,12) = 2,996$. Z čehož plyne, že regresní přímky jednotlivých vybarvení pro barvivo C. I. Vat Green se shodují. Shodují se i regresní přímky jednotlivých vybarvení bavlněné příze obarvené barvivem C. I. Vat Yellow 2, neboť $F_A = 0,897$ je menší než $F_{0,95}(6,12) = 2,996$. Statisticky významně odlišné jsou však regresní přímky neobarvené osnovní příze a jednotlivých vybarvení barvivem C. I. Vat Green 1 a C. I. Vat Yellow 2. Testováním bylo zjištěno, že $F_A = 13,696$ je větší než $F_{0,95}(8,15) = 2,641$ pro barvivo C. I. Vat Green 1. Dále $F_A = 6,13$ je větší než kvantil F -rozdělení $F_{0,95}(8,15) = 2,641$ pro barvivo C. I. Vat Yellow 2. Testována byla také shoda útkové příze neobarvené a slepého pokusu. Z analýzy těchto regresních přímek plyne, že jsou shodné, neboť $F_A = 0,31293$ je menší než $F_{0,95}(2,8) = 4,459$. Shodné jsou i regresní přímky jednotlivých vybarvení pro barvivo C. I. Vat Red 13, neboť $F_A = 0,1874$ je menší než kvantil F -rozdělení $F_{0,95}(6,16) = 2,741$. Regresní přímky neobarvené útkové příze a obarvených útkových přízí barviva C. I. Vat Red 13 se neshodují, neboť $F_A = 8,1598$ je větší než $F_{0,95}(8,20) = 2,447$. Regresní analýza byla provedena pomocí programu Microsoft Excel.

Předpoklad, že se zvyšujícím se procentem vybarvení u bavlněné příze dojde k nižšímu poklesu relativní pevnosti v tahu vlivem ozáření infračerveným laserovým zářením, nebyl prokázán, neboť statisticky jsou regresní přímky jednotlivých sytostí vybarvení daného barviva shodné.

V případě ozáření přízí danou energií infračerveného laserového záření dojde k odstranění (narušení) úměrné vrstvy vláken z povrchu této příze. Je zřejmé, že čím bude plošná hustota energie infračerveného laserového záření větší, tím bude také větší hloubka narušení vlákněné vrstvy. V případě narušení přízí budou tedy více poškozeny příze jemnější než příze hrubé, u kterých záření nepronikne ke všem vláknům, a tím zůstane zachována jejich pevnost.

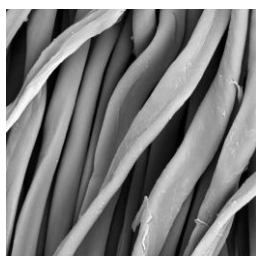
Tento efekt se projevil při ozařování výše zmíněné bavlněné tkaniny, kde příze v osnově ($T_o = 36,4$ tex) byly výrazně jemnější než příze v útku ($T_u = 52,8$ tex). V souladu s tím je sledováno, že pevnost osnovy (obr. 7) klesá výrazněji s plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření než pevnost útku (obr. 9). Pevnost jemnějších přízí, tedy osnovy, klesá k nulové pevnosti pro intenzitu ozáření $6,2 \text{ J.cm}^{-2}$, substanční průměr této příze

je 0,17 mm. V případě útkové příze dochází při stejné intenzitě ozáření k poklesu pevnosti o přibližně 67 %, substanční průměr této příze je 0,21 mm. Tento efekt jemnosti je výrazný i přesto, že vazba bavlněné tkaniny použité pro experimenty je keprová.

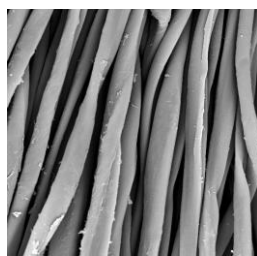
5.3 Strukturní vlastnosti

5.3.1 Analýza neobarvené i kypovým barvivem obarvené bavlněné textilie pomocí rastrovací elektronové mikroskopie

Byly získány snímky pomocí rastrovací elektronové mikroskopie neobarvené bavlněné textilie a obarvené barvivem C. I. Vat Green 1 (0,5 % vybarvení) před a po ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření. Původní, neobarvené, vlákno bavlny je hladké (obr. 10). Vlivem ozáření infračerveným laserovým zářením vznikají v povrchu vlákna póry a praskliny, které se vyskytují u obarvených i neobarvených bavlněných vláken. Se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dochází k vyššímu poškození bavlněných vláken neobarvených (obr. 13) i obarvených kypovými barvivy (obr. 17) a tím narůstá i množství pórů (obr. 20, 21) [A1, A2, B5, B6].



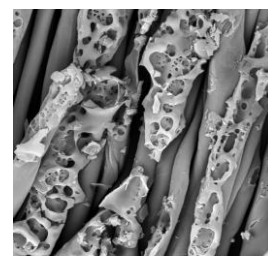
Obr.10 Neozářená neobarvená bavlněná vlákna



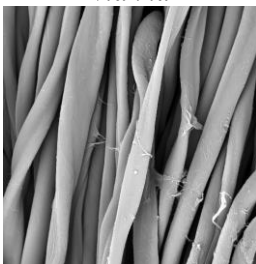
Obr.11 Ozářená neobarvená bavlněná vlákna (0,99 J.cm⁻²)



Obr.12 Ozářená neobarvená bavlněná vlákna (1,99 J.cm⁻²)



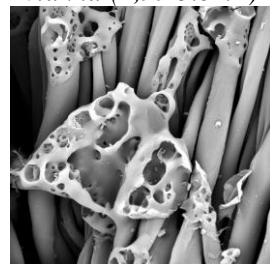
Obr.13 Ozářená neobarvená bavlněná vlákna (2,98 J.cm⁻²)



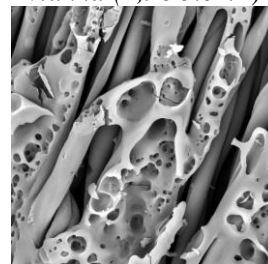
Obr.14 Neozářená obarvená bavlněná vlákna



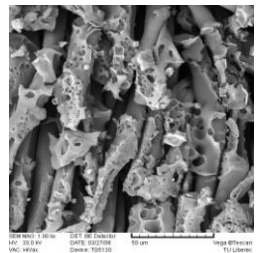
Obr.15 Ozářená obarvená bavlněná vlákna (0,99 J.cm⁻²)



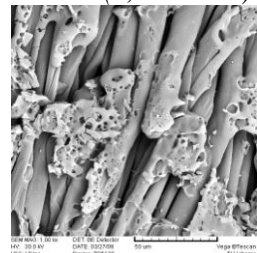
Obr.16 Ozářená obarvená bavlněná vlákna (1,99 J.cm⁻²)



Obr.17 Ozářená obarvená bavlněná vlákna (2,98 J.cm⁻²)



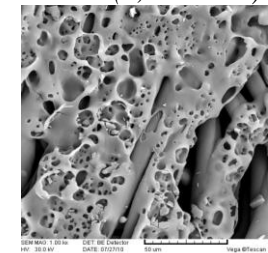
Obr.18 Ozářená neobarvená bavlněná vlákna (4,97 J.cm⁻²)



Obr.19 Ozářená neobarvená bavlněná vlákna (6,96 J.cm⁻²)



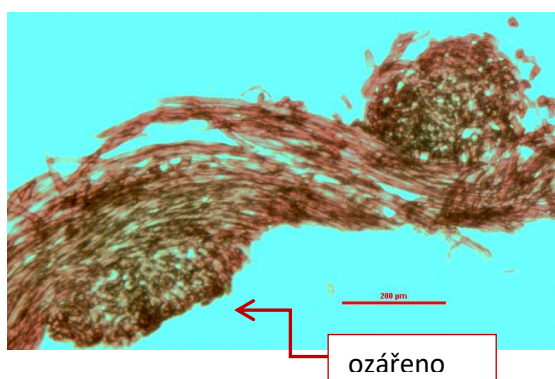
Obr.20 Ozářená obarvená bavlněná vlákna (4,97 J.cm⁻²)



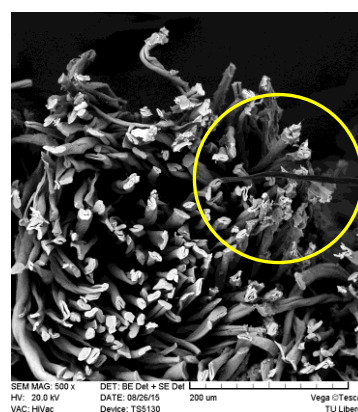
Obr.21 Ozářená obarvená bavlněná vlákna (6,96 J.cm⁻²)

5.3.2 Řezy tkanin

Byly provedeny řezy obarvenou bavlněnou tkaninou kypovým barvivem pro 3 % vybarvení C. I. Vat Red 13 a ozářenou infračerveným laserovým svazkem s hustotou energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$. Cílem bylo zjištění hloubky průniku infračerveného laserového záření. Z provedených řezů nebylo možné určit hloubku průniku laserového záření do materiálu (obr. 22). Proto byly vzorky podrobněji zkoumány pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu. Bylo zjištěno, že hloubka průniku odpovídá maximálně dvěma až třem průměrům bavlněného vlákna (obr. 23). Princip působení infračerveného laserového záření CO_2 laseru na bavlněnou tkaninu spočívá v tom, že se na teplotu rozkladu zahřeje vlákno v povrchu tkaniny, čímž dochází ke karbonizaci tohoto vlákna. Zatímco další vlákna se prohřívají nepatrně a následně se rozkládají další vrstvy vláken, ale maximálně dvě až tři vrstvy vláken.



Obr. 22 Snímek řezu obarvené ozářené bavlněné tkaniny barvivem C. I. Vat Red 13, 3% ($4,97 \text{ J.cm}^{-2}$)



Obr. 23 Řezy obarvenou ozářenou bavlněnou tkaninou, C. I. Vat Red 13, 3 % ($4,97 \text{ J.cm}^{-2}$)

5.4 Termické změny

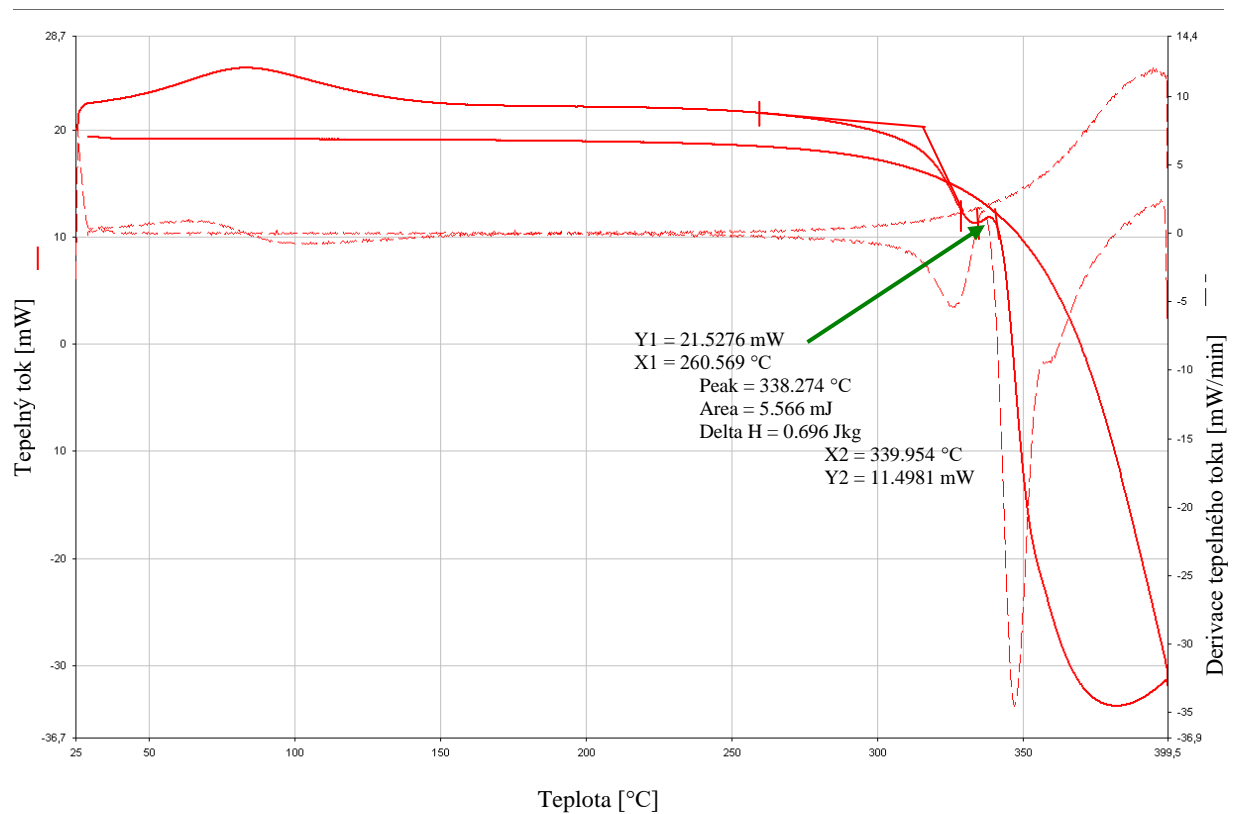
5.4.1 Výsledky Diferenční skenovací kalorimetrie

Pomocí diferenční skenovací kalorimetrie byla zjištěna křivka závislosti tepelného toku na teplotě pro neobarvený vzorek bavlněné tkaniny. Z křivky získané pomocí diferenční skenovací kalorimetrie (obr. 24 – červená plná čára) plyne, že nejdříve nastává odpaření vody obsažené ve vláknech. Vlivem dalšího zahřívání dochází ke strukturálním změnám projevující se píkem přibližně při $338 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy dochází k rozkladu bavlněného vlákna.

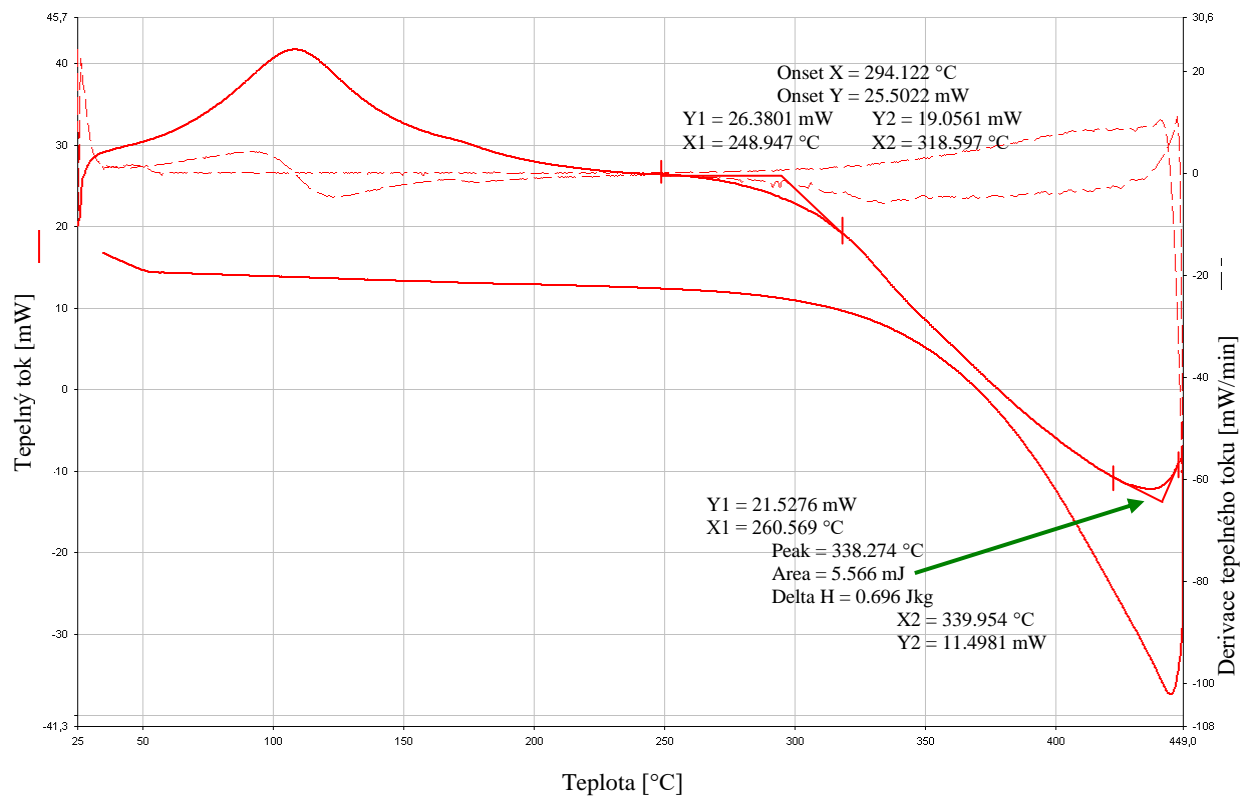
Vliv tepelného toku na teplotě pro jednotlivá kypová barviva je zobrazen na obr. 24 a 25. K termickým změnám barviv dochází již při teplotě $335 \text{ }^\circ\text{C}$ pro C. I. Vat Green 1, degradace barviva nastává okolo $391 \text{ }^\circ\text{C}$. U barviva C. I. Vat Yellow 2 se projevují změny při teplotě $320 \text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 25) a degradace barviva nastává při teplotě kolem $440 \text{ }^\circ\text{C}$. K termickým změnám barviva C. I. Vat Red 13 dochází při teplotě $260 \text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 26) a degradace barviva nastává přibližně při teplotě $360 \text{ }^\circ\text{C}$. Od teploty $280 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází k termickým změnám u indiga (C. I. 73000) a degraduje přibližně při $394 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejstabilnější se tedy jeví kypové barvivo C. I. Vat Yellow 2.

Tyto teploty jednotlivých testovaných kypových barviv jsou nižší než $338 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy dochází k rozkladu bavlněných vláken, a proto lze usuzovat, že barvivo ovlivňuje chování bavlny. Barvivo chrání bavlněný materiál před ozařováním pulzním infračerveným laserovým zářením.

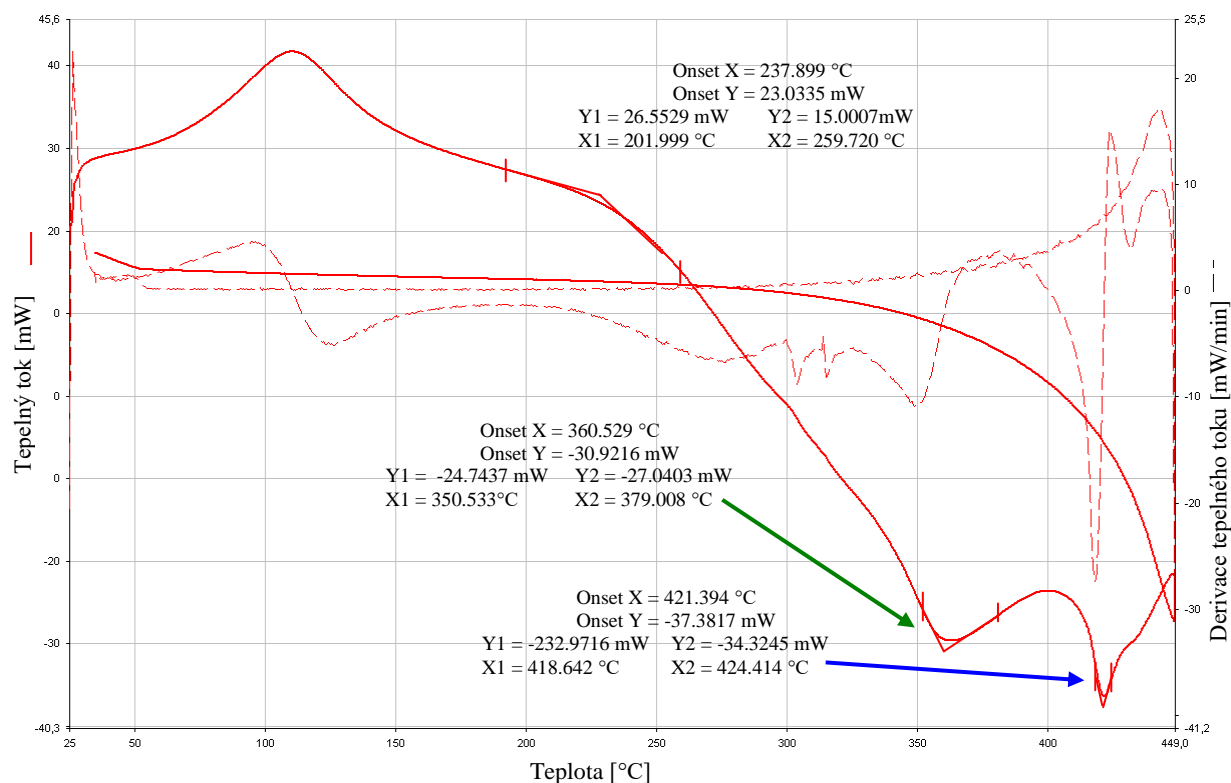
Nevýhodou této metody je také nemožnost přesně určit o jaké změny strukturní změny ve vlákne se jedná. Proto byla bavlněná textilie podrobena analýze pomocí rentgenové fotoelektronové spektroskopie a infračervené spektroskopie [A2].



Obr. 24 Křivka závislosti tepelného toku na teplotě pro neobarvený vzorek bavlněné tkaniny



Obr. 25 Křivka závislosti tepelného toku na teplotě pro barvivo C. I. Vat Yellow 2



Obr. 26 Křivka závislosti tepelného toku na teplotě pro barvivo C. I. Vat Red 13

5.5 Chemické změny

5.5.1 Výsledky měřného čísla neobarvené bavlněné tkaniny po ozáření

Bylo stanoveno měřné číslo, neobarvené bavlněné tkaniny po ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření, standardní metodou. Z výsledků je možné konstatovat, že se zvyšující se plošnou hustotou energie aplikovaného infračerveného laserového záření měřné číslo lineárně roste. V případě nepoškozené (neobarvené a neozářené) bavlněné tkaniny je měřné číslo 0,068. Měřné číslo bavlněné tkaniny ozáření nejvyšší plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření je 0,494.

5.5.2 Výsledky Rentgenové fotoelektronové spektroskopie

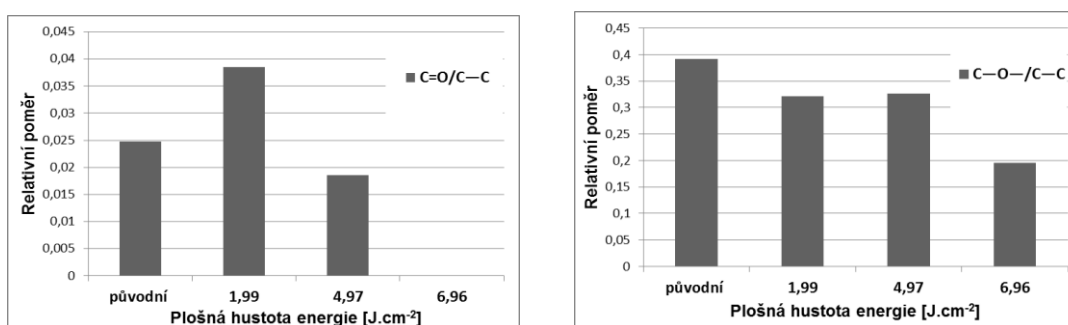
Kvalitativní složení jednotlivých prvků v povrchu vzorku neozářené a ozářené bavlněné tkaniny bylo sledováno pomocí analýzy rentgenovou fotoelektronovou spektroskopií. Byla naměřena přehledová a detailní spektra a jejich vyhodnocení bylo provedeno pomocí programu CasaXPS. Výskyt jednotlivých prvků byl zjištěn pomocí databáze a knihovny prvků. Výsledky kvantitativní analýzy jsou uvedeny v atomových procentech. Pro uhlík a kyslík byla naměřena detailní spektra, která slouží pro chemickou analýzu, kde se určují vazby uhlíku na základě nafitovaných spekter.

Poměr kyslík/ uhlík v povrchu (tab. 5) jednotlivých vzorků byl počítán z údajů získaných ze získaných přehledových spekter pro jednotlivé analyzované vzorky. Poměr atomů kyslík/uhlík je vyšší než původní (neozářený vzorek bavlny) při $1,99 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ a $4,97 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ plošné hustotě energie laserového paprsku, protože textilie je při ozařování oxidována vzdušným kyslíkem. Bylo zaznamenáno, že vlivem ozáření bavlněné textilie vysokou plošnou hustotou energie laserového svazku došlo k nárůstu obsahu uhlíku v povrchu. A dochází tedy ke karbonizaci textilie v povrchu v řádu milisekund během krátké doby působení laserového svazku.

Tab. 5. Poměr složení atomů kyslík /uhlík pro neozářený a ozářené vzorky bavlněné tkaniny získaný analýzou přehledového spektra uhlíku

O/C	Vzorek bavlněné tkaniny			
	Neozářený	1,99 J.cm ⁻²	4,97 J.cm ⁻²	6,96 J.cm ⁻²
	0,33	0,46	0,38	0,34

Relativní poměry funkčních skupin při různé hustotě energie laserového paprsku jsou shrnuty na obr. 27. Při plošné hustotě energie laserového paprsku 1,99 J.cm⁻² se zvýšil relativní poměr C=O/C—C v porovnání s původním (neozářeným) vzorkem bavlny (obr. 27 vlevo). Při plošné hustotě energie laserového paprsku 4,97 J.cm⁻² došlo ke snížení relativního poměru C=O/C—C. Žádné keto-skupiny nebyly zaznamenány při plošné hustotě energie laserového paprsku 6,96 J.cm⁻². Snížil se poměr C—O—/C—C skupin se zvyšující se plošnou hustotou energie laserového paprsku v porovnání s původním neozářeným vzorkem bavlny (obr. 27 vpravo) [A2].

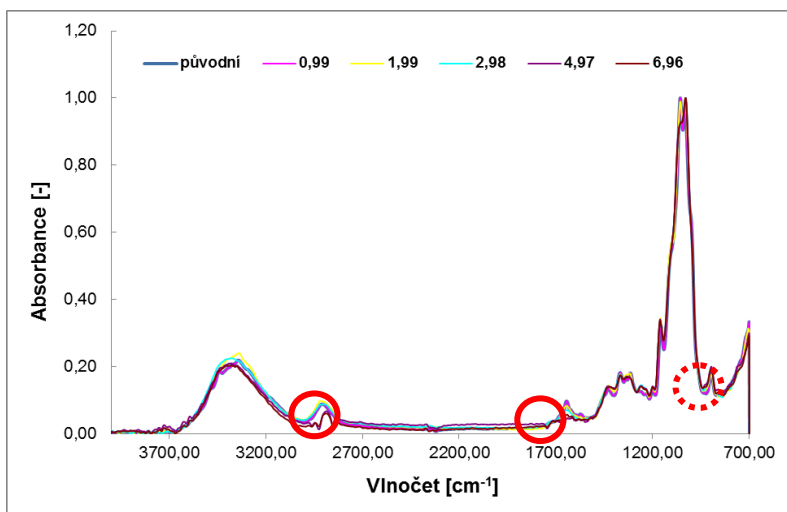


Obr. 27 Relativní poměr funkčních skupin při různé plošné hustotě energie infračerveného laserového záření

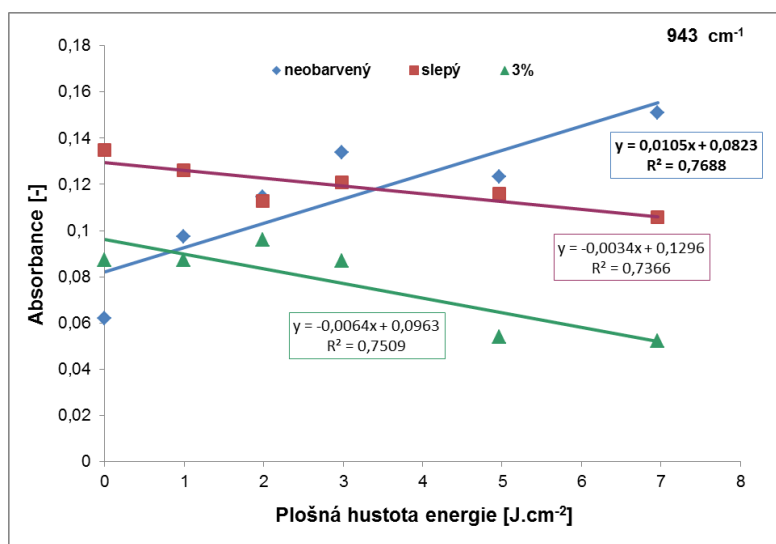
5.5.3 Výsledky Infračervené spektroskopie pro neobarvený, slepý pokus a obarvený vzorek bavlněné tkaniny

Bavlněný vzorek neobarvené bavlněné tkaniny po ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření byl analyzován pomocí infračervené spektroskopie. Závislost absorpance na vlnočtu pro různé hodnoty plošné hustoty energie infračerveného laserového záření je na obr. 28. Červeně jsou zvýrazněny vlnočty, při kterých dochází ke změně chemických skupin. Pro srovnání byl analyzován i bavlněný vzorek slepý pokus (bez barviva) a vzorek obarvený kypovým barvivem C. I. Vat Red 13 v sytosti 3 %.

Z obr. 28 vyplývá, že s rostoucí plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dopadajícího na neobarvenou bavlněnou tkaninu se zvyšuje absorpce záření při vlnočtu 943 cm⁻¹, což odpovídá vlnové délce použitého infračerveného laserového záření (10,6 μm). Zatímco vlivem obarvení kypovým barvivem na nejsytější odstín (3 % vybarvení) se snižuje absorpce s rostoucí plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření. Ochrana textilie je dána přítomností barviva v bavlněné textilií (obr. 29), což se projevuje klesající přímkou pro obarvený vzorek, zatímco v případě neobarveného vzorku je přímka stoupající. Změna v absorpčním spektru byla analyzována i pro vlnočty 2906 cm⁻¹ (obr. 30) a 1684 cm⁻¹ (obr. 31).



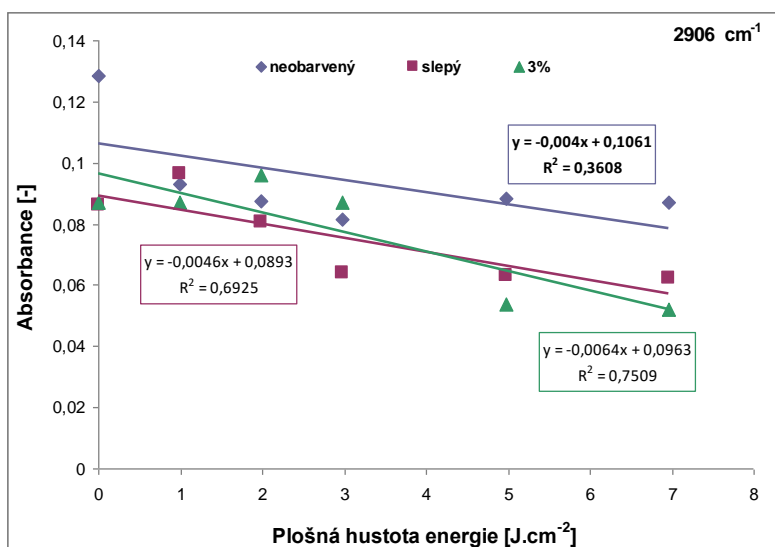
Obr. 28 Závislost absorpce neobarveného vzorku bavlněné tkaniny na vlnočtu pro různou plošnou hustotou energie laserového záření



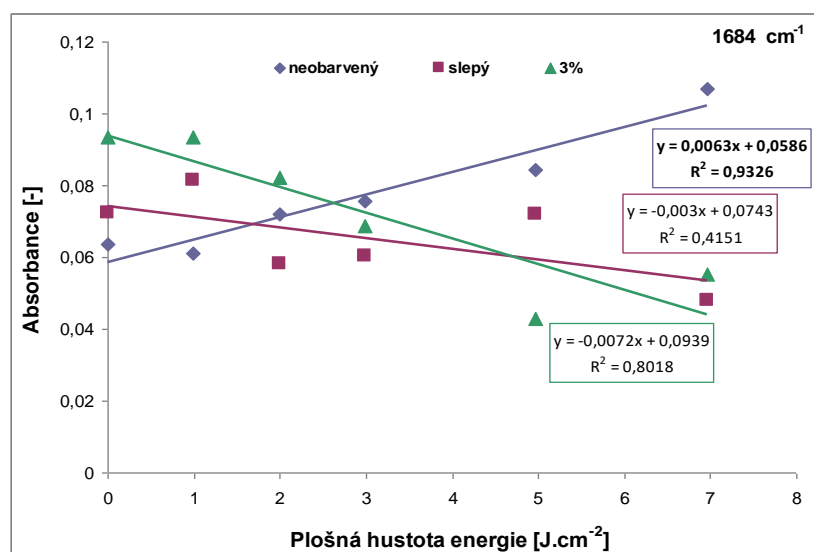
Obr. 29 Závislost absorpce bavlněného vzorku (neobarvený, slepý pokus a 3% vybarvení C. I. Vat Red 13) na různé plošné hustotě energie při vlnočtu 943 cm⁻¹

Z obr. 30 vyplývá, že s rostoucí plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dopadajícího na neobarvenou bavlněnou tkaninu se snižuje absorpce záření při vlnočtu 2906 cm⁻¹. Absorpce záření se snižuje i v případě obarveného vzorku v porovnání s neobarveným vzorkem bavlněné tkaniny při vlnočtu 2906 cm⁻¹. Vlivem ozáření vznikly v materiálu jiné chemické skupiny, které jsou stabilní vůči infračervenému laserovému záření. Při vlnočtu 2906 cm⁻¹ se jedná o —OH v karboxylových skupinách.

Při vlnočtu 1684 cm⁻¹ u neobarveného vzorku bavlněné tkaniny dochází se zvýšenou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření ke zvýšení absorpce (obr. 31). Zatímco v případě obarveného vzorku dochází ke snížení absorpce se zvýšenou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření. Redukcí celulózy vlivem ozáření infračerveným laserovým zářením dochází k odlišnému chování tkaniny při dané vlnové délce. Vlnočt 1684 cm⁻¹ odpovídá C=O vazbu v karboxylových skupinách.



Obr. 30 Závislost absorbance bavlněného vzorku (neobarvený, slepý pokus a 3 % vybarvení C. I. Vat Red 13) na různé plošné hustotě energie při vlnočtu 2906 cm⁻¹



Obr. 31 Závislost absorbance bavlněného vzorku (neobarvený, slepý pokus a 3% vybarvení C. I. Vat Red 13) na různé plošné hustotě energie při vlnočtu 1684 cm⁻¹

5.6 Barevné vlastnosti

5.6.1 Analýza změn barevnosti bavlněné textilie po ozáření infračerveným laserovým zářením

Barevné změny bavlněné tkaniny způsobené různou hustotou energie infračerveného laserového svazku se projevují žloutnutím až mírným hnědnutím tkaniny (obr. 32). Zatímco ozáření obarvených vzorků bavlny infračerveným laserovým zářením dochází k blednutí odstínu (obr. 34, 36 a 38). K objektivnímu měření barevnosti byla na Datalcoloru měřena remisní spektra v rozmezí 400 až 700 nm neobarvených i obarvených vzorků bavlněné tkaniny bez a po ozáření laserem [A1, A3, B2].



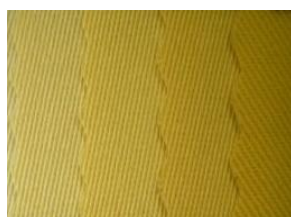
Obr. 32 Neobarvený vzorek bavlněné tkaniny nezářený a ozářený různou plošnou hustotou energie laserového paprsku (0,99; 1,99; 2,98, 4,97 a 6,96 J.cm⁻²)



Obr. 33 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Green 1 (0,5; 1; 1,5 a 3 %)



Obr. 34 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Green 1 (1 % vybarvení; bez ozáření; po ozáření 2,98 J.cm⁻²)



Obr. 35 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Yellow 2 (0,5; 1; 1,5 a 3 %)



Obr. 36 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Yellow 2 (1 % vybarvení; bez ozáření; po ozáření 2,98 J.cm⁻²)

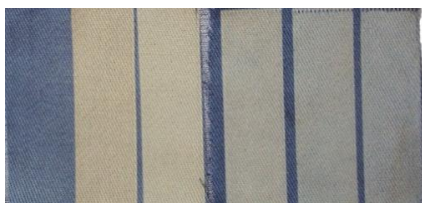


Obr. 37 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Red 13 (0,5; 1; 1,5 a 3 %)

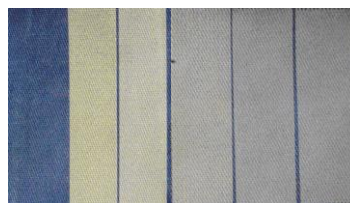


Obr. 38 Bavlněná tkanina obarvená kypovým barvivem C. I. Vat Red 13 (1 % vybarvení; bez ozáření; po ozáření 2,98 J.cm⁻²)

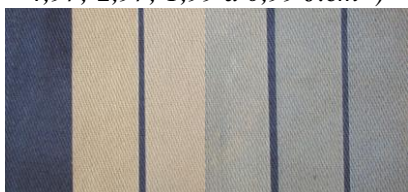
Interakcí infračerveného laserového záření s bavlněnou tkaninou obarvenou barvivem C. I. 73000 (indigem) dochází k výrazným změnám barevnosti při plošné hustotě energie 0,99; 1,98 a 2,98 J.cm⁻². Mírné zažloutnutí materiálu je možné pozorovat při plošné hustotě energie infračerveného laserového záření 4,97 a 6,96 J.cm⁻². Barevné změny ozářených bavlněných vzorků obarvených indigem jsou vyjádřeny hodnotami *K/S* v závislosti na plošné hustotě energie infračerveného pulzního laserového záření CO₂ laseru. Objektivním hodnocením barevnosti bylo zjištěno, že při plošné hustotě energie 1,99 J.cm⁻² dochází k poklesu *K/S* hodnot o přibližně 84,5 % v porovnání s neozářeným vzorkem. Při plošné hustotě energie 4,97 J.cm⁻² a 6,96 J.cm⁻² dochází k poklesu *K/S* hodnot o 89 % a 95,3 % v porovnání s neozářeným vzorkem obarveným indigem.



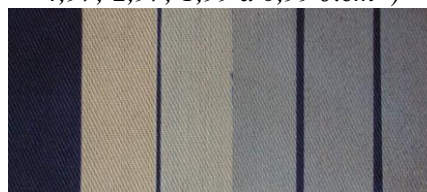
Obr. 39 Bavlněná tkanina 0,5 % vybarvení
C. I. 73000 před a po ozáření různou plošnou
hustotou energie (obarvený bez ozáření; 6,96;
4,97; 2,97; 1,99 a 0,99 J.cm⁻²)



Obr. 40 Bavlněná tkanina 1 % vybarvení
C. I. 73000 před a po ozáření různou plošnou
hustotou energie (obarvený bez ozáření; 6,96;
4,97; 2,97; 1,99 a 0,99 J.cm⁻²)



Obr. 41 Bavlněná tkanina 1,5 % vybarvení
C. I. 73000 před a po ozáření různou plošnou
hustotou energie (obarvený bez ozáření; 6,96;
4,97; 2,97; 1,99 a 0,99 J.cm⁻²)



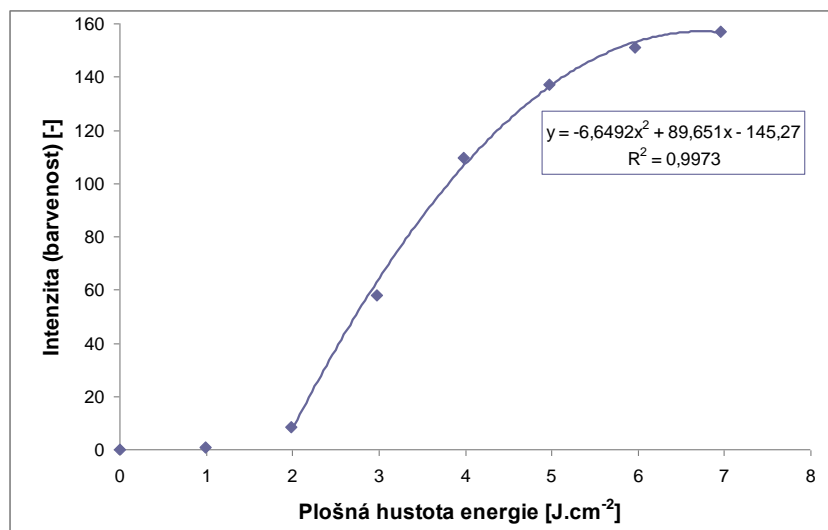
Obr. 42 Bavlněná tkanina 3 % vybarvení
C. I. 73000 před a po ozáření různou plošnou
hustotou energie (obarvený bez ozáření; 6,96;
4,97; 2,97; 1,99 a 0,99 J.cm⁻²)

Pro výpočet K/S hodnot byla použita Kubelka-Munkova rovnice

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (2)$$

kde K představuje absorpční koeficient, který vyjadřuje selektivní absorpci světla barvivem. S představuje rozptylový koeficient, který vyjadřuje vlastnosti vlákna.

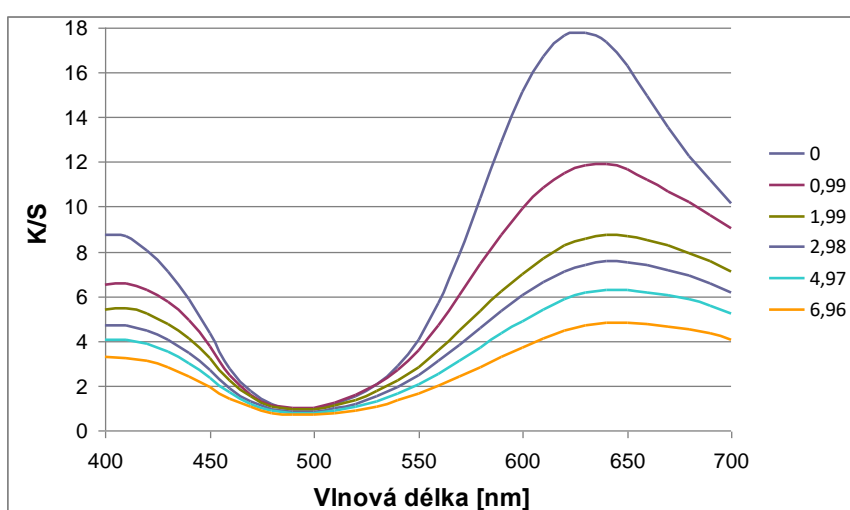
Ozářením neobarvené bavlněné textilie zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dochází ke změně odstínu textilie, což se projevuje zvýšením hodnot K/S . Byl navržen model s kvadratickou funkcí pro nalezení závislosti K/S hodnot neobarvené bavlněné tkaniny na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření (obr. 43). Ozářením neobarveného bavlněného vzorku textilie do plošné hustoty energie 1,8 J.cm⁻² nebyla zaznamenána změna hodnot K/S z toho lze usuzovat, že do této hodnoty nedochází k výrazným barevným změnám v neobarvené bavlněné textílii.



Obr. 43 Závislost intenzity neobarvené bavlněné textilie na různé plošné hustotě energie nřačerveného laserového záření

Lze použít obecně platnou aditivitu K/S hodnot při analýze laserem ozářené bavlněné textilie? Předpokladem je, že celková barevná změna (K/S) způsobená ozářením obarvené bavlněné textilie laserem může být stanovena jako suma změny odstínu způsobené K/S_Y hodnotou neobarvené textilie a K/S_D hodnotou barviva. Toto dává možnost separovat K/S_D hodnoty barviva tím, že od K/S hodnot obarvené textilie odečteme K/S_Y hodnoty neobarvené textilie. Se vzrůstající plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření se liší vlnová délka s maximální absorpcí světla v případě kypového barviva C. I. Vat Green 1 v rozmezí vlnových délek od 630 do 650 nm (obr. 44). Toto je důvodem, proč barevná změna vzorku po ozáření laserem nemůže být stanovena v místě maximální absorpce světla kypového barviva. Barevnou změnu ozářeného vzorku bavlny lze stanovit jako intenzitou a lze ji vypočítat podle následujícího vzorce

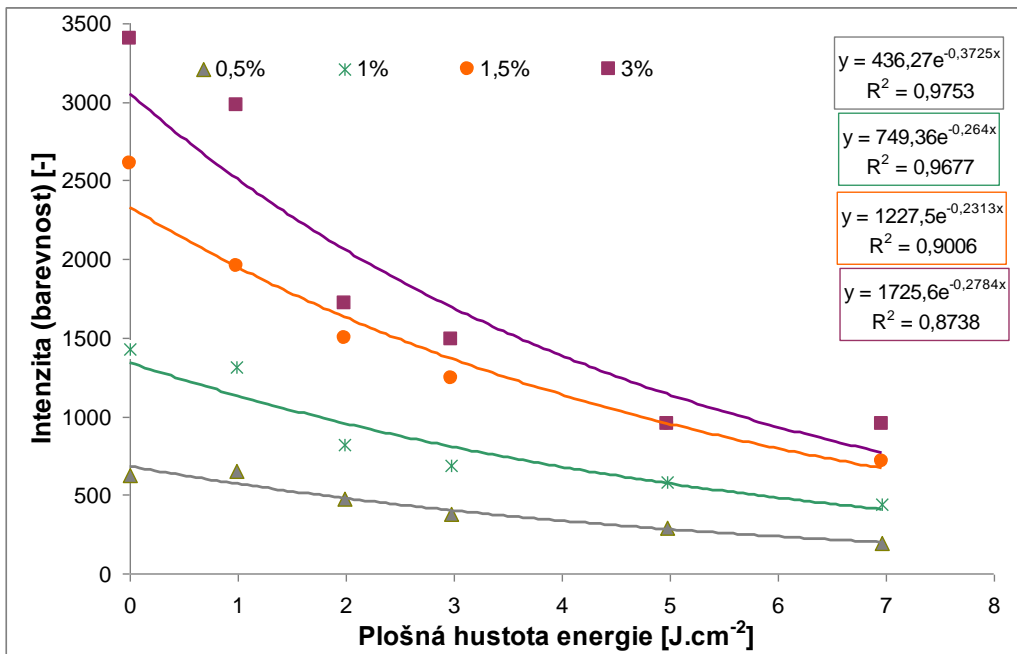
$$I = \sum_{\lambda=400nm}^{700nm} \frac{K}{S}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad \Delta\lambda = 10 \quad (3)$$



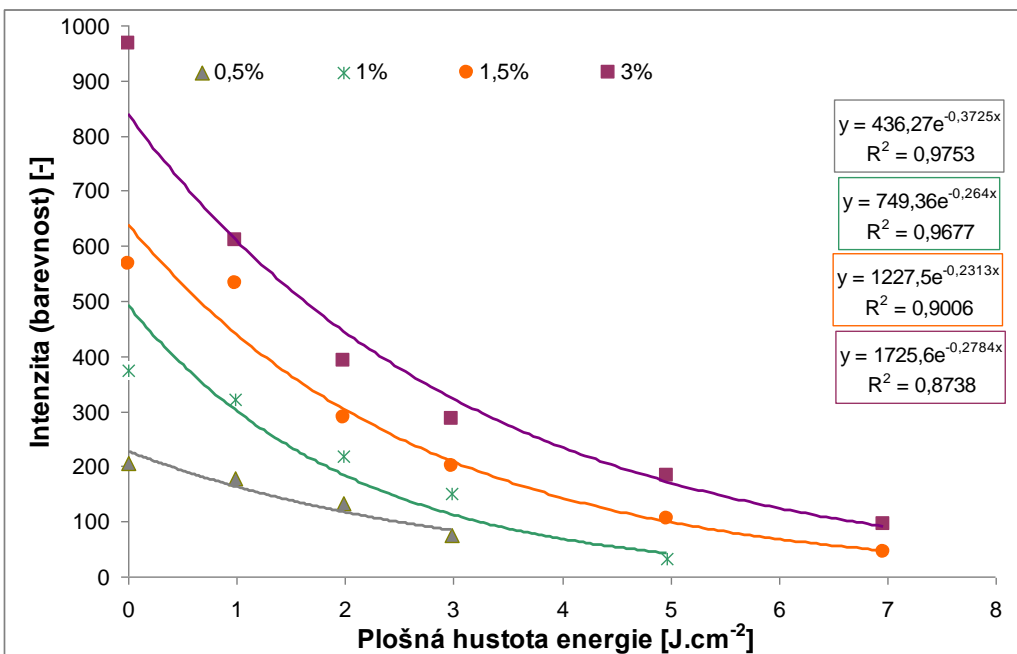
Obr. 44 C. I. Vat Green 1, 1,5 % vybarvení

Na obr. 43 je zobrazena intenzita (barevnost) standardního (neobarveného) vzorku bavlny reprezentujícího barevnou intenzitu vlákna po ozáření infračerveným laserovým zářením. Jestliže se standardní (neobarvený) vzorek bavlny ozařuje zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření, pak se zvyšuje také barevná intenzita vlákna, protože se mění barevný odstín textilie vlivem degradace bavlněné textilie způsobené ozáření laserem. Intenzita (barevnost) obarvené bavlněné tkaniny se snižuje s rostoucí plošnou hustotou energie laserového záření a má exponenciální průběh, jak vyplývá z obr. 45 až 48. Je to důkaz, že dochází k odbarvování textilie při jejím ozařování infračerveným laserem. Výsledný odstín textilie se vlivem ozáření infračerveným laserovým zářením mění na žlutý až žluto-bílý. Dochází jednak k degradaci barviva i textilního materiálu.

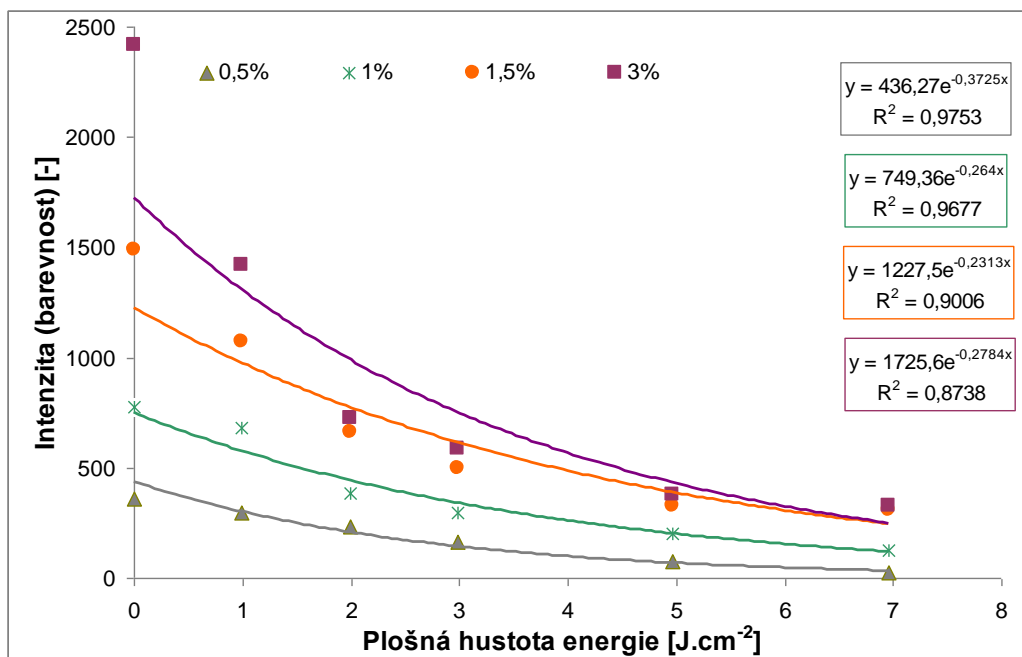
Pokud ozáříme textílii vysokou plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření, pak v některých případech je barevná intenzita obarvené textilie nižší než barevná intenzita neobarvené textilie. Příkladem může být bavlněná textilie obarvená 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 [A2, A3, B6].



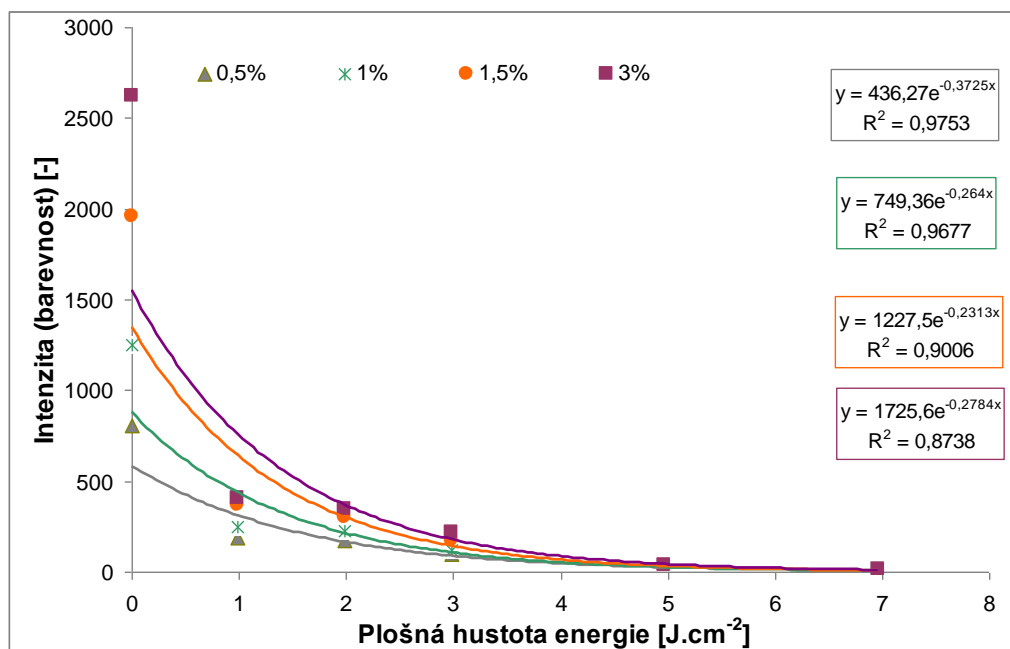
Obr. 45 Závislost intenzity bavlněné tkaniny obarvené kypovým barvivem C. I. Vat Green 1 na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření pro různé sytosti vybarvení



Obr. 46 Závislost intenzity bavlněné tkaniny obarvené kypovým barvivem C. I. Vat Yellow 2 na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření pro různé sytosti vybarvení



Obr. 47 Závislost intenzity ozáření bavlněné tkaniny obarvené kypovým barvivem C. I. Vat Red 13 na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření pro různé sytosti vybarvení

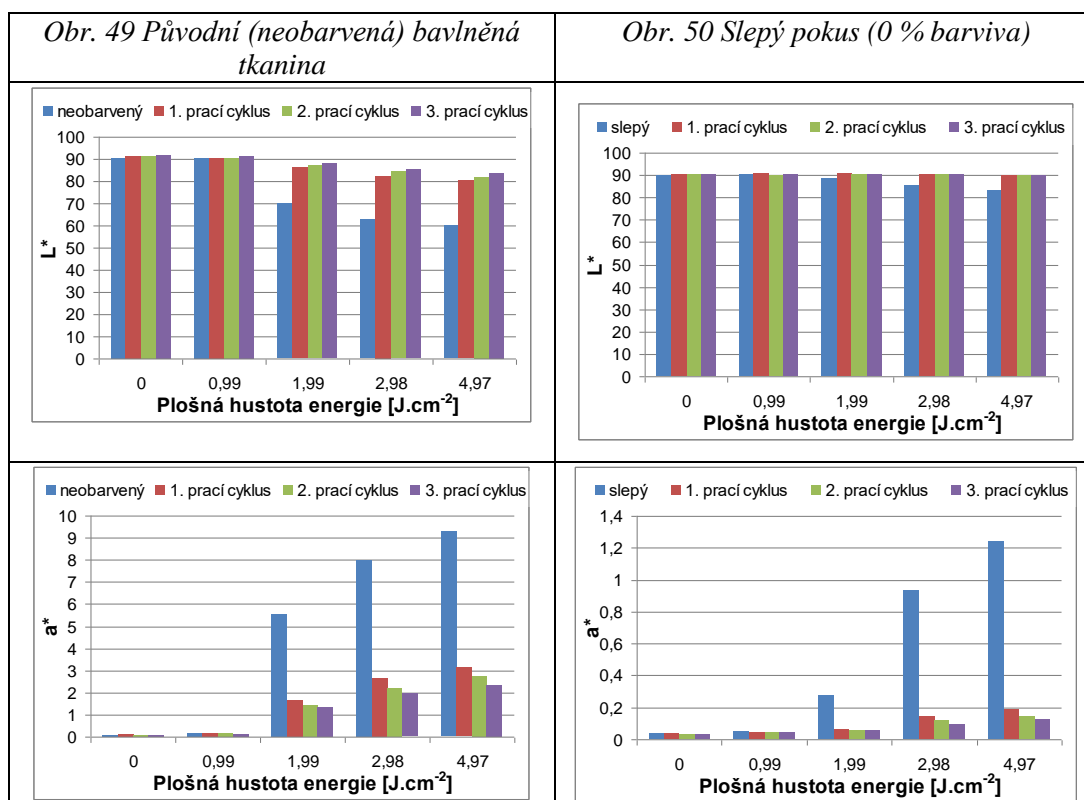


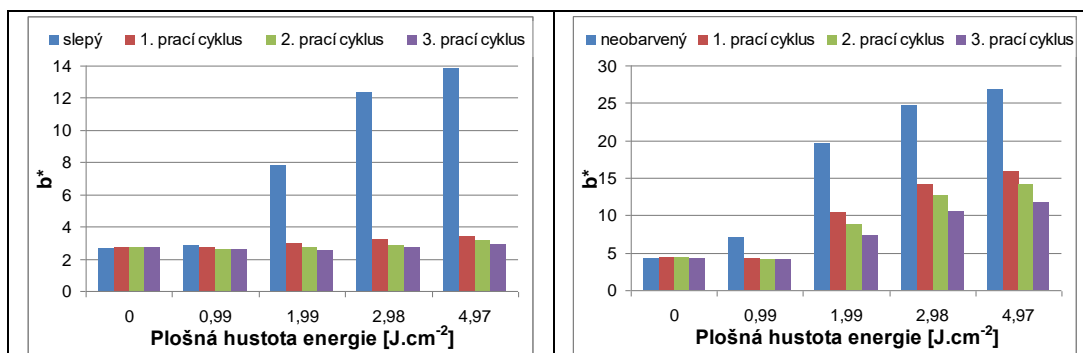
Obr. 48 Závislost intenzity ozáření bavlněné tkaniny obarvené indigem (C.I. 73000) na plošné hustotě energie infračerveného laserového záření pro různé sytosti vybarvení

5.6.2 Změny barevnosti bavlněné textilie vlivem praní

Změny odstínu neobarvené i obarvené bavlněné textilie po ozáření infračerveným laserovým zářením byly následně podrobeny praní. Dále byly vzorky bavlny měřeny na spektrofotometru pro získání hodnot CIE L^* a^* b^* . Změny hodnoty jednotlivých složek lze charakterizovat v závislosti na ozáření různou plošnou hustotou energie laserového záření takto: jasová složka L^* (0: černá; 100: bílá), červeno-zelená složka a^* ($+a^*$: červená; $-a^*$: zelená), žluto-modrá složka b^* ($+b^*$: žlutá; $-b^*$: modrá).

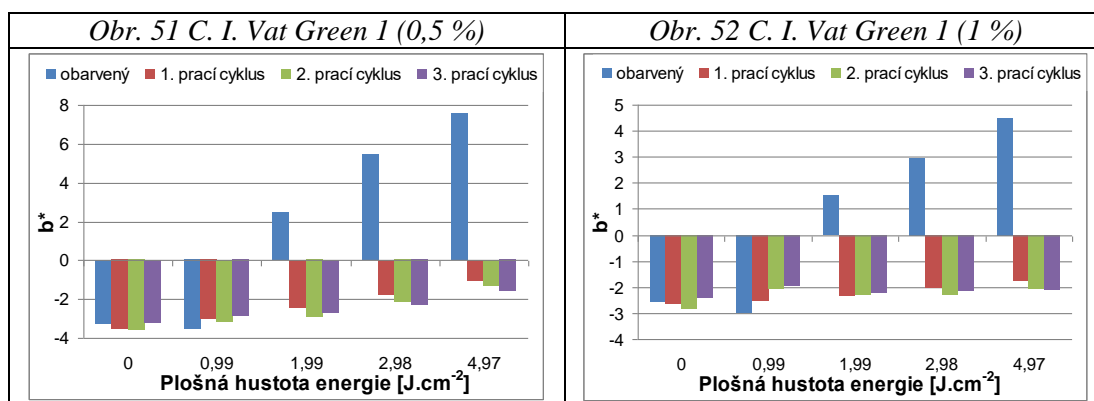
Původní bavlněná textilie před ozářením má bílý odstín. Vlivem ozáření neobarvené bavlněné tkaniny zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření dochází k poškození materiálu, což se projevuje jako jeho žloutnutí až hnědnutí. V prostoru CIE $L^* a^* b^*$ je možné toto pozorovat jako snížení hodnoty jasu L^* . V ozářeném povrchu bavlny vzniká tenká „zkarbonizovaná“ vrstva, která je následným praním odstraněna, hodnota jasové složky L^* se opět zvyšuje. Po ozáření bavlněného vzorku plošnou hustotou energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ je hodnota jasové složky L^* neobarveného vzorku a slepého pokusu vzájemně srovnatelná, jak před praním tak také po praní vzorku. Porovnáním ozářeného vzorku slepého pokusu a původní (neobarvené) bavlněné tkaniny, po ozáření plošnou hustotou energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ a vyšší, je vidět vyšší hodnota složky jasu L^* a tedy vzorek je světlejší. Následné praní vzorku po jeho ozáření zvyšuje hodnotu jasové složky L^* u neobarveného i slepého vzorku při plošné hustotě energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ a vyšší. Je zajímavé, že u slepého pokusu je po praní hodnota jasové složky L^* již po prvním praní srovnatelná s neozářeným slepým vzorkem. Vlivem ozáření plošnou hustotou energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ a vyšší se hodnota $+a^*$ neobarvené bavlněné tkaniny zvyšuje, a textilie získává červený odstín, který je však opět vlivem praní eliminován. Slepý pokus vykazuje výrazně nižší hodnotu $+a^*$ v porovnání s neobarveným vzorkem bavlny, a tedy výrazně nižší zbarvení do červena. Vlivem praní se stává červený odstín ještě méně výrazný, a proto se hodnota $+a^*$ slepého pokusu snižuje. Vlivem ozáření neobarvené bavlněné tkaniny dochází k jejímu výraznému žloutnutí při plošné hustotě energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ a vyšší, což se projevuje zvýšením hodnoty $+b^*$. Následným praním se žloutnutí slepého pokusu snižuje, což se projevuje snížením hodnoty $+b^*$.





Vlivem ozáření obarvené bavlněné textilie, C. I. Vat Green 1: 0,5 a 1 % vybarvení, infračerveným laserovým zářením dochází k jejímu blednutí v porovnání s neozářeným vzorkem. Zvyšuje se hodnota jasové složky L^* po ozáření pro všechny plošné hustoty energie laserového záření, což je ještě umocněno následným praním obarvené textilie. Pro všechny plošné hustoty energie infračerveného laserového záření se snižuje hodnota $-a^*$, odstín textilie je světle zelený pro 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Green 1. Snižování hodnoty $-a^*$ po ozáření 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Green 1 bavlněné tkaniny značí, že se snižuje intenzita zeleného odstínu se zvyšující se plošnou hustotou energie. Praním se hodnota složky $-a^*$ zvyšuje a dochází k přiblížení k původnímu odstínu před ozáření vzorku. Nízká plošná hustota energie infračerveného laserového záření nezpůsobuje barvené změny 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Green 1 v porovnání s neozářeným obarveným vzorkem, odstín tkaniny je modrý i po praní. Při plošné hustotě energie 1,99 J.cm⁻² a vyšší dochází k posunu odstínu složky z $+b^*$ na $-b^*$, modrý odstín tkaniny přechází v mírně žlutý pro vybarvení 0,5 a 1 % barviva C. I. Vat Green 1 (obr. 51 a 52). Následným praním textilie „obnovuje“ svůj původní modrý odstín.

Pro všechny plošné hustoty energie se zvyšuje hodnota jasové složky L^* vlivem ozáření při porovnání s neozářenou obarvenou textilií 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Green 1. Nicméně následným praním ozářených vzorků se hodnota jasové složky L^* snižuje, obarvená textilie se „vrací“ na svou původní hodnotu jasové složky před ozáření. Ozáření obarvené bavlněné tkaniny, 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Green 1, zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření dochází ke snížení hodnoty $-a^*$, snižuje se podíl zelené složky v odstínu textilie. Vlivem praní dochází k jeho „obnově“, což se projevuje zvýšením složky $-a^*$ pro 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Green 1. Při plošných hustotách energie 1,99 J.cm⁻² a vyšší získává ozářená bavlněná tkanina nažloutlý odstín, který představuje složka $+b^*$. Vlivem praní se mění odstín textilie na původní modrý před ozáření pro 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Green 1, což se projevuje zvýšením složky $-b^*$.



Ozářením plošnou hustotou energie $1,99 \text{ J.cm}^{-2}$ a vyšší dochází u 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 ke snížení složky jasu L^* , textilie se jeví tmavší. Zatímco vlivem praní se hodnota složky jasu L^* opět „obnovuje“ a její hodnota se přibližuje hodnotě původní obarvené tkaniny před ozářením. Vlivem ozáření různou plošnou hustotou energie laserového záření ztrácí bavlněná textilie obarvená 0,5 a 1 % vybarvením C. I. Vat Yellow 2 nazelenalý odstín a klesá hodnota složky $-a^*$, ale praním se její odstín opět „vrací“ k původnímu odstínu před ozářením. Vlivem ozáření s plošnou hustotou energie $2,98$ a $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ pro 1 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 je hodnota složky a^* kladná, odstín tkaniny je načervenalý. Následným praním je hodnota složky a^* záporná, a odstín tkaniny je více zelený. Vlivem zvyšující se plošné hustoty energie při ozařování bavlněného vzorku s 0,5 a 1 % vybarvením C. I. Vat Yellow 2 dochází ke snížení složky $+b^*$, která představuje žlutý odstín. Vlivem praní získává textilie „nazpět“ svůj žlutý odstín a podíl složky $+b^*$ se zvyšuje pro 0,5 a 1 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2. Vlivem ozáření bavlněné tkaniny, 1,5 a 3 % vybarvením C. I. Vat Yellow 2, se snižuje jasová složka L^* , textilie se jeví tmavší v porovnání s původním neozářeným vzorkem. Vlivem praní se hodnota jasové složky L^* přibližuje hodnotě původního vzorku před ozářením. Složka a^* je záporná pro původní (neozářený vzorek) 1,5 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 a ozářený nízkou plošnou hustotou energie $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ laserového záření. Vlivem ozáření vyšší plošnou hustotou energie laserového záření např. $1,99$; $2,98$ a $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ se mění odstín textilie na červený, čímž se zvyšuje se hodnota složky $+a^*$. Vlivem praní však textilie opět mění odstín, který je více zelený a složka se mění a^* na zápornou. U 3 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 původního (neozářeného vzorku) a ozářeného $0,99 \text{ J.cm}^{-2}$ plošnou hustotou energie laserového záření je hodnota $+a^*$, vzorek je červenější. Vlivem praní se při plošné hustotě energie $1,99$; $2,98$ a $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ hodnota a^* stává zápornou, vzorek je zelenější. Podíl složky $+b^*$ se zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření se u 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Yellow 2 snižuje, textilie se tedy je mírně žlutější. Zatímco praním se obnovuje „původní“ žlutý odstín textilie před jejím ozářením.

Se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dochází k „blednutí“ bavlněného vzorku, proto se zvyšuje hodnota jasové složky L^* u všech vybarvení (0,5; 1; 1,5 a 3 %) C. I. Vat Red 13. Vlivem praní se však hodnota jasové složky L^* opět snižuje a přibližuje se hodnotě před ozářením vzorku pro 1; 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Red 13. Se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření dochází ke snížení složky $+a^*$, textilie je tedy méně červená, ale vlivem praní se její hodnota opět zvyšuje. Nepraná a nízkou plošnou hustotou energie ($0,99 \text{ J.cm}^{-2}$) ozářená bavlněná tkanina, obarvená C. I. Vat Red 13 u 0,5 a 1 % vybarvení, má zápornou složku b^* , její odstín je modrý. Vlivem vysoké hustoty plošné energie laserového záření dochází ke změně složky b^* a její hodnota je záporná, což svědčí o žlutém odstínu textilie. Praním textilie se mění žlutý odstín zpět na modrý, kdy se „odkrývá“ původní odstín textile před ozářením. Vlivem ozáření laserem se zvyšující se plošnou hustotou energie nedochází k výraznému posunu složky $+b^*$, odstín textilie je tedy žlutý pro 1,5 a 3 % vybarvení C. I. Vat Red 13. Teprve praním se při plošné hustotě energie $2,98$ a $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ mění odstín textilie na modrý, zvyšuje se hodnota složky $-b^*$ pro 1,5 % vybarvení C. I. Vat Red 13. Praním se snižuje hodnota $+b^*$ složky pro 3 % vybarvení C. I. Vat Red 13, textilie má tedy méně žlutý odstín. Při nejvyšší plošné hustotě energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ je vlivem druhého a třetího praní odstín spíše do modra, což se projevuje změnou složky b^* z kladných do záporných hodnot.

Po ozáření bavlněné textilie plošnou hustotou energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$ je tkanina o přibližně 33 % tmavší ve srovnání s neozářenou bavlněnou tkaninou, což se projevilo snížením jasové složky L^* . Zatímco u slepého pokusu je tkanina tmavší pouze o 6 % ve srovnání s neozářeným vzorkem. Po třetím pracím cyklu ozářeného neobarveného vzorku ($4,97 \text{ J.cm}^{-2}$) je tkanina

tmavší o 12 % pro neobarvenou a 0 % pro slepý pokus ve srovnání s původní neobarvenou bavlněnou tkaninou.

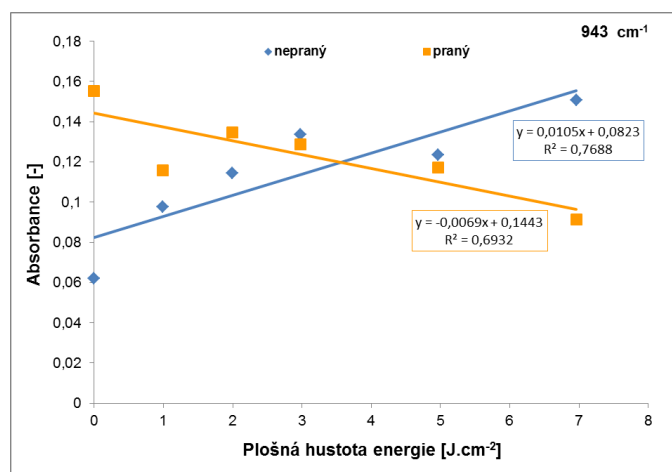
K výraznějšímu zčervenání ozářeného vzorku bavlněné tkaniny došlo vlivem ozáření s plošnou hustotou energie $4,97 \text{ J.cm}^{-2}$, zatímco u slepého pokusu došlo pouze k mírnému zčervenání vzorku ve srovnání s původní neobarvenou a neozářenou bavlněnou tkaninou, což se projevilo zvýšením složky $+a^*$. Vlivem praní se po třetím pracím cyklu hodnota složky $+a^*$ snížila přibližně 3krát u ozářeného ($4,97 \text{ J.cm}^{-2}$) vzorku bavlněné tkaniny ve srovnání s původním neozářeným vzorkem. Zatímco u slepého pokusu neobarvené bavlněné tkaniny nevykazuje složka $+a^*$ žádné změny ve srovnání s původním neozářeným a neobarveným vzorkem bavlny.

Bylo prokázáno, že se zvyšující se hodnotou plošné hustoty energie laserového záření se u ozářených obarvených bavlněných vzorků zvyšuje hodnota jasové složky L^* a textilie je tedy světlejší. Následným praním ozářených vzorků se hodnota jasové složky L^* mírně snižuje, textilie v povrchu textilie se objevují neozářená vlákna s „původním“ odstínem textilie.

5.6.3 Analýza praných vzorků pomocí infračervené spektroskopie

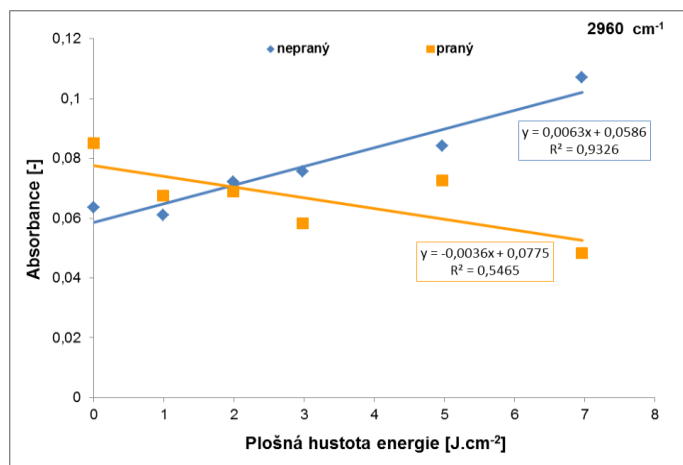
Absorbance nepraného vzorku pro infračervené záření se zvyšuje se zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření při vlnětu 943 cm^{-1} , což odpovídá vlnové délce infračerveného laserového záření (obr. 53). Zatímco při stejném vlnětu (943 cm^{-1}) u praného vzorku bavlněné textilie se absorbance snižuje.

Na obr. 54 se zvyšuje absorbance neobarveného vzorku bavlny s rostoucí plošnou hustotou energie laserového záření, zatímco pro praný vzorek se absorbance snižuje při vlnětu 2960 cm^{-1} .

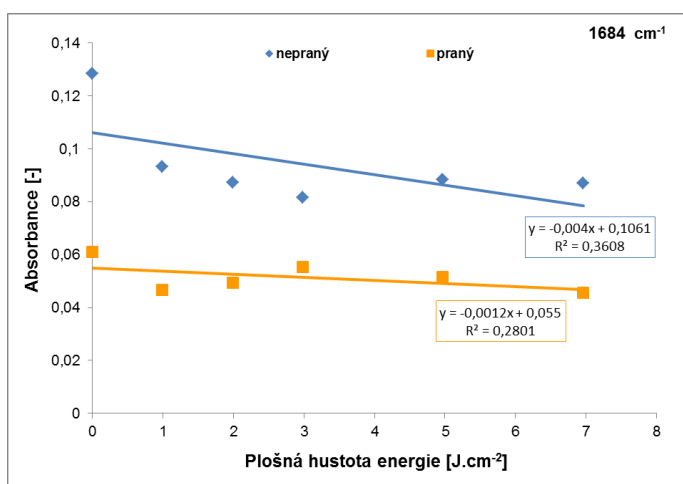


Obr. 53 Závislost absorbance neobarveného bavlněného vzorku (nepraného a praného) na různé plošné hustotě energie při vlnětu 943 cm^{-1}

S rostoucí plošnou hustotou energie infračerveného laserového záření se absorbance snižuje v případě nepraného i praného vzorku při vlnětu 1684 cm^{-1} (obr. 55).



Obr. 54 Závislost absorbance neobarveného bavlněného vzorku (nepraného a praného) na různé plošné hustotě energie při vlnočtu 2960 cm⁻¹



Obr. 55 Závislost absorbance neobarveného bavlněného vzorku (nepraného a praného) na různé plošné hustotě energie při vlnočtu 1684 cm⁻¹

6 Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Experimentální část je zaměřena na chování bavlněné tkaniny s keprovou vazbou před a po ozáření infračerveným pulzním laserovým zářením. Vlnová délka infračerveného laserového paprsku je 10,6 μm . Byl zkoumán vliv plošné hustoty energie infračerveného laserového záření na změny mechanických, chemických, termických vlastností způsobených ozářením bavlněné textilie. Tyto změny byly zkoumány na neobarveném vzorku bavlněné tkaniny a na vzorcích obarvených kypovými barvivy v různých sytostech vybarvení. Subjektivně je možné pozorovat při ozařování neobarveného vzorku bavlněné textilie jeho žloutnutí až hnědnutí se zvyšující se hodnotou plošné hustoty energie infračerveného laserového záření. Toto pozorování bylo následně ověřeno objektivním spektrofotometrickým měřením K/S hodnot neobarvené bavlněné tkaniny po ozáření.

Se zvyšující se plošnou hustotou energie infračerveného pulzního laserového záření dochází k výraznému poklesu intenzity (barevnosti) obarveného vzorku bavlněné textilie. Dochází k „odbarvení“ tkaniny vlivem ozáření laserovým paprskem, odstín bavlněné textilie se mění vlivem tepelného účinku na žlutý až bílo-žlutý. Tento proces může být způsoben například degradací barviva působením infračerveného laserového záření, kdy se může část barviva odpařit i nepřímým poškozením reaktivních zplodin uvolňujících se z poškozené ozařované textilie. Protože ozáření textilie infračerveným pulzním laserovým zářením způsobuje pokles pevnosti v tahu, je třeba dbát na vhodné nastavení parametrů laserového paprsku. Změny v povrchu ozáření textilie byly sledovány elektronovou mikroskopií. Je vidět, že vlivem tepelného účinku se vytvářejí v místě ozáření na vlákně póry a prasklinky. Jejich počet se zvyšuje s rostoucí hustotou energie laserového záření.

Nízká plošná hustota energie laserového paprsku je schopna odbarvit textilií, za těchto podmínek jsou vlákna poškozena teplem pouze mírně, a také dochází pouze k mírnému snížení mechanických vlastností. Z analýzy mechanických vlastností vyplývá, že kypovým barvivem obarvená bavlněná textilie je více chráněna před účinky pulzního infračerveného laserového záření v porovnání s neobarvenou bavlněnou tkaninou. Dále je zřejmé, že bavlněný vzorek ze slepé lázně, následně ozáření pulzním infračerveným laserovým zářením, vede k mírnému zlepšení mechanických vlastností v porovnání s neobarvenou bavlněnou tkaninou. Což může být způsobeno tím, že redukční zbytky na celulóze zabrání jejímu žloutnutí při následném ozařování laserovým zářením.

Pro vliv různé plošné hustoty infračerveného laserového záření na „barevnost“ Interakce infračerveného laserového záření s textilií neobarvené bavlněné tkaniny byl nalezen model. Pro „odbarvování“ obarvené bavlněné tkaniny vlivem ozáření různou plošnou hustotou energie infračerveného pulzního laserového záření byl nalezen model vycházející z Kubelka-Munkovy funkce.

Bylo prokázáno měřením odstínu tkaniny pomocí složek L^* , a^* a b^* , že u slepého pokusu na bavlněné tkanině po ozáření se neprojevuje výrazné žloutnutí (tedy degradace) v porovnání s neobarveným vzorkem bavlněné tkaniny.

K „odbarvení“ bavlněné tkaniny vlivem pulzního infračerveného laserového záření dochází se zvyšující se plošnou hustotou energie laserového záření, a zvyšuje se tedy hodnota jasové složky L^* . Vlivem praní se jednotlivé složky mění jen velmi málo, nedochází vlivem praní k výrazné změně odstínu bavlněné tkaniny získaného po ozáření infračerveným laserovým svazkem.

V dalších experimentech by bylo možné zkoumat vliv infračerveného laserového záření na bavlněnou textilií obarvenou jinou třídou barviv než kypovými barvivy např. přímými nebo reaktivními barvivy pro vytváření vzoru na textilií. Kromě barvení by bylo možné využít infračervené laserové záření také k tvorbě vzoru infračerveným laserovým zářením

na potištěné bavlněné textilie nebo směšové textilie pigmenty. Vedle bavlněné tkaniny by bylo zajímavé zaměřit se třeba na tkaniny viskózové nebo hedvábné. Teploty rubní strany ozařované bavlněné tkaniny byly použity k návrhu textilie chránící před infračerveným laserovým zářením pro pracovní ochranné pomůcky např. rukavice.

7 Seznam použité literatury

- [1] Reichert U.: Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen, *Restaurio*, vol. 104, 1998, no. 6, p. 416-420.
- [2] Strlič M., Kolar J., Šelih V., Marinček M.: Surface modification during Nd:YAG (1064 nm) pulsed laser cleaning of organic fibrous materials, *Applied Surface Science*, vol. 207, 2003, p. 236-245.
- [3] Dascalu T., Acosta-Ortiz, Se., Ortiz-Morates, M., Compean, I. Removal of the indigo color by laser beam-denim interaction., *Optics & Laser Technology*, vol. 34, pp. 179-189, 2000.
- [4] Ortiz-Morales M., Poterasu M., Acosta-Ortiz SE., Compean I., Hernandex-Alvarado M. R.: A comparison between characteristics of various laser-based denim fading processes, *Optics & Laser Technology*, vol. 39, 2003, p. 15-24.
- [5] Özgüney A.T, Özcelik G, Özkaya K.: A study on specifying the effect of laser fading process on the colour and mechanical properties of the denim fabrics, *Tekstil ve konfeksiyon*, vol. 2, 2009, p. 133-138.
- [6] Kan C.W., Yuen C.W.M., Cheng. C.W.: Technical study of the effect of CO₂ laser surface engraving on the colour properties of denim fabric, *Coloration Technology*, vol. 126, 2010, p. 365-374.
- [7] Chow Y.L., Chan C.K., Kan C.W.: Effect of CO₂ laser treatment on cotton surface, *Cellulose*, vol. 18, 2011, p. 1635-1641.
- [8] Özgüney A. T.: The comparison of laser surface designing and pigment printing methods for the product quality, *Optics & Laser Technology*, vol. 39, 2007, p. 1054-1058.
- [9] Chow Y.L.F., Chan A., Kan Ch.: Effect of CO₂ laser irradiation on the properties of cotton fabric, *Textil Research Journal*, vol. 82, 2012, p. 1220-1234.
- [10] Kan Ch.: CO₂ laser treatment as a clean process for treating denim fabric, *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, 2014, p. 624-631.

8 Práce autora se vztahem ke studované problematice

8.1 Publikace v odborných časopisech

A1. Štěpánková, M., Wiener, J., Dembický, J.: Impact of thermal stress on cotton fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 18, 2010, no. 3 (80), pp. 70-73. ISSN 1230-3666

A2. Štěpánková, M., Wiener, J., Rusínová, K.: Decolourization of vat dyes on cotton fabric with infrared laser light. *Cellulose*, vol. 18, 2011, no. 2, pp. 469-478. ISSN 0969-0239

A3. Štěpánková, M., Wiener, J., Dembický, J.: Properties of Cotton Fabric after Irradiation with Infrared CO₂ laser. *Fibers and Polymers*, vol. 15, 2014, no. 10, pp. 2072-2076. ISSN 1875-0052

8.2 Příspěvek ve sborníku z konference

B1. Štěpánková, M., Wiener, J.: Effects of infrared radiation of CO₂ laser on dyed cotton fabric, *Up-date technologies and equipment for textile industry*, 11-12 November, 2008 Moscow, Russia

B2. Štěpánková, M., Wiener, J.: Interaction of infrared laser radiation with cotton fabric, *15. národní konference Strutex*, 1.-3. prosince, 2008 Liberec, s. 513-518, ISBN 978-80-7372-418-4

B3. Štěpánková, M., Wiener, J.: Influence of radiation of green laser on cotton fabric and cellophane, *15. národní konference Strutex*, 1-3 prosince, 2008 Liberec, s. 519-525, ISBN 978-80-7372-418-4

B4. Štěpánková, M., Wiener, J.: Resistance of direct dyestuffs to infrared laser light, *The Fiber Society Spring 2010 International Conference*, 12-14 May, 2010 Bursa, Turkey, pp. 237-238, ISBN 978-605591902-3

B5. Štěpánková, M., Wiener, J.: Využití laserového záření v textilu, *Zpravodaj Spolku textilních chemiků a koloristů*, č. 4/2009, pořadové číslo 70 – Pardubice, říjen 2009, ISSN 1214-8091

B6. Štěpánková, M., Wiener, J., Průšová, M.: Neobvyklá využití laseru v textilní oblasti, *Zpravodaj Spolku textilních chemiků a koloristů*, č. 4/2014, pořadové číslo 88, listopad 2014, ISSN 1214-8091

8.3 Citace

3 citace k publikaci **Štěpánková, M., Wiener, J., Dembický, J.: Impact of thermal stress on cotton fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 18, 2010, no. 3 (80), pp. 70-73. ISSN 1230-3666** uvedené v databázích Scopus a Web of Science:

C1. Hung, O.-N., Chan, C. K., Kan, C.-W., Marcus Yuen, C.-W.: Comparison of color properties of CO₂ laser treated cotton fabric before and after drying. *Journal of Textile Engineering*, 2014, vol. 60, no. 2, pp. 23-25. ISSN 13468235

C2. Hung, O. N., Chan, C. K., Kan, C. W.: Introducing variations in colour of cotton fabric-reactive dye system through irradiation with a carbon dioxide laser. *Coloration Technology*, 2016, vol. 132, no. 1, pp. 35-48. ISSN 1472-3581

C3. Jiang, S.-X., Yuang, G., Huang, J., Peng, Q., Liu, Y.: The effect of laser engraving on alluminium foil-laminated denim fabric. *Textile Research Journal*, 2016, vol. 86, no. 9, pp. 919-932. ISSN 0040-5175

7 citací k publikaci **Štěpánková, M., Wiener, J., Rusínová, K.: Decolourization of vat dyes on cotton fabric with infrared laser light. *Cellulose*, vol. 18, 2011, no. 2, p. 469-478. ISSN 0969-0239** uvedené v databázích Scopus a Web of Science:

D1. Maryan, A. S., Montazer, M., Harifi, T.: One step synthesis of silver nanoparticles and discoloration of blue cotton denim garment in alkalimedia. *Journal of Polymer Research*, 2013, vol. 20, no. 8, pp. 189. ISSN 1022-9760

D2. Montazer, M., Chizarifard, G., Harifi, T.: CO2 laser irradiation of raw and bleached cotton fabrics, with focus on water and dye absorbency. *Coloration Technology*, 2014, vol. 130, no. 1, pp. 13-20. ISSN 1472-3581

D3. Juciene, M., Urbelis, V., Juchnevičiene, Ž., Čepukone, L.: The effect of laser technological parameters on the color and structure of denim fabric. *Textile Research Journal*, 2014, vol. 84, no. 6, pp. 662-670. ISSN 0040-5175

D4. Hung, O. N., Chan, C. K., Kan, C. W.: Introducing variations in colour of cotton fabric-reactive dye system through irradiation with a carbon dioxide laser. *Coloration Technology*, 2016, vol. 132, no. 1, pp. 35-48. ISSN 1472-3581

D5. Singh, V., Malviya, T., Sanghi, R.: Polysaccharide-based macromolecular materials for decolorization of textile effluents. In *Advances in Water Treatment and Pollution Prevention*. Springer Netherlands, 2012. Chapter 15, pp. 377-403.

D6. Juciene, M., Urbelis, V., Juchnevičiene, Ž., Čepukone, L.: The effect of laser energy density on fabric properties. *Tekstil*, 2013, 62 (9-10), p. 380-385.

D7. Almasian, A., Maleknia, L., Mirjalili, M., Chizarifard, G.: Application of laser treatment for enhanced dyeability and comfort properties of bleached cotton/polyester. *Asian Journal of Chemistry*, 2016, vol. 28, no. 6, s. 1229-1233. ISSN 09707077

1 citace k publikaci **Štěpánková, M., Wiener, J., Dembický, J.: Properties of Cotton Fabric after Irradiation with Infrared CO2 laser. *Fibers and Polymers*, vol. 15, 2014, no. 10, p. 2072-2076. ISSN 1875-0052** uvedené v databázích Scopus a Web of Science:

E1. Tsai, H.-Y., Yang, C.-C., Hsiao, W.-T., Huang, K.-C., Andrew Yeh, J.: Analysis of fabric materials cut using ultraviolet laser ablation. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 2016, vol. 122, no. 4, s. 304. ISSN 09478396

9 Práce autora bez vztahu k dané problematice

F1. Štěpánková, M., Šašková, J., Grégr, J., Wiener, J.: Using of DCSBD plasma for treatment of Kevlar and Nomex fibres, *Chemické Listy*, 102, 2008, 1515-1518, ISSN 0009-2770

F2. Shahidi, S., Wiener, J., Ghoranneviss, M. and Štěpánková, M.: Influence of Dielectric Barrier Discharge treatment on Adhesion Properties of Platinum Coated Polypropylene Foil and Polypropylene Fabrics, *Asian Journal of Chemistry*, 863 – 866, 23, 2, 2011, ISSN 0970-7077

F3. Štěpánková, M., Grégr, J., Wiener, J., Müllerová, J., Grabmüllerová, J.: Plasma Treatment of Kevlar and Nomex, *Acta Technica*, CSAV 53 (2008), 317-322

F4. Odvárka, J., Bachurová, M., Wiener, J., Štěpánková, M.: Surface Tension of Surfactants in Multicomponent Compositions, *13th International conference Strutex*, November 2006, Liberec, ISBN 80-7372-135-X

F5. Štěpánková, M., Wiener, J., Odvárka, J.: Quantitative of Released Fuzz of Cotton Woven Fabric, *13th International conference Strutex*, November 2006, Liberec, ISBN 80-7372-135-X

F6. Štěpánková, M., Odvárka, J., Kovář, Š., Wiener, J.: Time study of release fuzz from fabric, *6th International Conference TEXSCI*, 2007, June 5- 7, Liberec, ISBN 978-80-7372-207-4

F7. Štěpánková, M., Šašková, J., Wiener, J.: Measurement and Elevating of the Felt able Ability of Rabbit Hair, *14th International Conference Strutex: Structure and Structural Mechanics of Textiles*, 26th - 28th November 2007, Liberec, ISBN 978-80-7372-271-5

F8. Shahidi, S., Wiener, J., Štěpánková, M.: Influence of Dielectric Barrier Discharge Treatment on Adhesion Properties of Platinum Coated PP and PET Fabrics, *23. Symposium on Plasma Physics and Technology*, June 16-19, 2008, Prague, Czech Republic, p. 164-165, ISBN 978-80-01-04030-0

F9. Grégr, J., Štěpánková, J., Wiener, J., Müllerová, J., Grábmlüllerová, J.: Plasma Treatment of Kevlar and Nomex, *23. Symposium on Plasma Physics and Technology*, June 16-19, 2008, Prague, Czech Republic, p. 169-170, ISBN 978-80-01-04030-0 Interakce infračerveného laserového záření s textilií

F10. Štěpánková, M., Grégr, J., Šašková, J., Wiener, J.: Using of DSCBD Plasma for Treatment of Kevlar and Nomex Fibers, *2nd Central European Symposium on Plasma Chemistry*, 31.8-4.9. 2008, Brno, Czech Republic, p. 121

F11. Šašková, J., Wiener, J., Štěpánková, M., Průšová, M., Mezsaros, L.: S6 Aplication and Analysis of Silver on Textile Polymers, *23. Symposium on Plasma Physics and Technology*, June 16-19, 2008, Prague, Czech Republic, p.132, ISBN 978-80-01-04030-0

F12. Kašparová M., Wiener, J., Karašínská, R.: The detection of dyed cotton fabric by red laser pointer, *15th Autex World Textile Conference 2015*, June 10-12, 2015, Bucharest, Romania, p. 162, ISBN 978-606-685-275-3

Curriculum Vitae

Jméno a příjmení: Ing. Marie Kašparová (roz. Štěpánková)
Adresa: Lužická 1261/34, 46001 Liberec 1
E-mail: marie.kasparova@tul.cz
Datum narození: 12. 11.1979
Národnost: česká

Dosažené vzdělání

2005 - současnost: Doktorský studijní program
(s přerušáním studia) Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Studijní program: Textilní inženýrství
Studijní obor: Textilní technika

2000 - 2005: Magisterský studijní program
Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Studijní program: Textilní inženýrství
Studijní obor: Chemická technologie textilní
DP: Vliv sekvestračních prostředků na změnu odstínu

1994 - 1998: Maturita
Střední průmyslová škola textilní v Liberci
Obor: Technika administrativy

Praxe

2005 - 2013: Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Pozice: technický pracovník

2013 - současnost: Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Pozice: odborně-technický pracovník

Jazyk

Anglický jazyk

Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti

Doktorské studium

Studium	Studium v prezenční formě doktorského studijního programu Textilní inženýrství, v oboru Textilní technika na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci.
Seznam zkoušek	Vybrané partie z teorie oboru, 10.2.2006. Matematická statistika a analýza dat, 28.2.2008. Specializace v oboru, 26.6.2009. Makromolekulární chemie, 4.12.2014.
SDZ	Státní doktorská zkouška vykonána dne 20.11.2015 s celkovým hodnocením prospěl(a).

Pedagogická činnost

Výuka	Cvičení: Textilní chemie (2009-2010, 2014-2015) Praktikum návrhářství 1 (2014-2016) Textilní dílna (2014-2016)
Vedení DP a BP	Dorzi Munkuev, <i>Vícevrstvé struktury chránící před infračerveným laserovým zářením</i> , DP, 2016.

Výzkumné projekty IGS-FT-TUL č. 133/ 2009, řešitel, 2009.

Ostatní projekty Nanotechnologie pro společnost: Tvorba nano-vrstev a nano-povlaku na textiliích s využitím plazmových povrchových úprav za atmosférického tlaku, spoluřešitel, 2006-2011.

Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky

ZÁPIS O VYKONÁNÍ STÁTNÍ DOKTORSKÉ ZKOUŠKY (SDZ)

Jméno a příjmení doktorandky: **Ing. Marie Kašparová**

Datum narození: **12. 11. 1979**



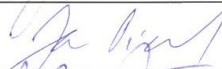
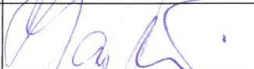
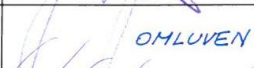
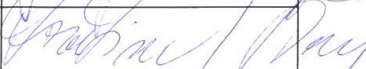

Doktorský studijní program: **Textilní inženýrství**

Studijní obor: **Textilní technika**

Termín konání SDZ: **20. 11. 2015**

prospěla ~~neprospěla~~

Komise pro SDZ:

		Podpis
Předseda:	prof. Ing. Jiří Militký, CSc.	
Místopředseda:	prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.	
Členové:	prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.	
	prof. Ing. Jaroslav Šesták, DrSc., Dr.h.c.	
	doc. Ing. Ladislav Burgert, CSc.	 OMLUVEN
	doc. Mgr. I. Lovětinská-Šlamborová, Ph.D.	
	Ing. Jana Šašková, Ph.D.	

V Liberci dne 20. 11. 2015

O průběhu SDZ je veden protokol.



Vyjádření školitele doktoranda

Vyjádření školitele doktoranda

Stanovisko školitele k disertační práci

Autorka disertační práce: Ing. Marie Kašparová

Název disertační práce: Interakce infračerveného laserového záření s textilií

Školící pracoviště: Katedra materiálového inženýrství, Fakulta textilní

Školitel: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Předložená disertační práce v souladu se svým názvem je zaměřena na zpracování plošných textilií infračerveným laserovým zářením. Téma této disertační práce je velmi aktuální a současně i technicky přínosné.

Práce zahrnuje rešeršní část zpracovanou na odpovídající úrovni. Jmenovitě je třeba vyzvednout experimentální část práce, ve které prokázala doktorandka své schopnosti o to jak při plánování, tak i při realizaci pokusů a interpretaci jejich výsledků.

Jde o jednu z prvních prací, která se snaží kvantifikovat a interpretovat jevy probíhající ve vlákenné struktuře při ozařování laserem. Tyto jevy se obecně jen obtížně dávají do souvislosti s chováním materiálů při běžných laboratorních testech. Důvodem je extrémní rychlost ohřevu působením laseru, která i při používání laserů o průmyslově dostupných výkonech výrazně přesahuje 1000 °C/s. Při těchto rychlostech ohřevu, rychlém chlazení a lokálním nedostatku kyslíku probíhají děje ve vláknech značně specificky. Problematika interakce laseru s textiliemi je celosvětově výzkumně poněkud opomíjena, přestože se v průmyslové výrobě využívá stále častěji a to ke škodě průmyslu obvykle pouze na základě empirie a postupu „pokus-omyl“.

O významu práce svědčí množství publikovaných článků a citační ohlas.

Ing. Kašparová (za svobodna Štěpánková) je autorkou více než 20 odborných příspěvků, přičemž klíčová část z nich je zaměřena na problematiku laserů a modifikací textilií. Výše uvedený počet publikací je sám o sobě poměrně vysoký, ale je třeba dále zdůraznit, že v tomto počtu je několik příspěvků publikovaných v špičkových renomovaných časopisech z textilní oblasti.

V databázi *Web of Science* je možné k dnešnímu datu nalézt 6 textů autorky, přičemž u čtyř z nich je autorka prvním autorem. Tyto texty mají podle *Web of Science* dohromady 15 citací. Obdobně v databázi *Scopus* je uvedeno 8 textů autorky s 16 citacemi.

Přístup doktorandky hodnotím pozitivně. Dle mého názoru byly splněny všechny cíle disertační práce. Disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Liberci, 1.10.2016


prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Oponentské posudky disertační práce

Posudek doktorské disertační práce

Dne 18. 11. 2016 jsem obdržel k posouzení (č.j. TUL-16/4814/041996) disertační práci paní **Ing. Marie Kašparové** na téma „**Interakce infračerveného laserového záření s textilií**“, která byla vypracována pod vedením školitele pana Prof. Ing. Jakuba Wienera, Ph.D. Práce byla podána k obhajobě v oboru Textilní technika na Fakultě textilní, Technické univerzity v Liberci.

Z formálního hlediska práce je poměrně rozsáhlá, celkem o 159 stranách A4 včetně příloh, je členěna do 8 kapitol, seznamu literatury, seznamu publikačního výstupu autorky a 43 stran příloh, tvořících ucelenou monografii.

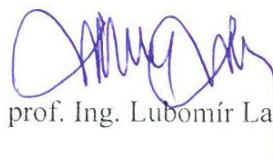
V první kapitole autorka popisuje základní charakteristiky laserů. Ve druhé kapitole pak navazuje popisem interakce laserového záření s materiály. Ve třetí kapitole jsou podrobně popsány experimentální podmínky realizovaných výzkumných prací v rámci řešení disertační práce. Jedná se zejména o popis laserového zařízení, nastavení jeho pracovních podmínek, seznam a charakteristiky použitých materiálů, barviv, substrátů apod. Dále jsou zde popsány jednotlivé analytické a fyzikálně-chemické metody charakterizace studovaných materiálů, jako např. měření teploty rubové strany vzorku, měření mechanických vlastností tahovou zkouškou, strukturní analýza SEM, optická mikroskopie, termická analýza DSC, DTA, ESCA, FTIR, měření barevnosti a určení měďného čísla. Za touto kapitolou pak následuje v rozsahu 36 stran souhrn získaných výsledků vlastních naměřených dat a jejich zpracování ve formě tabulek a grafů spojených s diskuzí k získaným výsledkům. Uvedené výsledky jsou detailně statisticky zpracovány statistickou analýzou ANOVA. Práce je napsána na vysoké odborné úrovni. Z metodického hlediska autorka použila standardní charakterizační a strukturně-analytické metody. Závěry práce jsou adekvátní současným poznatkům v oboru aplikovaných materiálových věd a inženýrství. Výsledky své badatelské práce autorka zveřejnila ve třech odborných publikacích a v 7 konferenčních sbornících. Některé publikace již byly citovány jinými autory (celkem 11 citací), což svědčí o zájmu vědecké komunity o výsledky autorky.

V průběhu obhajoby prosím o zodpovězení následujících otázek autorkou:

1. Jaká byla reprodukovatelnost jednotlivých typů měření?

Na základě výše uvedeného proto doporučuji předloženou disertační práci paní Ing. Marie Kašparové přijmout jako podklad k obhajobě před státní komisí pro udělení titulu „PhD.“

Ve Zlíně, dne 12. 12. 2016



prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.

Oponentský posudek disertační práce.

Autor práce: Ing. Marie Kašparová.

Název práce: Interakce infračerveného laserového záření s textilií.

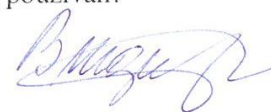
Téma disertační práce je stále velmi aktuální s ohledem na používání laserového záření při některých velmi specifických úpravách kusových textilních výrobků i s ohledem na jeho možné použití pro vytváření vzoru především na vybarvených textiliích.

V experimentální práci se autorka věnuje principu laserového záření a především současným trendům jeho možného využití v textilním průmyslu. Tato problematika se stále těší velkému zájmu, jak o tom svědčí množství použité literatury z poslední doby. V teoretické části jsou některé drobné nepřesnosti a překlepy. Například tvrzení o indigu (str. 58) - cituji: „Vyrábí z uhelného dehtu nebo ropy...“

V experimentální části práce je velmi podrobně studován vliv laserového záření na bavlněné tkaniny keprové vazby vybarvené vybranými značkami kypových barviv. Vliv záření byl studován z hlediska změny odstínu vybarvení a také s ohledem na poškození – degradaci celulosového vlákna. Ke studiu byla použita řada technik, které dovolují posuzovat změny v mechanických vlastnostech i chemické struktuře. Průběh experimentů a výsledky jsou velmi podrobně zdokumentovány a výsledky jsou statisticky vyhodnoceny.

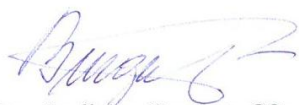
K práci mám některé dotazy a připomínky, které je možno diskutovat v rámci obhajoby:

- 1) Barvivo na tkanině představuje určitou ochranu vlákna před vlivy laserového záření. Je pozoruhodné, že tato ochrana – hodnocená na základě poklesu pevnosti vláken a osnovy - nezávisí na koncentraci barviva (alespoň v rozmezí studovaných koncentrací). Je škoda, že tato studie nebyla provedena také s indigem. Ještě zajímavější výsledky by bylo možno zřejmě dostat u tkaniny „denim“ – obarveno indigem, při porovnávání degradace osnovní a útkové příze s ohledem na způsob barvení „denimů“ a použité keprové vazby.
- 2) Doktorandka také stanovila tzv. měďné číslo u původní a ozářené tkaniny. Výsledky jsou bez většího komentáře uvedeny na str. 91. Domnívám se, že doktorandka mohla tyto výsledky lépe využít. Z rostoucí hodnoty měďného čísla usuzujeme obecně na rostoucí koncentraci redukujících skupin v celulóse. Mohou to být redukující konce makromolekuly celulosy (jejich počet obecně roste se štěpením makromolekuly celulosy), nebo aldehydické skupiny vznikající oxidací hydroxyly na šestém uhlíku glukopyranosové jednotky celulosy. V této souvislosti by bylo jistě také zajímavé stanovit molekulovou hmotnost použité celulosy před a po ozáření a porovnat tyto výsledky s poklesem pevnosti bavlněné příze, event. s hodnotou měďného čísla.
- 3) Jak sama doktorandka v závěru diskuse výsledků připomíná, je rozpracované téma disertační práce velmi zajímavé a bylo by vhodné na této problematice dále pokračovat s cílem použít degradace barviva laserovým zářením pro vzorování textilií. Pro tento záměr by bylo možná vhodnější použít azobarviva – doktorandka připomíná barviva reaktivní. Je někde již tento způsob, jako např. náhrada leptového tisku, používán?



Na závěr lze konstatovat, že zvolené téma disertační práce je velmi zajímavé z hlediska možných průmyslových výstupů. Celá disertační práce je zpracována na velmi dobré úrovni a splňuje všechny požadavky na takovou práci kladené. Doktorandka prokázala schopnost samostatné a systematické vědecké práce, získané výsledky vyhodnotit a zpracovat a následně prezentovat formou publikací v odborném tisku a přednáškami na konferencích. O aktuálnosti tématu svědčí i citační ohlas publikací zveřejněných k řešenému tématu. Ve vztahu k publikacím předpokládám, že paní Ing. Marie Kašparová je rozená Štěpánková.

Předloženou disertační práci Ing. Marie Kašparové doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit Ing. Kašparové akademicko-vědecký titul Ph.D.



doc. Ing. Ladislav Burgert, CSc.
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek.
Fakulta chemicko-technologická.
Univerzita Pardubice.

Pardubice, 16. prosince 2016.