



Fixace reaktivního barviva na bavlně pomocí CO₂ laseru

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Anežka Kalužná**
Vedoucí práce: Ing. Marie Kašparová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Fixation of reactive dye on cotton fabric by CO₂ laser

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering
Author: **Bc. Anežka Kalužná**
Supervisor: Ing. Marie Kašparová, Ph.D.





Zadání diplomové práce

Fixace reaktivního barviva na bavlně pomocí CO₂ laseru

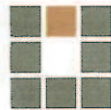
Jméno a příjmení: **Bc. Anežka Kalužná**
Osobní číslo: T17000050
Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2017/2018**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše na téma barvení bavlny reaktivním barvivem a využití CO₂ laseru v textilní oblasti
2. Vyberte tři reaktivní barviva (žluté, červené a modré) vhodná pro barvicí postup Termofix
3. Na výše vybraných barvivech sledujte vliv teploty a času při fixaci na výslednou barevnost textilie, navrhnete teoretický model predikující barevnost pro různé teploty a časy termofixace
4. Vzorky s naneseným barvivem vystavte působení CO₂ laseru za definovaných podmínek, při experimentu sledujte časově-teplotní expozici vzorků a na jejím základě predikujte barevnost textilie
5. Diskutujte experimentálně dosaženou barevnost při pokusech s laserem s barevností predikovanou teoretickým modelem

Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:

50 – 60 stran
tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

1. Vrbová M., Jelínková H., Gavrilov P.: Úvod do laserové techniky, 1. vyd. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1994.
2. Vrbová M. a kol.: Lasery a moderní optika – Oborová encyklopedie, 1. vyd. Praha, Prometheus, 1994
3. Dembický, Josef.: Zušlechťování textilií, 1.vyd. Liberec, Technická univerzita v Liberci, 2008.

Vedoucí práce:

Ing. Marie Kašparová, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

16. března 2018


Předpokládaný termín odevzdání:

18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

V Liberci 29. března 2019




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

Prohlášení

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

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

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

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

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

17. 4. 2019

Bc. Anežka Kalužná



Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi při psaní mé diplomové práce pomáhali. Především mé vedoucí Ing. Marii Kašparové, PhD. za odborné vedení, ochotu pomoc v každé situaci a cenné rady při řešení této práce. Děkuji svému konzultantovi prof. Ing. Jakubovi Wienerovi, PhD. za odborné vedení. Dále bych chtěla poděkovat Katedře materiálového inženýrství za poskytnuté podmínky a prostory pro realizaci pokusů. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu, kterou mi projevovali nejen při psaní diplomové práce, ale i v průběhu celého studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá ověřením funkčnosti nové metody v barvení bavlněné tkaniny. Nová metoda vychází z klasické barvicí metody termofix, avšak barvivo je fixováno pomocí CO₂ laseru místo fixačního rámu. K barvení jsou použita Ostazinová H-barviva. Na základě experimentů s laserem byl vytvořen teoretický model, který je schopný predikovat barevnost bavlněné tkaniny na základě teploty ozařování.

Klíčová slova

Bavlna, Termofix, Ostazinová barviva, pulsní CO₂ laser, Predikce barevnosti

Anotation

This Diploma Thesis deals with the verification of the functionality of the new method in dyeing cotton fabric. The new method is based on the classic dyeing method thermofix, however the dye is fixed with a CO₂ laser instead of a fixation frame. Ostazin H-dyes are used for dyeing. Based on experiments with laser, a theoretical model was created, which is able to predict the color of cotton fabric based on the temperature of the irradiation.

Keywords

Cotton, Termofix, Ostazine Dyes, Pulse CO₂ laser

Obsah

Úvod.....	7
1 Bavlina	8
1.1 Vlastnosti a složení bavlny	8
1.2 Barvení bavlny.....	9
1.3 Kontinuální a polokontinuální způsob barvení	10
2 Barviva	13
2.1 Reaktivní barviva	14
2.2 Struktura Ostazinových barviv	14
3 Potiskování textilií	15
4 Lasery.....	16
4.1 Princip laseru.....	17
4.2 Vlnová délka laserů	18
4.3 Součásti laseru	18
4.3.1 Parametry pulsního laseru.....	19
4.3.2 Rozdělení laserů.....	20
4.4 Třídy bezpečnosti laseru	22
4.5 CO ₂ laser.....	22
4.5.1 Působení CO ₂ laseru na bavlněnou tkaninu	24
4.6 Laser v textilu	25
5 Barevnost.....	25
6 Experimentální část	27
6.1 Materiál.....	27

6.2	Barviva a způsob jejich aplikace.....	28
6.3	Způsoby sušení vzorků barvených reaktivními barvivy.....	29
6.3.1	Vzorky připravené metodou termofix s fixačním rámem.....	30
7	CO ₂ laser Marcatex 150 Flexi.....	31
7.1	Postup při ozařování vzorků.....	32
7.1.1	Sledování teploty na povrchu vzorku pomocí infračerveného bezkontaktního teploměru GIM 3590	36
7.2	Vzorky ozářené CO ₂ laserem – test na bílé neobarvené bavlně.....	37
7.3	Vzorky ozářené CO ₂ laserem – test na bílé bavlně napuštěné ve “slepé lázni”	39
7.4	Vzorky ozářené CO ₂ laserem – barevné vzorky	40
7.5	Stanovení barevnosti vzorků připravených metodou termofix s fixačním rámem ...	43
7.6	Predikce barevnosti u metody termofix	43
7.7	Predikce barevnosti u laserové metody.....	48
7.8	Ovlivnění mechanických vlastností tkaniny po ozáření laserem	53
8	Aplikace nové technologie pro vzorování textilií	55
9	Diskuze.....	58
10	Závěr	60
	Literatura	61

Seznam zkratk a symbolů

RGB – barevný model RGB – červený zelený modrý (Red Green Blue)

CO₂ – Oxid uhličitý

IR – Infračervené záření (Infrared Radiation)

DPI – Dots Per Inch (kolik obrazových bodů (pixelů) se vejde do délky jednoho palce)

rpm – otáčky za minutu (revolutions per minute)

Úvod

Laser se v textilním průmyslu používá především k řezání textilií a k vytvoření sepraného vzhledu na denimovém oblečení. Cílem této diplomové práce je vyvinutí a ověření nového způsobu použití laseru v textilní oblasti. Konkrétněji použití pulsního CO₂ laseru k fixaci reaktivního barviva na bavlněné tkanině. V dnešní době se v praxi k barvení bavlněné tkaniny reaktivním barvivem používá metoda termofix. Metoda termofix je založena na obarvení tkaniny v barvicí lázni, naklocování na fuláru, zafixování barviva zvýšenou teplotou, praní a sušení. Fixace barviva probíhá ve fixačním rámu. Bavlněná tkanina je napnuta na výsuvném rámu, který zajíždí do fixačního zařízení. Barvivo je fixováno po celé obarvené ploše tkaniny. Při použití laseru se fixuje pouze námi zvolená oblast. Tato metoda šetří čas a také umožňuje větší variabilitu při barvení.

Teoretická část se zabývá charakteristikou bavlny. Jaké je chemické složení bavlny, jaké jsou její vlastnosti a jakým způsobem se dá bavlna barvit. Podrobněji je popsán barvicí postup termofix. Pro barvení bavlněného materiálu byla zvolena reaktivní barviva typu H. Jsou to barviva, která lze fixovat při vysoké teplotě. Jako vhodná metoda pro aplikaci těchto barviv je metoda termofix. Výsledky metody termofixace reaktivních barviv typu H slouží jako podklady pro fixaci reaktivního barviva pomocí CO₂ laseru. Protože interakce bavlněná textilie-laserový paprsek vykazuje tepelné účinky. Laser může být chápán jako obdoba tisku, a proto se v teoretické části nachází kapitola o tisku. Výhodou nového postupu je jeho nenáročnost, nejsou potřeba šablony. Laserová fixace barviva je vhodná pro kusovou výrobu.

Další část popisuje problematiku laserů. Obecně je popsán laser a jeho fungování, dále z čeho se skládá a parametry, které lze nastavit. Mezi hlavní parametry laseru patří rozlišení DPI, doba značení bodu neboli pixel time, pracovní cyklus laseru a frekvence. Podrobněji je popsán pulsní CO₂ laser, který je využíván i při experimentech, a jak jeho působení ovlivňuje bavlněnou tkaninu.

V experimentální části byla nejdříve zvolena vhodná barviva pro pokusy, konkrétně Ostazinová červeň, Ostazinová modř a Ostazinová žluť. Následně byly připraveny vzorky metodou

termofix. Vzorky byly ve fixačním rámu ponechány po různý čas a různou teplotu, aby byly zjištěny ideální podmínky pro barvení metodou termofix.

Pokusy s laserem byly provedeny na bílé neobarvené bavlněné tkanině, na tkanině obarvené ve slepé lázni a na obarvených vzorcích. Příprava barevných vzorků probíhala stejně jako u metody termofix, pouze fixace byla prováděna pomocí laseru, místo fixačního rámu. Laserem byla ozařována lící strana materiálu. Při experimentech byla sledována teplota a doba laserování.

Všechny obarvené vzorky byly naskenovány a byla vyhodnocena barevnost pomocí barevného RGB modelu. Z Arrheniovy rovnice a aktivační energie vychází model, který predikuje barevnost a absorpenci podle doby a teploty fixace.

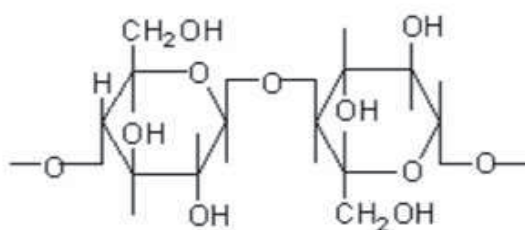
1 Bavlina

Bavlina je jednou z nejpoužívanějších a nejvýznamnějších přírodních materiálů v textilním průmyslu. Řadí se do skupiny celulóзовých vláken. Cena bavlny se v roce 2018 pohybovala okolo 190 dolarů (4 000 Kč) za kilogram. [1] Existuje několik druhů bavlníku, bavlna se z nich získává zpracováním plodů, který se pěstuje v subtropickém zeměpisném pásmu a existuje několik druhů bavlníku. Každý druh vytváří vlákna s různou délkou, jemností, drsností nebo barvou. Bavlina je příjemná na omak, používá se tedy k výrobě spodního prádla, ložního a stolního prádla, ručníků, utěrek a mnoho dalšího. Vyniká svou sorpcí vlhkosti, a proto se používá k výrobě oděvů na sport a volný čas. I když je v dnešní době trend používat syntetická vlákna, stále je více než 50 % textilu vyrobeno z bavlny nebo alespoň směsi bavlny s jinými chemickými vlákny, jako je polyester, viskóza, polyamid nebo akryl. [2,3,4]

1.1 Vlastnosti a složení bavlny

Vlastnost bavlněných vláken určuje druh bavlníku a stupeň zralosti. Bavlnu tvoří 88-91 % celulózy, 1-2 % bílkoviny, 1-1,5 % popeloviny, zbytek vosky, tuky, pektiny a další. Složení je závislé na druhu a zralosti bavlny, taktéž na klimatických podmínkách. Bavlněná vlákna jsou až 60 mm dlouhá s tloušťkou 12 mm až 40 mm. Vlákno je uvnitř duté a dutina, nazývaná lumen, může mít průměr až 26 μm .

Povrch vlákna je potažen primární (vnější) a sekundární (vnitřní) vrstvou. Primární vrstvu formují pektiny a vosky, které tvoří tzv. kutikulu, která jej chrání před poškozením. Sekundární vrstvu tvoří celulózová vlákna, jejichž struktura je zobrazena na Obrázku 1. Z chemického hlediska je celulóza polysacharid složený z beta-glukopyranóz, které jsou spojeny do polymerního řetězce 1,4-glykosidickými vazbami. Vyhledávanější a hodnotnější je dlouhovlákná bavlna, jejíž délka je v rozmezí 35 mm až 60 mm. Jedno vlákno je tvořeno jednou buňkou, která je spirálovitě zakroucená. Bavlna nevyniká svou pružností a tažností a snese maximálně 200 °C, poté dochází k jejímu zuhelnatění. [2,3,4]



Obrázek 1 - Strukturální vzorec celulózové jednotky [13]

1.2 Barvení bavlny

Barvení se řadí mezi zušlechťovací proces, který materiálu dodává požadovanou barevnost. Pro barvení bavlny je důležitá mikrostruktura vláken, orientace molekul celulózy, stupeň polymerace celulózy, poměr amorfni a krystalické celulózy, pórovitost vláken, dále zralost vláken a jejich sorpční vlastnosti. [3,5,6] K barvení celulózových vláken, tedy i bavlny, se používají přímá, sirná, kypová a reaktivní barviva. Dále indigosoly, nerozpustná azová a ftalcyaninová barviva. Před samotným barvením je velmi důležitá předúprava bavlněného materiálu. Barvení celulózových vláken lze provádět dvěma způsoby. Prvním je **kontinuální a polokontinuální postup** a druhým je **vytahovací postup**. Barvení bavlny může probíhat buď při 100 °C, nebo za studena, což znamená při 40 až 60 °C. U klasického barvení bavlněného materiálu je potřeba rozmíchat barvivo ve velmi teplé vodě společně s přísadkou soli.

Takto připravené, dokonale rozmíchané barvivo bez hrudek přelijeme do barvicí lázně. Při barvení obecně platí čím vyšší teplota, tím lepší. [6,7]

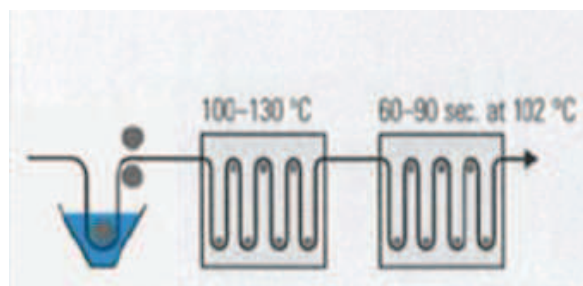
1.3 Kontinuální a polokontinuální způsob barvení

Barvení celulózových vláken kontinuálním způsobem se skládá ze 2 fází. První fází je naklocování textilie na fuláru a druhou fází je zafixování při výrazně zvýšené teplotě. Při barvení textilií se často do klocovací lázně přidávají různá aditiva, jako jsou například smáčecí přípravky nebo močovina pro zvýšení rozpustnosti barviva. Nakonec se textilie praním zbaví nefixovaného a hydrolyzovaného barviva. [4,6,8]

Při barvení reaktivními barvivy typu Ostazin H a Ostazin S se používají různé barvicí postupy. Především kontinuální a polokontinuální způsoby, jejichž základem je klocování na fuláru. Mezi kontinuální způsoby se řadí Termofix, Pad-Dry a Pad-Steam. Mezi polokontinuální způsoby se řadí Pad-Batch a Pad-Roll. [2,6] Ostazinová H barviva, se řadí do třídy monochlortriazinových reaktivních barviv. Vyrábějí se v široké škále barevných odstínů v práškové i kapalně formě. Vynikají snadnou aplikací, dobrou stálostí, variabilitou ve fixaci a reprodukovatelností. Aplikují se na různé textilní materiály, jako je celulóza, přírodní hedvábí nebo chlorovaná vlna. [9]

- **Termofix**

Termofix, viz. Obrázek 2, je způsob barvení, u kterého se textilie naklocuje na fuláru, zasuší a zafixuje na sušícím fixačním rámu za zvýšené teploty (130 °C až 160 °C). Rámcový návod pro metodu termofix je vypsán v Tabulce 1. Tento způsob je vhodný na barvení celulózových vláken a na kontinuální proces barvení. Výhodou metody termofix je, že dokáže obarvit i mrtvá či nezralá vlákna. Přesná dávkování barviva a chemikálií závisí na odstínu barviva. [4,6]



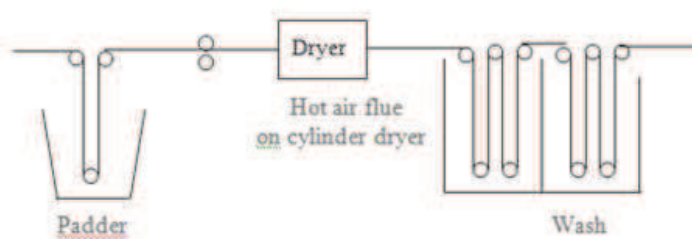
Obrázek 2 – Termofix [10]

Tabulka 1 - Rámcový návod pro metodu termofix s Ostazinovými H-barvivy

KLOCOVÁNÍ	MEZISUŠENÍ	TERMOFIXACE
X g·l ⁻¹ barviva	80-90 °C	120 °C = 4-5 min
50-200 g·l ⁻¹ močoviny		140 °C = 3-4 min
20 g·l ⁻¹ sody		160 °C = 1-2 min
teplota lázně 20-50 °C		180 °C = 1 min

- **Pad – Dry**

Pad-Dry, viz. Obrázek 3, se liší tím, že je mezi sušení po klocování úplně vynecháno. Jedná se o zjednodušenou variantu termofixu, kdy sušení slouží jako fixace. Tento způsob je vhodný pro kontinuální způsob barvení velkoplošných celulózových materiálů. Rámcový návod pro metodu Pad-Dry je vypsán v Tabulce 2. [4,6]



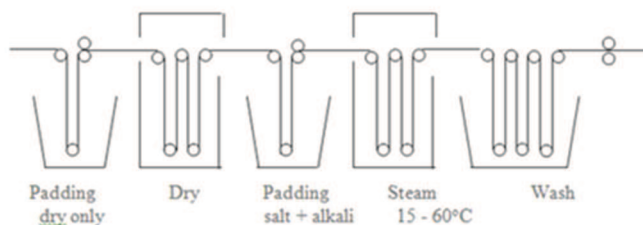
Obrázek 3 - Pad-Dry [10]

Tabulka 2 - Rámcový návod pro metodu Pad-Dry s Ostazinovými H-barvivy

KLOCOVÁNÍ	SUŠENÍ A FIXACE
x g·l ⁻¹ barviva	120 °C = 4-5 min
10-50 g·l ⁻¹ močoviny	130 °C = 2,5-3 min
2-5 g·l ⁻¹ Tiskanu	140 °C = 1-2 min
teplota lázně 20-80 °C	

- **Pad-Steam**

Pad-Steam, viz. Obrázek 4, je způsob barvení, u kterého se textilie nakločuje na fuláru, zasuší, poté opět nakločuje v tzv. chemickém fuláru a následně zafixuje horkou párou. Chemický fulár obsahuje chemické látky potřebné k fixaci. Tento způsob barvení se používá pro velkoplošné celulózové a viskózové tkaniny. Výhodou Pad-Steamu je, že dokáže obarvit i mrtvá či nezralá vlákna a dosahuje vysoké výtěžnosti barviva. Rámcový návod pro metodu Pad-Dry je vypsán v Tabulce 3. [4,6]



Obrázek 4 - Pad-Steam [10]

Tabulka 3 - Rámcový návod pro metodu Pad-Steam s Ostazinovými H-barvivy

KLOCOVÁNÍ	MEZISUŠENÍ	CHEMICKÝ FULÁR	PAŘENÍ
x g·l ⁻¹ barviva	80-90 °C	250 g·l ⁻¹ NaCl	102-105 °C = 30-60 s
10-50 g·l ⁻¹ močoviny		30 roztok ml·l ⁻¹ NaOH	
20-5 g·l ⁻¹ Tiskanu		teplota lázně 20 °C	
teplota lázně 20-80 °C			

2 Barviva

Barviva jsou látky se silnou afinitou k textilnímu, dřevěnému, papírovému či koženému substrátu. Jsou rozpustné ve vodě, stabilní v otěru, praní a jsou světlo stálá. Důležitou vlastností je schopnost absorbovat viditelné elektromagnetické záření s vlnovou délkou 350 nm až 780 nm. Dále musí být zdravotně nezávadné. Barviva nenacházejí uplatnění pouze v textilním průmyslu, ale také v medicíně, biochemii nebo v optice při výrobě barevných laserů. [11,12,13]

Dělení barviv podle vzniku:

- přírodní
- syntetická

podle chemické struktury:

- azobarviva
- antrachinonová
- ftalocyaninová

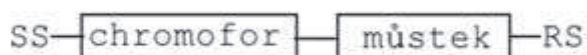
podle koloristické skupiny:

- přímá
- kypová
- reaktivní
- kyselá
- disperzní barviva a další. [11,12,13]

Častým pojmem, který je spojován s barvivy, je pigment. Pigmenty jsou ve vodě nerozpustné látky měnící barvu odraženého světla. Mohou být také přírodního či syntetického původu, organické či anorganické. Používají se k barvení textilií, plastů, jídla a jako nátěrové barvy. [12,13]

2.1 Reaktivní barviva

Barviva dostala označení 'reaktivní', protože reagují se substrátem a vytvářejí pevnou kovalentní vazbu, díky které je barvivo v substrátu pevně vázáno a je tak odolné vůči praní a otěru. Reaktivní barviva vynikají nízkou cenou, snadnou aplikací a čistotou odstínů. Na Obrázku 5 je zobrazena struktura reaktivního barviva. Část SS představuje solubilizační skupinu, díky které je barvivo rozpustné ve vodě. Část RS představuje reaktivní skupinu, díky které barvivo reaguje se substrátem. Můstek je ve struktuře kvůli tomu, aby reaktivní skupina nezreagovala s chromoforem a v důsledku toho nepozměnila barevný odstín barviva. [6,11,14] Ostazinová barviva jsou dvojího typu, a to Ostazinová S-barviva a Ostazinová H-barviva. S-barviva označují tzv. studená barviva, která reagují při nízkých teplotách do 40 °C. H-barviva označují tzv. horká barviva, která reagují a barví bavlnu při teplotě 90 až 100 °C. [14]

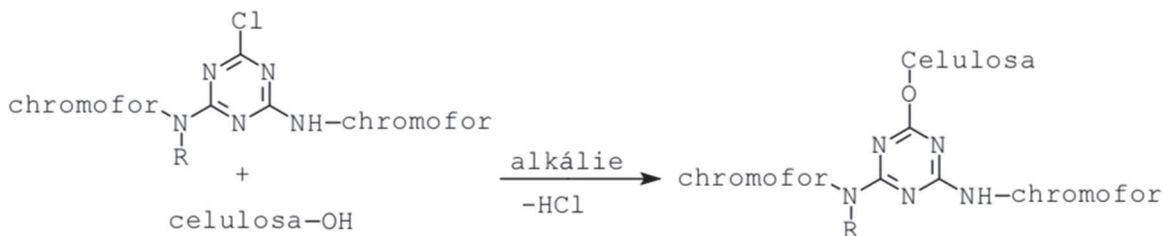


Obrázek 5 - Struktura reaktivního barviva [14]

Pro reaktivní barviva jsou vhodné polokontinuální i kontinuální způsoby barvení. Vhodnými způsoby jsou VT-pařák, Nass-in-Nass a Hot-Oil. Mezi neomezeně použitelné způsoby barvení se řadí Pad-Jig, Pad-Roll, Pad-Steam, fixace chemikáliemi a termofixace. [6]

2.2 Struktura Ostazinových barviv

Ostazinová barviva jsou složena ze 3 částí. Hlavní strukturální jednotkou je monochlortriazin či dichlortriazin. Molekula triazinu obsahuje ve svém skeletu tři atomy dusíku a tři atomy uhlíku.



Obrázek 6 - Reakce celulóзовého vlákna s monochlortriazinovým H-barvivem [14]

Jeden či dva atomy uhlíku mají na sobě navázané atomy chlóru, které následně reagují se s OH skupinami bavlny. Zbylé atomy uhlíku mají na sobě navázaný chromofor či jiné substituenty. V reakci nejprve dochází ke vzniku alkoholátového iontu z OH skupiny celulózy v přítomnosti NaOH. Vzniklý sodný anion celulózy je silnějším nukleofilem, než OH skupina. V další rovnici na Obrázku 6 je znázorněna reakce reaktivního monochlortriazinového H-barviva s celulóзовým vláknem. [4,14,15]

3 Potiskování textilií

Barvení a textilní tisk patří mezi nejdůležitější zušlechťovací procesy. K potisku se používají stejná barviva jako při barvení. Barviva jsou ve formě pasty a používají se pigmenty, reaktivní či kypová barviva. Nejdříve je připravena tiskací pasta, která je nanášena na textilní materiál, poté je barvivo zasušeno, zafixováno a nakonec vypráno. Hlavním rozdílem mezi potiskem a barvením je vyšší koncentrace barviva při potisku než při barvení. Tiskací pasta obsahuje zahušťku, ze které se barvivo difunduje do vlákna. Tisk po mechanické stránce dělíme na ruční tisk, strojní válcový tisk, filmový tisk a speciální druhy tisku. [4]

Strojní válcový tisk

Tiskací válec má na svém povrchu různé vzory, které jsou vytlačeny do hloubky válce. Z barevníku se do vytlačených vzorů nanáší tiskací pasta. Poté se válec přitlačí na textilií a vytlačený vzor se otiskne. Nevýhodou strojního válcového tisku je nákladnost výroby tiskacích válců a vysoký přítlak válců na potiskovaný materiál.

Filmový tisk

Filmový tisk znamená potisknutí tkaniny pomocí šablony. Šablona se skládá z rámu, který drží tvar šablony a síta, který určuje vzor potisku. Síto šablony je v místech mimo vzor nepropustné a v místech vzoru propustné pro tiskací pastu, která je nanášena pomocí stěrky. Nevýhodou filmového tisku je velikost šablon a diskontinuální výroba.

Digitální tisk

Digitální tisk je technika, při které se barvivo nanáší přímo na textilii. Existují tiskací stroje pro digitální tisk s hrubým a jemným rozlišením. Tiskací stroje s hrubým rozlišením se používají k potisku koberců a vzor je vytvářen pomocí trysek, které se otvírají a zavírají podle programu v počítači. Tiskací stroje s jemným rozlišením se používají k potisku tkanin. Používá se buď technologie kontinuálního toku kapek (continues–flow systém) nebo technologie kapek na požádání (drop-on-demand systém).

Přenosový tisk

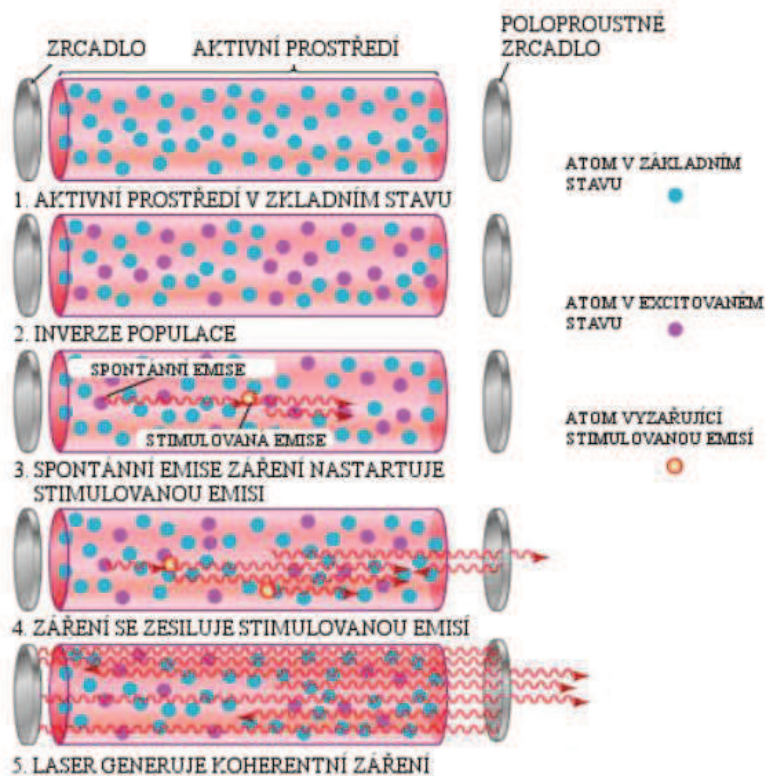
Přenosový tisk je speciální technika, při které se barvivo sublimuje z nosiče na textilní materiál. Nejdříve se potiskne nosič, který se potištěnou stranou přivede do styku s textilií a za působení tepla a tlaku se barvivo přeneso na textilní materiál. Tato technika je vhodná pro syntetická vlákna barvená disperzními barvivy. Na celulósová, tedy i bavlněná vlákna, se přenosový tisk nepoužívá. [4]

4 Lasery

Lasery jsou zdrojem velice intenzivního záření. Název laser vychází ze spojení slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. V překladu to znamená světlo zesílené stimulovanou emisí záření. Mají široké uplatnění, používají se například jako laserová ukazovátka, čtečky kódů, na zaměřování, řezání, gravírování nebo sváření. Nacházejí uplatnění v chirurgii, stomatologii, dermatologii, spektroskopických metodách, holografii a v neposlední řadě v armádě. Podstatnou vlastností laseru je schopnost vytvářet koherentní paprsek s nízkou divergencí, který je monochromatický. Koherentní znamená, že fotony vytvářejí vlnění se stejnou vlnovou délkou a fází. Monochromatický značí stejnost vlnové délky záření. Šíří se v úzkém paprsku, který je zbarven podle toho, v jakém aktivním prostředí laserový paprsek vznikl. Aktivní prostředí může nabývat různého skupenství a obsahuje větší množství atomů na vyšších energetických hladinách. [8,16]

4.1 Princip laseru

Laserové záření vzniká v aktivním prostředí v základním stavu (Obrázek 7.1), kde dochází k buzení atomů a jejich následnému střetu. Tento vzájemný střet atomů způsobí jejich excitaci na vyšší energetické hladiny (Obrázek 7.2). Atomy mají tendenci být ve stavu s co nejmenší energií, a tak samovolně přecházejí z excitované vyšší hladiny na hladinu nižší. Při tomto sestupu dochází k vyzařování fotonů ve formě záření, které se nazývá laserové záření. Ovšem foton z jednoho jediného atomu by nestačil k vytvoření záření. Stimulovaná neboli vynucená emise vytváří laserové záření díky lavinovému efektu, kdy na excitovaný atom dopadne foton a tím se uvolní další foton (Obrázek 7.3 a 7.4). Fotony se poté v rezonátoru odrážejí od jednoho zrcadla do druhého a narážejí do dalších excitovaných atomů, které uvolňují další fotony a vzniká proud fotonů (Obrázek 7.5). [16,17]



Obrázek 7 - Princip fungování laseru [17]

4.2 Vlnová délka laserů

Laserové záření disponuje určitou vlnovou délkou. Na rozdíl od žárovky, která produkuje záření do všech stran o různé vlnové délce, laser má stejně velkou vlnovou délku, tedy chromatickou. Různé lasery mají různé vlnové délky. Výpočet $\lambda = c/f$ pro vlnovou délku laserového záření ukazuje, že vlnová délka λ [m] závisí na frekvenci f [MHz] a rychlosti světla c [km/s]. [17]

Typ laseru	Vlnová délka λ [nm]
------------	-----------------------------

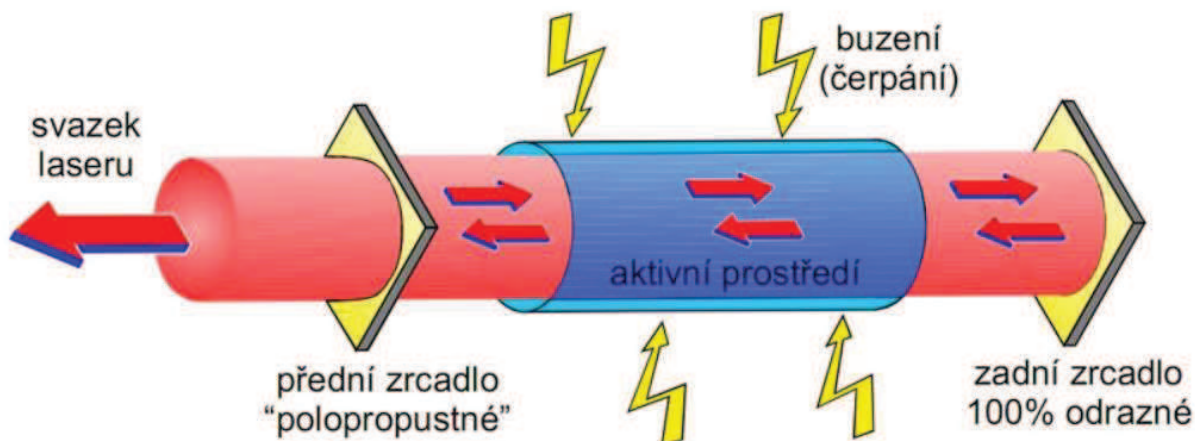
plynový	3,9 nm a více
---------	---------------

kapalný	0,33 μm – 1,8 μm
---------	--

pevnolátkový	0,17 μm – 360 μm
--------------	--

4.3 Součásti laseru

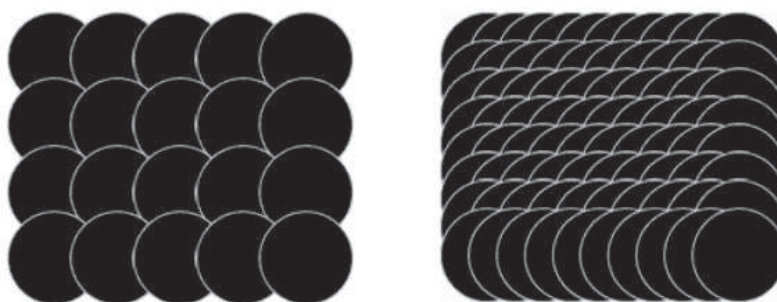
Laser (Obrázek 8) se v základním provedení sestává z aktivního prostředí, zdroje záření, nepropustného a polopropustného zrcadla, která tvoří rezonátor. Aktivní prostředí se nachází uvnitř rezonátoru, který má tvar podlouhlého válce. Válcovitý tvar zajišťuje správný směr laserového záření. Rezonátor obklopuje aktivní prostředí a uvnitř něj jsou umístěna dvě zrcadla – polopropustné a nepropustné. Laserové záření opakovaně prochází rezonátorem. Odráží se od nepropustného zrcadla, kterým může být dielektrické zrcadlo nebo leštěný kov. V momentě, kdy laserové záření dosáhne určité intenzity, je propuštěno polopropustným zrcadlem ven. Laserové záření se v rezonátoru odráží od jednoho zrcadla a dopadá na druhé pod určitým úhlem. Tento úhel se nazývá Brewsterův úhel. [17,18]



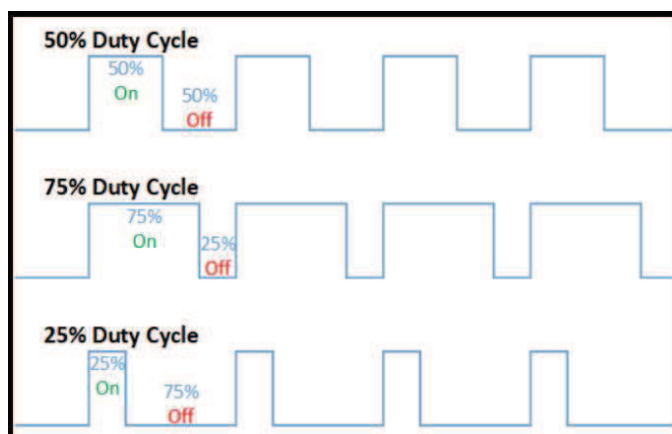
Obrázek 8 - Popisné schéma laseru [17]

4.3.1 Parametry pulsního laseru

Klíčovými charakteristikami laseru je rozlišení DPI, doba značení bodu (pixel time), pracovní cyklus laseru (duty cycle) a frekvence. DPI nebo Dots Per Inch znamená, kolik bodů se za sebou vejde do délky 1 inch (1 inch=2,54cm). Na Obrázku 9 jsou zobrazeny příklady kladení bodů CO₂ laseru při rozlišení 300 DPI a 600 DPI. [19] Pixel time neboli doba značení bodu nám v μs udává informaci, po jaký časový interval bude paprsek laseru působit na jeden bod. Pracovní cyklus laseru vyjadřuje zlomek času, kdy je systém či signál aktivní. Často bývá vyjádřen v procentech. Na Obrázku 10 je zobrazen 50 %, 75 % a 25 % pracovní cyklus. [20]



Obrázek 9 - Rozlišení 300 DPI a 600 DPI u CO₂ laseru [32]



Obrázek 10 - 50%, 75% a 25% pracovní cyklus [33]

4.3.2 Rozdělení laserů

Lasery se mohou dělit podle různých hledisek, např. podle:

- skupenství aktivního prostředí
- vlnové délky
- čerpání energie (excitace)
- podle režimu práce
- podle počtu energetických hladin

Dělení podle skupenství aktivního prostředí:

- plynové: aktivním prostředím je plyn (helium neon (He-Ne), dioxidový CO₂, argonový Ar), kde jsou atomy buzeny elektricky nebo opticky
- pevnolátkové: aktivním prostředím je pevná látka (rubín, Nd:YAG), kde jsou atomy buzeny opticky pomocí výbojek nebo laserových diod
- barvivové = rhodarin, kumarin
- polovodičové: aktivním prostředím je elektricky čerpaná polovodičová dioda= GaAs, GaAlAs, AlGaInP, GaN

- vláknové lasery =

Dělení podle vyzařované vlnové délky:

- infračervené
- V oblasti viditelného světla
- ultrafialové
- rentgenové

Dělení podle čerpání energie (buzení, excitace):

- opticky (pro pevnolátkové a kapalinové lasery) – excitace pomocí výbojky, jiným laserem nebo radioaktivním zářením
- chemicky – excitace pomocí energie chemické vazby nebo fotochemickou disociací
- elektricky (pro plynové lasery) – excitace pomocí srážek v elektrickém výboji nebo svazkem nabitých částic
- termodynamicky – excitace pomocí tepelných změn
- jadernou energií - excitace pomocí jaderného výbuchu nebo reaktorem

Dělení podle počtu energetických hladin:

- 2, 3 a více

Dělení podle režimu práce:

- pulsně
- impulsně – různě dlouhé impulsy
- kontinuální – nepřetržitý impuls

[17,21,22]

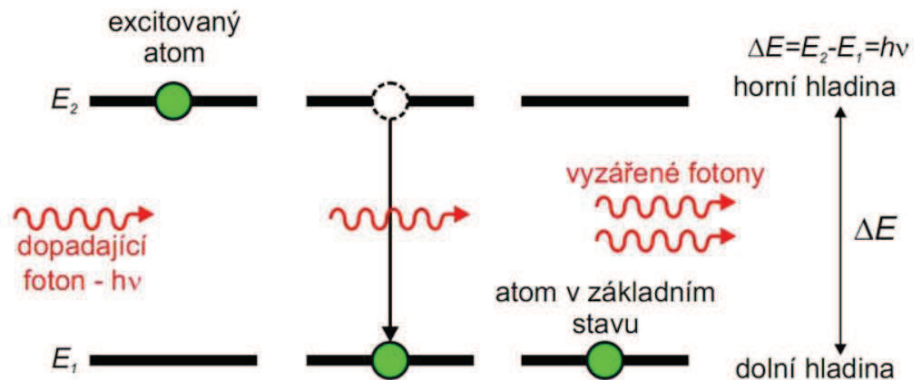
4.4 Třídy bezpečnosti laseru

Lasery se podle normy EN 60825-1:2007 dělí do několika základních skupin podle bezpečnosti užívání. Dělí se tedy podle jejich výkonu. Je nutné se bezvýhradně řídit uživatelskými pokyny o bezpečnosti jednotlivých typů laseru, neboť mohou způsobit trvalá poškození zraku. [23,24]

Celkově se lasery rozřazují do 6 tříd, konkrétněji třída 1, třída 2, třída 2M, třída 3R, třída 3B a třída 4. Třída 1 je první bezpečnostní třída laserů, zahrnuje takové typy, které nepoškozují zrak ani po přímém pohledu do laseru. Nejsou nutná žádná bezpečnostní opatření. Do třídy 2 se řadí lasery s viditelným kontinuálním zářením, před kterým nás oko automaticky chrání mrkáním. Jsou nebezpečné pouze pokud by bylo oko vystaveno laserovému paprsku déle jak 0,25 s. Laserový paprsek u třídy 2M je rozšířený, tudíž je nebezpečné používat brýle či jinou optiku, která by paprsek zúžila a zaostřila. Nebezpečí je stejné jako u třídy 2. Do třídy 3R se řadí lasery s viditelným kontinuálním zářením, před kterým je už nutno se chránit ochrannými brýlemi. Emise jsou menší než 0,5W. Do třídy 4 se řadí lasery s viditelným kontinuálním zářením, před kterým je už nutno se chránit ochrannými brýlemi. Emise jsou větší než 0,5W. [18,23,24]

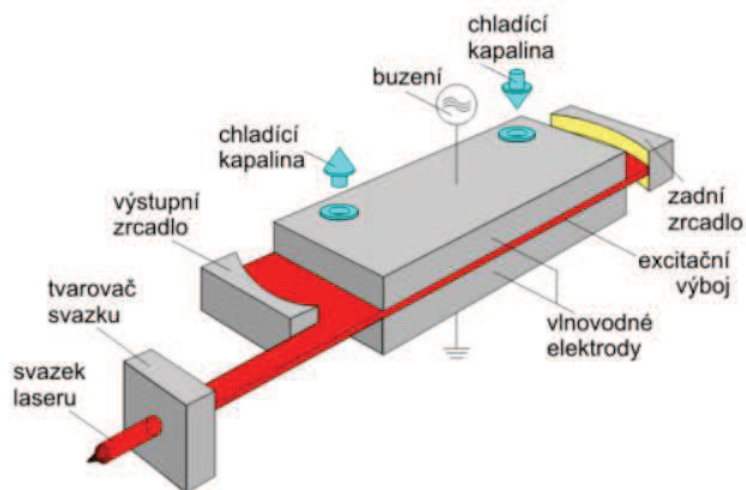
4.5 CO₂ laser

CO₂ lasery se řadí mezi jedny z nejvýkonnějších a nejstarších. V textilním průmyslu se často využívají k vzorování denimu, řezání nebo odbarvování. Díky tomu, že je laserový paprsek ovládán počítačem, je možné na tkanině vytvářet různé vzory. Generuje kontinuální infračervené záření o vlnové délce 10,6 μm. Principem je buzení elektronů z nižší energetické hladiny 1 na vyšší energetickou hladinu 3, čímž elektron získá energii. Samotný elektron ve vyšších hladinách zůstat nechce, a proto ho tam udržujeme pomocí plynu (CO₂). Po sestupu elektronu z hladiny 3 na hladinu 2 se uvolní energie ve formě fotonů, které následně vycházejí z laseru jako světlo, viz. Obrázek 11.



Obrázek 11 - Posun atomů při excitaci na vyšší energetickou hladinu a vyzáření energie ve formě fotonů [17]

Tělo laseru tvoří trubice s aktivním prostředím, na jejích koncích jsou zrcadla. Jedno zrcadlo je nepropustné a druhé polopropustné. K dosažení konzistentního a soudržného paprsku fotonů nám pomáhají právě tato zrcadla. V aktivním prostředí CO₂ se srazí foton s atomem nebo molekulou. Atomy přecházejí z vyšší hladiny na nižší a dochází k vyzáření energie. Zrcadla usměrní tok fotonů a polopropustným zrcadlem vycházejí z trubice v koherentním paprsku. Schématický náčrtek CO₂ laseru je zobrazen na Obrázku 12. [16,18,23,25]



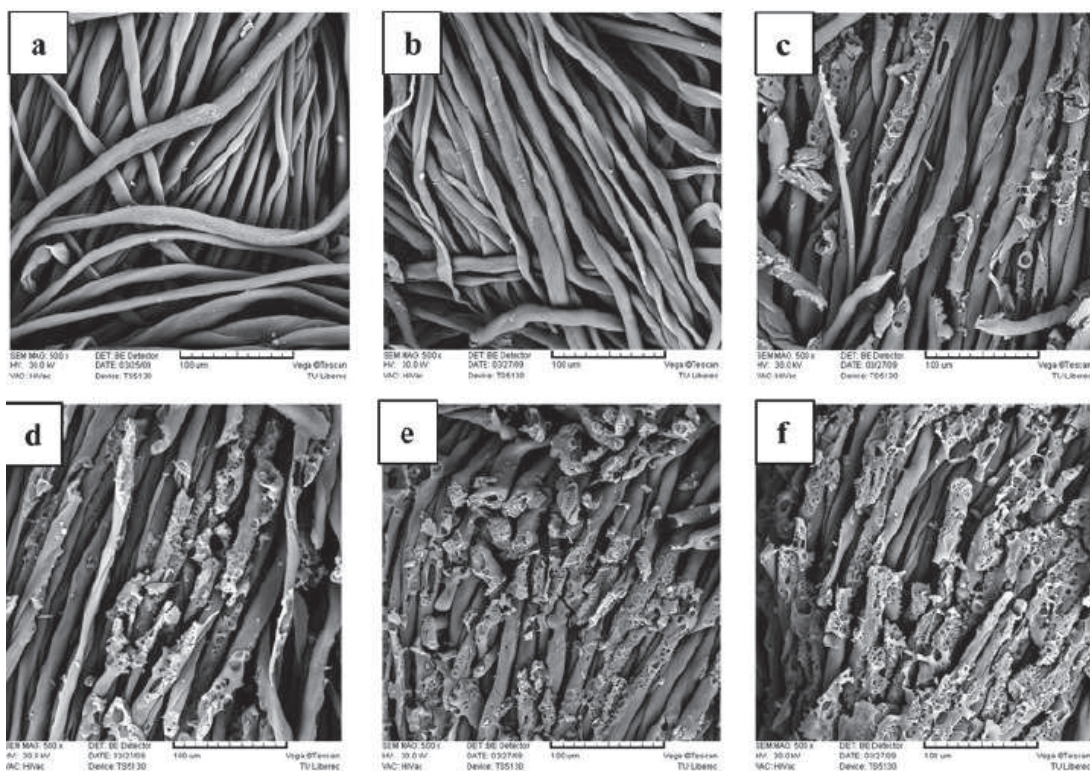
Obrázek 12 - Plynový CO₂ laser [27]

4.5.1 Působení CO₂ laseru na bavlněnou tkaninu

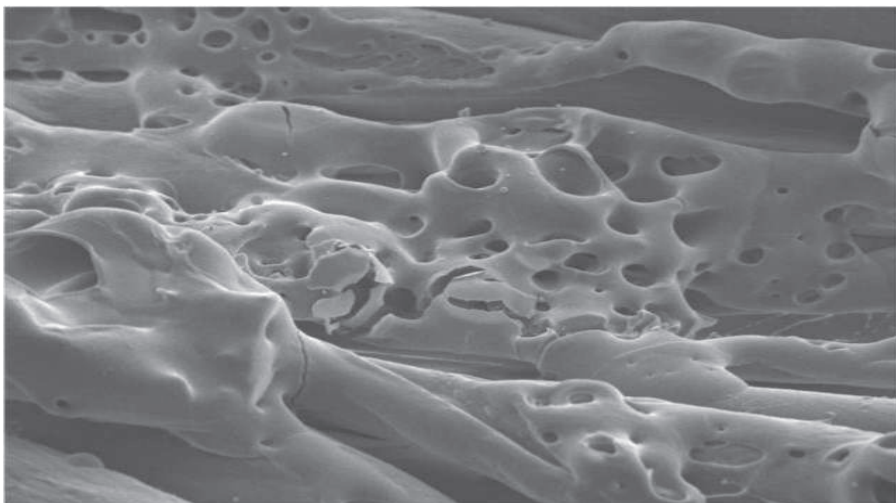
Termické působení laseru na bavlnu ovlivňuje její vlastnosti. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se rozlišením a pixel time se mění vlastnosti bavlny. Snižuje se hmotnost a pevnost vláken. Působení laseru mimo jiné způsobuje mírné zežloutnutí bílé bavlněné tkaniny. Na Obrázku 13 je zobrazeno poškození bavlněných vláken po působení laseru. Experimentálně bylo prokázáno, že pracovní cyklus nad 20 % snižuje pevnost v tahu tkaniny ve směru osnovy. [25]

Bylo také zjištěno, že působením laseru v nastavení 52dpi/110 μ s, vznikají na bavlněných vláknách póry a praskliny s různou velikostí, viz. Obrázek 14. Při zvýšení intenzity laseru se zvýší i kvantita a velikost trhlin i pórů. [26]

Experimentálně bylo zjištěno, že vysoká teplota při působení laseru snižuje pevnost v tahu. Čím větší je intenzita laseru, tím více se snižuje pevnost v tahu, a to ve směru osnovy i útku. [27]



Obrázek 13 - Zvětšený snímek bavlněných vláken po ozáření laserovým paprskem s různým pracovním cyklem(PC) (a – neozářený vzorek, b – ozářený vzorek s PC 10%, c – ozářený vzorek s PC 15%, d – ozářený vzorek s PC 25%, e – ozářený vzorek s PC 35%, f – ozářený vzorek s PC 50%) [25]



Obrázek 14 - Póry a praskliny na bavlněném vlákně [26]

4.6 Laser v textilu

Lasery se používají v textilním průmyslu především k řezání textilu, embosování a gravírování. Mezi výhody použití laseru při řezání textilií patří dokonalý řez, který má konzistentní kvalitu jelikož nedochází k opotřebení nástroje kontaktem s textilií. Dokonalý řez je možné provést u všech typů textilií, například i u distančních. Při řezání nevznikají spečené hrudky a řez je možné provést v jakémkoliv směru, nezáleží tedy na směru osnovy a útku. Laser se používá i při tvorbě denimového oblečení se sepraným efektem. Klasický postup tvorby tohoto sepraného vzhledu je energeticky a ekologicky náročný. Velkou výhodou je nulová spotřeba vody, minimální spotřeba chemikálií, možnost tvorby různého stupně seprání a úspora času. [17,28]

5 Barevnost

Díky světlu a různým vlnovým délkám, které obsahuje, můžeme rozeznávat barvy. Bílé světlo je část elektromagnetického vlnění o délce 400nm až 700nm. Světlo dopadá na objekt a různé vlnové délky jsou objektem pohlceny, jiné jsou odraženy. Vlnové délky, které se od objektu odrazí na sítnici lidského oka, pak mozek přetransformuje na barvu. Světlo je vlnění charakterizované vlnovou délkou λ [nm], frekvencí f [Hz] a rychlostí světla ve vakuu $[300\ 000\ \text{km s}^{-1}]$, vztah (1). [29,30]

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Různé frekvence, potažmo vlnové délky, světla vyvolávají různý barevný vjem, viz. Obrázek 15. V praktické části bude použita Arrheniova rovnice pro predikci absorpance a barevnosti barevných vzorků připravených metodou termofix a laserem. Arrheniova rovnice, vztah (2), udává, jaký má teplota vliv na rychlost reakce. [31]

$$k = A_0 * e^{-\frac{E_a}{R*T}} \quad (2)$$

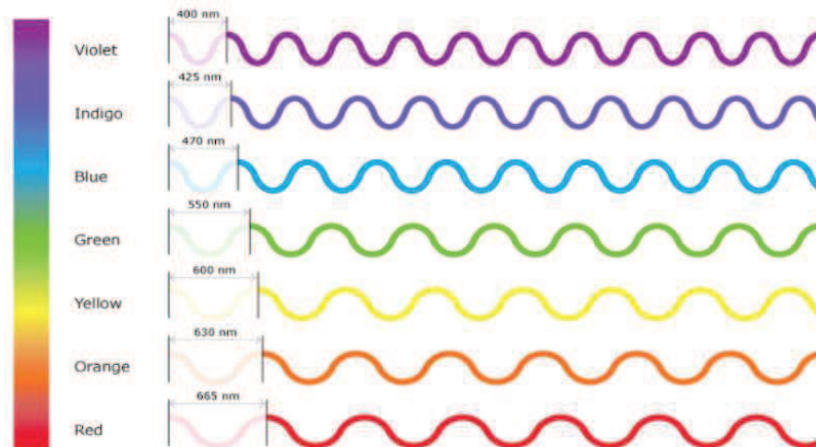
k – rychlostní konstanta

A_0 – konstanta, frekvenční faktor

E_a – aktivační energie [$J \cdot mol^{-1}$]

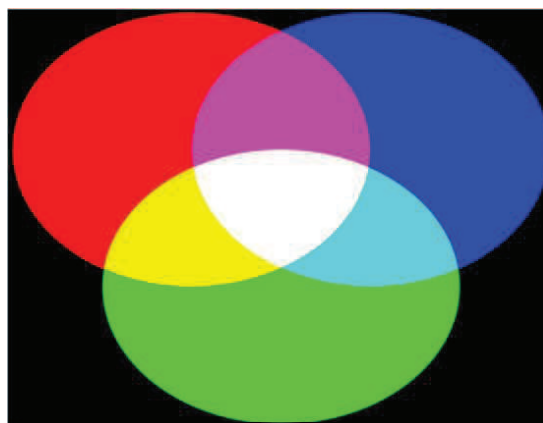
R – molární plynová konstanta [$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$]

T – termodynamická teplota [K]



Obrázek 15 - Barevné spektrum a jemu odpovídající vlnové délky [30]

Schopnost lidského oka vnímat barvy zajišťují 3 druhy čípků, což jsou receptory citlivé na červenou, zelenou a modrou. Tyto tři barvy, v překladu do angličtiny red, green, blue, dávají dohromady zkratku RGB. RGB je barevný model, který skládáním tvoří další barvy, viz Obrázek 16. Spojením červené a zelené vzniká žlutá, spojením modré a červené vzniká fialová, spojením modré a zelené vzniká azurová a spojením všech tří barev vzniká bílá. [29,30,32]



Obrázek 16 - RGB barevný model [32]

Barevný model RGB se zobrazuje ve 3D soustavě. Souřadnice těchto os představují jednotlivé barvy, tedy osa x je červená, osa y je zelená a osa z je modrá. Barvu a její intenzitu lze převést na číselnou hodnotu, která má rozsah 0-255. Nejnižší hodnota znamená nejnižší intenzitu a nejvyšší hodnota nejvyšší intenzitu barvy. [32]

6 Experimentální část

6.1 Materiál

K experimentům byl zvolen bavlněný materiál SARA, který byl vyvařený a bělený. Stanovení plošné hmotnosti, tloušťky, dostavy osnovy a útku bylo provedeno na vzorku materiálu velkém 10x10 cm (Tabulka 4). Tkanina má plátňovou vazbu.

Tabulka 4 - Charakterizace bavlněného materiálu Sara

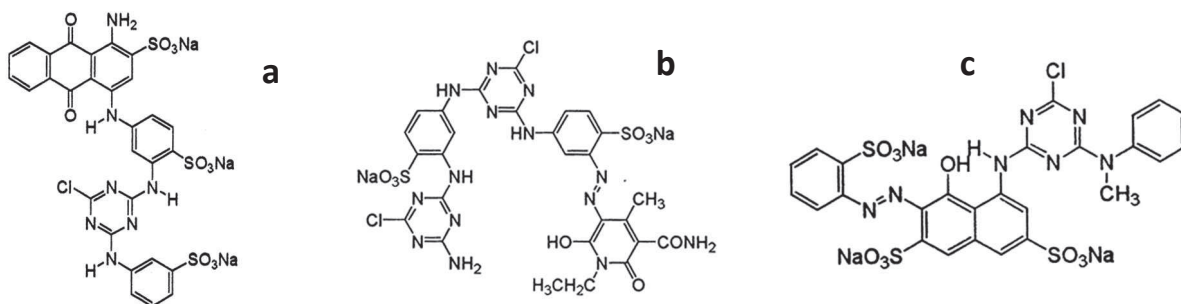
vazba	plátňová
plošná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	143,4
dostava osnovy [$\text{nití}\cdot\text{cm}^{-1}$]	21
dostava útku [$\text{nití}\cdot\text{cm}^{-1}$]	26
tloušťka tkaniny [mm]	0,28

6.2 Barviva a způsob jejich aplikace

Příprava klocovací lázně

Pro barvení byla zvolena reaktivní Ostazinová H-barviva, která jsou vhodná k barvení celulóзовých vláken. Byla použita Ostazinová modř HBR (C.I. Reactive Blue 5), Ostazinová žluť H8G (C.I.Reactive Yellow 85) a Ostazinová červeň H-B (C.I.Reactive Red 24). Barvení vzorků probíhalo metodou termofix, kdy se materiál nejdříve napustil v barvicí lázni, poté klocoval na fuláru, usušil, zafixoval a vypral. Bylo připraveno 100 ml barvicí lázně následujícího složení. Barvicí lázeň byla připravena smícháním 4 g barviva ($40 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$), 10 g močoviny ($100 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$) a 2 g uhličitanu sodného (sody) ($20 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$). Každé barvivo bylo nanášeno zvlášť a vznikly červené, žluté a modré vzorky. Důležitým krokem je rozmíchání barviva v horké vodě, aby nedošlo ke vzniku hrudek. Dále se do rozmíchaného roztoku barviva přidala močovina a nakonec uhličitan sodný. Močovina v barvicí lázni napomáhá lepšímu rozpouštění barviva a uhličitan sodný ionizuje hydroxylové skupiny celulózy, které pak reagují s reaktivním barvivem.

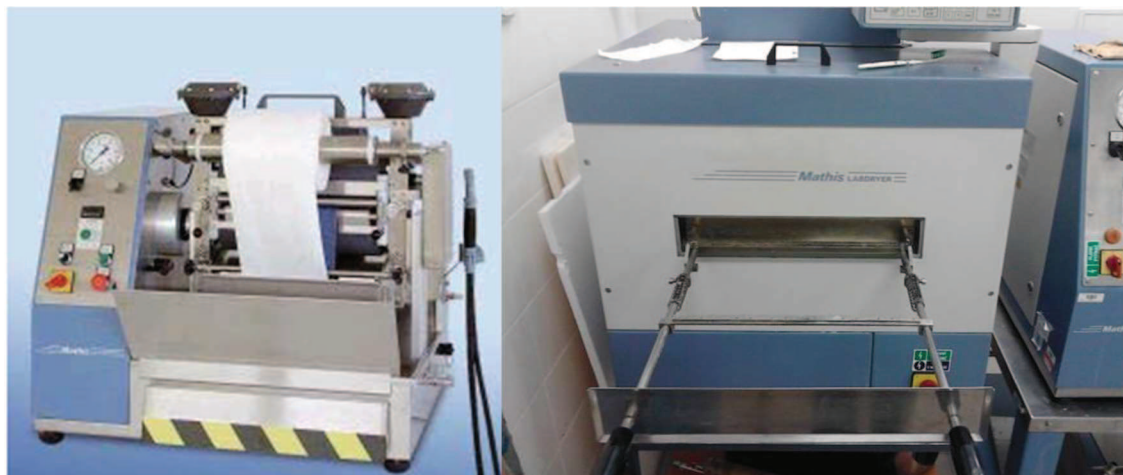
Strukturální vzorce používaných Ostazinových H-barviv jsou znázorněny na Obrázku 17.a (Ostazinová modř HBR), 17.b (Ostazinová žluť H8G) a 17.c (Ostazinová červeň H-B).



Obrázek 17 - Strukturální vzorec Ostazinová modř HBR (17.a), Ostazinová žluť H8G(17.b) a Ostazinová červeň H-B (17.c)

Nastavení fuláru a fixačního rámu

Pro klocování bavlněného materiálu byl použit fulár. Rychlost fuláru pro naklocování byla vždy $2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a přítlak byl nastaven na 2 bar. Fixace reaktivního barviva byla provedena na fixačním rámu Mathis. Fixační rám Mathis byl nastaven na požadovanou teplotu – 80 °C/ 100 °C/ 120 °C/ 140 °C a 160 °C po různý čas – 20 s/ 40 s/ 60 s/ 80 s a 100 s. Otáčky byly nastaveny na 1000 rpm. Na Obrázku 18 je zobrazen fulár a fixační rám Mathis.



Obrázek 18 - Fulár a fixační rám Mathis

6.3 Způsoby sušení vzorků barvených reaktivními barvivy

Byly provedeny nejprve úvodní pokusy postupem popsaným níže. Vzorky bavlny byly namočený do barevné lázně a vloženy do fuláru, který byl nastavený na rychlost $2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a tlak 2 bar. Takto připravené vzorky byly ošetřeny různými způsoby:

- sušárna (60 °C) + laser
- sušárna (60 °C)
- sušárna + fixátor (140 °C na 1,5 minuty)
- fixátor (140 °C na 1,5 minuty)
- bez sušení a bez fixace (mokrý)
- Sušení na fixačním rámu (55°C na 5 minut)

Ze všech postupů se jako nejvhodnější prokázalo usušení vzorků na fixačním rámu na 55°C po dobu 5 minut, poté co byly vzorky obarveny v barvicí lázni a vloženy do fuláru.

Pro nalezení ideálních podmínek pro fixaci reaktivního barviva na bavlně pomocí CO₂ laseru byla použita metoda termofix. Vzorky byly ponechány vzorky ve fixátoru Mathis po různou dobu t [s] a teplotu T [°C]. Vznikla sada 25 vzorků od každé barvy, kdy jeden vzorek byl ponechán ve fixátoru po dobu $t = 20$ s; 40 s; 60 s; 80 s; 100 s při teplotě $T = 80$ °C; 100 °C; 120 °C; 140 °C a 160 °C.

6.3.1 Vzorky připravené metodou termofix s fixačním rámem

Z bavlněné tkaniny byly připraveny vzorky o velikost 2x20 cm a stříhány ve směru útku. Nejprve byly obarveny, dále naklocovány, zasušeny v sušárně, barvivo bylo zafixováno, a nakonec byly vyprány. U každého barviva (Ostazinová červeň H-B, Ostazinová žluť H8G a Ostazinová modř HBR), byl také připraven tzv. referenční vzorek. Referenční vzorek byl obarven, naklocován, zasušen v sušárně a vyprán. Byl u něj vynechán krok s fixací, abychom si ověřili, zda se barvivo nefixuje na bavlněnou tkaninu už před samotnou fixací.

- **Barvení**

Každý vzorek byl vložen do barevné lázně. Pro barvení byla použita Ostazinová modř HBR, Ostazinová žluť H8G a Ostazinová červeň H-B, viz. Kapitola 5.2.

- **Klocování**

Každý vzorek jednotlivě byl naklocován na fuláru. Nastavení fuláru bylo stejné, jako v předchozích případech, viz. Kapitola 5.2.

- **Fixace**

Před zafixováním barviva byly vzorky vloženy do sušárny po dobu 5 minut za teploty 55°C. Následně byl každý vzorek samostatně vložen do fixačního zařízení Mathis. Každý vzorek byl fixován po různou teplotu a různý čas.

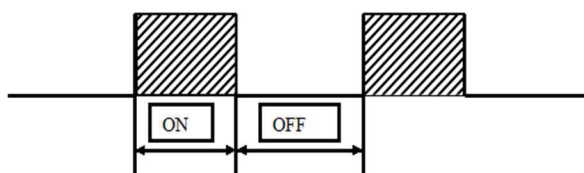
- **Praní**

Po zafixování na fixačním rámu byly vzorky vyprány. Nejdříve byly proplachovány ve studené vodě tak dlouho, dokud se nepřestalo uvolňovat nezafixované barvivo. Po propláchnutí byl vzorek vložen do patrony s vodou o teplotě 70 °C po dobu 5 minut. Poté byl vzorek vložen do patrony se saponátem. Byl použit Syntapon ABA (2 g·l⁻¹) v koncentraci 0,4 g na 200 ml. V lázni se saponátem byl vzorek ponechán 10 minut. Po vyprání byl usušen v sušárně při teplotě T=95 °C do doby, kdy byl vzorek úplně suchý.

Pro každé barvivo bylo nabarveno 25 vzorků. Jednotlivé vzorky se liší tím, po jakou dobu a jakou teplotu byly sušeny ve fixačním rámu. Tento postup byl proveden na všech 75 vzorcích.

7 CO₂ laser Marcatex 150 Flexi

Laser Marcatex 150 Flexi je pulsní laser a je možné u něj nastavit tyto parametry: pracovní cyklus [%], frekvenci [Hz] a dobu trvání laserového pulzu [μ s]. Zařízení Marcatex 150 Flexi pracuje v pulzním režimu. Pracovní cyklus (Obrázek 19) představuje výkon laseru v procentech a je dán poměrem zapnutí (doby trvání pulzu) a vypnutí laseru. Jeho maximální hodnota je 50 %. Úpravou tohoto parametru se mění hodnota vypnutí laseru, což znamená, že povrch materiálu bude ozářen nižší hustotou výkonu laserového svazku. Nízká frekvence znamená krátkou dobu trvání pulzu a tím vysoký špičkový výkon, což se projeví tak, že v krátkém čase na povrch objektu působí vysoká energie. Doba obrazového prvku (Pixel time) představuje čas použitý ke značení jednoho bodu v obrazu v řádu mikrosekund. Zvýšením doby obrazového prvku roste i čas potřebný ke značení obrazových prvků, a proto se zvyšuje také množství energie laserového záření.



Obrázek 19 - Schéma 50% pracovního cyklu

7.1 Postup při ozařování vzorků

Vzorky ozařované CO₂ laserem byly nastříhány z bavlněného materiálu SARA o velikosti 20x40 cm. V programu Photoshop byly připraveny obrázky, v našem případě obdélníky různých velikostí popsaných v Tabulce 5. Velikost nejmenšího obrázku odpovídá 39 x 39 pixelů. Následně se prodlužuje délka obdélníku o násobky 39, avšak šířka zůstává stejná. Teplota byla měřena na rubové straně vzorku a ozařování probíhalo na lící straně.

Tabulka 5 - Parametry laserovaných obrázků na bavlněné vzorky

	2 x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
Rozlišení [pixel/inch]	34 x 34	34 x 34	34 x 34	34 x 34	34 x 34	34 x 34
Šířka [pixels]	39	39	39	39	39	39
Výška [pixels]	39	78	117	156	312	624
Šířka [μm]	29 124	29 124	29 124	29 124	29 124	29 124
Výška [μm]	29 124	58 260	87 396	116 532	233 076	466 164

V programu Easy Mark 2009, který slouží k ovládání laseru, bylo nastaveno DPI = 34, doba značení bodu = 30 μs, pracovní cyklus 50% a frekvence 5 kHz. Laser pracuje se stupni šedi, neboli threshold colour, nastavených na hodnotu 220.

Ozařování vzorků probíhá podle následujícího schématu (viz. Obrázek 20). Laser řádkuje po kratší straně vzorku, tudíž dochází k vyššímu zahřátí bavlněného materiálu. Ozařování vzorků probíhalo ve směru osnovy.



Obrázek 20 - Schéma postupu ozařování laseru

Při experimentech laser pracoval ve dvou různých nastaveních doby laserového značení. V režimu variable – proměnlivý čas, kdy doba značení jednotlivých bodů (pixel time) se různí úměrně s nejnižšími liniemi ve stupních šedi. Tento typ laserového značení je rychlejší, avšak na úkor nižší kvality a je méně stabilní. V režimu fixed (nese indexové označení y) – neměnný čas,

znamená, že v tomto režimu jsou všechny body v obrázku značeny stejnou dobou, a proto je pohyb laserového paprsku konstantní. Což je důvodem vyšší stability a kvality tímto typem laserového značení.

Při laserování vzorků byl měřen čas, za který byly vzorky vylaserovány. Přehledy časů u jednotlivých barevných vzorků jsou sepsány v Tabulce 6, 7, 8, 9 a 10. Od každé velikosti vzorku byly připraveny 4 vzorky, které se lišily počtem cyklů ozáření laserem. Tedy byly připraveny 4 vzorky o velikosti 2x2 a první vzorek byl ozářen 1x, druhý vzorek 2x, třetí vzorek 3x a čtvrtý vzorek 4x. Ozářeny byly obarvené vzorky, bílá neobarvená tkanina a tkanina klocovaná ve slepé lázni.

Tabulka 6 - Přehled časů laserování vzorků – Ostazinová červecí H-B

		Variable					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Červené barvivo	1x	0,188	0,375	0,562	0,75	1,516	3,047
	2x	0,375	0,75	1,142	1,516	3,032	6,078
	3x	0,563	1,14	1,718	2,282	4,562	9,125
	4x	0,75	1,516	2,282	3,047	6,094	12,172
		Fixed					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Červené barvivo	1x	0,203	0,375	0,578	0,766	1,531	3,031
	2x	0,375	0,75	1,14	1,516	3,031	6,078
	3x	0,578	1,14	1,719	2,282	4,563	9,125
	4x	0,766	1,515	2,281	3,031	6,078	12,172

Tabulka 7 - Přehled časů laserování vzorků – Ostazinová žluť H8G

		Variable					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Žluté barvivo	1x	0,203	0,375	0,578	0,75	1,515	3,031
	2x	0,375	0,75	1,14	1,515	3,047	6,078
	3x	0,563	1,141	1,719	2,281	4,562	9,125
	4x	0,766	1,515	2,266	3,031	6,094	12,172
		Fixed					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Žluté barvivo	1x	0,188	0,375	0,578	0,75	1,516	3,047
	2x	0,375	0,75	1,141	1,516	3,047	6,078
	3x	0,563	1,14	1,719	2,281	4,563	9,125
	4x	0,75	1,516	2,281	3,047	6,078	12,156

Tabulka 8 - Přehled časů laserování vzorků – Ostazinová modř HBR

		Variable					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Modré barvivo	1x	0,187	0,391	0,563	0,75	1,516	3,031
	2x	0,375	0,765	1,14	1,516	3,047	6,079
	3x	0,562	1,14	1,719	2,281	4,563	9,109
	4x	0,766	1,516	2,281	3,046	6,078	12,172
		Fixed					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Modré barvivo	1x	0,187	0,375	0,578	0,765	1,516	3,031
	2x	0,391	0,766	1,141	1,516	3,031	6,062
	3x	0,578	1,14	1,703	2,282	4,563	9,125
	4x	0,765	1,515	2,281	3,047	6,094	12,157

Tabulka 9 - Přehled časů laserování vzorků – bílá textilie

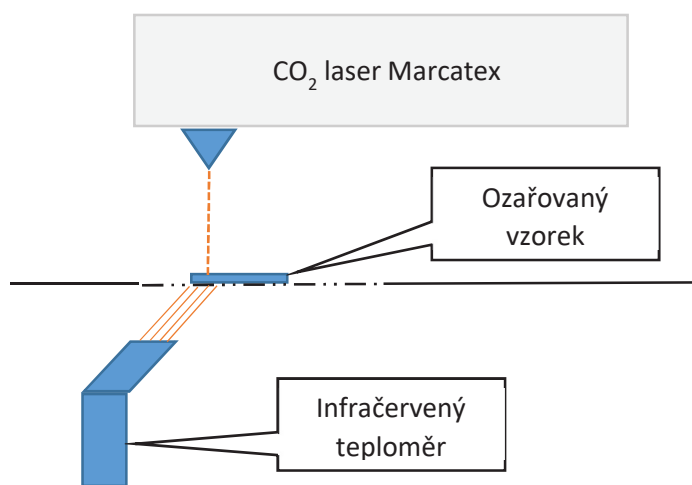
		Variable					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Bílá textilie	1x	0,203	0,375	0,563	0,766	1,531	3,031
	2x	0,375	0,75	1,141	1,515	3,032	6,078
	3x	0,578	1,141	1,703	2,281	4,562	9,11
	4x	0,765	1,516	2,822	3,047	6,094	12,157
		Fixed					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Bílá textilie	1x	0,188	0,39	0,578	0,766	1,516	3,031
	2x	0,391	0,765	1,141	1,516	3,046	6,078
	3x	0,562	1,125	1,719	2,281	4,547	9,125
	4x	0,75	1,516	2,281	3,031	6,078	12,156

Tabulka 10 - Přehled časů laserování vzorků – textilie klocovaná bez barviva

		Variable					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Klocováno bez barviva	1x	0,203	0,39	0,578	0,75	1,515	3,031
	2x	0,375	0,75	1,141	1,515	3,047	6,078
	3x	0,578	1,125	1,718	2,265	4,547	9,125
	4x	0,75	1,531	2,281	3,031	6,078	12,172
		Fixed					
		2x 2	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 16	2 x 32
		Čas značení [s]					
Klocováno bez barviva	1x	0,187	0,375	0,578	0,766	1,516	3,031
	2x	0,375	0,766	1,14	1,515	3,047	6,078
	3x	0,578	1,141	1,703	2,265	4,563	
	4x	0,765	1,516	2,281	3,31	6,078	

7.1.1 Sledování teploty na povrchu vzorku pomocí infračerveného bezkontaktního teploměru GIM 3590

V průběhu ozařování byla měřena teplota ozařování pomocí IR teploměrů. Infračervené teploměry slouží k bezdotykovému měření teploty na povrchu objektů. Byl použit tento typ teploměrů, protože jinak by mohlo dojít k poškození měřícího zařízení vlivem laserového paprsku. Na Obrázku 21 je zobrazeno schéma měření teploty pomocí IR teploměru. Doba snímání teploty byla vždy po 20 ms.

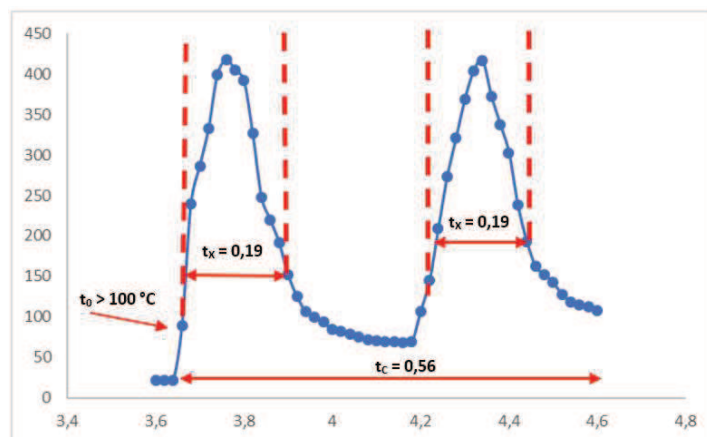


Obrázek 21 - Schéma měření teploty pomocí IR teploměru

Korekce teplotního průběhu laserování

Teplotní průběh laserování v závislosti na čase je zaznamenán v grafech. Teplota v grafech je korigovaná. Důvodem korigovaných dat a výšek píků je hypotéza o měření nereálné teploty. Teploměr snímá teplotu vzorku pouze na ploše 2x2 cm na začátku vzorku. Doba, po kterou je laserový paprsek na snímané ploše, udávají hodnoty v Tabulkách 6, 7, 8, 9 a 10. Jelikož je tkanina používaná pro experimenty velice tenká, je pravděpodobné, že energie laseru projde skrz a teploměr změří nereálné hodnoty. Za reálné hodnoty lze považovat pouze ty, které nám IR teploměr zaznamená, když neinteraguje s laserovým paprskem.

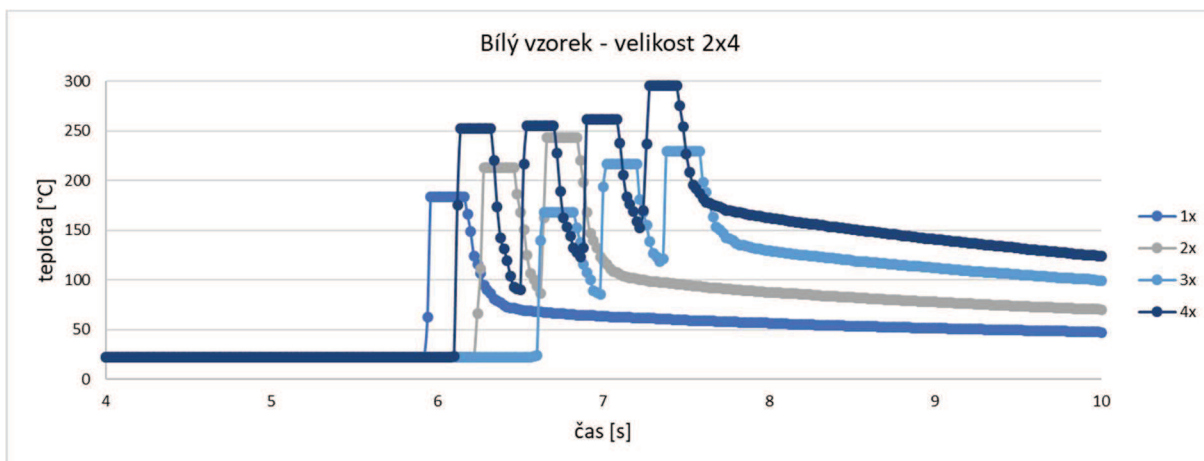
Korigování dat a ořezání teplotních píků probíhalo následovně. Z Tabulky 6-10 byla zjištěna doba laserování nejmenšího vzoru pro 1 cyklus. Například u červeného barviva byla doba laserování vzoru 2×2 $t_x = 19$ s. Základem je hypotéza, že teploměr neměří reálné hodnoty právě po tuto dobu při 1 cyklu. Graficky je hypotéza znázorněna na Obrázku 22. Prvním krokem je nalezení teploty t_0 , kdy teplota začíná přesahovat 100 °C a k ní odpovídající čas měření t_0 . V píkích trvajících $0,19$ s není teplota měřená správně, po uplynutí doby $t_0 + 19$ s lze považovat teplotu za reálnou a nahradit touto teplotou všechny předešlé v době $0,19$ s. Postup u druhého píku je obdobný. Z Tabulky 7 byla zjištěna doba ozařování pro 2 cykly u vzoru velikosti 2×6 $t_c = 0,56$ s. Tedy po dobu $t_x = 0,19$ s nereálná teplota, po dobu $t_1 = 0,37$ s reálná teplota, plus znovu $t_x = 0,19$ s nereálná teplota. Po uplynutí doby $t_0 + 19$ s + $0,37$ s + $0,19$ s lze teplotu považovat za reálnou a nahradit její hodnotou všechny předešlé zvýšené teploty v době $0,19$ s u druhého píku. Obdobně jsou ořezány všechny píky.



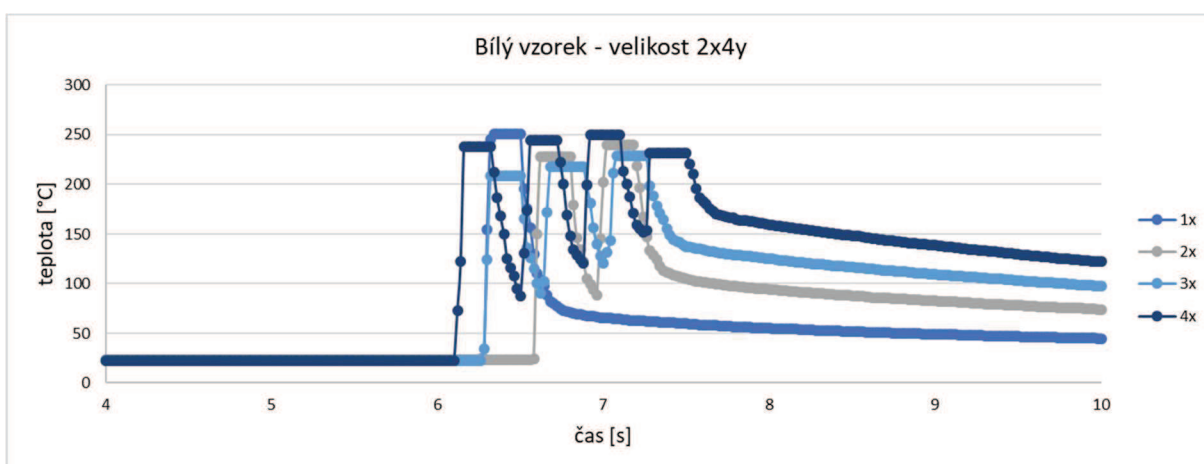
Obrázek 22 - Grafické znázornění ořezání píků

7.2 Vzorky ozářené CO₂ laserem – test na bílé neobarvené bavlně

Byly provedeny experimenty na bílé neobarvené bavlně. Na vzorcích o velikosti 20×40 cm byly laserovány předem připravené obrázky o velikosti definované v Tabulce 5. Při ozařování byla měřena teplota pomocí IR teploměru. Grafy s průběhem měření teploty jsou v Příloze 1. Ukázkové grafy jsou na Obrázku 23, kde byl laserován vzorek o velikost 2×4 s variabilním časem měření, a na Obrázku 24, kde byl laserován vzorek o velikost 2×4 s fixním časem značení. V Tabulce 11 je vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem.



Obrázek 24 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



Obrázek 23 - Bílý vzorek, fixní doba značení

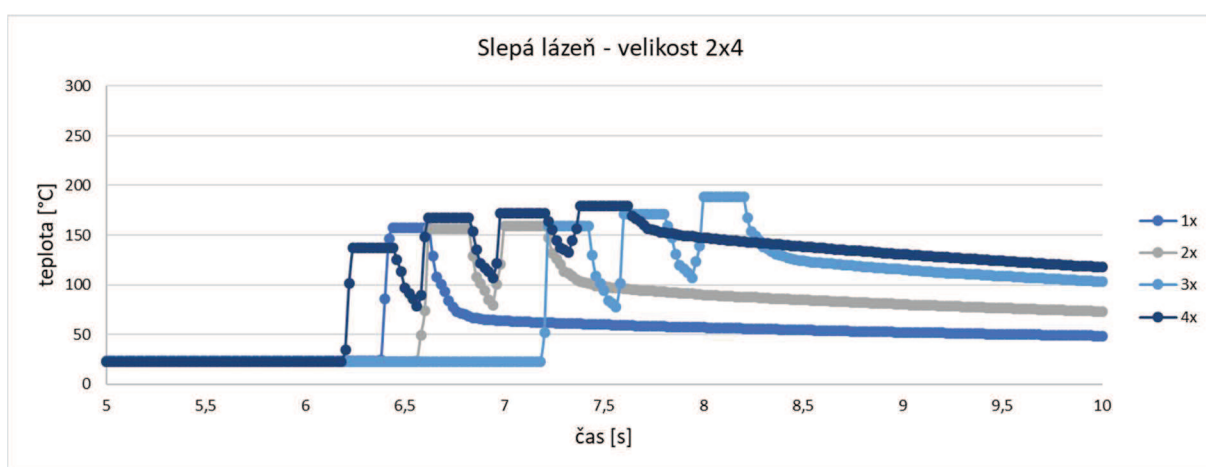
Tabulka 11 - Vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u bílého vzorku

	variabilní doba značení				fixní doba značení			
	1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
Celkový průměr [°C]	179,8	206,3	200,3	218,6	185,9	209,1	216,5	229,7
Rozptyl [°C²]	302,8	1328,6	1478,8	3587,3	1279,5	1288,9	1230,4	853,5
Výběr. směr. Odchylka [°C]	17,4	36,5	38,5	59,9	35,8	35,9	35,1	29,2
Var.koef. (%)	9,7	17,7	19,2	27,4	19,2	17,2	16,2	12,7
Konfidence	20,9	32,5	24,9	26,2	40,2	27,5	14,9	12,8
SM [°C]	153	177	177,1	192,3	135,9	183,9	197,4	216,9
HM [°C]	194,8	242	227	244,8	216,3	238,9	227,2	242,5

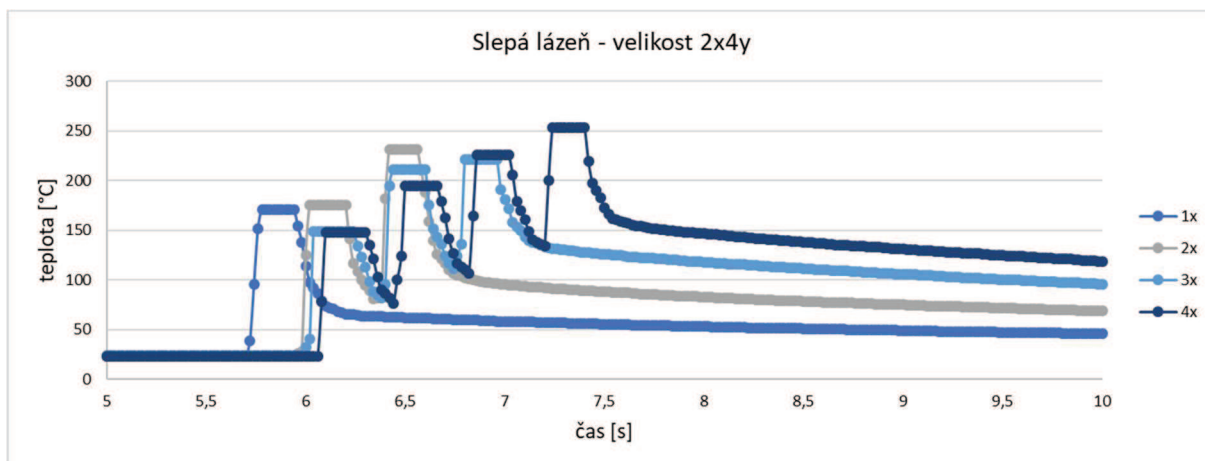
Průměrná teplota ozařování bílého vzorku pomocí laseru se pohybuje od 179,8 °C do 218,6 °C u variabilní doby značení a od 185,9 °C do 229,7 °C u fixní doby značení. S každým cyklem laserování se teplota fixace zvyšuje. V Příloze 2 jsou zaznamenané teploty pro výpočet celkových průměrných teplot z ozařování z Tabulek 11-15.

7.3 Vzorky ozářené CO₂ laserem – test na bílé bavlně napuštěné ve “slepé lázni”

Vzorky bavlněné tkaniny byly ozařovány poté, co byly naklocovány a zafixovány ve slepé lázni. Slepá lázeň je termín pro barvicí lázeň bez barviva. Bylo připraveno 100 ml slepé lázně následujícího složení. Slepá lázeň byla připravena smícháním 10 g močoviny (100 g·l⁻¹) a 2 g uhlíčitanu sodného (sody) (20 g·l⁻¹). Následně byly vzorky naklocovány, zafixovány a ošetřeny laserem. Znovu byla měřena teplota pomocí IR teploměru. Ukázkové grafy jsou na Obrázku 25, kde byl laserován vzorek o velikost 2x4 s variabilním časem měření, a na Obrázku 26, kde byl laserován vzorek o velikost 2x4 s fixním časem značení. V Tabulce 12 je vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem.



Obrázek 25 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



Obrázek 26 - Slepá lázeň, fixní doba značení

Tabulka 12 - Vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u vzorku obarveného ve slepé lázni

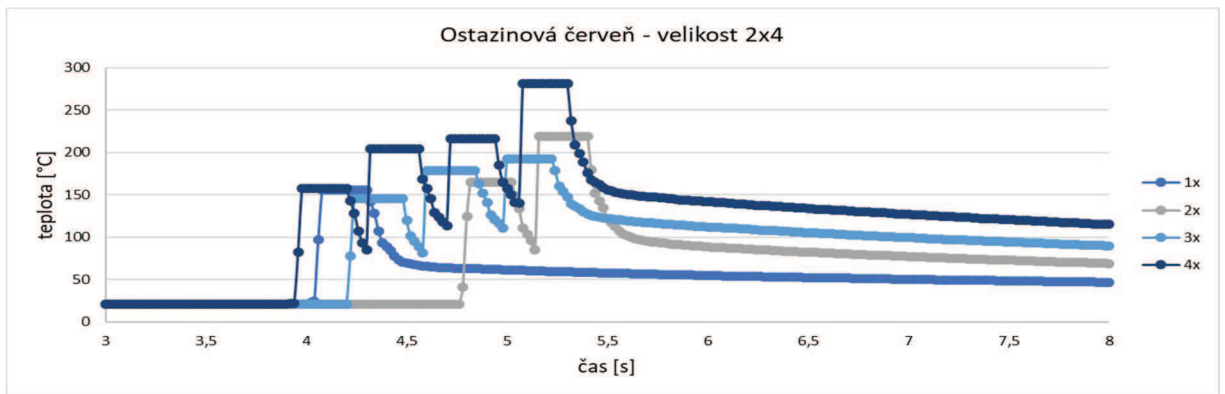
slepý	variabilní doba značení				fixní doba značení			
	1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
Celkový průměr [°C]	147,4	154,1	174,3	192,3	156,2	176,4	180,4	198,3
Rozptyl [°C²]	275,4	479,5	787,3	1409,2	281,2	1214,3	1092,2	1274,2
Výběr. směr. Odchylka [°C]	16,6	21,9	28,1	37,5	16,8	34,8	33	35,7
Var.koef. (%)	11,3	14,2	16,1	19,5	10,7	19,8	18,3	18
Confidence	27,8	12,2	17,3	16,5	23,7	32,5	28	15,6
SM [°C]	116,3	138,6	151,6	175,8	135,6	148,3	152,4	182,7
HM [°C]	172	163	186,2	208,7	183,1	213,4	208,4	214

Průměrná teplota ozařování pomocí laseru u vzorku obarveného ve slepé lázni se pohybuje od 147,4 °C do 192,3 °C u variabilní doby značení a od 156,2 °C do 198,3 °C u fixní doby značení. S každým cyklem laserování se teplota fixace zvyšuje.

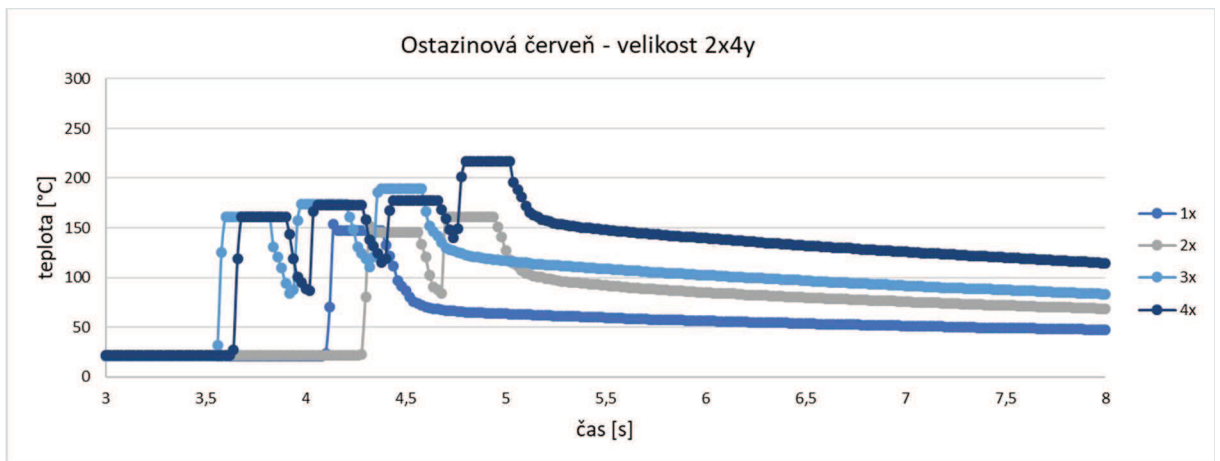
7.4 Vzorky ozářené CO₂ laserem – barevné vzorky

Vzorky bavlněné tkaniny byly obarveny v barvicí lázni, naklocovány, zasušeny a barvivo bylo zafixováno pomocí laseru. Bylo připraveno 100 ml barvicí lázně následujícího složení. Barvicí lázeň byla připravena smícháním 4 g barviva (40 g·l⁻¹), 10 g močoviny (100 g·l⁻¹) a 2 g uhličitanu sodného (sody) (20 g·l⁻¹). Každé barvivo bylo nanášeno zvlášť a vznikly červené, žluté a modré vzorky. Vzorky byly naklocovány, zafixovány a ošetřeny laserem. Byla měřena teplota pomocí IR teploměru. Ukázkové grafy jsou na Obrázku 27, kde byl laserován vzorek o velikost 2x4

s variabilním časem měření, a na Obrázku 28, kde byl laserován vzorek o velikost 2x4 s fixním časem značení. V Tabulce 13 je vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem.



Obrázek 28 - Ostazinová červeň H-B, variabilní doba značení



Obrázek 27 - Ostazinová červeň H-B, fixní doba značení

Tabulka 13 - Vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u vzorku obarveného Ostazinovou červení H-B

	1x	2x	3x	4x		1x	2x	3x	4x
Celkový průměr [°C]	162,1	186,0	191,2	211,3		155,0	158,5	167,2	180,7
Rozptyl [°C²]	301,6	2113,7	1997,8	2324		448,9	496,8	834,8	1653,2
Výběr. směr. Odchylka [°C]	17,4	46,0	44,7	48,2		21,2	22,3	28,9	40,7
Var.koef. (%)	10,7	24,7	23,4	22,8		13,7	14,1	17,3	22,5
Konfidence	23,4	26,9	18,2	21,1		13,1	7,6	9,7	17,8
SM [°C]	136,6	154,4	162,9	190,1		136,2	146,1	153,5	162,9
HM [°C]	183,4	208,2	199,3	232,4		162,5	161,3	172,8	198,49

Průměrná teplota fixace Ostazinové červení H-B pomocí laseru se pohybuje od 162,1 °C do 211,3 °C u variabilní doby značení a od 155 °C do 180,7 °C u fixní doby značení. S každým cyklem laserování se teplota fixace zvyšuje.

V Tabulce 14 je vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u vzorků obarvených v Ostazinové žluti H8G a v Tabulce 15 je vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u vzorků obarvených v Ostazinové modři HBR.

Tabulka 14 - Vyhodnocení teplotního průběhu ozařování laserem u vzorku obarveného Ostazinovou žlutí H8G

	variabilní doba značení				fixní doba značení			
	1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
Celkový průměr [°C]	170	182,6	192,6	188,5	168,1	181,5	193,5	207,7
Rozptyl [°C²]	131,2	740,9	973,4	2958,2	1119,8	1284	1099,7	666,3
Výběr. směr. Odchylka [°C]	11,5	27,2	31,2	54,4	33,5	35,8	33,2	25,8
Var.koef. (%)	6,7	14,9	16,2	28,9	19,9	19,7	17,1	12,4
Konfidence	15,4	10,6	18	23,8	39,8	28,2	19	11,5
SM [°C]	151,8	165,8	171,4	164,6	126,8	163,1	165,8	196,2
HM [°C]	182,7	186,9	207,3	212,3	206,5	219,4	203,8	219,2

Průměrná teplota fixace Ostazinové žluti H8G pomocí laseru se pohybuje od 170 °C do 192,6°C u variabilní doby značení a od 168,1 °C do 207,7 °C u fixní doby značení. S každým cyklem laserování se teplota fixace zvyšuje.

	variabilní doba značení				fixní doba značení			
	1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
Celkový průměr [°C]	117,7	125,1	153,7	152,8	110,6	116,5	145,8	159,8
Rozptyl [°C²]	90,7	645,9	1084,8	1766,6	208,5	277,3	1206	1237,4
Výběr. směr. Odchylka [°C]	9,5	25,4	32,9	42	14,4	16,7	34,7	35,2
Var.koef. (%)	8,1	20,3	21,4	27,5	13,1	14,3	23,8	22
Confidence	13,8	19,4	15,5	18,4	18,4	9,3	21,1	15,4
SM [°C]	103,6	105	135,7	134,4	89,4	109,1	121,8	144,4
HM [°C]	131,1	143,8	166,7	171,3	126,2	127,7	164	175,2

Průměrná teplota fixace Ostazinové modři HBR pomocí laseru se pohybuje od 117,7 °C do 153,7 °C u variabilní doby značení a od 110,6 °C do 159,8 °C u fixní doby značení. S každým cyklem laserování se teplota fixace zvyšuje.

7.5 Stanovení barevnosti vzorků připravených metodou termofix s fixačním rámem

Obarvené a vyprané vzorky byly vyžehleny a naskenovány pomocí programu EPSON Scan, aby bylo možné jejich další zpracování. Nastavení programu EPSON Scan bylo následující:

Typ obrazu (I): 24 bitové barvy

Rozlišení: 600 dpi

Velikost dokumentu: Š=215,9 mm a V=297,2 mm.

Po naskenování vzorků byla jejich barevnost vyhodnocena pomocí programu ImageJ. V programu ImageJ byl načten sken vzorků a přes záložku Analyze byl zvolen Histogram. Pro každý vzorek zvlášť byly vytvořeny histogramy pro šedou a RGB složku obrazu.

7.6 Predikce barevnosti u metody termofix

Všechny obarvené vzorky, ať už metodou termofix nebo laserem, byly naskenovány a pomocí programu ImageJ byla zaznamenána jejich barevnost v hodnotách RGB. Predikce absorbance a barevnosti vychází z Arrheniovy rovnice, vztah (3).

$$k = A_0 * e^{-\frac{E_a}{R*T}} \quad (3)$$

k – rychlostní konstanta

A₀ – konstanta, frekvenční faktor

E_a – aktivační energie [*J·mol⁻¹*]

R – molární plynová konstanta [*J·K⁻¹·mol⁻¹*]

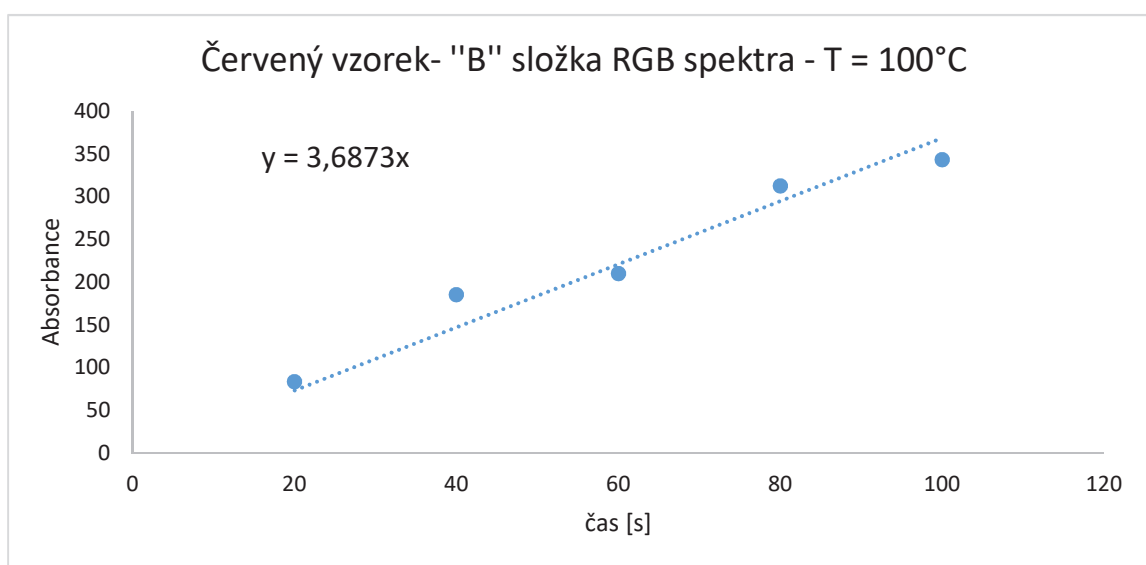
T – termodynamická teplota [*K*]

Nejprve bylo potřeba si připravit mezi výpočty. Jednotlivé hodnoty RGB byly převedeny na absorbanci pomocí vztahu (4) a teplota byla převedena ze stupňů Celsia na stupně Kelvina pomocí vztahu (5).

$$Abs = -\ln\left(\frac{RGB}{255}\right) * 1000 \quad (4)$$

$$T [K] = t [^{\circ}C] + 273,15 \quad (5)$$

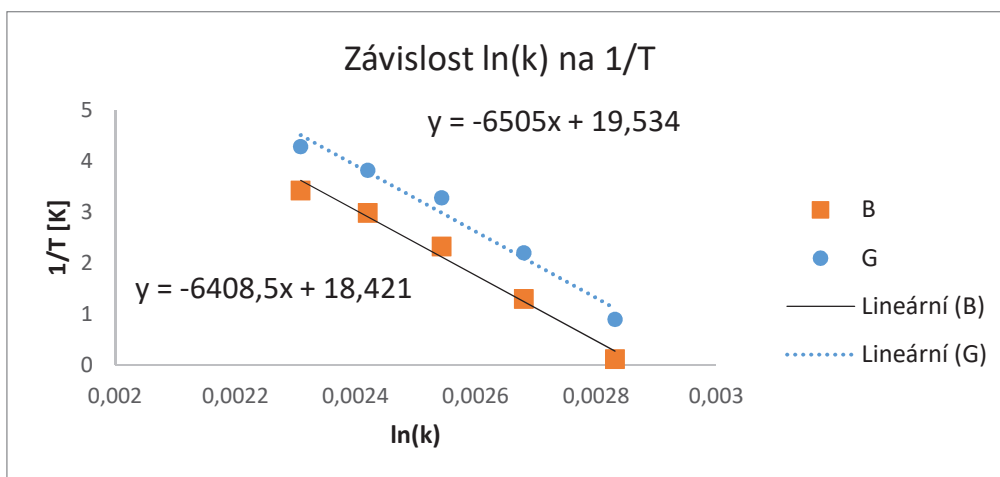
Z grafu znázorňujícího závislost času t [s] na absorbanci, byly definovány rychlostní konstanty k pro každou teplotu a pro každou složku RGB spektra. Směrnice k z rovnice $y=k*x$ grafu, který musí být lineární, odpovídá rychlostní konstantě k . Z ukázkového příkladu, který je zobrazen na Obrázku 29, je hodnota směrnice, a tedy i rychlostní konstanty $k = 3,6873$. Hodnoty rychlostní konstanty pro všechna barviva jsou uvedena v Příloze 3.



Obrázek 29 - Graf závislosti absorbance na času při teplotě 100°C

V dalším kroku je Arrheniova rovnice zlogaritmována na vztah (6), aby bylo možné z ní vyjádřit frekvenční faktor A_0 a aktivační energii E_a . Hodnoty A_0 a E_a jsou definovány z grafu závislosti $\ln(k)$ na $1/T$ pro jednotlivá spektra RGB, viz. Obrázek 30. Vztah (6) odpovídá rovnici $Y = A - B*X$. Tedy $Y = \ln(k)$, $A = \ln(A_0)$, $B = E_a/R$ a $X = 1/T$. Z těchto vztahů vyplývá, že na ukázkovém grafu, viz. Obrázek 30 jsou hodnoty $A_0 = 304\,444\,694,1$, viz. vztah (7) a $E_a = 54\,082,57$, viz. vztah (8) pro zelené (G) spektrum. Stejný postup je použit i pro modré (B) a červené (R) spektrum.

$$\ln(k) = \ln(A_0) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \quad (6)$$



Obrázek 30 - Graf závislosti $\ln(k)$ na $1/T$

$$A = \ln(A_0) \rightarrow A_0 = \exp(A) = \exp(19,534) = 304444694,1 \quad \text{pro G spektrum} \quad (7)$$

$$B = \frac{E_a}{R} \rightarrow E_a = B * R = 6505,7 * 8,314 = 54082,57 \quad \text{pro G spektrum} \quad (8)$$

Hodnoty E_a a A_0 pro všechna tři barviva a jejich RGB spektra jsou uvedena v Tabulce 16.

Tabulka 15 - Hodnoty E_a a A_0 pro jednotlivá barviva a jejich RGB spektra

	červené vzorky		žluté vzorky		modré vzorky	
	E_a	A_0	E_a	A_0	E_a	A_0
R	0	0	0	0	43325,92	14175136
G	54082,57	305054192,8	0	0	44176,44	16551710
B	54659,56	145982892,8	38350,82	2135049	0	0

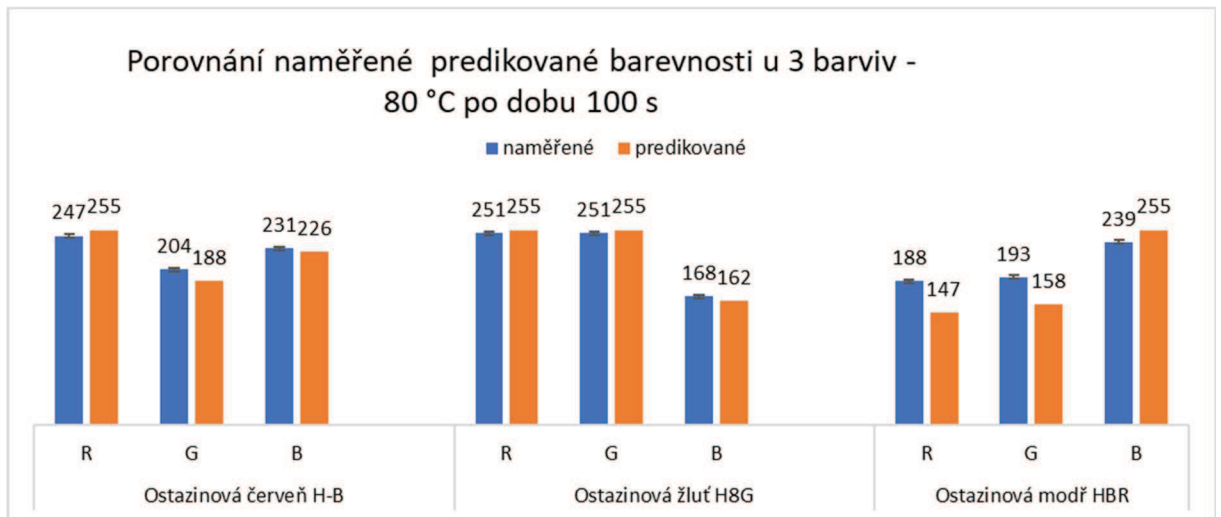
Hodnoty A_0 a E_a jsou vyjádřeny a díky nim je možné přejít k samotné predikci absorbance a barevnosti. Absorbanci je možné predikovat použitím vztahu (9), kdy za k je dosazena Arrheniova rovnice, viz. vztah (9.a). Barevnost je možné predikovat použitím vztahu (10).

$$Abs = k * t[s] \quad (9)$$

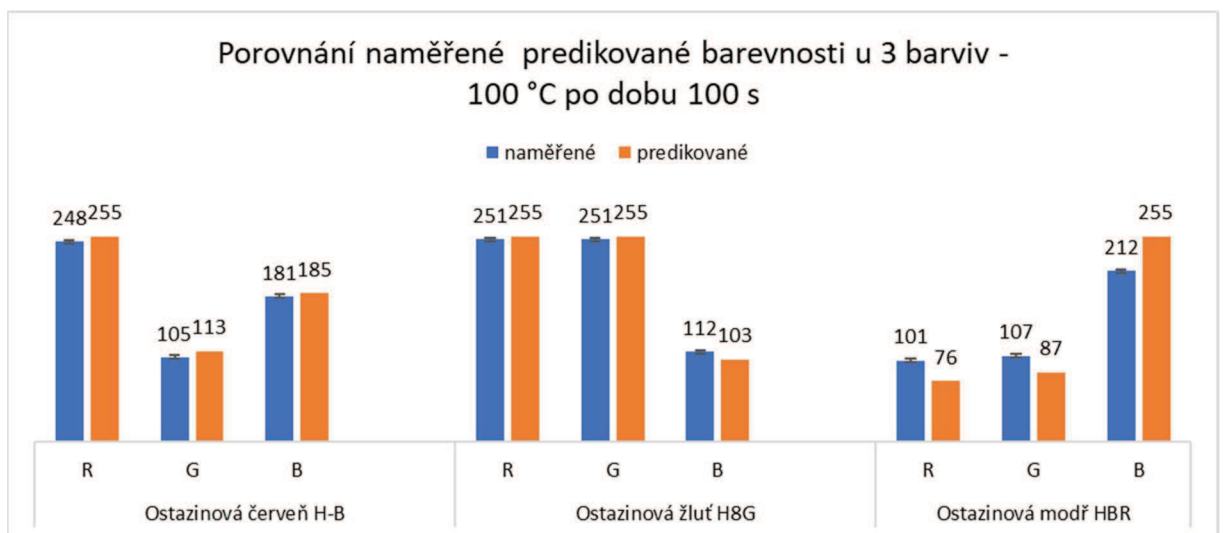
$$Abs = A_0 * e^{\frac{E_a}{R*T}} * t[s] \quad (9.a)$$

$$RGB = \exp\left(\frac{-Abs}{1000}\right) * 255 \quad (10)$$

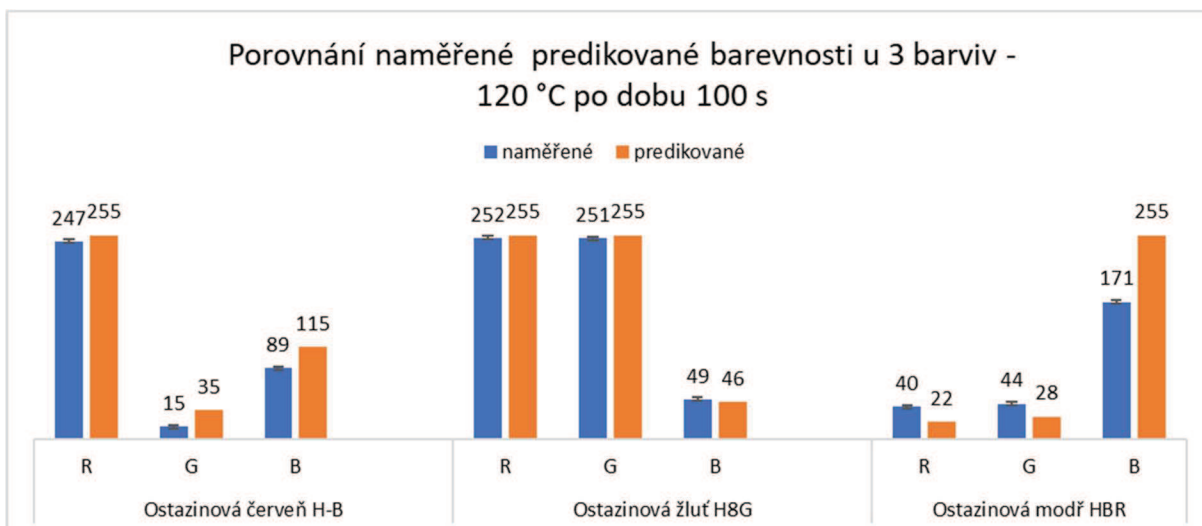
Srovnání experimentálně naměřených hodnot s predikovanými hodnotami barevnosti je zobrazeno v tabulkách v Příloze 4. V následujících Obrázcích 31, 32, 33, 34 a 35 je zobrazeno srovnání naměřené a predikované barevnosti pro všechna barviva. Fixace po dobu $t = 100$ s a pro všechny teploty fixace. Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=80^{\circ}\text{C}$ a $t=100$ s.



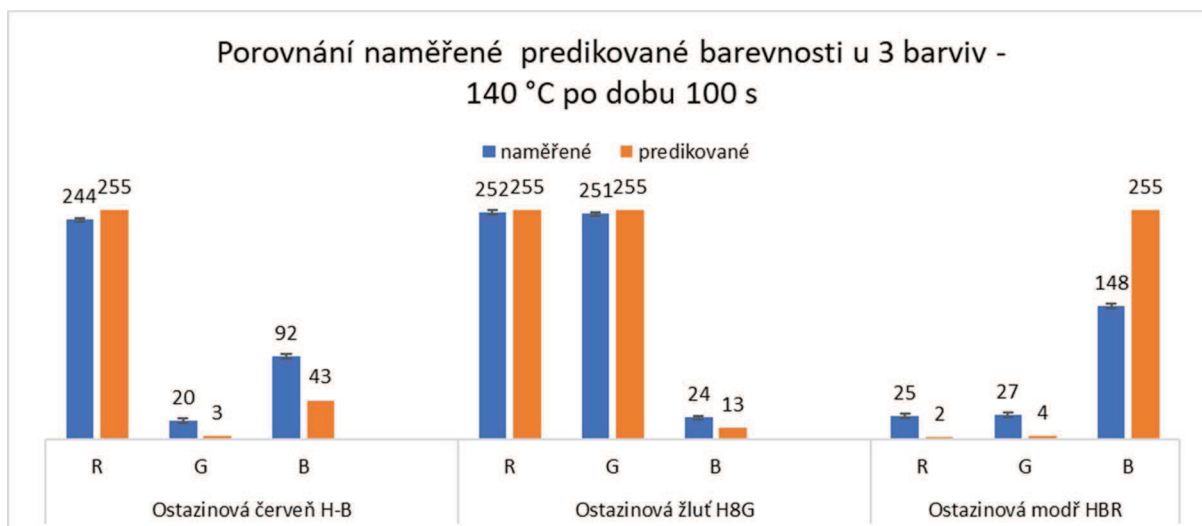
Obrázek 31 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=80^{\circ}\text{C}$ a $t=100$ s



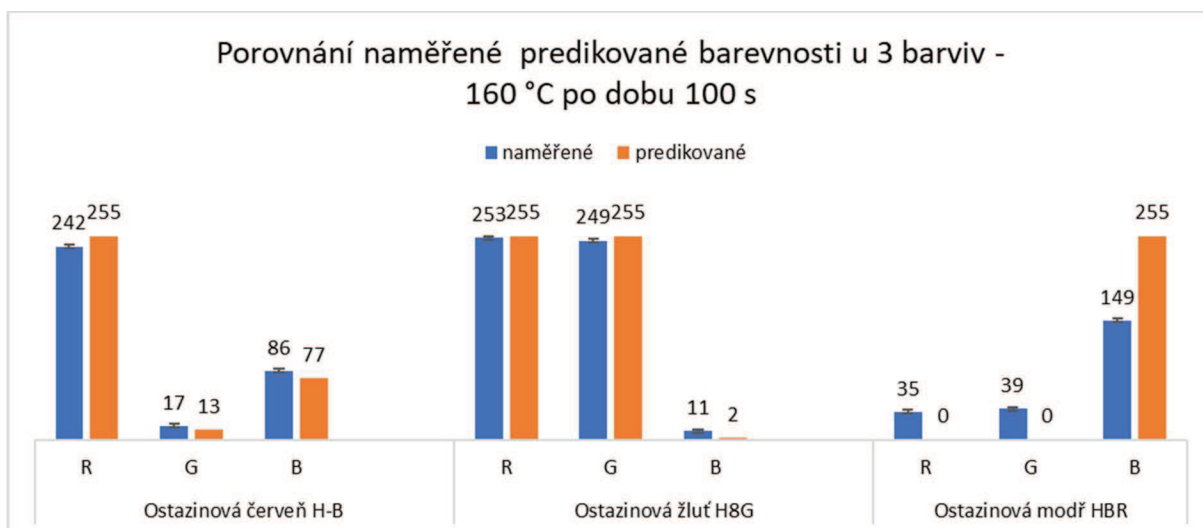
Obrázek 32 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=100^{\circ}\text{C}$ a $t=100$ s



Obrázek 34 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=120^{\circ}\text{C}$ a $t=100\text{ s}$



Obrázek 33 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=140^{\circ}\text{C}$ a $t=100\text{ s}$



Obrázek 35 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - fixace $T=160^{\circ}\text{C}$ a $t=100\text{ s}$

Data ukazují, že predikované hodnoty se velmi blíží experimentálním hodnotám barevnosti.

7.7 Predikce barevnosti u laserové metody

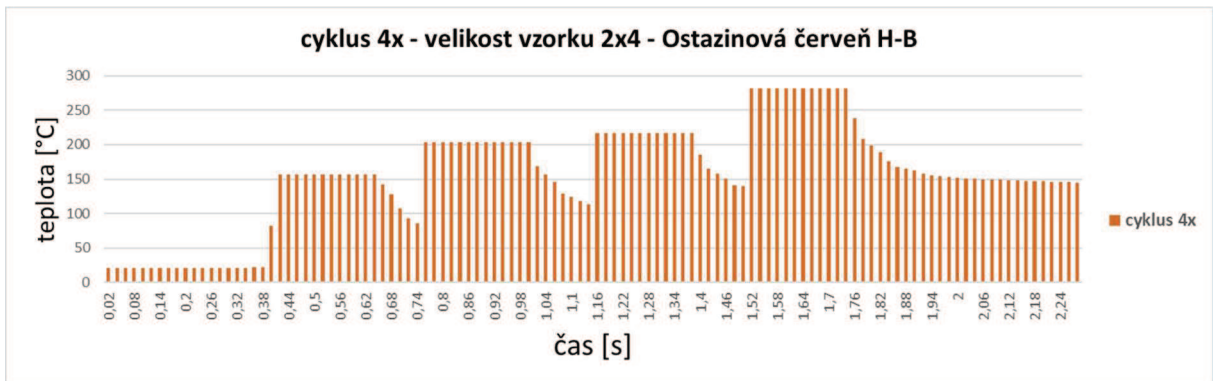
Pro predikci absorbance a barevnosti vzorků z laseru se vychází z hodnot v Tabulce 14. Díky znalosti rychlostní konstanty pro metodu termofix, můžeme predikovat absorbanci a barevnost pro jakoukoliv teplotu a čas. Vztah (7.a) je potřeba pro predikci absorbance laserovaných vzorků upravit do podoby vztahu (11).

$$Abs_{T,t} = A_0 * \sum e^{-\frac{E_a}{R*T}} * t[s] \quad (11)$$

U metody termofix bylo možné použít klasický vztah (9.a), protože se výpočet vztahoval pouze na jednu určitou teplotu T ($T = 80^{\circ}\text{C}$; 100°C ; 120°C ; 140°C ; 160°C) a určitý čas t ($t = 20\text{s}$; 40s ; 60s ; 80s ; 100s). U vzorků připravených pomocí laseru není pouze jedna určitá teplota. Teplota se v průběhu ozařování mění a je tedy potřeba alternovat vztah (9.a) do podoby vztahu (11).

Celý průběh ozařování je rozdělen do časových úseků po $t = 0,2\text{s}$. Každému časovému úseku odpovídá jedna teplota T , viz. Obrázek 36. Při výpočtu jsou používány hodnoty z korigovanými teplotami u píku. Suma ve vztahu (11) spojí všechny časové úseky dohromady a vypočítá hodnotu predikované absorbance. Do vztahu (11) je vždy dosazena hodnota E_a a A_0 z Tabulky 13, čas $t = 0,2\text{ s}$ a měnící se teplota T ze záznamu teplotního průběhu laserování.

Takto je vypočtena predikovaná absorbance pro každý vzorek, tedy pro každý cyklus a každou velikost vzorku zvlášť.



Obrázek 36 - Teplotní průběh ozařování - teploty rozděleny na úseky po $t = 0,2$ s

Ukázka výpočtu – Ostazinová červeň H-B, velikost vzorku 2x2

K dispozici jsou hodnoty aktivační energie E_a a koeficientu A_0 získané metodou termofix a zaznamenané v Tabulce 11. Každé barvivo má své hodnoty E_a a A_0 , které budou používány při výpočtu. Pro červené barvivo jsou hodnoty $E_a(R) = 0$ a $A_0(R) = 0$; $E_a(G) = 54082,57$ a $A_0(G) = 305054192,8$; $E_a(B) = 54659,56$ a $A_0(B) = 145982892,8$. Vypočte se suma absorbance pro všechny složky RGB, která se skládá ze všech časových úseků podle vztahu (11).

$$R: Abs_{T,t} = 0 * \sum_{t_0}^{t_n} e^{-\frac{0}{8,314*(273,15+t)}} * 0,2$$

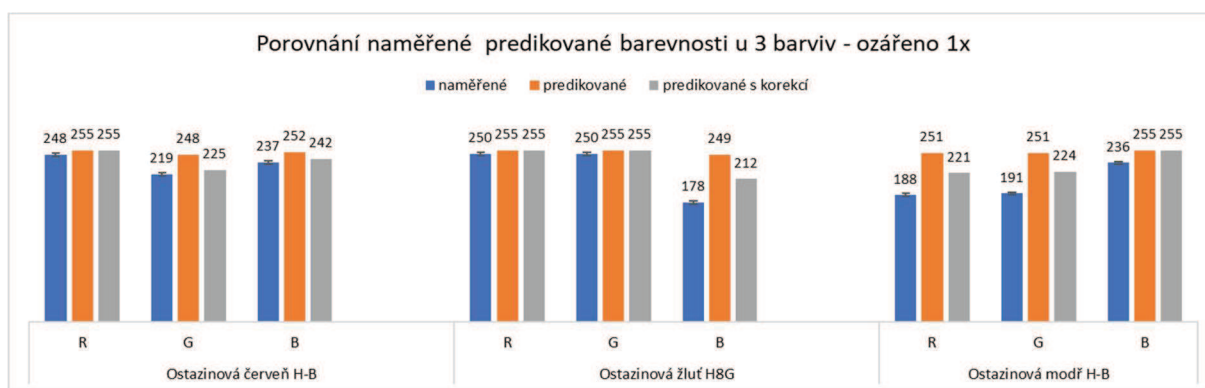
$$G: Abs_{T,t} = 3050541192,8 * \sum_{t_0}^{t_n} e^{-\frac{54082,57}{8,314*(273,15+t)}} * 0,2$$

$$B: Abs_{T,t} = 145982892,8 * \sum_{t_0}^{t_n} e^{-\frac{54659,56}{8,314*(273,15+t)}} * 0,2$$

Suma absorbance pro jednotlivé složky RGB modelu se použije při výpočtu predikované barevnosti, vztah (12).

$$RGB = \exp\left(\frac{-Abs}{1000}\right) * 255 \quad (12)$$

Experimentálně získaná a predikovaná barevnost vzorků velikosti 2x4 pro všechna tři barviva (Ostazinová červeň HBR, Ostazinová žluť H8G a Ostazinová modř H-B) po laserování je uvedena v následujících obrázcích. Obrázek 37 znázorňuje grafické porovnání naměřené barevnosti s predikovanou barevností a s predikovanou barevností, která byla upravena korekčním faktorem u vzorků ozářených 1x. Korekční faktor udává hodnotu, kterou je potřeba původní teploty z měření vynásobit. Korekce teploty je nezbytná, protože změřený teplotní průběh laserování je měřen z rubu a laserování probíhá na líci tkaniny. Teplota tkaniny bude tedy o něco vyšší na líci než na rubu. Korekční faktor byl vždy stanoven pro každý vzorek samostatně a následně se vypočítal průměrný korekční faktor pro jednotlivá barviva. Korekční faktor pro červené barvivo má hodnotu 1,4, korekční faktor pro žluté barvivo má hodnotu 1,97 a korekční faktor pro modré barvivo je 2,11.



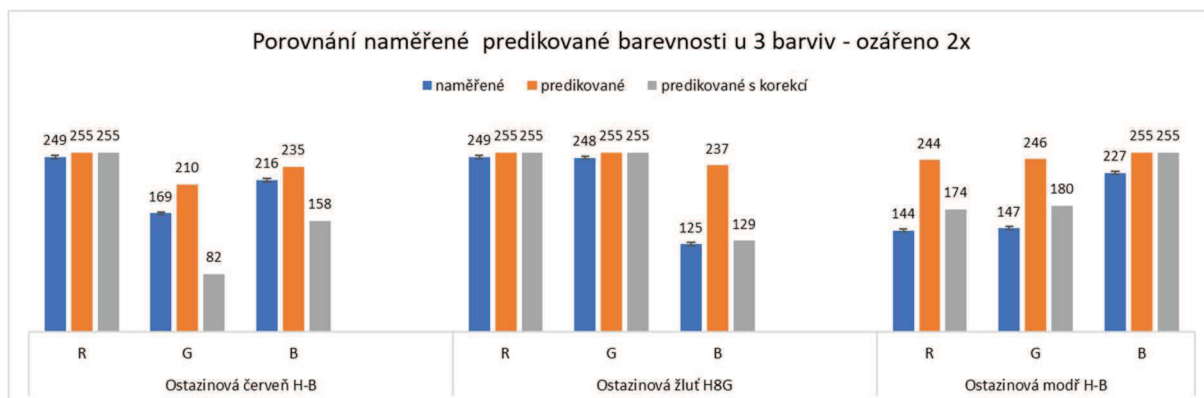
Obrázek 37 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - ozářeno 1x

Na Obrázku 38 je vizuální porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem u vzorků ozářených 1x.

	Ostazinová červeň H-B	Ostazinová žluť H8G	Ostazinová modř H-B
naměřená barevnost			
predikovaná barevnost			
predikovaná barevnost s korekcí			

Obrázek 38 - Vizuální porovnání naměřené barevnosti; predikované barevnosti; predikované barevnosti s korekcí – ozářeno 1x

Obrázek 39 znázorňuje grafické porovnání naměřené barevnosti s predikovanou barevností a s predikovanou barevností, která byla upravena korekčním faktorem u vzorků ozářených 2x.



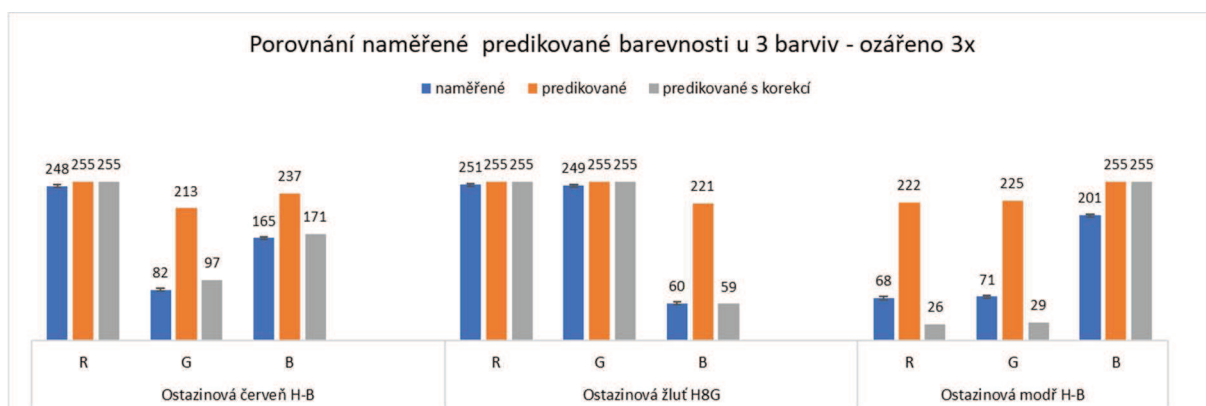
Obrázek 39 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - ozářeno 2x

Na Obrázku 40 je vizuální porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem u vzorků ozářených 2x.

	Ostazinová červeň H-B	Ostazinová žluť H8G	Ostazinová modř H-B
naměřená barevnost			
predikovaná barevnost			
predikovaná barevnost s korekcí			




Obrázek 40 - Vizuální porovnání naměřené barevnosti; predikované barevnosti; predikované barevnosti s korekcí - ozářeno 2x

Obrázek 41 znázorňuje grafické porovnání naměřené barevnosti s predikovanou barevností a s predikovanou barevností, která byla upravena korekčním faktorem u vzorků ozářených 3x.



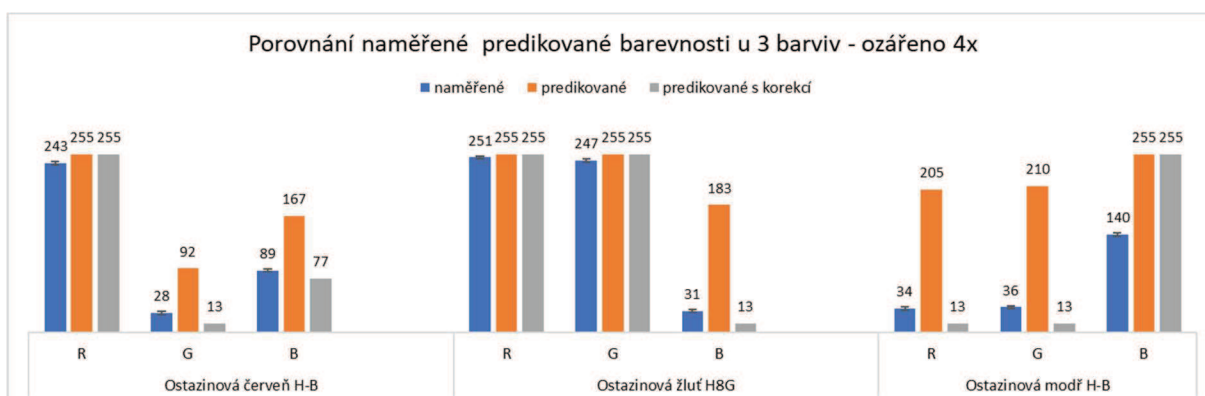
Obrázek 41 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - ozářeno 3x

Na Obrázku 42 je vizuální porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem u vzorků ozářených 3x.

	Ostazinová červeň H-B	Ostazinová žluť H8G	Ostazinová modř H-B
naměřená barevnost			
predikovaná barevnost			
predikovaná barevnost s korekcí			










Obrázek 42 - Vizuální porovnání naměřené barevnosti; predikované barevnosti; predikované barevnosti s korekcí - ozářeno 3x

Obrázek 43 znázorňuje grafické porovnání naměřené barevnosti s predikovanou barevností a s predikovanou barevností, která byla upravena korekčním faktorem u vzorků ozářených 4x.



Obrázek 43 - Srovnání naměřené a predikované barevnosti pro 3 barviva - ozářeno 4x

Na Obrázku 44 je vizuální porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem u vzorků ozářených 4x.

	Ostazinová červeň H-B	Ostazinová žluť H8G	Ostazinová modř H-B
naměřená barevnost			
predikovaná barevnost			
predikovaná barevnost s korekcí			

Obrázek 44 - Vizuální porovnání naměřené barevnosti; predikované barevnosti; predikované barevnosti s korekcí ozářeno 4x

Predikovaná barevnost bez korekčního faktoru neodpovídá naměřené barevnosti. Predikovaná barevnost s jedním korekčním faktorem pro každé barvivo se blíží naměřené barevnosti. V příloze 5 jsou uvedeny všechny hodnoty naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem.

7.8 Ovlivnění mechanických vlastností tkaniny po ozáření laserem

Vzorky ozářené pulsním CO₂ laserem byly podrobeny mechanické zkoušce na trhačce, aby se zjistilo, jak laserové záření ovlivňuje mechanické vlastnosti bavlněné tkaniny. Bylo připraveno 7 vzorků od každého cyklu (ozářeno 1x; 2x; 3x; 4x) a 7 vzorků neozářené bílé bavlněné tkaniny. Připravené vzorky měly velikost 2x33 cm a byly stříhány ve směru útku. Tloušťka tkaniny pro jednotlivé cykly je uvedena v Tabulce 17.

Tabulka 16 - Tloušťka bavlněné tkaniny

	bílá neošetřená	ozářeno 1x	ozářeno 2x	ozářeno 3x	ozářeno 4x
tloušťka [mm]	0,28	0,358	0,3525	0,3575	0,36

Tahová zkouška byla provedena na trhačím zařízení Tira Test 2300 podle normy ČSN EN ISO 13934-2: Zjišťování maximální síly pomocí metody Grab. Do čelistí trhačky byla upnuta pouze střední část vzorku a bez předpětí. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky jsou zobrazeny v Tabulce 18.

Tabulka 17 - Naměřená data z tahové zkoušky metodou Grab

	pevnost v tahu [N]				
	0x	1x	2x	3x	4x
1.	136,28	127,11	71,8	78,25	73,12
2.	137,46	130,21	86,52	82,69	74,15
3.	144,78	133,27	89,26	82,81	83,39
4.	144,85	133,51	90,42	87,16	86,28
5.	144,89	135,46	95,87	87,55	87,07
6.	156,78	135,98	96,23	88,93	87,47
7.	158,13	138	100,36	92,51	90,46

Vyhodnocení dat z tahové zkoušky bylo provedeno pomocí Hornova postupu. Hornův postup se používá k analýze malých výběrů. Byl vyhodnocen průměr, směrodatná odchylka a 95% interval spolehlivosti. Při použití Hornova postupu pro výpočet statistických charakteristik je

nejdříve potřeba vytvořit pořádkovou statistiku, tedy seřadit data podle velikosti od nejmenší hodnoty po nejvyšší. Poté se při výpočtu pokračuje následovně:

1. Spočítá se hloubka pivotu **H** pomocí vztahu (13.1 a 13.2) a je vybrána ta hloubka pivotu **H**, která vyšla jako celé číslo.

$$H1 = \frac{\text{int}\left(\frac{n+1}{2}\right)}{2} = \frac{\text{int}\left(\frac{7+1}{2}\right)}{2} = 2 \quad (13.1)$$

$$H2 = \frac{\text{int}\left(\left(\frac{n+1}{2}\right)+1\right)}{2} = \frac{\text{int}\left(\left(\frac{7+1}{2}\right)+1\right)}{2} = 2,5 \quad (13.2)$$

2. Výpočet dolního (x_D) a horního (x_H) pivotu podle vztahu (14.1 a 14.2). Dolní a horní pivot (x_D, x_H) nám určují kategorii.

$$x_D = x(H) = 2 \quad (14.1)$$

$$x_H = x(n + 1 - H) = x(7 + 1 - 2) = 6 \quad (14.2)$$

3. Výpočet pivotové polosumy P_L (vztah (15)) která je odhadem parametru polohy a pivotové rozpětí R_L (vztah (16)) které je odhadem parametru rozptýlení. Za x_D jsou dosazovány hodnoty, které jsou v 2. řádku, tedy druhé nejnižší a za x_H jsou dosazovány hodnoty z 6. řádku, tedy hodnoty šesté nejvyšší. Tyto hodnoty jsou pro každý cyklus a neošetřenou bílou tkaninu odlišné.

$$P_L = \frac{x_D + x_H}{2} \quad (15)$$

$$R_L = x_H - x_D \quad (16)$$

4. Výpočet náhodné veličiny T_L , vztah (17) která má přibližně symetrické rozdělení.

$$T_L = \frac{P_L}{R_L} \quad (17)$$

5. Výpočet 95% intervalu spolehlivosti střední hodnoty pomocí vztahu (18). Hornův kvantil $t_{\alpha, 0,975}(7)$ rozdělení je roven 0,72.

$$P_L - R_L * t_{\alpha, 1-\frac{\alpha}{2}}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L * t_{\alpha, 1-\frac{\alpha}{2}}(n) \quad (18)$$

Vyhodnocená data jsou zobrazena v Tabulce 19.

Tabulka 18 - Statistické vyhodnocení tahové zkoušky

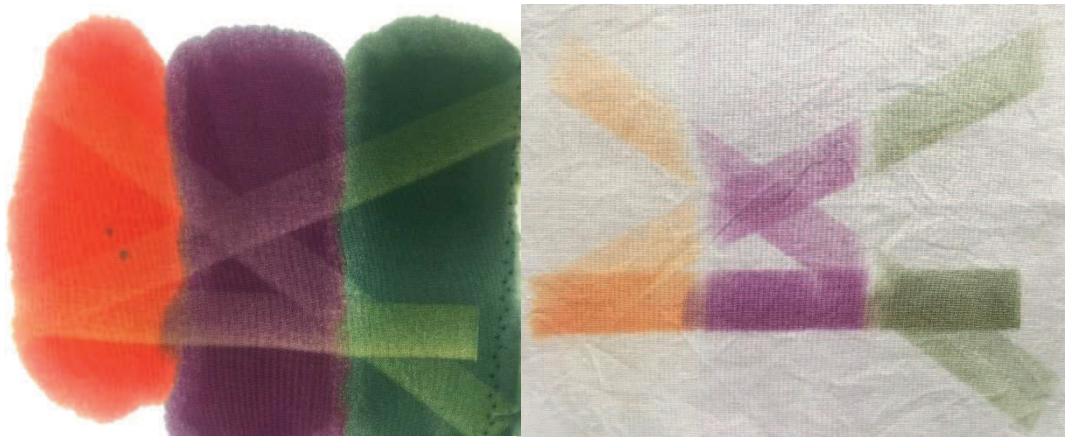
	pevnost v tahu [N]				
	0x	1x	2x	3x	4x
1.	136,28	127,11	71,8	78,25	73,12
2.	137,46	130,21	86,52	82,69	74,15
3.	144,78	133,27	89,26	82,81	83,39
4.	144,85	133,51	90,42	87,16	86,28
5.	144,89	135,46	95,87	87,55	87,07
6.	156,78	135,98	96,23	88,93	87,47
7.	158,13	138	100,36	92,51	90,46
průměr [N]	146,17	133,36	90,07	85,70	83,13
směrodatná odchylka [N]	8,51	3,69	9,35	4,75	6,82
H	2	2	2	2	2
xH	6	6	6	6	6
xD	2	2	2	2	2
PL	147,12	133,1	91,38	85,81	80,81
RL	19,32	5,77	9,71	6,24	13,32
TL	7,61	23,07	9,41	13,75	6,07
t (L;0,975;n=7)	0,72	0,72	0,72	3,72	4,72
95% conf	13,91	4,15	6,99	4,49	9,59
DM [N]	133,21	128,94	84,38	81,32	71,22
HM [N]	161,03	137,25	98,37	90,30	90,40

Střední hodnota pevnosti v tahu bílé neolaserované tkaniny je 146,17 N. Oproti tomu 1. cyklus laseru oslabí pevnost v tahu o 8,76 % na průměrnou hodnotu 133,36 N, 2. cyklus laseru oslabí pevnost v tahu o 38,38 % na průměrnou hodnotu 90,07 N, 3. cyklus laseru oslabí pevnost v tahu o 41,37 % na průměrnou hodnotu 85,7 N a 4. cyklus laseru oslabí pevnost v tahu o 43,12 % na průměrnou hodnotu 83,13 N.

8 Aplikace nové technologie pro vzorování textilií

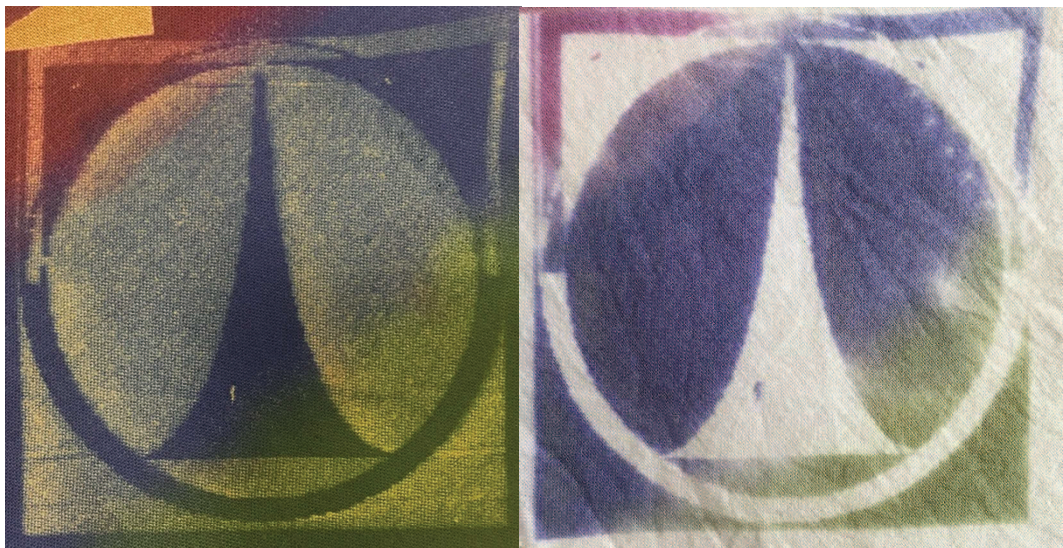
V rámci diplomové práce byly připraveny vzorky, kdy byla teorie a pokusy převedeny do praxe. Pro barvení byly připravena všechna 3 barviva. Smícháním červeného a žlutého barviva bylo připraveno oranžové barvivo, smícháním modrého a červeného bylo připraveno fialové barvivo a smícháním modrého a žlutého barviva bylo připraveno zelené barvivo. Na bílé tkanině byly štětcem vytvořeny pruhy všech připravených barev těsně vedle sebe. Takto připravený materiál byl vysušen po dobu 5 minut při teplotě 40 °C. Následně byl ozářen čtyřmi

cykly. Byly zafixovány obdélníky, obrázek motýla a logo Technické univerzity v Liberci. Na Obrázku 45 obdélníkový vzor nejdříve po ozáření a vedle po vyprání. Dva obdélníky jsou ozářeny pouze 2x a proto jsou viditelně méně vybarvené. Ovšem v místě překřížení se intenzita vybarvení zvýšila. Jeden obdélník (spodní) je ozářen 4x.



Obrázek 45 - Obdélníkový tvar, fotka po ozáření (a), fotka po vyprání (b)

Na Obrázku 46 je vzor Technické Univerzity v Liberci po ozáření a vedle po vyprání. Ozářeno 4x.



Obrázek 46 - Znak TUL, fotka po ozáření (a), fotka po vyprání (b)

Na Obrázku 47 je vzor motýla nejdříve po ozáření a vedle po vyprání. Ozářeno 4x.



Obrázek 47 - Vzor motýl, fotka po ozáření (a), fotka po vyprání (b)

9 Diskuze

V experimentální části byly připraveny vzorky barvicí metodou termofix. K barvení byla použita reaktivní Ostazinová barviva – Ostazinová červeň HBR, Ostazinová žluť H8G a Ostazinová modř H-B. Vznikla sada 25 vzorků od každé barvy, kdy jeden vzorek byl ponechán ve fixátoru po dobu $t = 20 \text{ s}; 40 \text{ s}; 60 \text{ s}; 80 \text{ s}; 100 \text{ s}$ při teplotě $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}; 100 \text{ }^\circ\text{C}; 120 \text{ }^\circ\text{C}; 140 \text{ }^\circ\text{C}$ a $160 \text{ }^\circ\text{C}$. Všech 75 vzorků se naskenovalo a byla vyhodnocena barevnost, tedy střední hodnota RGB složek obrazu. Z teoretického modelu predikující barevnost, pokud známe teplotu a dobu fixace, byla vyhodnocena predikovaná barevnost. Predikované hodnoty RGB byly velmi blízké naměřeným hodnotám RGB.

V další části diplomové práce byl použit laser k fixaci reaktivního barviva na bavlněný materiál. Velikost laserovaných obdélníků byla $2 \times 2 \text{ cm}, 2 \times 4 \text{ cm}, 2 \times 6 \text{ cm}, 2 \times 8 \text{ cm}, 2 \times 16 \text{ cm}$ a $2 \times 32 \text{ cm}$. Od každé velikosti laserovaného obdélníku byla připravena série 4 vzorků, které se od sebe lišily počtem cyklů laserování. Vzorky byly laserovány 1x, 2x, 3x, 4x a s každým cyklem se zvyšovala intenzita vybarvení. Laserování se také lišilo dobou značení laseru. V jedné sérii bylo připraveno 24 vzorků šesti velikostí a čtyř intenzit variabilní dobou značení a 24 vzorků s fixní dobou značení. Nejdříve byl vystaven laserovému záření bílý neobarvený vzorek a zároveň byla měřena teplota ozařování pomocí IR teploměru.

Průměrná teplota ozařování bílého vzorku pomocí laseru se pohybuje od $179,8 \text{ }^\circ\text{C}$ do $218,6 \text{ }^\circ\text{C}$ u variabilní doby značení a od $185,9 \text{ }^\circ\text{C}$ do $229,7 \text{ }^\circ\text{C}$ u fixní doby značení. Průměrná teplota ozařování pomocí laseru u vzorku obarveného ve slepé lázni se pohybuje od $147,4 \text{ }^\circ\text{C}$ do $192,3 \text{ }^\circ\text{C}$ u variabilní doby značení a od $156,2 \text{ }^\circ\text{C}$ do $198,3 \text{ }^\circ\text{C}$ u fixní doby značení. Průměrná teplota fixace Ostazinové červeně H-B pomocí laseru se pohybuje od $162,1 \text{ }^\circ\text{C}$ do $211,3 \text{ }^\circ\text{C}$ u variabilní doby značení a od $155 \text{ }^\circ\text{C}$ do $180,7 \text{ }^\circ\text{C}$ u fixní doby značení. Průměrná teplota fixace Ostazinové žluti H8G pomocí laseru se pohybuje od $170 \text{ }^\circ\text{C}$ do $192,6 \text{ }^\circ\text{C}$ u variabilní doby značení a od $168,1 \text{ }^\circ\text{C}$ do $207,7 \text{ }^\circ\text{C}$ u fixní doby značení. Průměrná teplota fixace Ostazinové modři HBR pomocí laseru se pohybuje od $117,7 \text{ }^\circ\text{C}$ do $153,7 \text{ }^\circ\text{C}$ u variabilní doby značení a od $110,6 \text{ }^\circ\text{C}$ do $159,8 \text{ }^\circ\text{C}$ u fixní doby značení. Z pokusů na neobarvených bavlněných vzorcích a na vzorcích obarvených ve slepé a barvicí lázni bylo zjištěno, že močovina, uhličitán sodný a barvivo v barvicí lázni nemají vliv na teplotní průběh ozařování.

Po ozařování se vzorky vypraly, aby se zbavily nefixovaného barviva. Vzorky byly naskenovány a u všech 240 vzorků byla vyhodnocena barevnost RGB. Hodnoty RGB spektra u bílých vzorků se v průměru pohybovaly od 216 do 243. Hodnoty RGB spektra vzorků naklocovaných ve slepé lázni se pohybovaly v průměru od 201 do 240. Hodnoty RGB pro bílý vzorek a vzorek naklocovaný ve slepé lázni jsou přibližně stejné, tudíž lze tvrdit, že močovina a uhličitan sodný nemají vliv na barevnost vzorku. Rovnice pro predikci barevnosti vzorků metodou termofix, byla modifikována do tvaru, který zohledňoval proměnlivou teplotu fixace laserem. Predikce barevnosti vzorků připravených pomocí laseru nebyla přesná, jako u metody termofix. Bylo nutné použít korekční faktor, který udává hodnotu, kterou je potřeba původní teploty z měření vynásobit. Korekce teploty byla zavedena, protože změřený teplotní průběh laserování je měřen z rubu a laserování probíhá na líci tkaniny. Teplota tkaniny bude tedy o něco vyšší na líci než na rubu. Korekční faktor pro červené barvivo odpovídá hodnotě 1,4, korekční faktor žluté barvivo odpovídá hodnotě 1,97 a korekční faktor pro modré barvivo odpovídá hodnotě 2,11.

Nakonec bylo změřeno, jak laserové záření ovlivňuje vlastnosti tkaniny. Bylo připraveno 7 vzorků od každého cyklu (ozářeno 1x; 2x; 3x; 4x) a 7 vzorků neozářené bílé bavlněné tkaniny. Připravené vzorky měly velikost 2x33 cm a byly stříhány ve směru útku. Z důvodu malého počtu měření byly výsledky zpracovány pomocí Hornova postupu. Z tahové zkoušky vyšlo, že střední hodnota pevnosti v tahu bílé tkaniny je 146,17 N. Pokud je tkanina ozářena 1x pevnost v tahu je oslabena o 8,76 % na průměrnou hodnotu 133,36 N. Při ozáření tkaniny 2x, klesne průměrná pevnost v tahu na 90,07 N, tedy poklesne o 38,38 %. Ozáření tkaniny 3x způsobí pokles pevnosti v tahu o 41,37 %, tedy na průměrnou hodnotu 85,7 N a při ozáření tkaniny 4x klesne průměrná pevnost v tahu na hodnotu 83,13 N, tedy o 43,12 %.

10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyvinout novou metodu fixace barviva pomocí CO₂ laseru a ověřit její funkčnost. Z hlediska nejlepšího vybarvení u metody termofix vychází fixace při teplotě 160 °C po dobu 100 s. U nové metody fixace barviva pomocí laseru vychází z hlediska barevnosti nejlépe pokud je bavlněná tkanina ozářena 4x.

Teoretický model pro predikci barevnosti u metody termofix funguje přesně a predikované hodnoty barevnosti se blíží naměřeným hodnotám RGB. Při predikci barevnosti u fixace barviva laserem bylo potřeba zavést korekční faktor, který zvyšuje teoretickou teplotu fixace. Důvodem je nepřesné měření teploty, neboť teplota je snímána na rubu tkaniny, ale laser ozařuje lící stranu.

Důkazem, že nová metoda je funkční, jsou vytvořené vzorky, kdy na bavlněnou tkaninu byl zafixován znak Technické Univerzity v Liberci a obrázek motýla. Barvivo je zafixováno pouze v místech působení laseru, linie obrázků jsou přesné a barevnost odpovídá barevnosti vzorků vytvořených při experimentu. Nová metoda je cílena na kusovou výrobu, kdy je žádoucí mít na bavlněné tkanině znak, logo, vzor či jiné označení.

Tato diplomová práce by mohla být podkladem pro další využití pulsního CO₂ laseru pro fixaci jiných typů barviv, nebo fixaci na jiném materiálu a ověření funkčnosti postupu.

Literatura

- [1] Kurzycz. Bavlina č. 2. [online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z:
<https://www.kurzy.cz/komodity/bavlina-graf-vyvoje-ceny/index.asp?A=5&idk=98&curr=CZK&on=0&unit=1%20kg&lg=1>
- [2] POSPÍŠIL, Z. Příručka textilního odborníka 1. část. Praha: SNTL - nakladatelství technické univerzity, 1981.
- [3] e-LTex. Vlákna ze semen: Bavlina, Kapok. [online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z:
<http://www.skolertextilu.cz/elearning/458/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Vlakna-ze-semen:-bavlina-kapok.html>
- [4] KRYŠTŮFEK, J. Zušlechťování textilií [skripta]. Liberec: Textilní fakulta TUL. In: skripta.ft.tul.cz[online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z:
<https://skripta.ft.tul.cz/database/data/2003-02-17/14-19-40.pdf>
- [5] ANÝŽOVÁ, K. Bavlina. [online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://www.guffoo.cz/textil-tul/index.php?nid=2634&lid=cs&oid=305066>
- [6] POSPÍŠIL, Z. Příručka textilního odborníka 2. část. Praha: SNTL - nakladatelství technické univerzity, 1981.
- [7] Cheds. Barvy na bavlnu. [online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z:
<http://www.chedspraha.cz/index.php?nid=9399&lid=cs&oid=1990722>
- [8] PROCHÁZKA, V. Lasery [studentský seminář]. Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. In: physics.muni.cz[online]. [vid. 22.5.2018]. Dostupné z:
http://physics.muni.cz/~dorian/Prochazka_Lasery.pdf
- [9] Synthesia, a.s.. Organická barviva: Textilní barviva[online]. © 2011 [vid. 10.5.2018]
Dostupné z: <https://dyes.synthesia.eu/cze/organicka-barviva/textilni-barviva>

- [10] Textile Learner. Different Methods of Reactive Dye Application | Pad-batch Method | Pad Dry Method | Pad Steam Method. [online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://textilelearner.blogspot.com/2012/01/different-methods-of-reactive-dye.html>
- [11] WIENER, J. Barviva [přednáška]. Liberec: Textilní fakulta TUL. In: kch.tul.cz[online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://www.kch.tul.cz/sites/default/files/texty/ft/prednasky-prezencni-studium/barviva.pdf>
- [12] JIRČÁKOVÁ, A. Významné skupiny organických sloučenin - Barviva, pigmenty [přednáška]. Mladá Boleslav: Střední zdravotnická a Vyšší odborná škola zdravotnická. In:szsmo.cz[online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: http://www.szsmo.cz/admin/upload/sekce_materialy/CHEM2_DUM6_Barviva_pigmenty.pdf
- [13] Reaktivní barviva [učební text]. Pardubice: Chemicko-technologická fakulta UPCE. In: fcht.upce.cz[online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/papa0159/ktol-vlastnostib_78763.pdf
- [14] Klasifikace a základní vlastnosti barviv [učební text]. Pardubice: Chemicko-technologická fakulta UPCE. In: fcht.upce.cz[online]. [vid. 10.5.2018]. Dostupné z: https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/papa0159/ktol-reaktivnib_78794.pdf
- [15] LEWIS, D. M., The chemistry of reactive dyes and their application processes. University of Leeds, UK. [vid. 5. 9. 2018]
- [16] VOJTA, F. *Princip laseru*. České Budějovice: Pedagogická fakulta JČU. In: <http://www.pf.jcu.cz>[online]. [vid. 5.9.2018]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Princip%20laseru.pdf>
- [17] LAO Lasery a Optika. Základní princip laseru a jejich dělení. [online]. [vid. 5.9.2018]. Dostupné z <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [18] Laser a vše o něm. Typy Laserů [online]. [vid. 23.5.2018]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/typy.html>

- [19] RMI Laser. Resolution and DPI. [vid. 4.11.2018]. Dostupné z: <http://www.rmilaser.com/support/tech-notes/resolution-and-dpi>
- [20] Duty Cycle. In: Wikipedie [online]. Editováno 26.11. 2018 17:12 [vid. 4.11.2018]. Dostupné z https://en.wikipedia.org/wiki/Duty_cycle
- [21] Typy Laserů. Lasery. In: fyzika.jreichl.com [online]. editováno 5. 11. 2011. [vid. 23.5.2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/785-typy-laseru>
- [22] Lascam. Rozdělení laserů. [vid. 29.10.2018]. Dostupné z <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>
- [23] Leonardo Technology. Princip CO2 laseru [online]. [vid. 23.5.2018]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-co2-laseru>
- [24] Lap-Laser. Laserové třídy. [vid. 14.10.2018]. Dostupné z <https://www.lap-laser.com/cz/lap/informace-o-laserech/laserove-tridy/>
- [25] STEPANKOVA,M., WIENER,J., DEMBICKY,J. Properties of cotton fabric after irradiation with infrared CO2 laser. Fibres and Polymers. Technical University od Liberec. 2011. [vid. 29. 9. 2018].
- [26] HUNG, O.-n, CHAN, C.-k, KAN, Cathy & M. YUEN, C.-w. Microscopic study of the surface morphology of CO2 laser-treated cotton and cotton/polyester blended fabric. Textile Research Journal. [vid. 14.10.2018].
- [27] HUNG, On-na, KAN, Chi-wai. A Study of CO2 Laser Treatment on Colour Properties of Cotton-Based Fabrics. [vid. 14.10.2018].
- [28] Fibre to Fashion. Water free laser technology for denim. [online]. [vid. 5.9.2018]. Dostupné z <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7234/water-free-laser-technology-for-denims?page=2>

[29] Světlo jako elektromagnetické vlnění. In: fyzika.jreichl.com [online]. editováno 5. 11. 2011. [vid. 14.10.2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/434-svetlo-jako-elektromagneticke-vlneni>

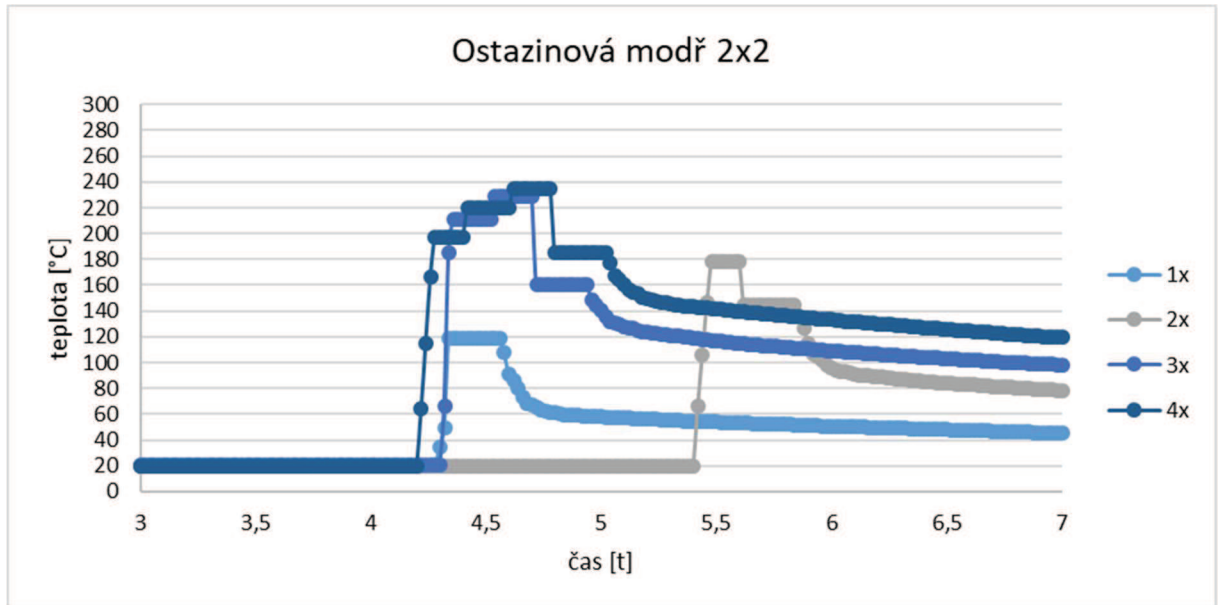
[30] The visible spectrum. Science Learn. [online]. [vid. 4.11.2018]. Dostupné z: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/37-the-visible-spectrum>

[31] Reakční rychlost, In: Wikipedia [online]. Editováno 19.3. 2019 13:44 [vid. 2.3.2019]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Reak%C4%8Dn%C3%AD_rychlost

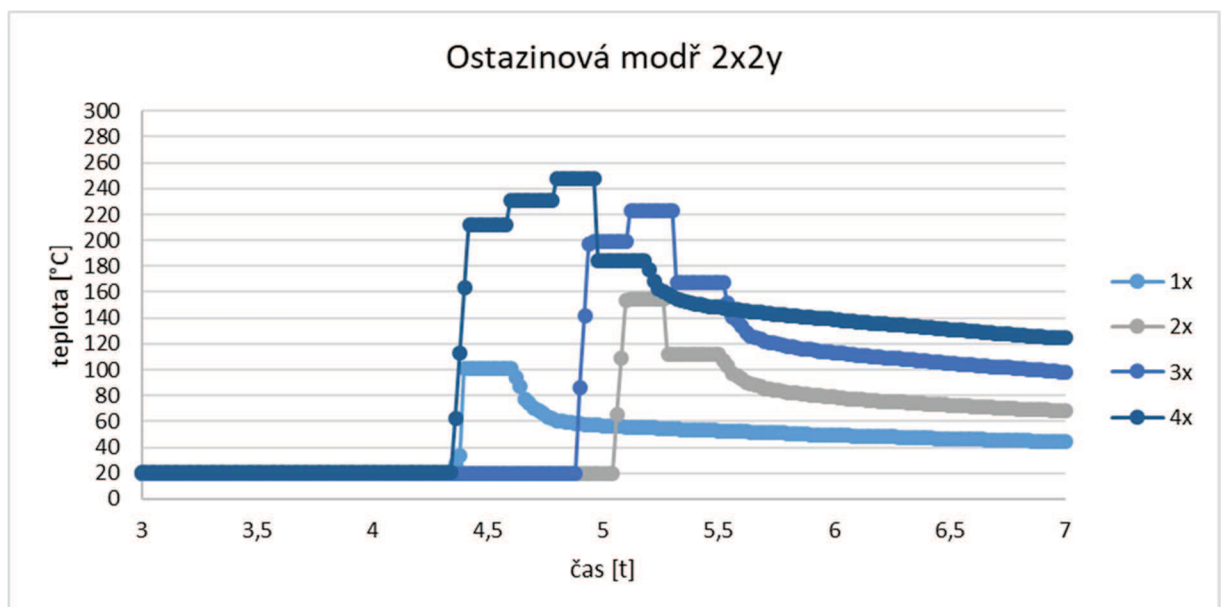
[32] Wikisofia. RGB. [online]. [vid. 4.11.2018]. Dostupné z: <https://wikisofia.cz/wiki/RGB>

Příloha 1

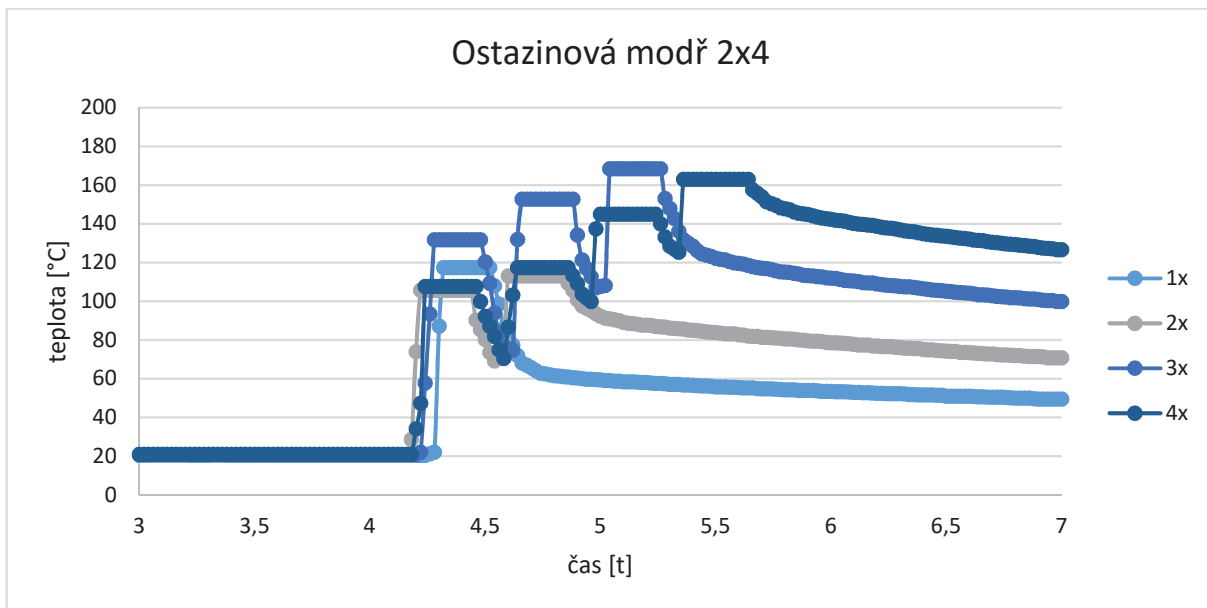
Grafy s teplotním průběhem ozařování laserem



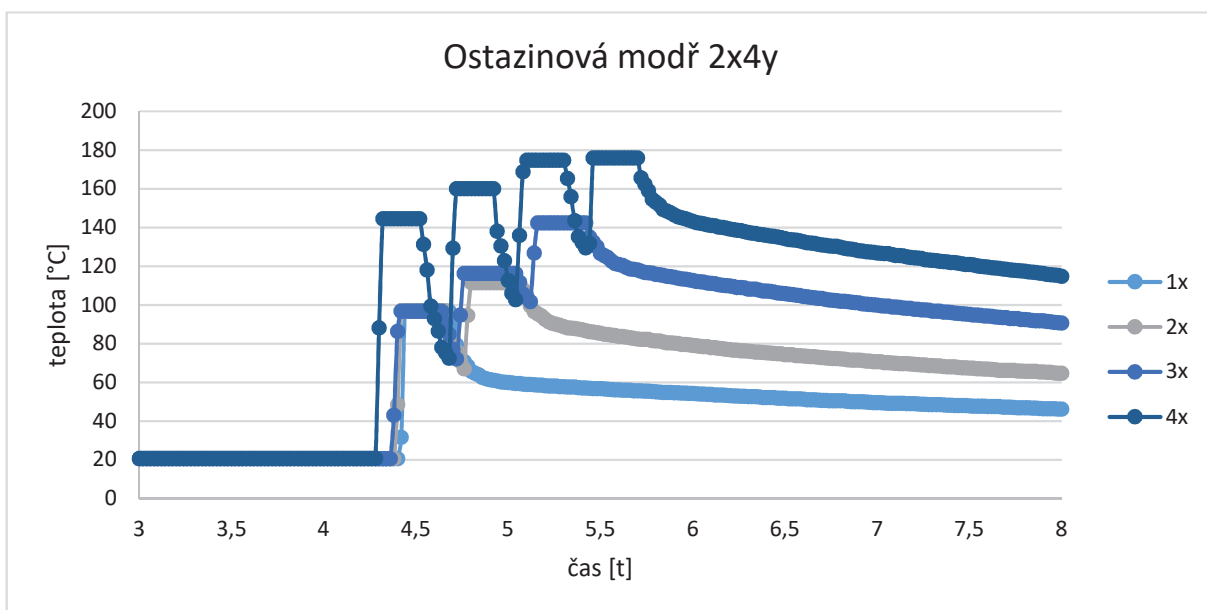
Obrázek 48 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



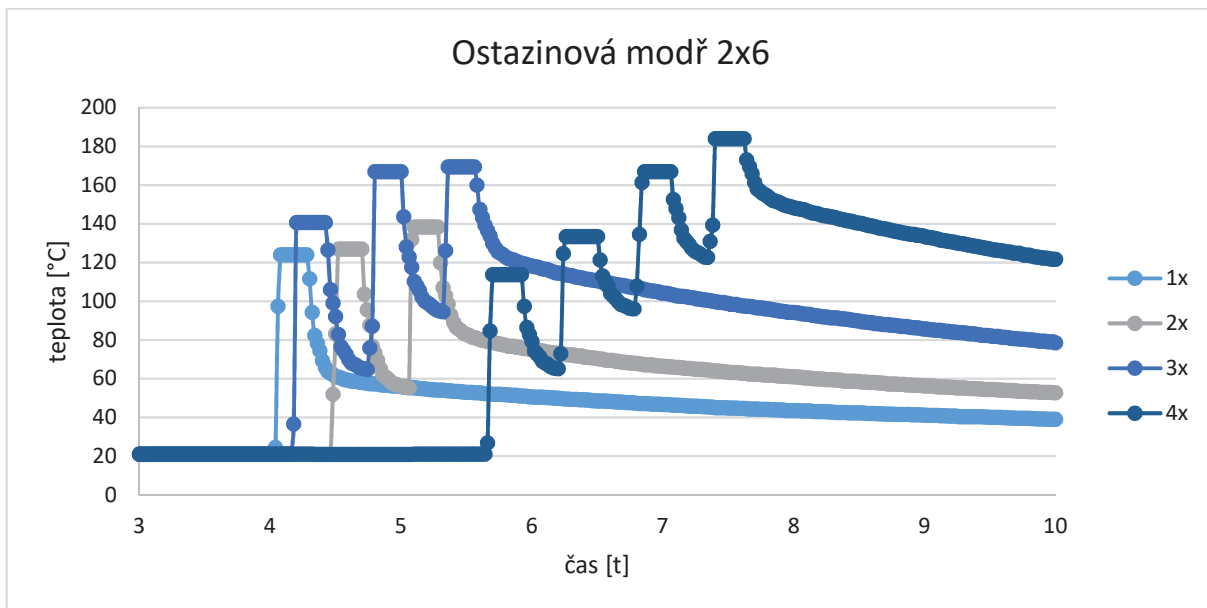
Obrázek 49 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



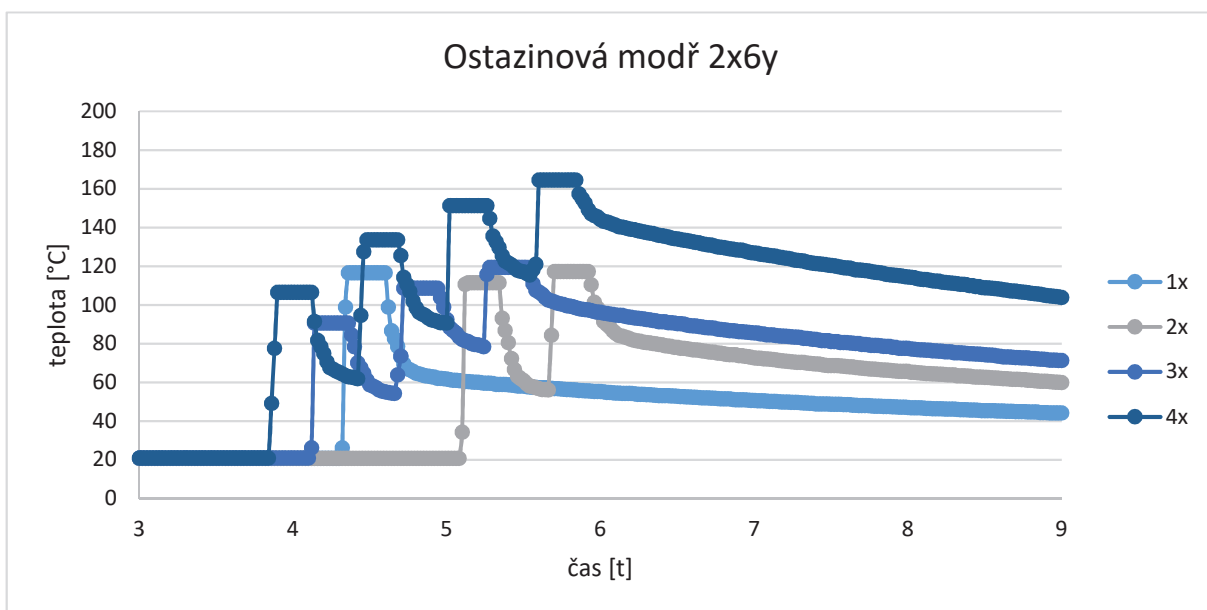
Obrázek 50 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



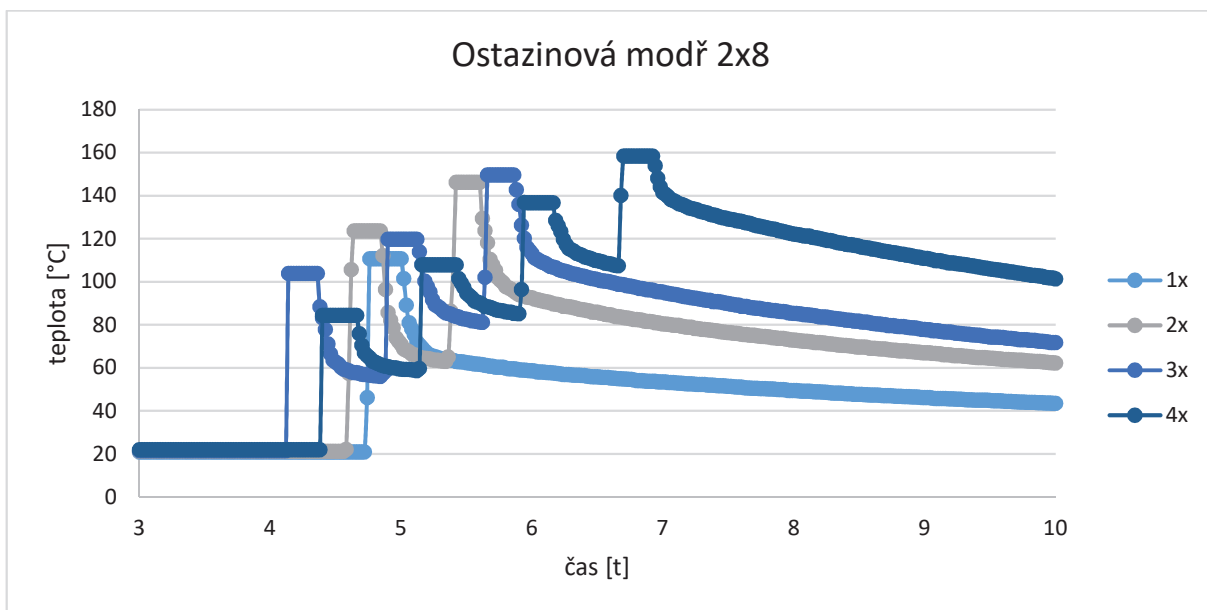
Obrázek 51 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



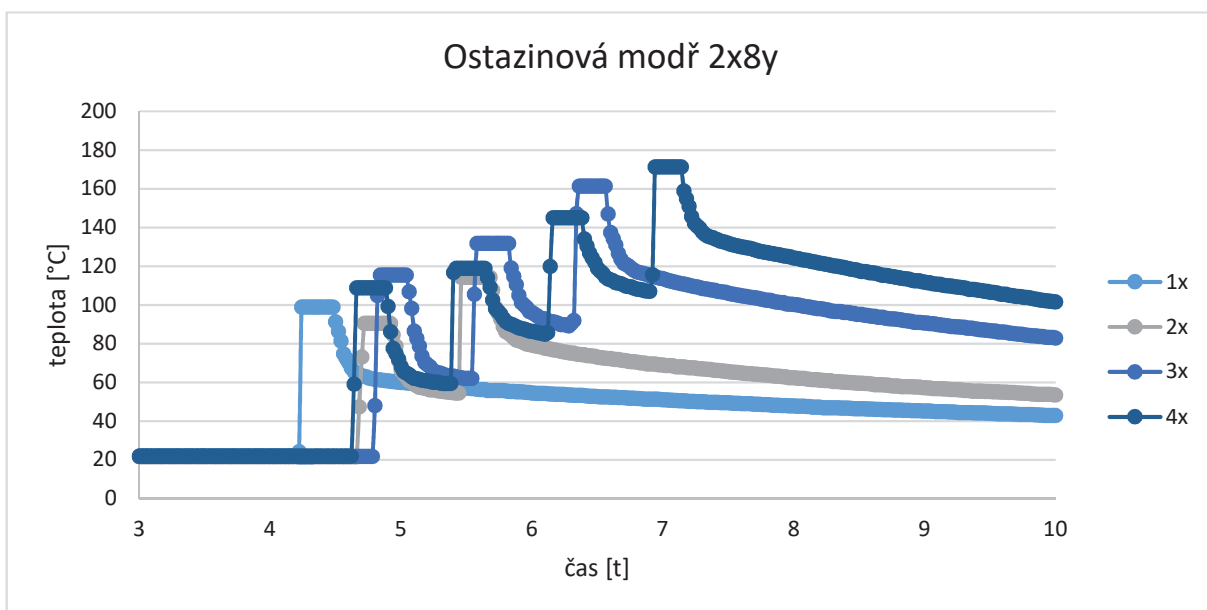
Obrázek 52 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



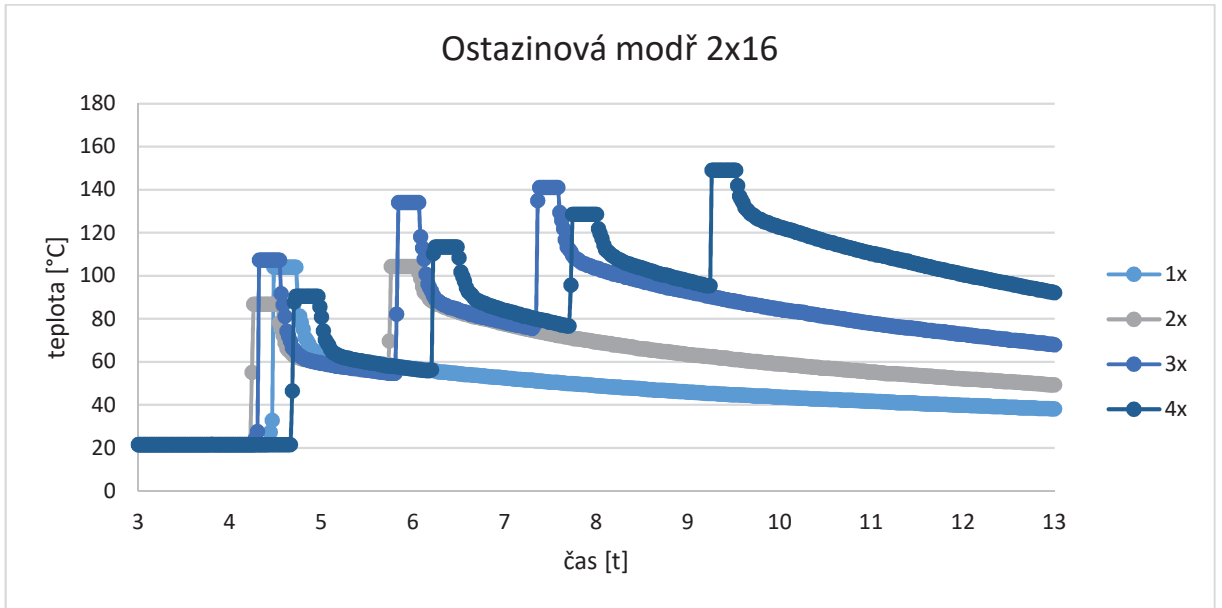
Obrázek 53 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



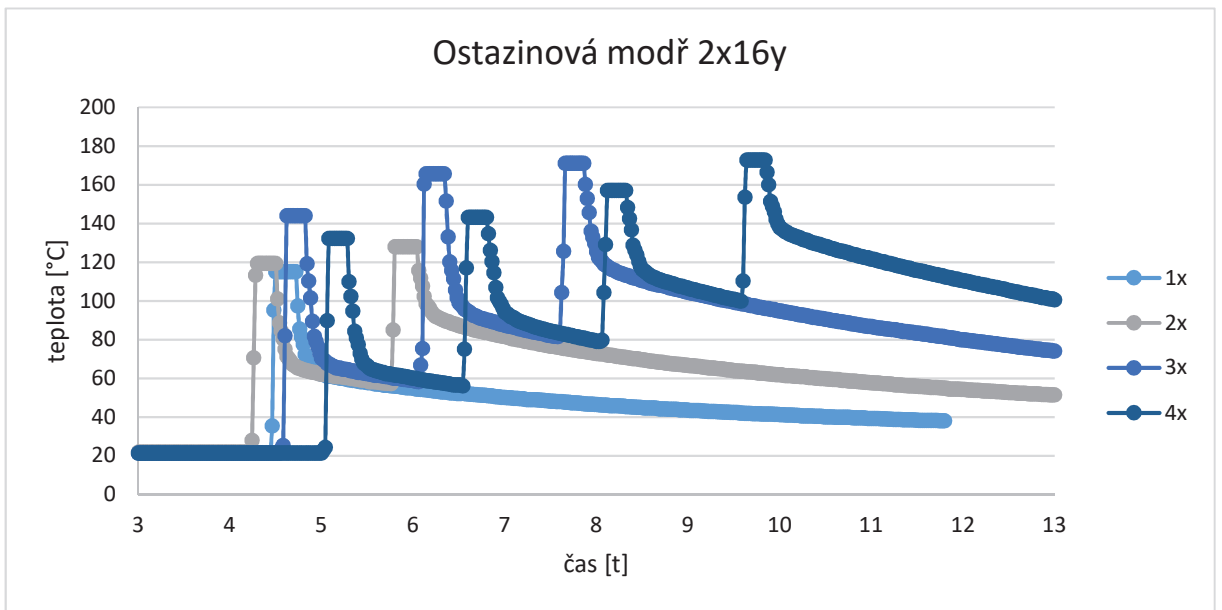
Obrázek 54 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



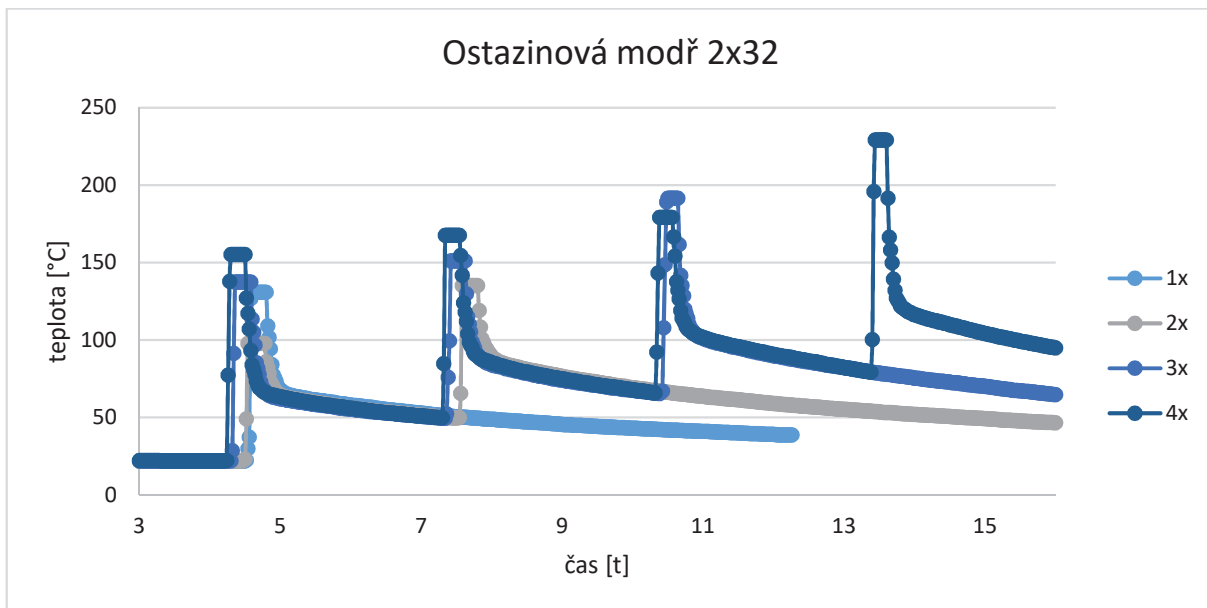
Obrázek 55 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



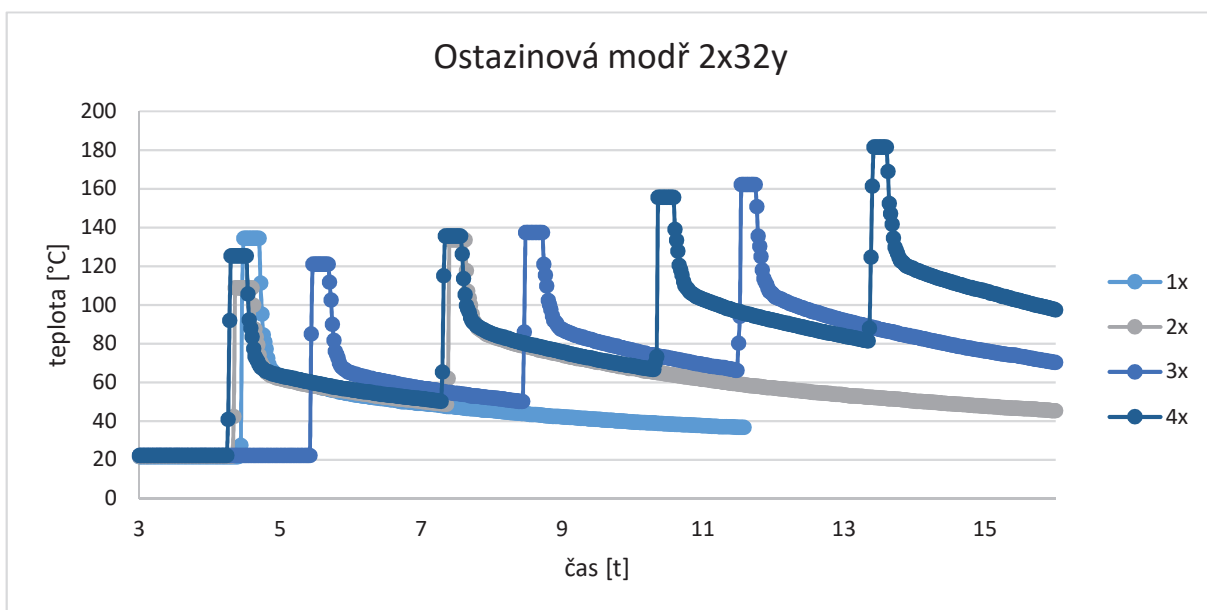
Obrázek 56 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



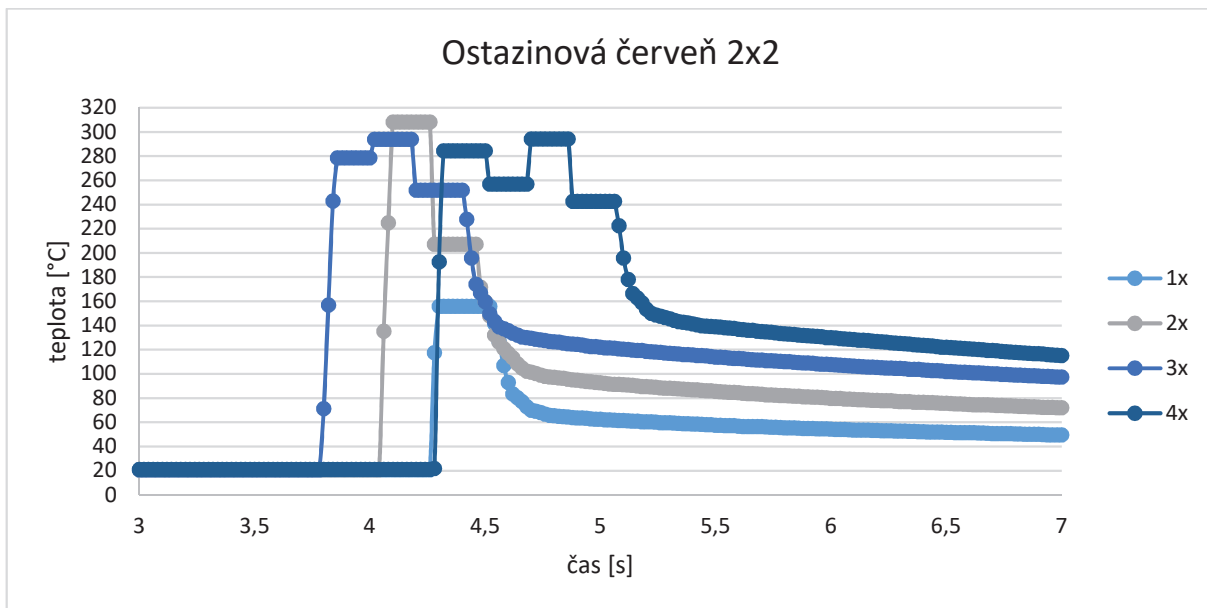
Obrázek 57 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



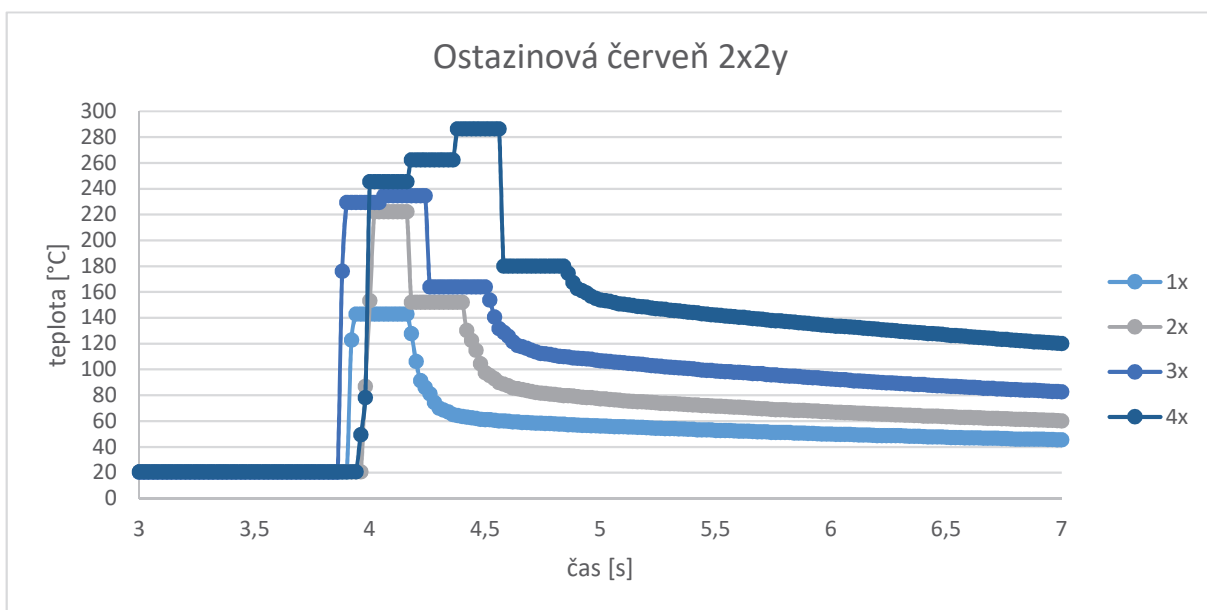
Obrázek 58 - Ostazinová modř H-B, variabilní doba značení



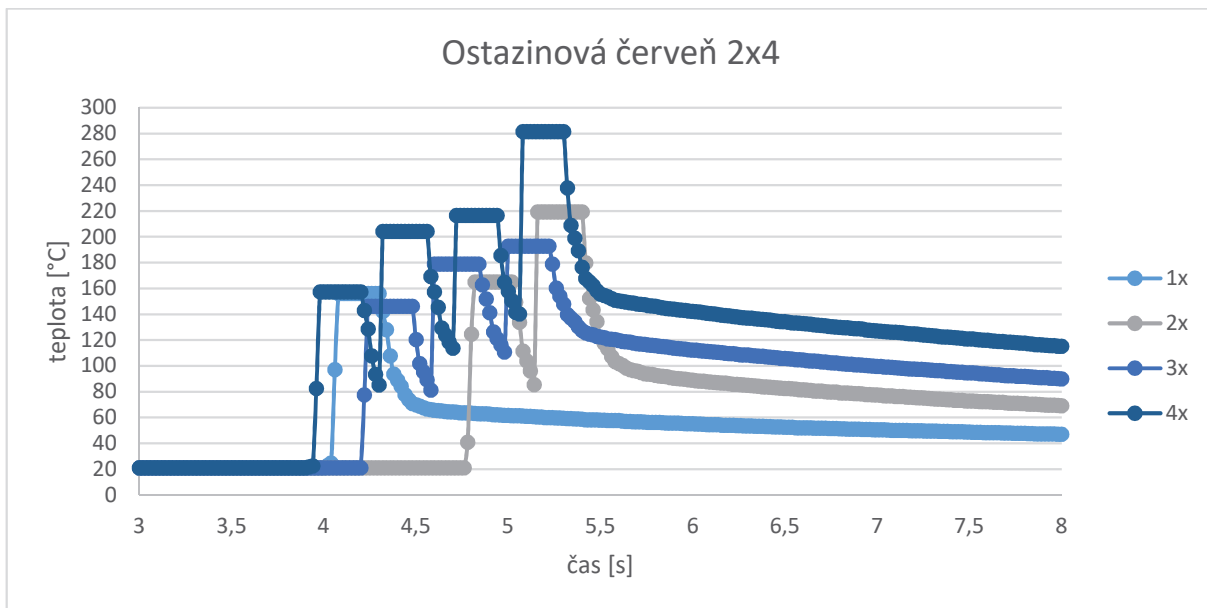
Obrázek 59 - Ostazinová modř H-B, fixní doba značení



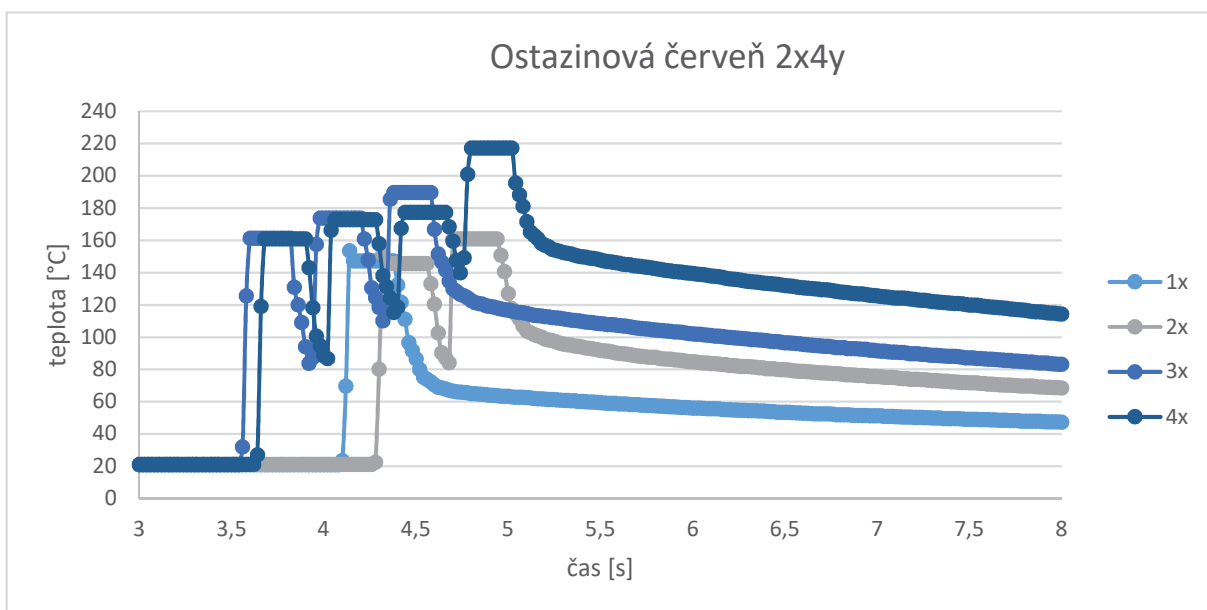
Obrázek 60 - Ostazinová červec HBR, variabilní doba značení



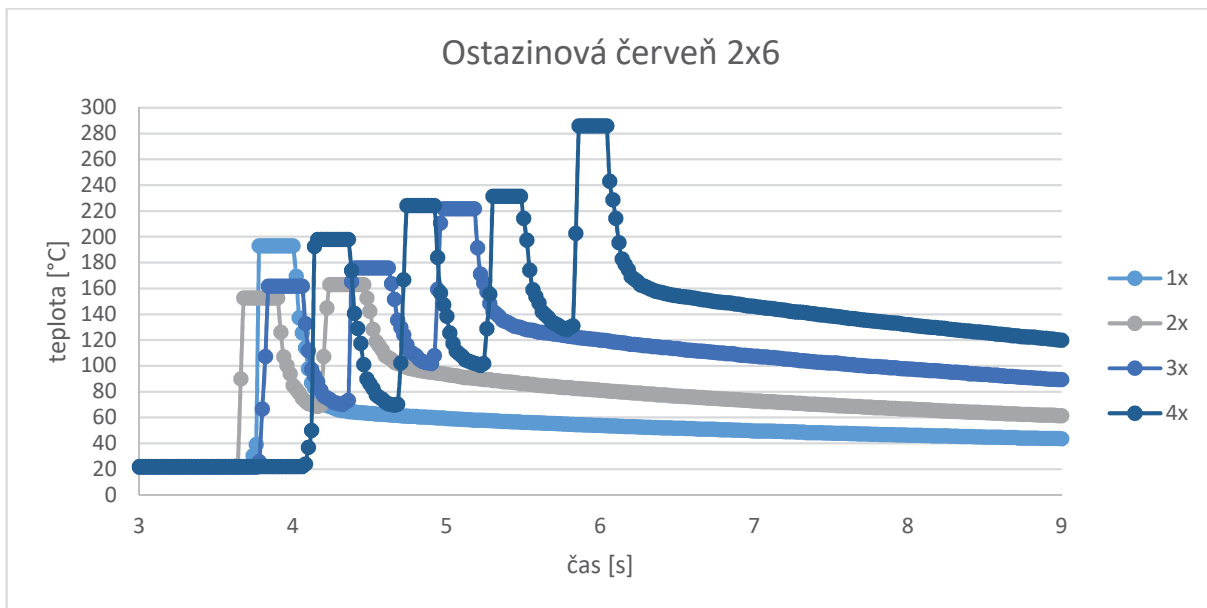
Obrázek 61 - Ostazinová červec HBR, fixní doba značení



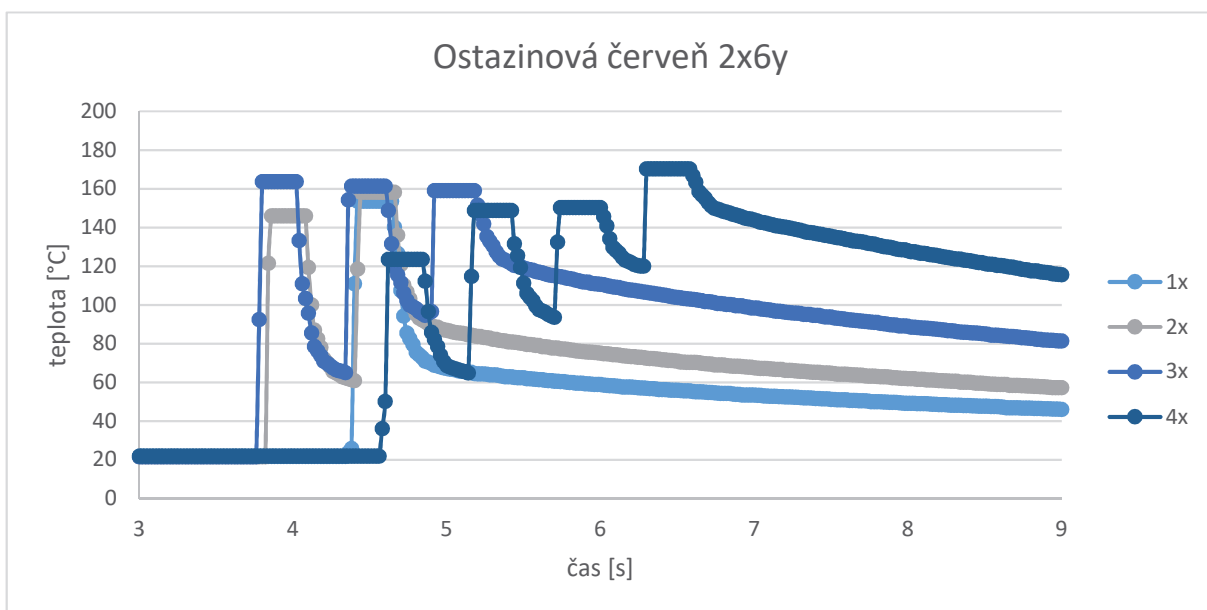
Obrázek 62 - Ostazinová červec HBR, variabilní doba značení



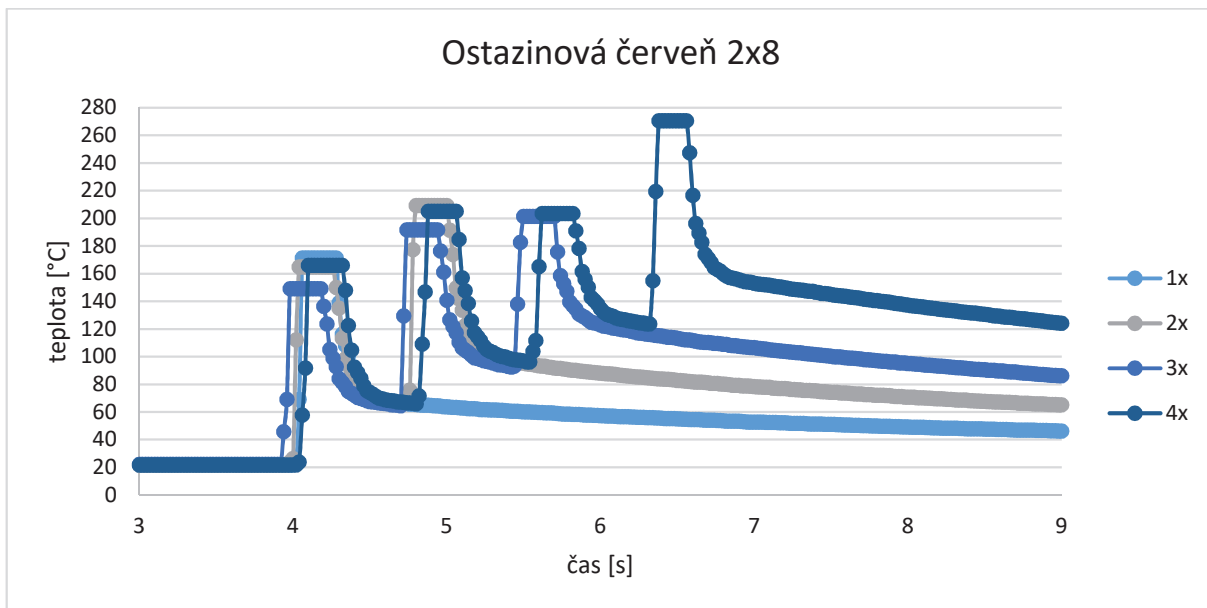
Obrázek 63 - Ostazinová červec HBR, fixní doba značení



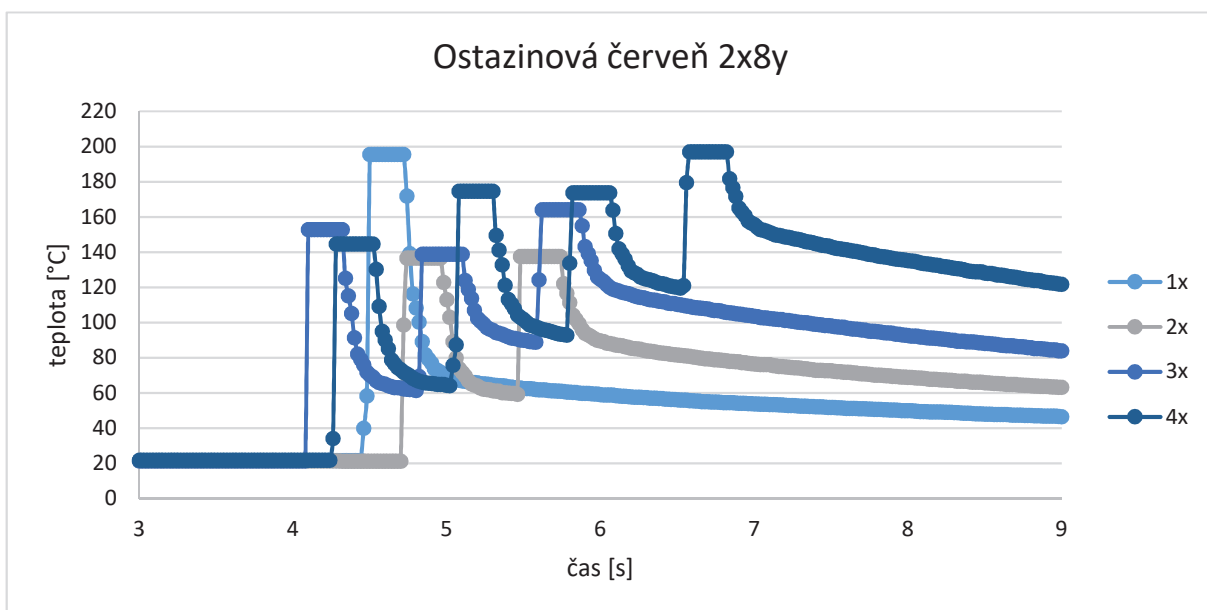
Obrázek 64 - Ostazinová červec HBR, variabilní doba značení



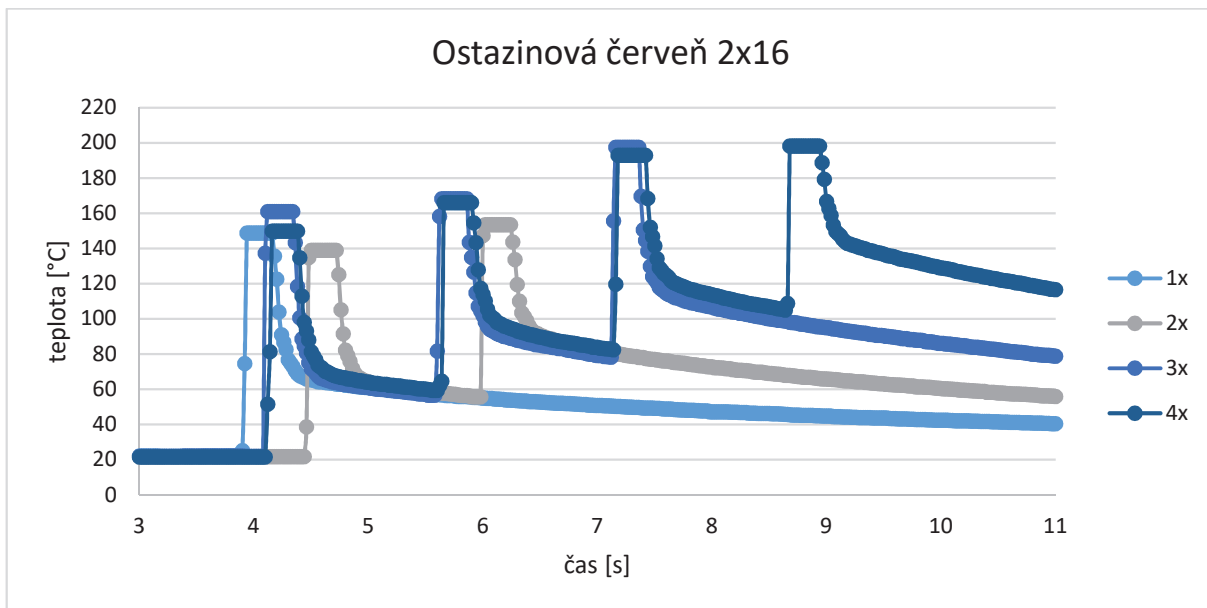
Obrázek 65 - Ostazinová červec HBR, fixní doba značení



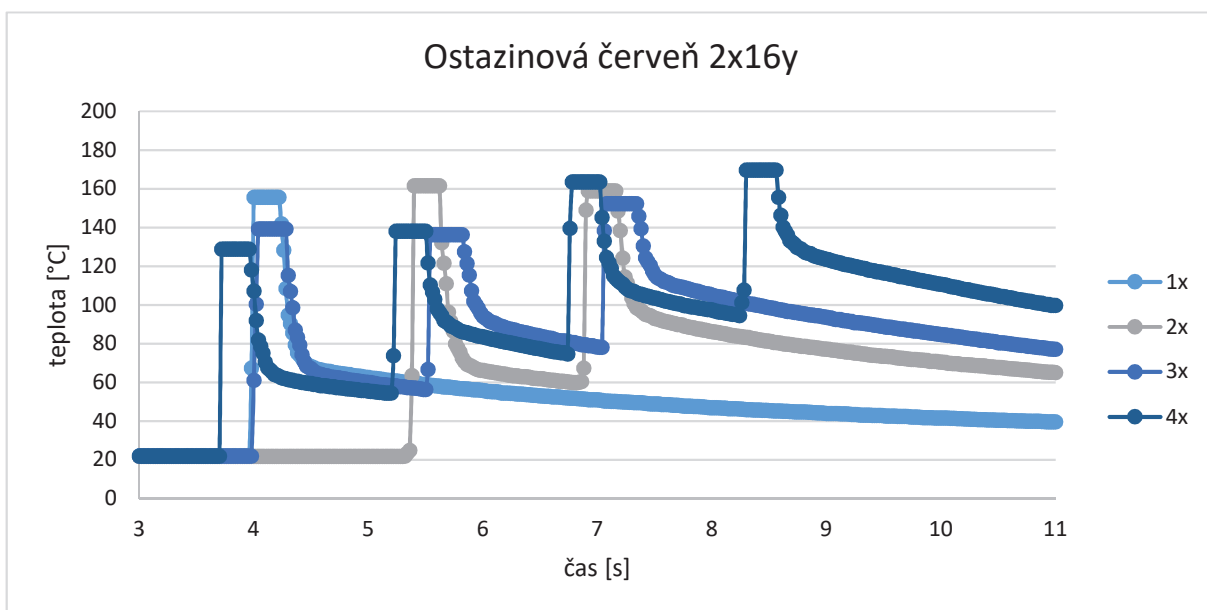
Obrázek 66 - Ostazinová červeň HBR, variabilní doba značení



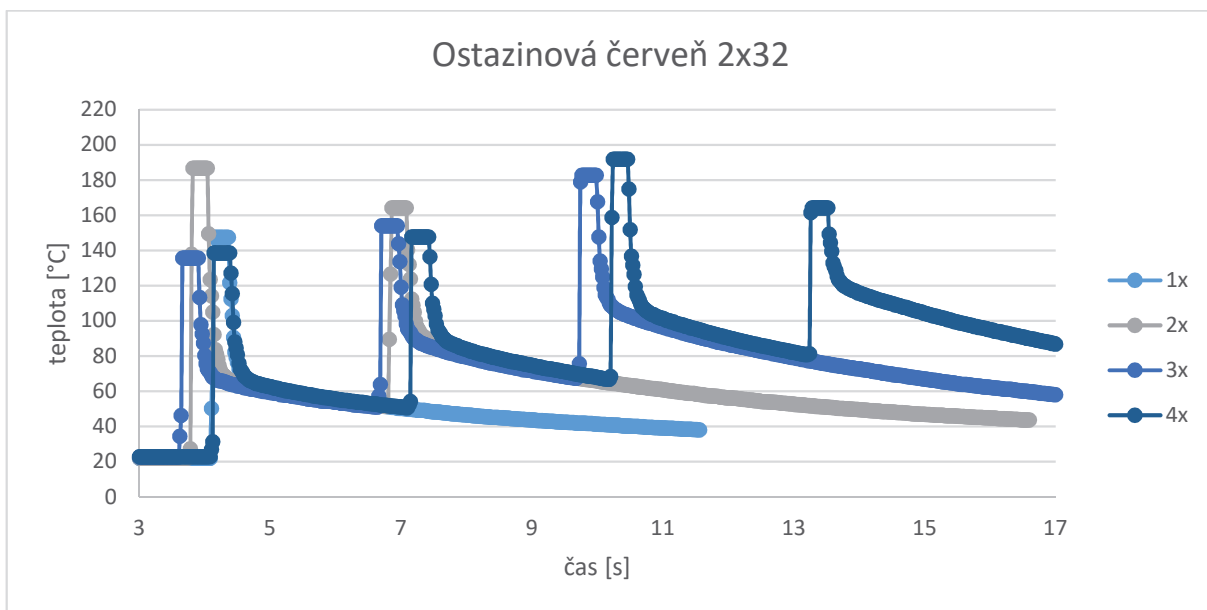
Obrázek 67 - Ostazinová červeň HBR, fixní doba značení



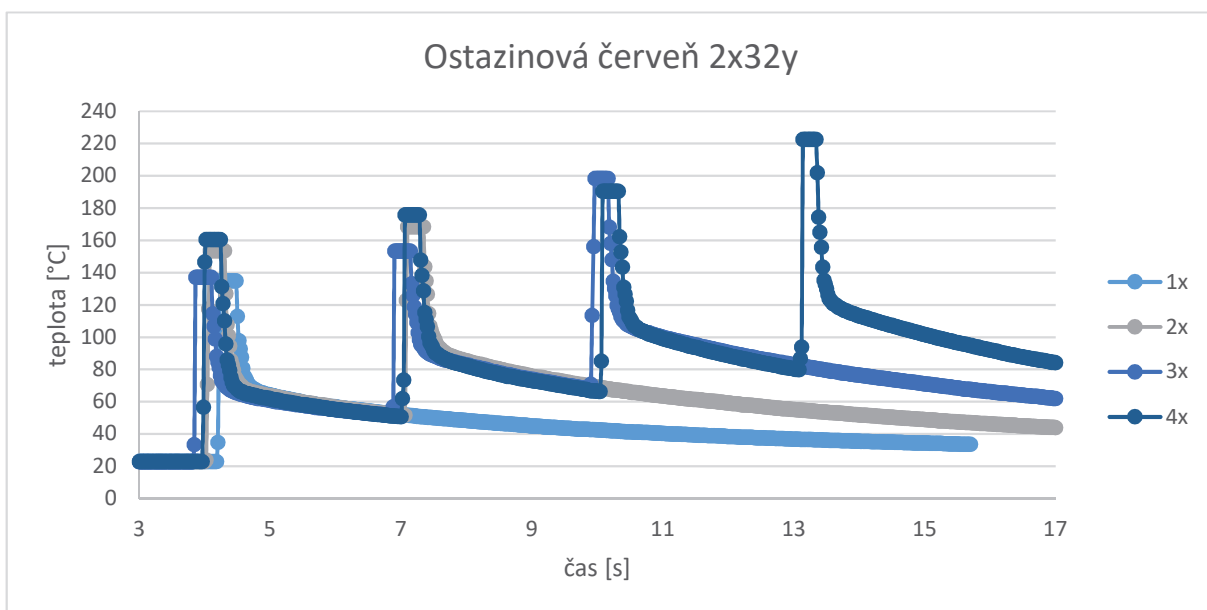
Obrázek 68 - Ostazinová červec HBR, variabilní doba značení



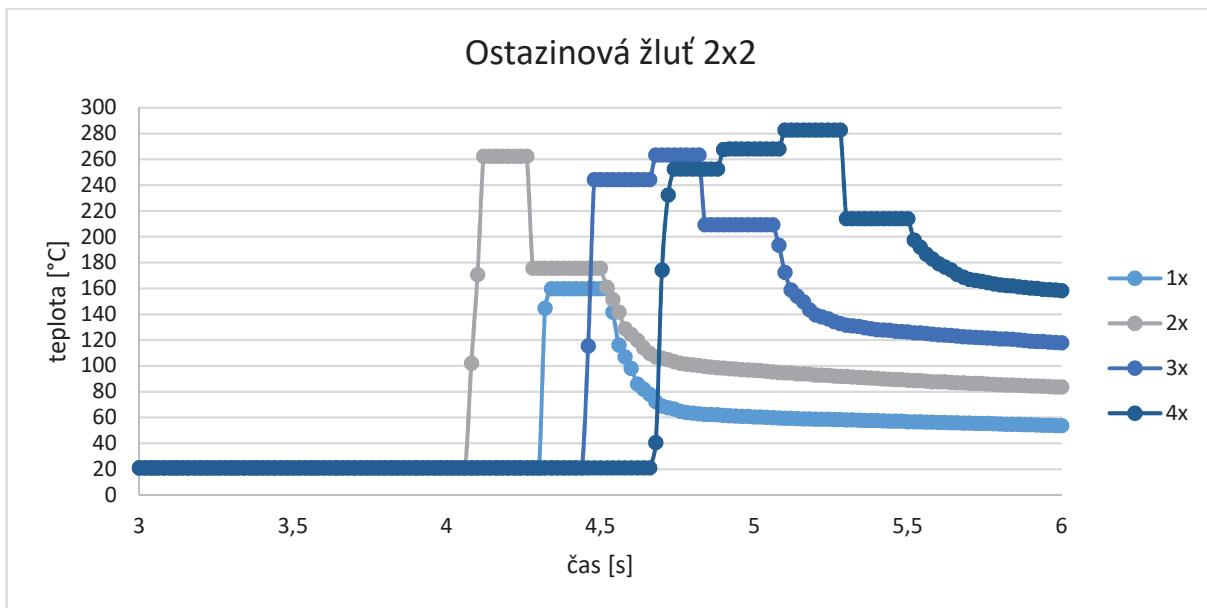
Obrázek 69 - Ostazinová červec HBR, fixní doba značení



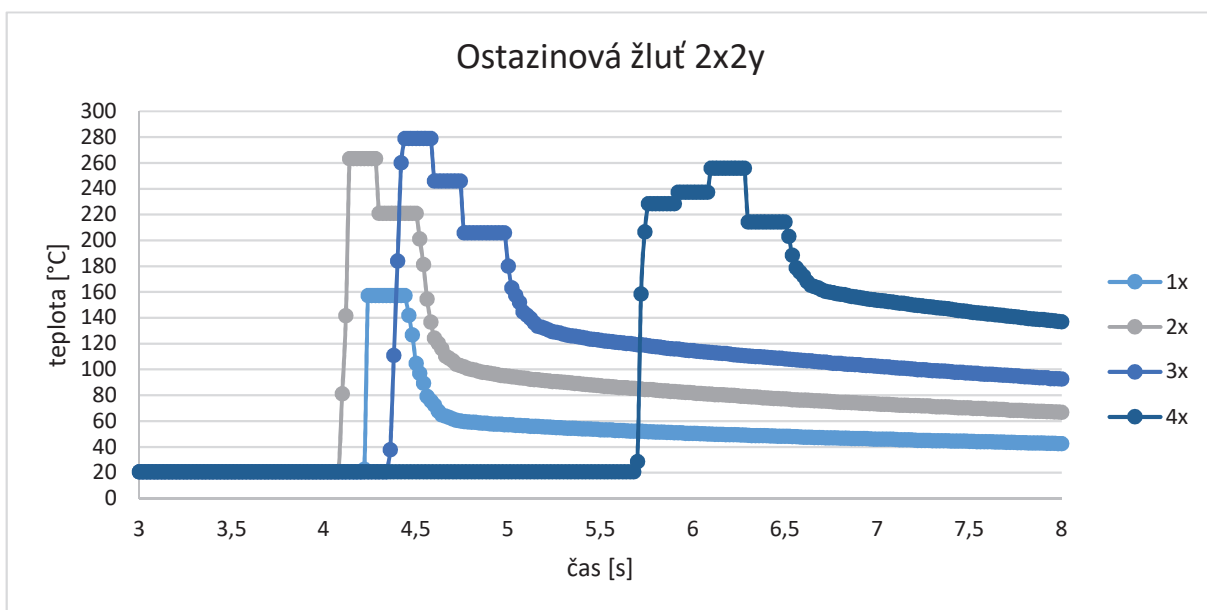
Obrázek 70 - Ostazinová červec HBR, variabilní doba značení



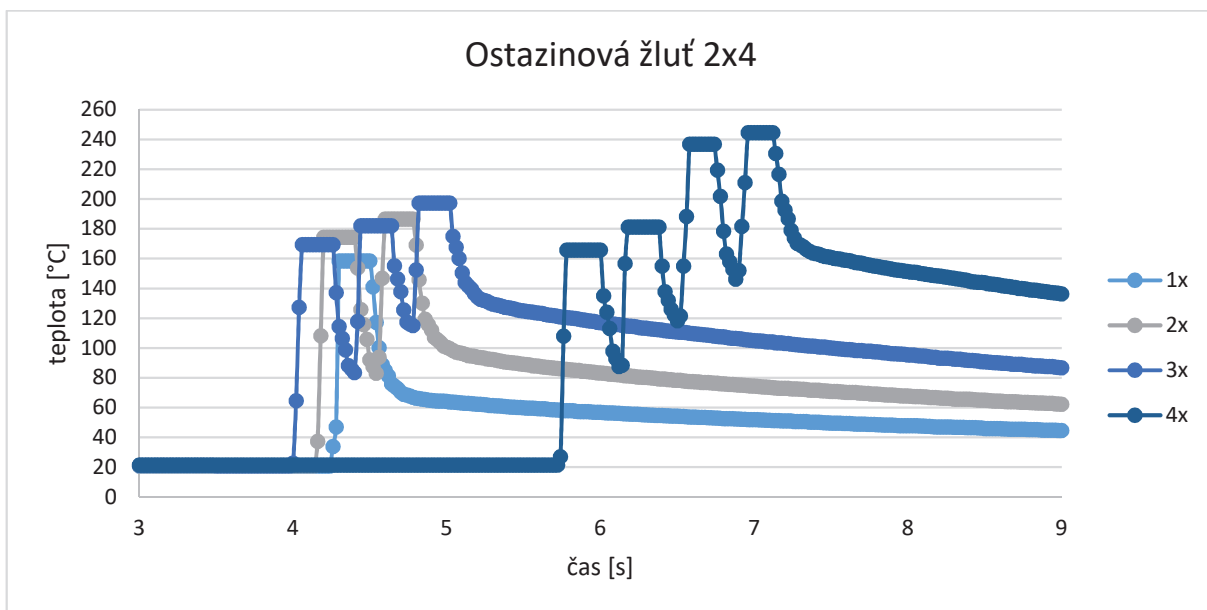
Obrázek 71 - Ostazinová červec HBR, fixní doba značení



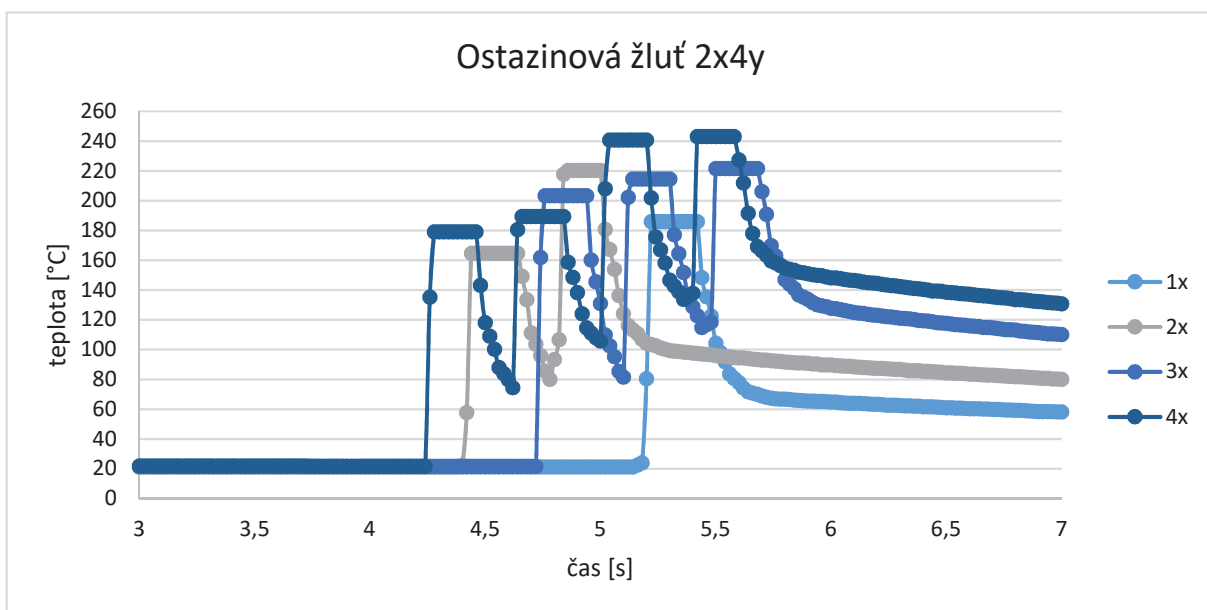
Obrázek 72 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



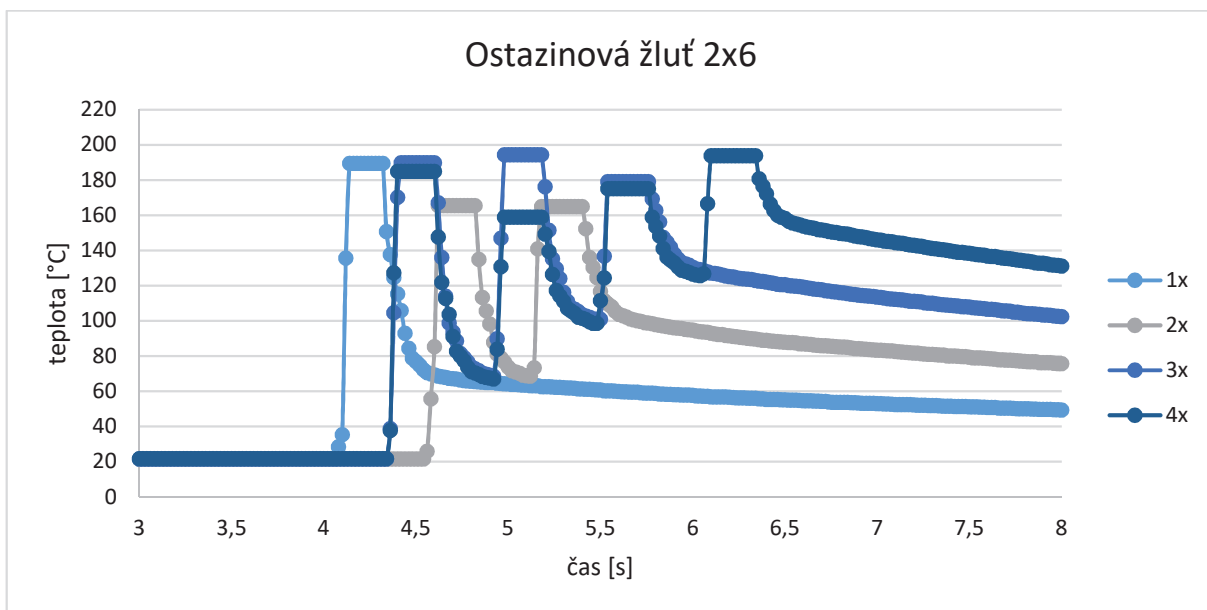
Obrázek 73 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



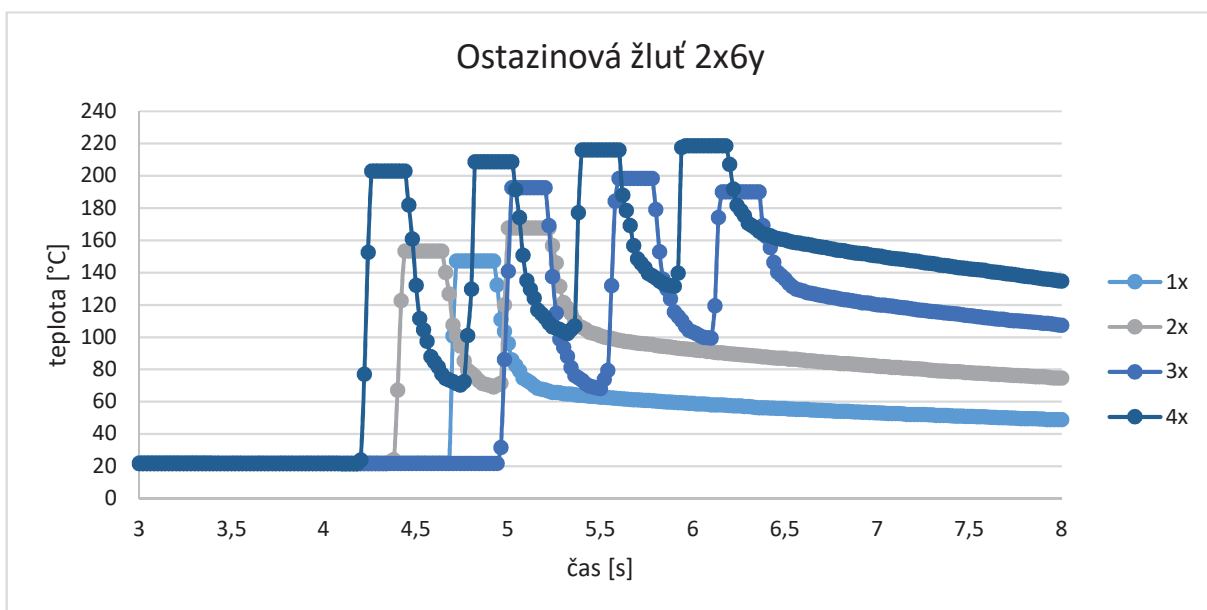
Obrázek 74 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



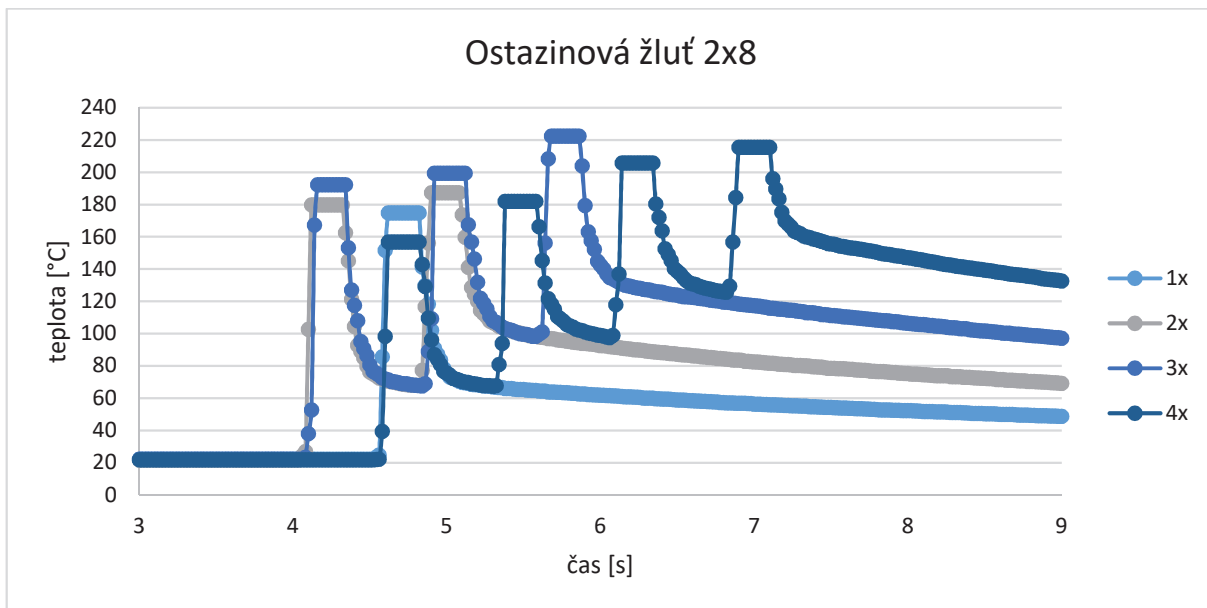
Obrázek 75 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



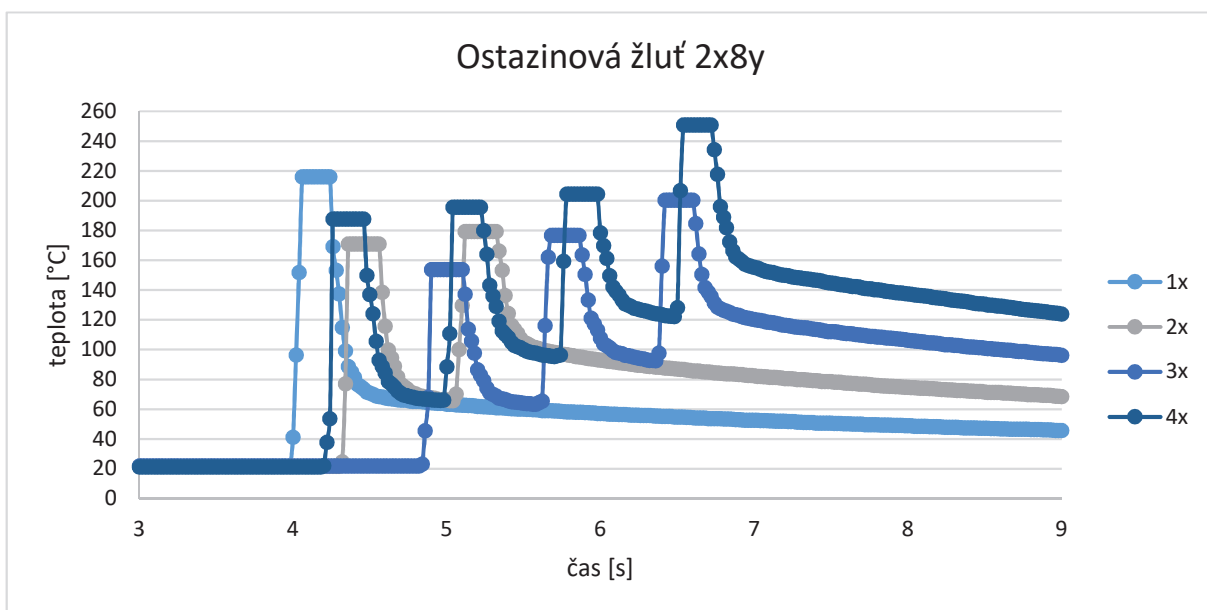
Obrázek 76 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



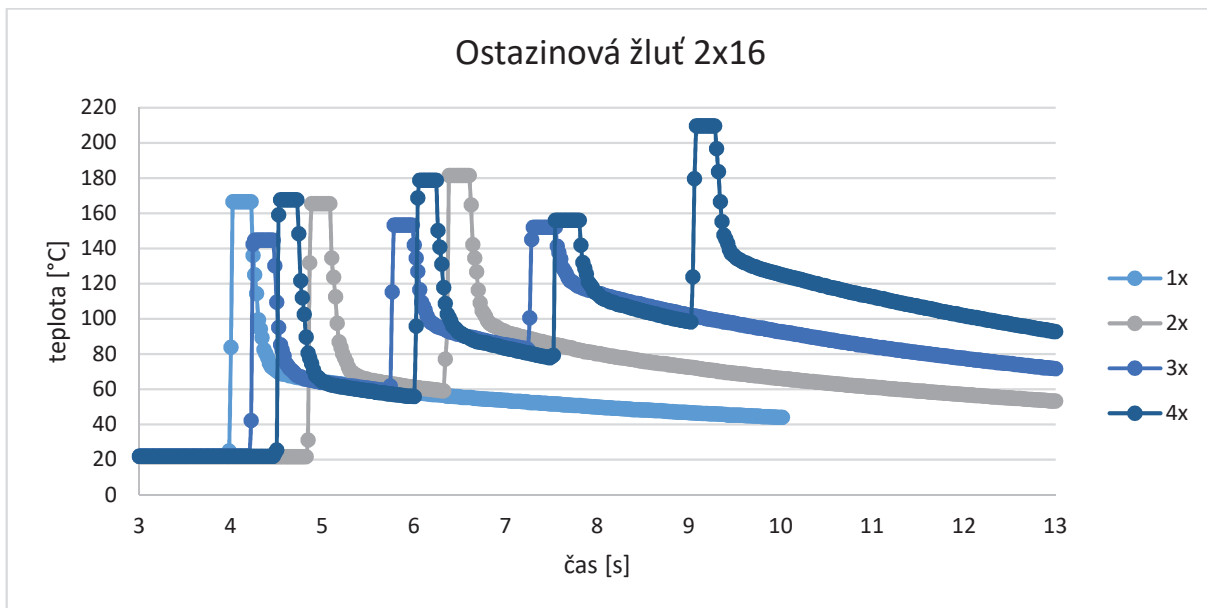
Obrázek 77 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



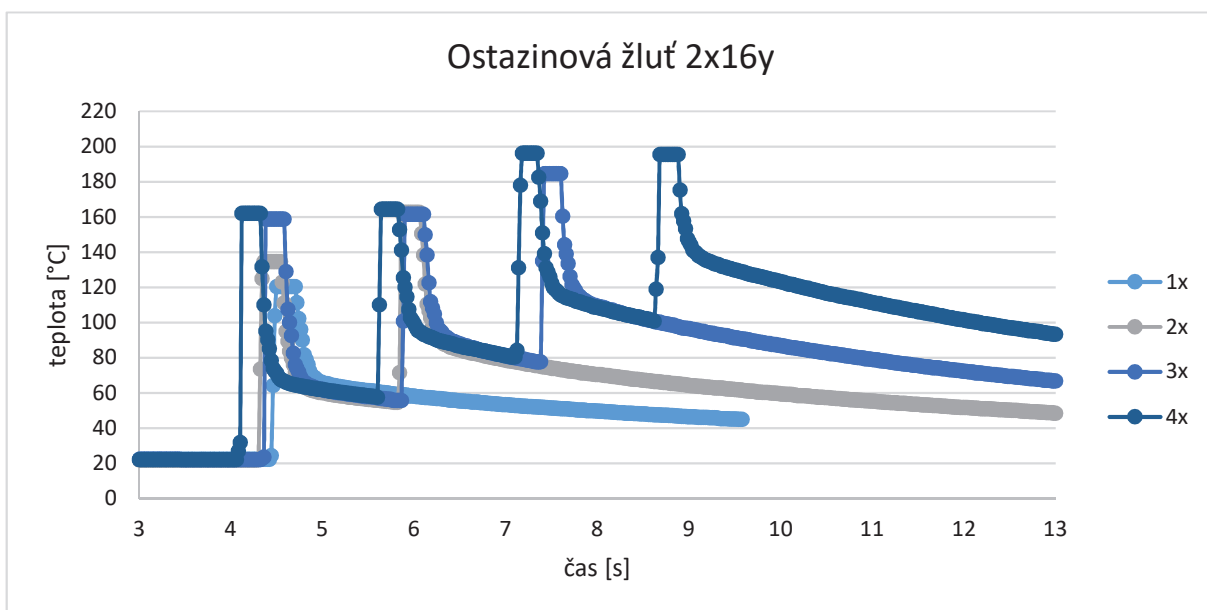
Obrázek 78 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



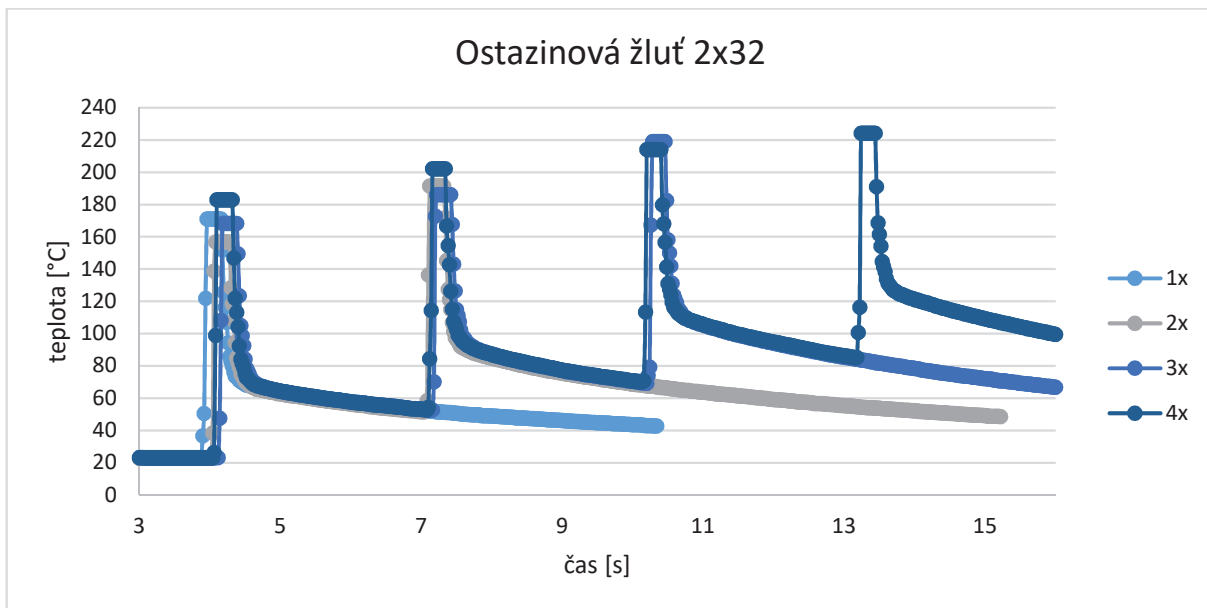
Obrázek 79 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



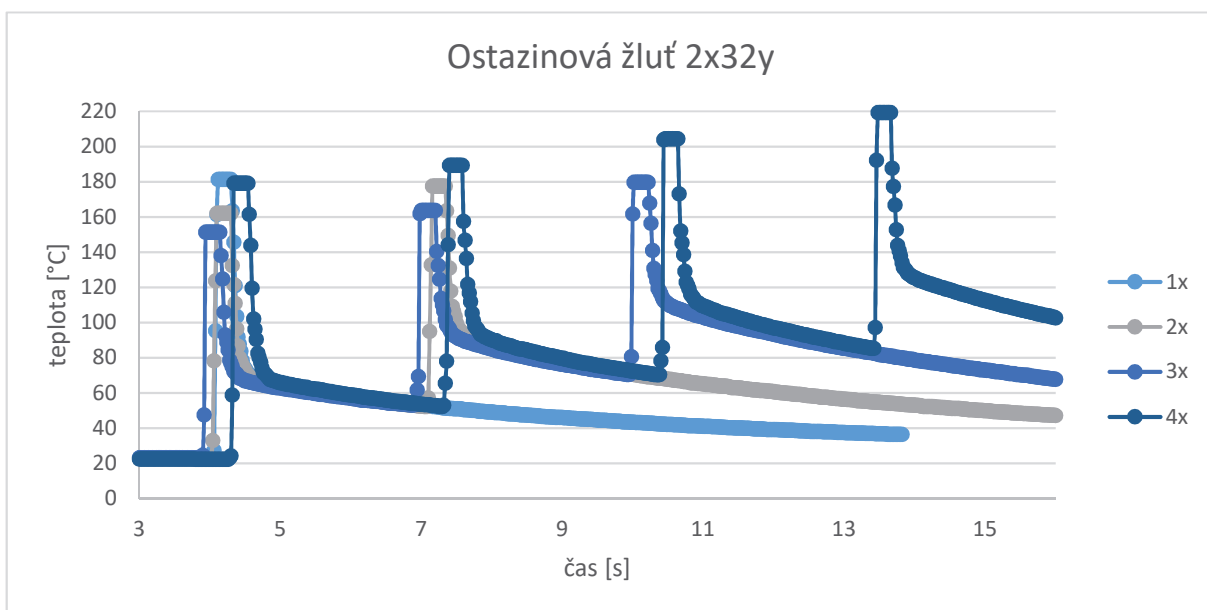
Obrázek 80 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



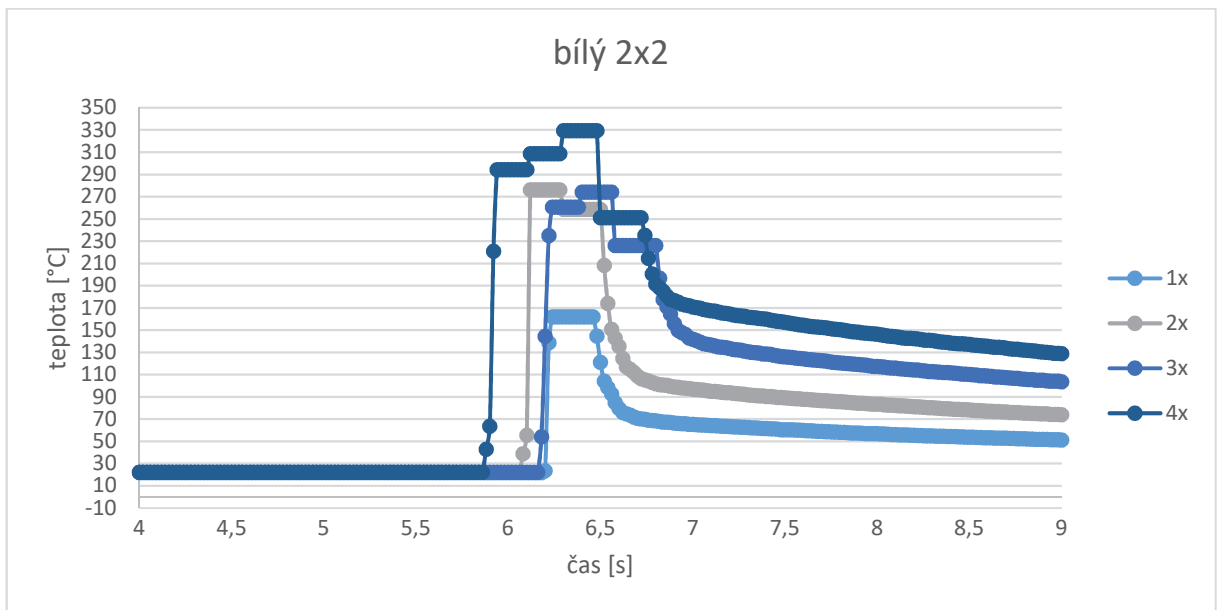
Obrázek 81 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



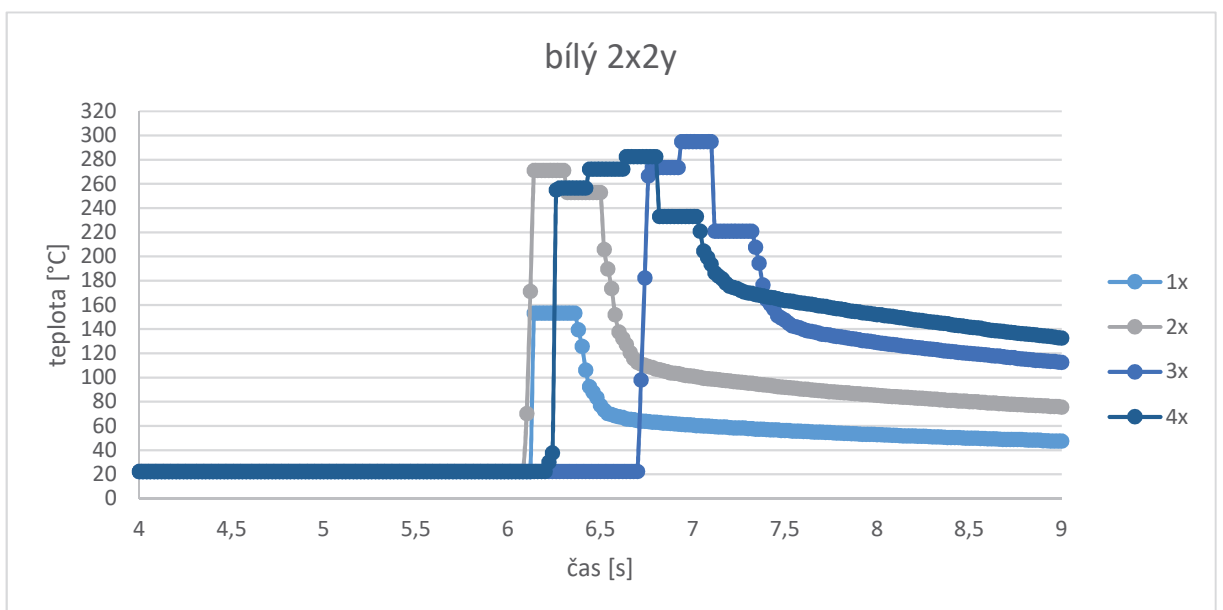
Obrázek 82 - Ostazinová žluť H8G, variabilní doba značení



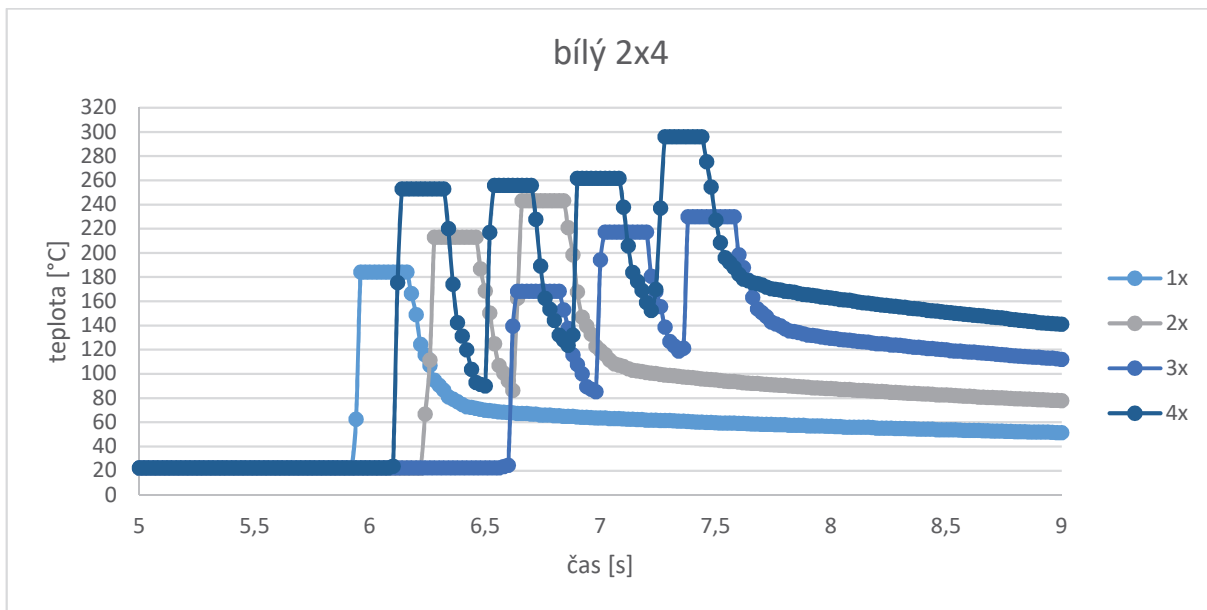
Obrázek 83 - Ostazinová žluť H8G, fixní doba značení



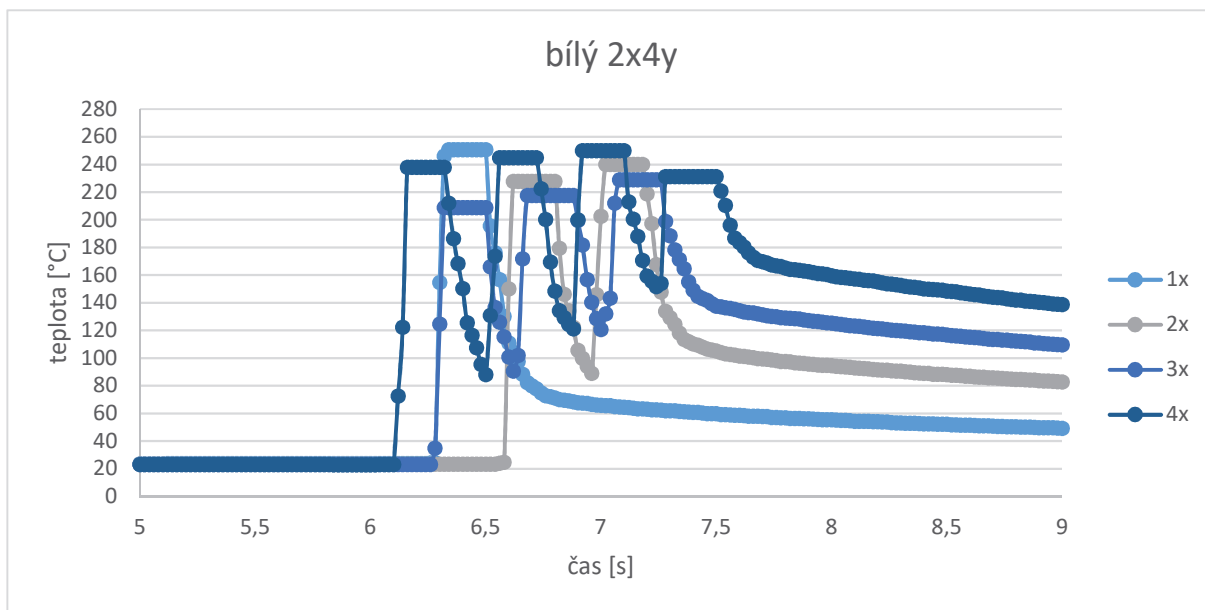
Obrázek 84 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



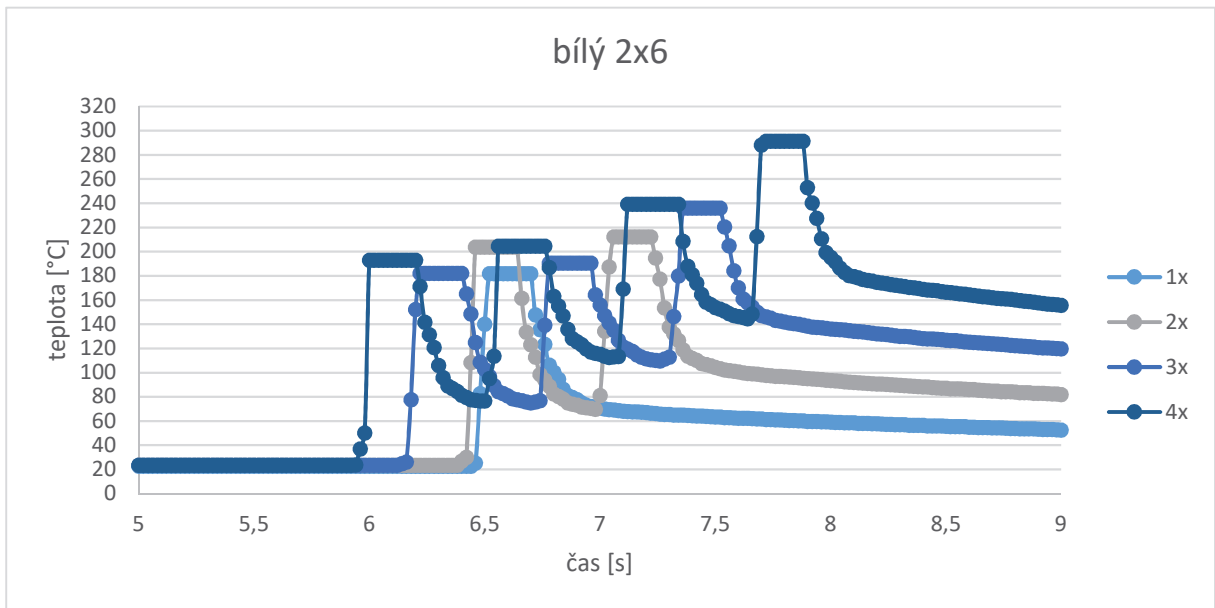
Obrázek 85 - Bílý vzorek, fixní doba značení



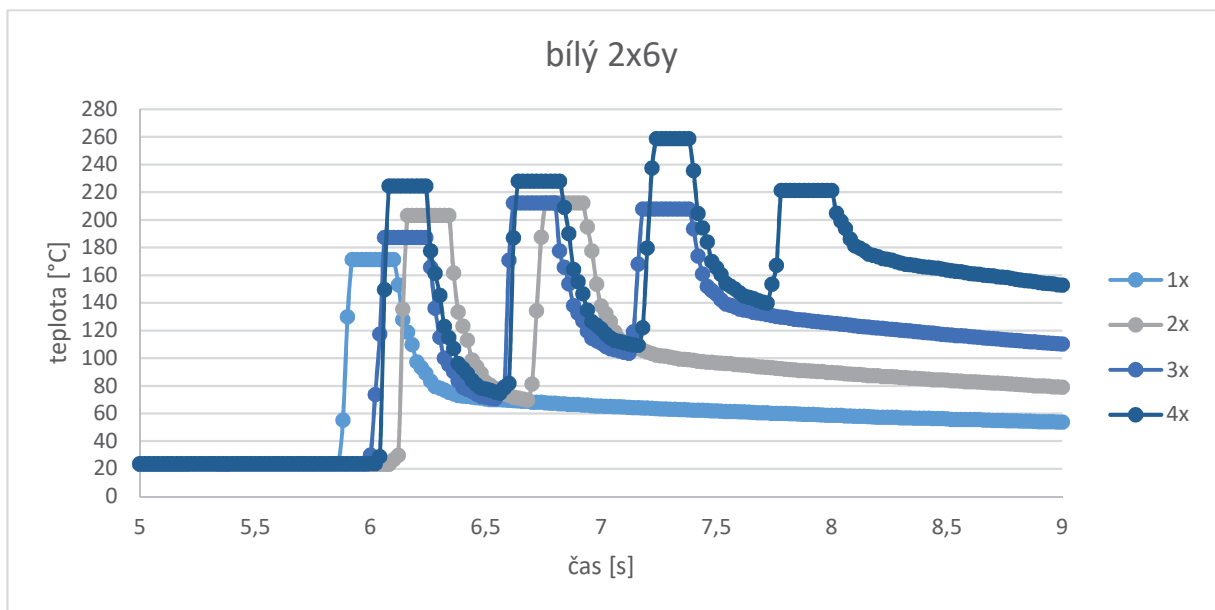
Obrázek 86 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



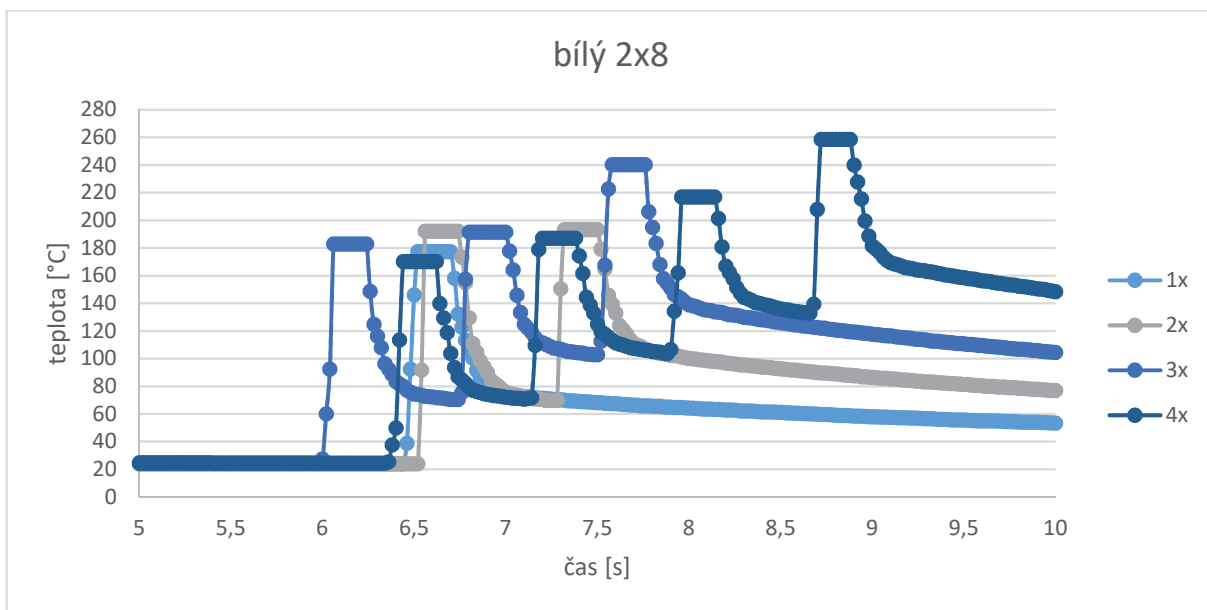
Obrázek 87 - Bílý vzorek, fixní doba značení



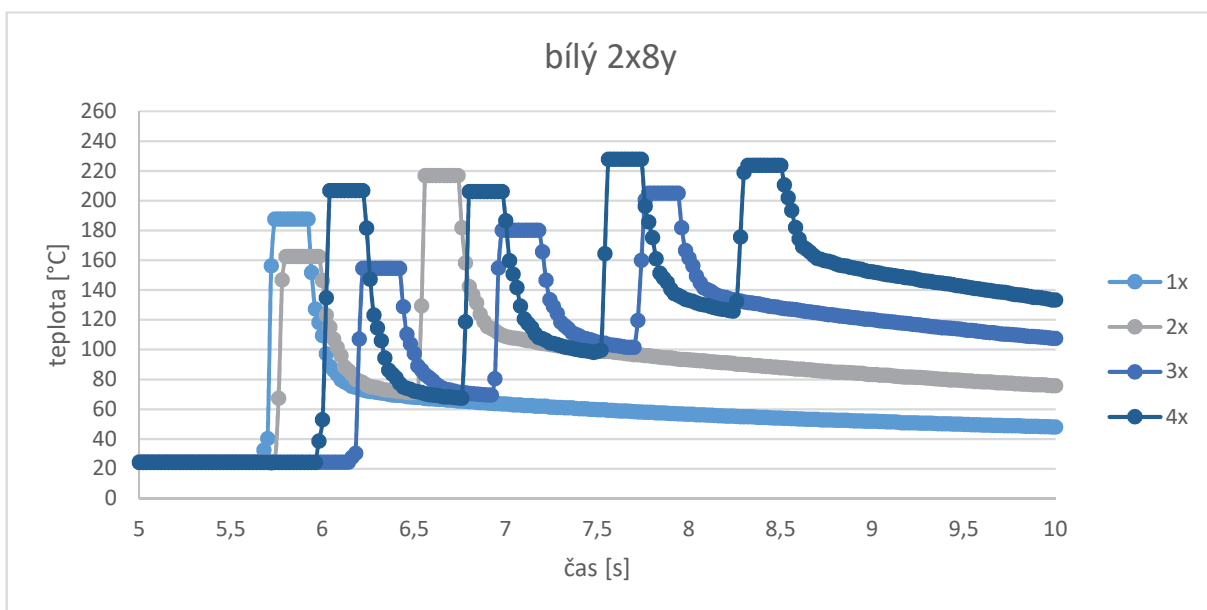
Obrázek 89 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



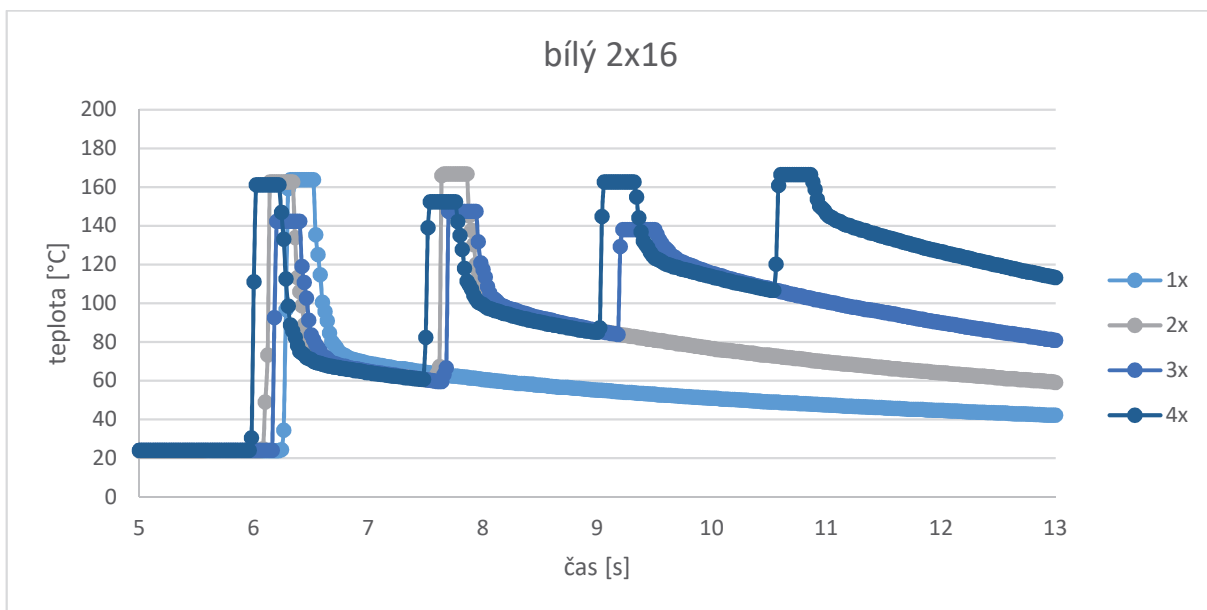
Obrázek 88 - Bílý vzorek, fixní doba značení



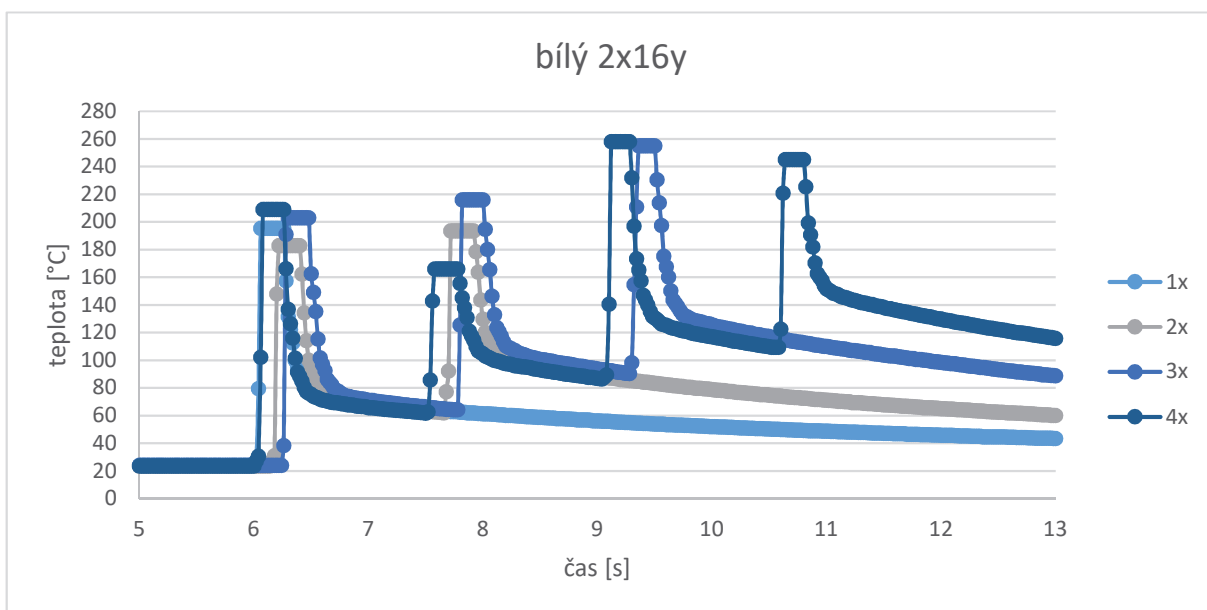
Obrázek 90 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



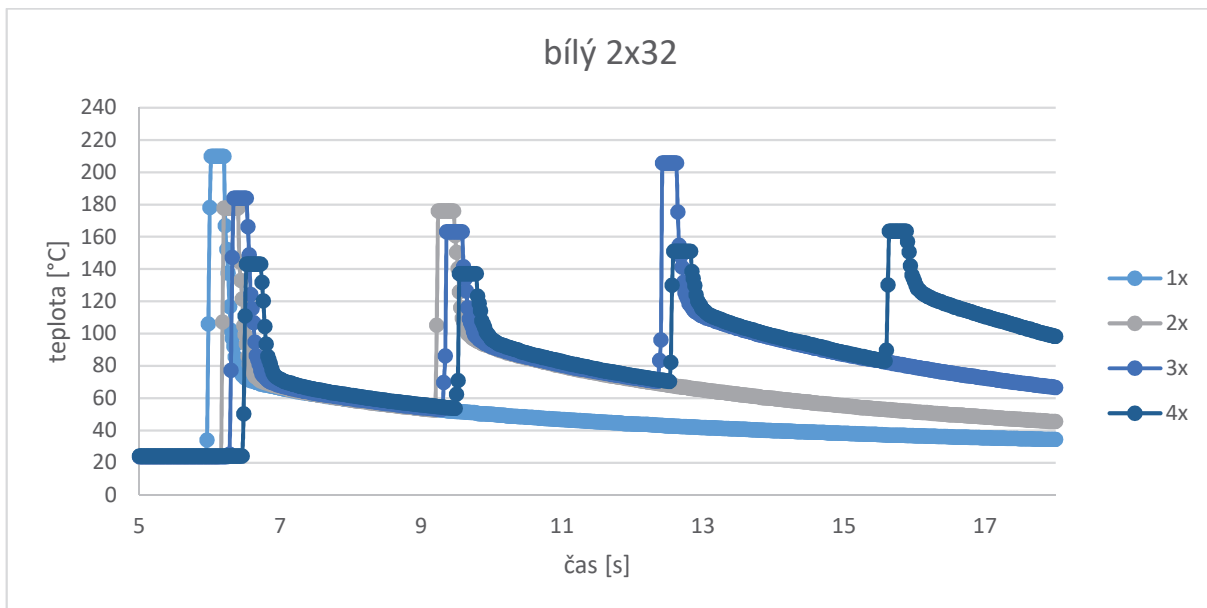
Obrázek 91 - Bílý vzorek, fixní doba značení



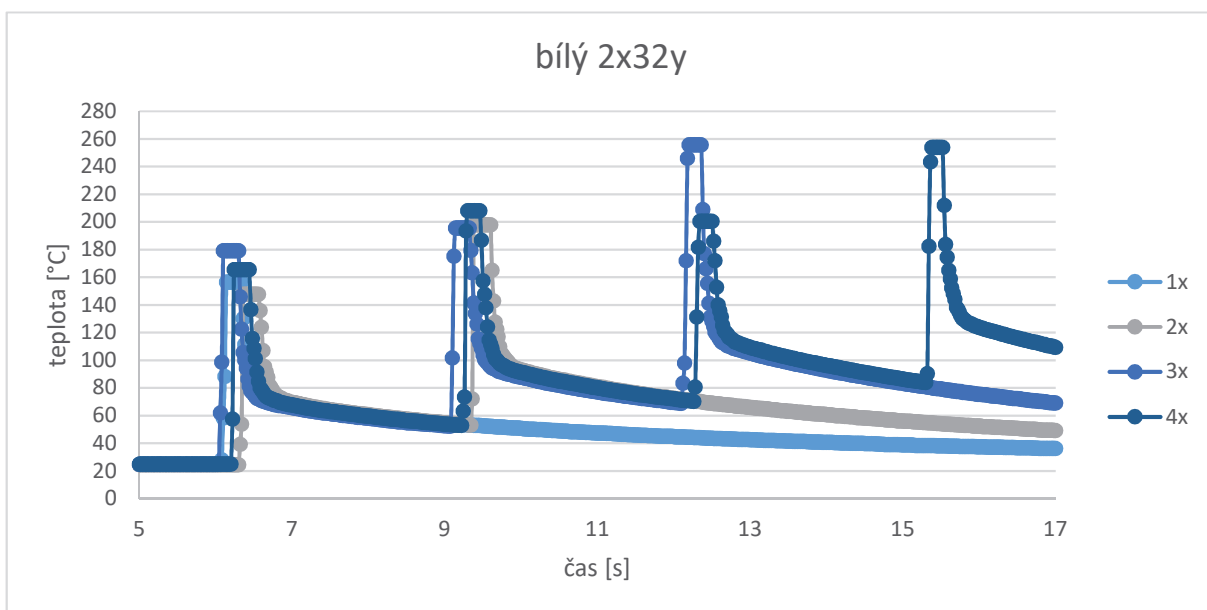
Obrázek 92 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



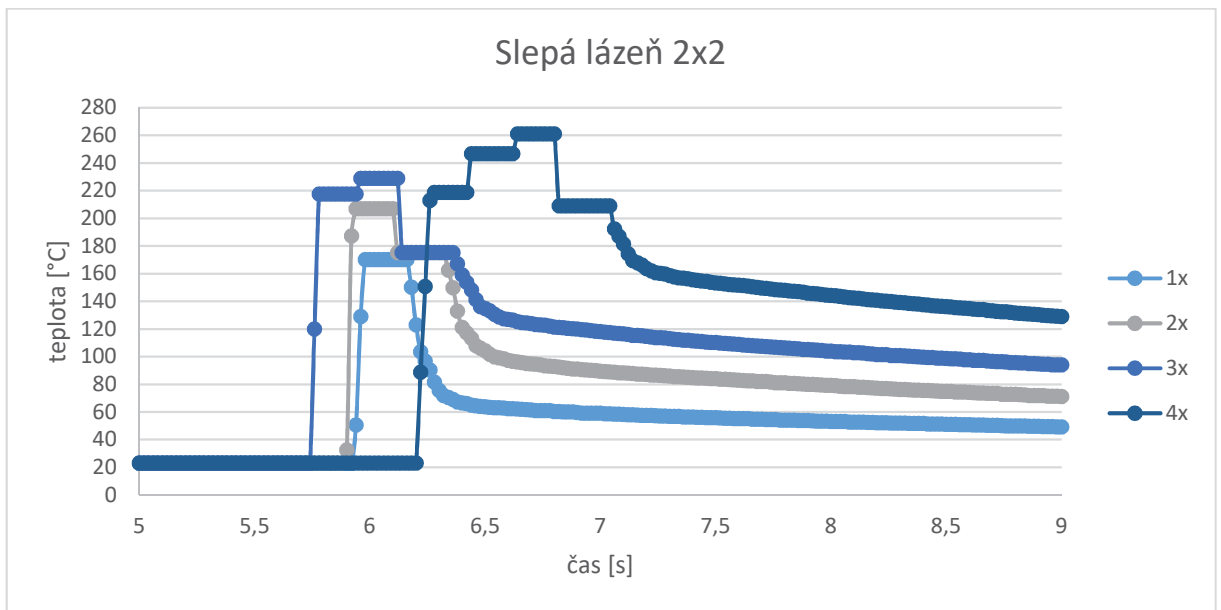
Obrázek 93 - Bílý vzorek, fixní doba značení



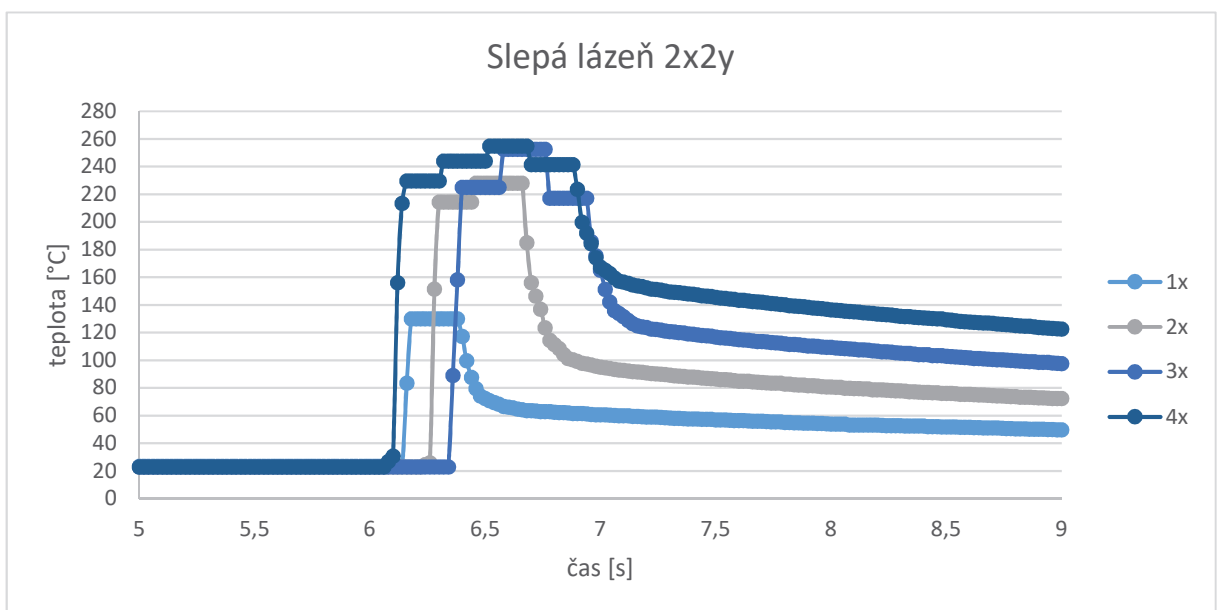
Obrázek 94 - Bílý vzorek, variabilní doba značení



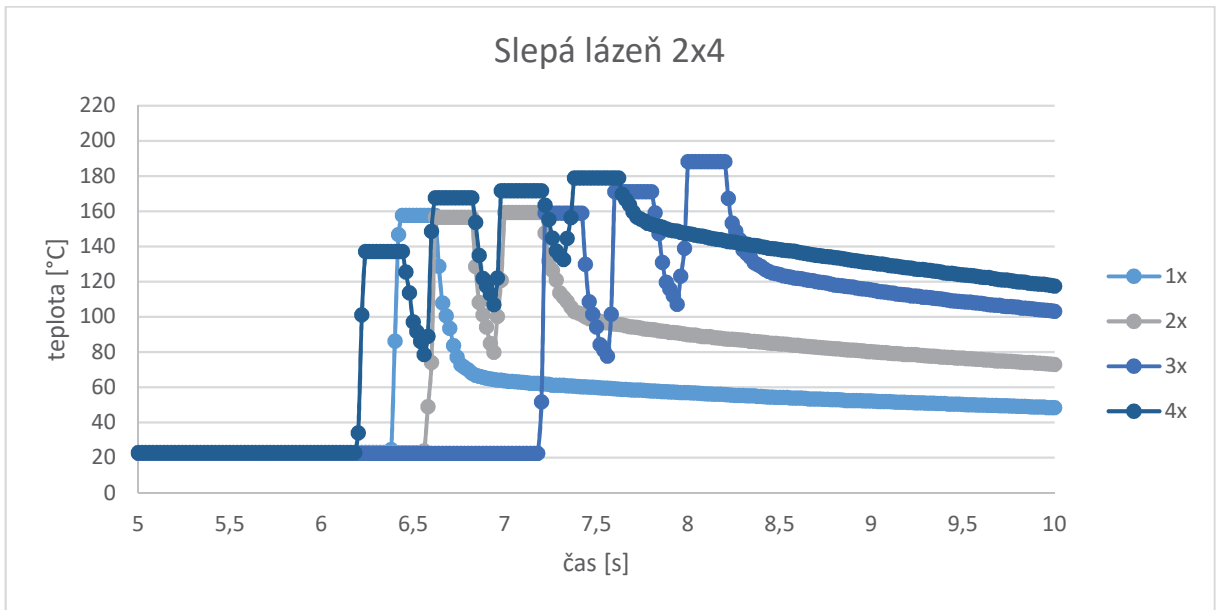
Obrázek 95 - Bílý vzorek, fixní doba značení



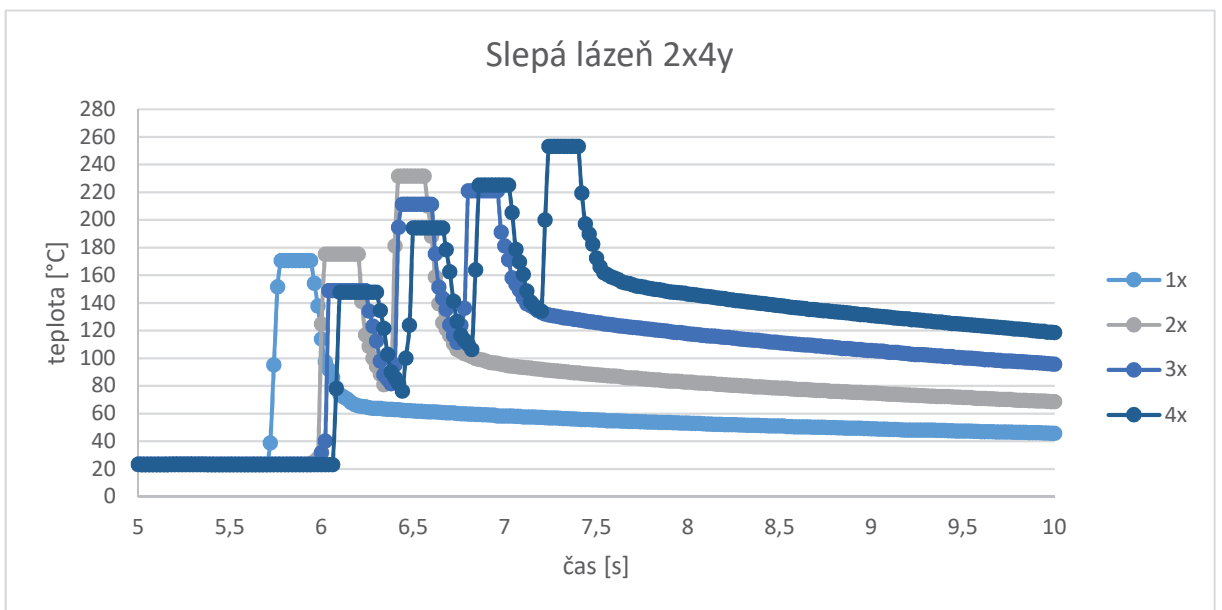
Obrázek 96 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



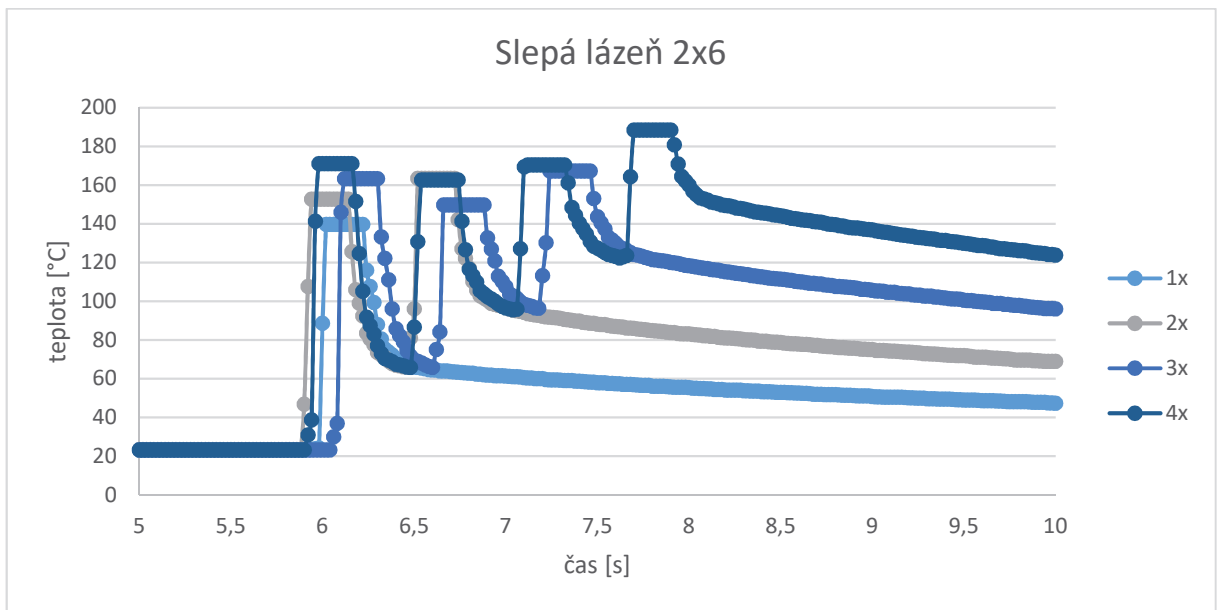
Obrázek 97 - Slepá lázeň, fixní doba značení



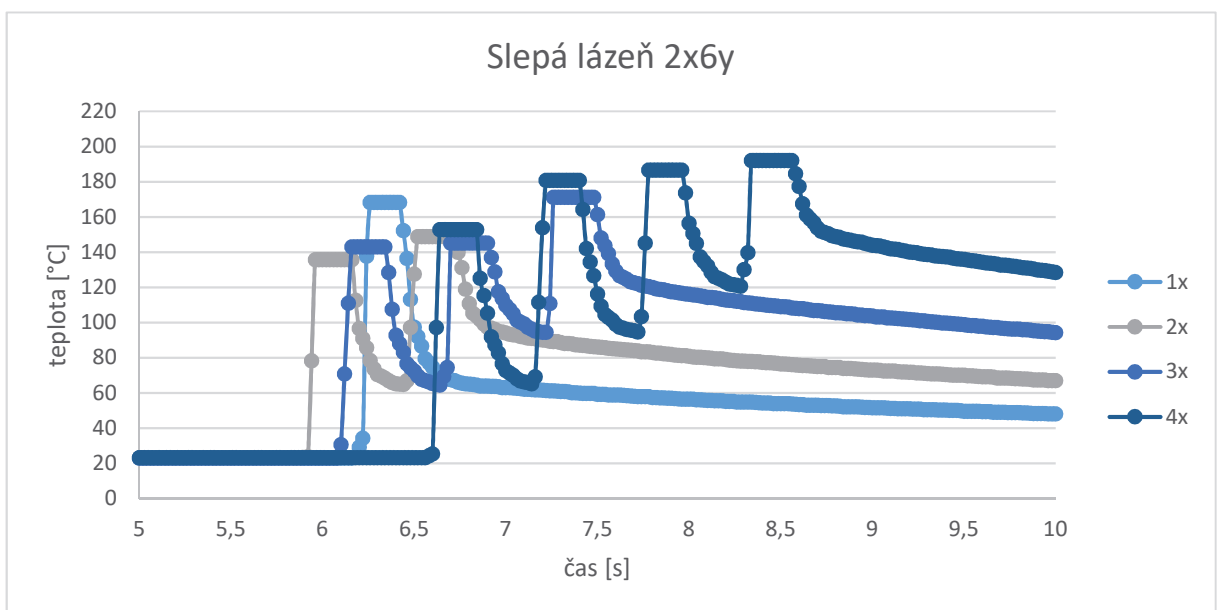
Obrázek 98 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



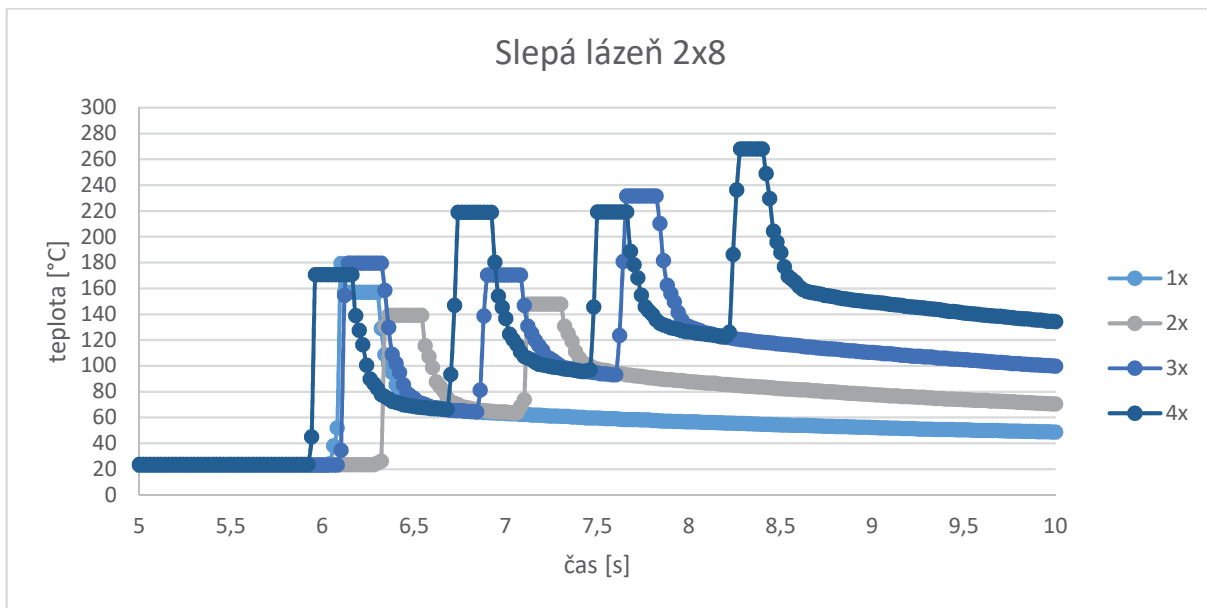
Obrázek 99 - Slepá lázeň, fixní doba značení



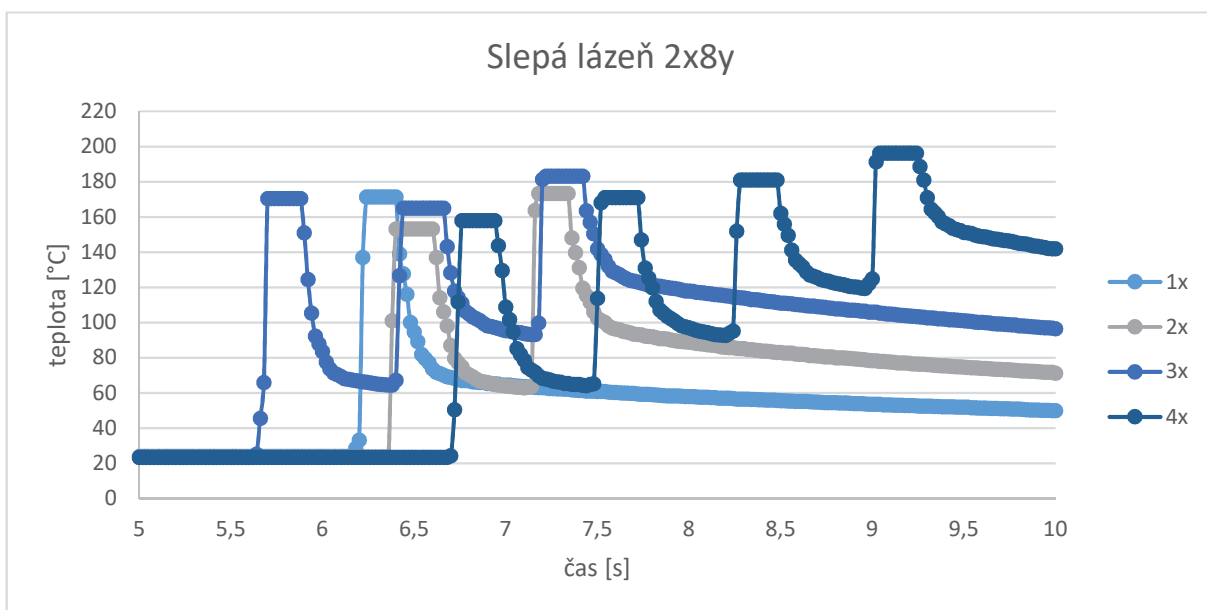
Obrázek 100 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



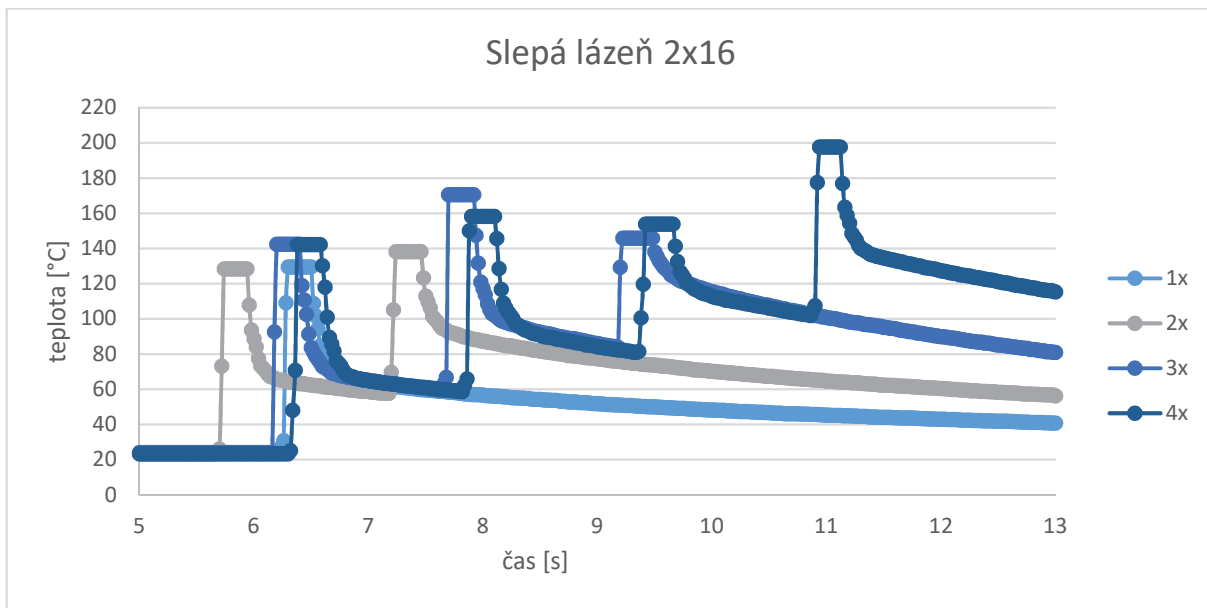
Obrázek 101 - Slepá lázeň, fixní doba značení



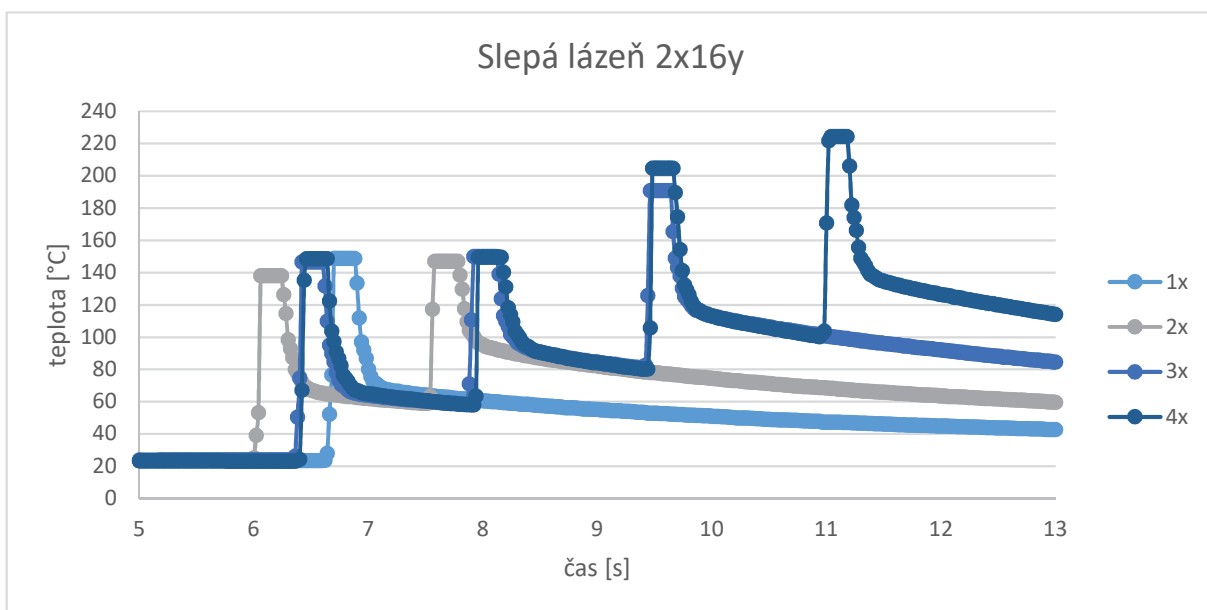
Obrázek 102 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



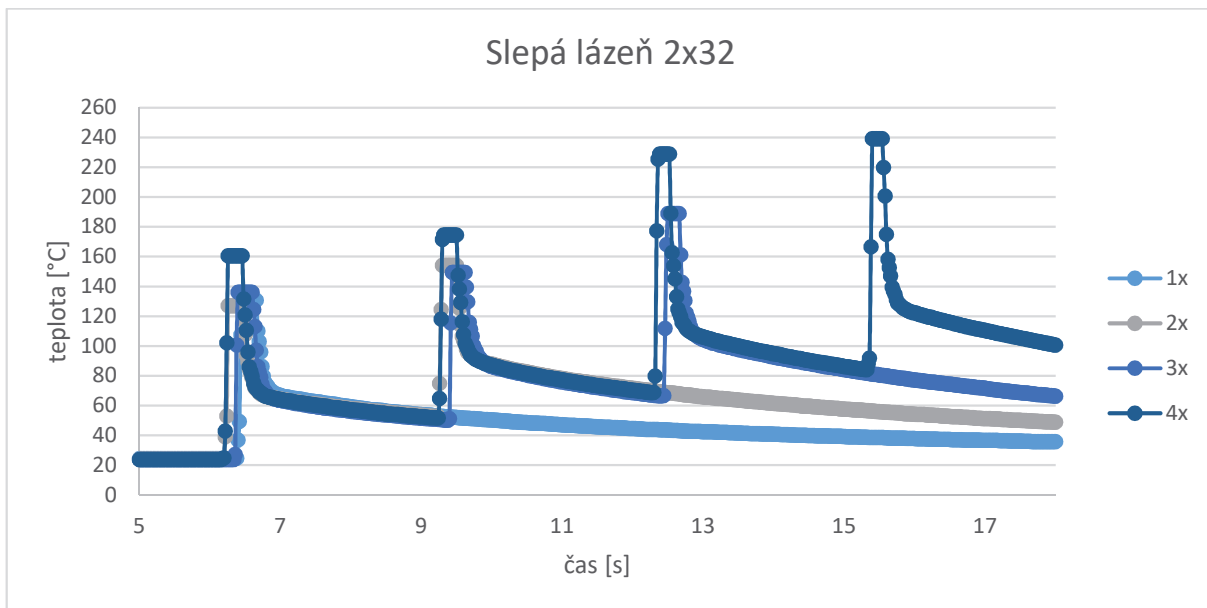
Obrázek 103 - Slepá lázeň, fixní doba značení



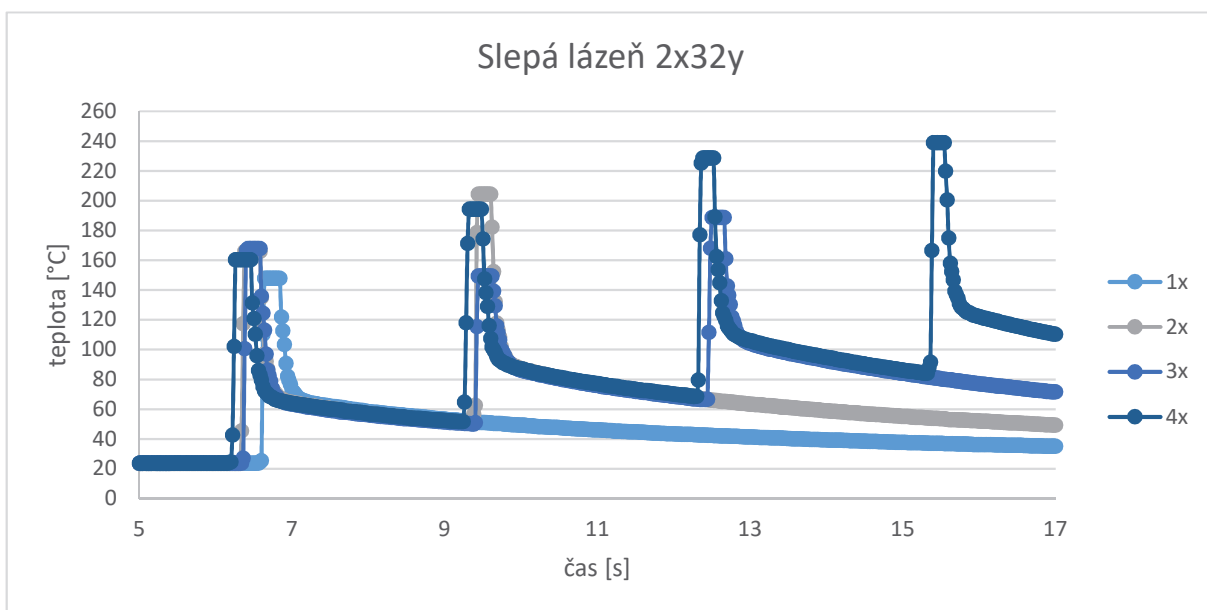
Obrázek 104 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



Obrázek 105 - Slepá lázeň, fixní doba značení



Obrázek 106 - Slepá lázeň, variabilní doba značení



Obrázek 107 - Slepá lázeň, fixní doba značení

Příloha 2

Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti píků

Tabulka 19 - Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti píků - bílé vzorky

variabilní doba značení					fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x		1x	2x	3x	4x
161,8	276,1	260,5	294,1		153,3	271,3	273,7	256,6
	258,6	273,9	308,6			253,1	294,9	272,4
		225,9	329,3				221,1	282,5
			251,1					233,2
184	212,9	168,3	252,8		250,5	227,6	208,6	237,7
	243,1	217,2	255,7			239,9	217,5	244,8
		229,7	261,6				228,8	249,9
			295,9					231,2
181,8	203,9	182	192,9		171,3	203,1	187,2	224,2
	212,3	190,6	204,5			212,3	212,1	228
		235,9	239,3				207,9	258,6
			291,2					221,3
177,3	192,1	182,8	170		187,8	162,7	154,7	206,8
	193,3	191,5	187			216,9	180,2	206,2
		240,2	216,8				205,1	227,9
			258,4					223,8
163,8	162,7	142,3	161,1		195,5	182,9	203	209,2
	166,8	174,4	152,4			193,6	216	166,1
		138	162,7				255,1	258,1
			166,5					245,3
209,9	177,8	183,9	143		156,7	147,7	179,2	165,6
	175,9	163,1	137			197,9	195,8	208,1
		205,7	150,9				255,9	200,6
			163,5					254

Tabulka 20 - Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti píků - vzorky naklocované ve slepé lázni

variabilní doba značení					fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x		1x	2x	3x	4x
170,1	207	217,6	218,7		129,9	214,5	225	229,7
	175,2	228,9	246,6			228,1	252,5	244,1
		175,2	261				217,2	254,9
			209					241,6
157,6	156,6	158,9	137,1		170,8	175,3	148,9	147,7
	159,2	171,1	167,6			231,7	211,4	194,4
		188,1	171,6				221,1	225,4
			179					253,2
139,6	152,7	163,3	171,1		168,3	135,7	143	152,9

variabilní doba značení					fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x		1x	2x	3x	4x
	163,4	149,7	162,7			148,8	145,3	180,8
		167,2	170,4				171,2	186,6
			188,5					192,1
157,1	139,2	179,5	170,6		171,4	153,2	170,4	157,9
	147,7	170,3	219			173,3	165,1	171
		231,6	219,1				183,2	181,1
			268,1					196,3
129,4	128,3	142,3	142,2		148,8	138,2	146,7	148,6
	138,2	170,5	158,1			147,2	150	149,7
		148,8	153,9				190,9	204,8
			197,7					224,5
130,7	127,1	136	160,5		147,9	166,1	167,9	160,5
	154,1	149,4	174,4			204,5	149,4	194,4
		188,8	228,8				188,8	228,8
			239,1					239,1

Tabulka 21 - Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti piků - Ostazinová červeň HBR

variabilní doba značení					fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x		1x	2x	3x	4x
155,8	308	278,6	284,4		143	222,2	229,4	245,6
	207	293,7	256,7			152,1	234,8	262,4
		251,8	294,2				164	286,5
			242,6					180,1
156,1	164,8	146	157,2		147,4	145,8	161,4	160,9
	219,1	178,7	204			160,9	173,9	172,9
		192,6	216,5				189,7	177,4
			281,5					217,3
193	152,5	161,7	197,7		153,6	146,1	163,8	123,6
	162,9	175,8	224,1			158,2	161,5	148,9
		221,7	231,4				159,1	150,4
			285,9					170,3
171,3	164,9	149	166		195,5	136,7	152,9	144,7
	209,1	191,7	205			137,6	138,8	174,6
		201,3	203,5				164,2	173,7
			270,6					197
148,7	139	160,9	149,9		155,7	161,6	139,2	128,9
	153,5	168,2	166			158,9	136,3	138,1
		197,4	192,9				152,4	163,5
			198,2					169,7
147,5	186,8	135,6	138,6		135	153,7	137,1	160,6
	164,1	154,1	147,6			168,5	153,4	175,9
		182,8	191,8				198,4	190,5
			164,2					222,6

Tabulka 22 - Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti piků - Ostazinová žluť H8G

variabilní doba značení				fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
159,8	262,2	244,2	22,2	157,3	263,5	279,1	228,4
	175,5	263,4	268,1		221,1	246,1	237,3
		209,3	282,7			205,9	256,1
			214,1				214,4
158,3	174,2	169,4	165,7	185,9	164,8	203,4	179,2
	186,5	182	181,1		220,4	214,6	189,4
		197,3	236,8			221,7	240,8
			244,5				243,1
189,5	165,5	189,8	184,9	147,4	153,4	192,7	203,1
	165	194,3	159		167,7	198,5	208,8
		179,1	175,1			190,1	216,1
			193,9				218,7
174,7	179,8	192,2	156,7	216	171	153,7	187,8
	187,3	199,4	181,9		179,3	176,7	195,6
		222,3	205,6			200,4	204,4
			215,3				250,8
166,6	165,4	144,8	167,7	120,5	134,6	158,8	162,2
	181,5	153,3	178,7		162,7	161,5	164,5
		152,1	156,1			184,6	196,2
			209,7				195,5
171	156,7	168,2	82,8	181,4	162,1	151,4	179,2
	191,4	186	202,2		177,6	163,7	189,4
		218,9	214,1			179,7	204,5
			224,2				219,4

Tabulka 23 - Průměrné teploty z průběhu ozařování v oblasti piků - Ostazinová modř H-B

variabilní doba značení				fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
119,3	178,3	211,5	197,4	101,3	154,2	198,7	211,7
	144,5	229,3	219,7		111,8	222,9	231,2
		160,6	235			167,6	247,3
			185,5				184,4
117,3	105,6	131,7	107,6	96,8	97	96,8	144,5
	113	152,7	117,3		111,5	166,3	160,4
		168,4	145			142,4	174,8
			162,9				175,9
124	127	140,7	113,7	116,7	111,6	90,7	106,6
	138,3	166,9	133,4		117,3	108,7	133,6
		169,4	167			119,5	151,4
			184				164,6
110,7	123,6	103,9	84,4	98,9	90,5	115,5	108,9
	146,2	119,8	107,9		114,3	131,9	119

variabilní doba značení				fixní doba značení			
1x	2x	3x	4x	1x	2x	3x	4x
		149,7	136,7			161,4	145
			158,5				171,3
104	86,8	107,3	90,4	115,1	119,4	144,1	132,3
	104,3	134	113,3		128	165,7	143,2
		141,1	128,5			171,1	157,1
			149,1				172,9
130,9	97,8	137,4	155,2	134,5	108,8	121,1	125,4
	135,2	151	167,5		133,7	137,4	135,6
		191,5	179,1			162,3	155,7
			229,2				181,6

Příloha 3

Rychlostní konstanty k

Tabulka 24 - Rychlostní konstanty k pro jednotlivé složky RGB - Ostazinová červec HBR

T °C	R	G	B
80	0	2,46	1,13
100	0	9,07	3,69
120	0	26,70	10,28
140	0	46,03	19,89
160	0	73,13	30,90

Tabulka 25 - Rychlostní konstanty k pro jednotlivé složky RGB - Ostazinová žluť H8G

T °C	R	G	B
80	0	0	4,42
100	0	0	9,09
120	0	0	17,49
140	0	0	33,31
160	0	0	46,49

Tabulka 26 - Rychlostní konstanty k pro jednotlivé složky RGB - Ostazinová modř H-B

T °C	R	G	B
80	4,29	3,83	0
100	12,59	11,74	0
120	39,97	31,16	0
140	51,38	48,92	0
160	60,27	57,23	0

Příloha 4

Metoda termofix – porovnání naměřené a predikované barevnosti

Tabulka 27 - Ostazinová červeň H-B porovnání barevnosti naměřené a predikované

T	t	hodnoty barevnosti červeného barviva			predikovaná barevnost červeného barviva		
		R	G	B	R	G	B
80	20	248	235	243	255	240	249
80	40	248	227	241	255	226	243
80	60	248	219	237	255	213	237
80	80	247	209	232	255	200	232
80	100	247	204	231	255	188	226
100	20	248	213	234	255	217	239
100	40	248	164	212	255	184	224
100	60	247	159	207	255	157	210
100	80	248	118	186	255	133	197
100	100	248	105	181	255	113	185
120	20	248	161	211	255	172	218
120	40	247	63	148	255	116	186
120	60	247	46	132	255	78	158
120	80	247	46	129	255	52	135
120	100	247	15	89	255	35	115
140	20	247	69	146	255	106	179
140	40	244	31	96	255	44	125
140	60	244	22	92	255	18	88
140	80	243	18	85	255	8	61
140	100	244	20	92	255	3	43
160	20	244	53	128	255	41	121
160	40	242	14	77	255	7	58
160	60	240	18	83	255	1	27
160	80	241	8	63	255	0	13
160	100	242	17	86	255	0	6

Tabulka 28 - Ostazinová žluť H8G porovnání barevnosti naměřené a predikované

T	t	hodnoty barevnosti žlutého barviva			predikovaná barevnost žlutého barviva		
		R	G	B	R	G	B
80	20	249	250	212	255	255	233
80	40	249	250	201	255	255	213
80	60	250	250	190	255	255	195
80	80	250	250	187	255	255	178
80	100	251	251	168	255	255	162
100	20	250	250	184	255	255	213
100	40	250	250	152	255	255	177
100	60	251	251	135	255	255	148
100	80	251	251	133	255	255	123
100	100	251	251	112	255	255	103
120	20	251	251	136	255	255	181
120	40	251	251	102	255	255	129
120	60	250	250	81	255	255	92
120	80	251	251	71	255	255	65
120	100	252	251	49	255	255	46
140	20	251	250	66	255	255	140
140	40	251	250	61	255	255	76
140	60	251	249	45	255	255	42
140	80	251	250	39	255	255	23
140	100	252	251	24	255	255	13
160	20	251	250	36	255	255	93
160	40	251	247	29	255	255	34
160	60	251	248	22	255	255	12
160	80	252	248	17	255	255	5
160	100	253	249	11	255	255	2

Tabulka 29 - Ostazinová modř HBR porovnání barevnosti naměřené a predikované

T	t	hodnoty barevnosti modrého barviva			predikovaná barevnost modrého barviva		
		R	G	B	R	G	B
80	20	218	223	244	228	232	255
80	40	211	215	242	205	210	255
80	60	196	202	239	183	191	255
80	80	187	193	239	164	174	255
80	100	188	193	239	147	158	255
100	20	194	199	238	200	206	255
100	40	150	155	226	157	166	255
100	60	117	123	216	123	134	255
100	80	97	104	210	97	108	255
100	100	101	107	212	76	87	255
120	20	144	150	224	156	163	255
120	40	47	52	175	95	105	255
120	60	44	48	171	58	67	255
120	80	40	44	170	35	43	255
120	100	40	44	171	22	28	255
140	20	76	82	187	100	108	255
140	40	36	39	154	39	46	255
140	60	31	34	144	15	20	255
140	80	26	29	141	6	8	255
140	100	25	27	148	2	4	255
160	20	49	53	162	47	54	255
160	40	29	32	141	9	11	255
160	60	26	30	136	2	2	255
160	80	31	35	144	0	1	255
160	100	35	39	149	0	0	255

Příloha 5

Fixace barviva laserem – porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem

Tabulka 30 - Fixace barviva laserem – porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem - Ostazinová červeň HBR

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
2x2										
1x	249	207	233	255	248	252	255	207	235	1,55
2x	250	150	208	255	107	182	255	142	202	0,93
3x	247	68	147	255	68	152	255	68	152	1
4x	240	28	83	255	48	132	255	15	85	1,1
2x2y										
1x	249	215	236	255	251	253	255	209	235	1,7
2x	250	177	222	255	225	242	255	185	224	1,2
3x	248	82	167	255	181	222	255	83	164	1,25
4x	242	30	87	255	73	155	255	18	91	1,15
2x4										
1x	248	219	237	255	248	252	255	220	240	1,45
2x	249	169	216	255	210	236	255	172	218	1,15
3x	248	82	165	255	213	237	255	80	161	1,45
4x	243	28	89	255	92	170	255	17	89	1,2
2x4y										
1x	248	215	235	255	249	253	255	210	236	1,6
2x	250	163	212	255	240	248	255	158	210	1,55
3x	247	83	162	255	214	237	255	86	165	1,45
4x	242	33	96	255	169	215	255	22	97	1,42
2x6										
1x	248	223	239	255	237	248	255	212	237	1,2
2x	249	163	209	255	239	248	255	165	214	1,5
3x	247	78	152	255	191	227	255	67	150	1,35
4x	239	30	84	255	78	159	255	13	77	1,2
2x6y										
1x	249	216	236	255	249	252	255	210	236	1,55
2x	248	166	214	255	243	250	255	162	213	1,6
3x	247	75	152	255	224	242	255	74	156	1,6
4x	243	32	104	255	205	233	255	31	109	1,6
2x8										
1x	248	214	235	255	245	251	255	208	235	1,4
2x	249	160	210	255	218	239	255	158	211	1,25
3x	248	75	154	255	205	233	255	79	160	1,4
4x	244	32	105	255	110	182	255	29	107	1,2

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
2x8y										
1x	249	219	239	255	236	247	255	218	239	1,15
2x	249	179	224	255	246	251	255	178	220	1,68
3x	249	94	180	255	229	244	255	97	173	1,6
4x	244	36	111	255	181	222	255	37	117	1,42
2x16										
1x	248	218	238	255	250	253	255	212	237	1,6
2x	249	185	227	255	243	250	255	190	226	1,5
3x	249	121	197	255	214	237	255	120	188	1,35
4x	245	40	118	255	179	220	255	39	120	1,4
2x16y										
1x	249	220	239	255	248	252	255	218	239	1,47
2x	249	179	222	255	238	248	255	182	222	1,4
3x	249	106	188	255	234	246	255	123	190	1,6
4x	247	53	144	255	216	238	255	60	142	1,58
2x32										
1x	249	221	240	255	250	253	255	220	240	1,55
2x	249	191	227	255	231	245	255	190	227	1,25
3x	249	143	207	255	225	242	255	144	203	1,38
4x	248	78	160	255	208	234	255	76	156	1,45
2x32y										
1x	249	221	239	255	251	253	255	220	240	1,68
2x	249	183	223	255	238	248	255	181	222	1,4
3x	249	147	204	255	219	240	255	145	203	1,32
4x	248	87	165	255	179	221	255	86	165	1,25

Tabulka 31 - Fixace barviva laserem – porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem - Ostazinová žluť H8G

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
2x2										
1x	249	248	173	255	255	248	255	255	175	2,40
2x	250	249	112	255	255	226	255	255	119	1,73
3x	251	250	56	255	255	201	255	255	58	1,66
4x	251	247	28	255	255	163	255	255	27	1,55
2x2y										
1x	250	250	181	255	255	249	255	255	182	2,37
2x	251	250	110	255	255	221	255	255	111	1,63
3x	251	249	51	255	255	200	255	255	53	1,67
4x	251	246	28	255	255	181	255	255	28	1,67
2x4										
1x	250	250	178	255	255	249	255	255	178	2,37
2x	249	248	125	255	255	237	255	255	125	2,00

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
3x	251	249	60	255	255	221	255	255	59	1,97
4x	251	247	31	255	255	183	255	255	32	1,67
2x4y										
1x	227	249	249	255	255	245	255	255	209	1,70
2x	250	249	124	255	255	233	255	255	125	1,85
3x	251	250	60	255	255	212	255	255	59	1,80
4x	250	246	35	255	255	191	255	255	37	1,70
2x6										
1x	248	248	174	255	255	245	255	255	177	2,00
2x	250	250	128	255	255	238	255	255	131	2,05
3x	250	250	73	255	255	218	255	255	72	1,85
4x	251	249	44	255	255	203	255	255	44	1,80
2x6y										
1x	250	250	188	255	255	250	255	255	190	2,42
2x	251	250	117	255	255	238	255	255	115	2,18
3x	251	250	61	255	255	218	255	255	60	1,90
4x	251	247	30	255	255	183	255	255	31	1,67
2x8										
1x	250	250	175	255	255	247	255	255	175	2,15
2x	250	249	109	255	255	236	255	255	105	2,05
3x	251	250	51	255	255	211	255	255	50	1,85
4x	252	248	26	255	255	193	255	255	27	1,80
2x8y										
1x	250	249	168	255	255	242	255	255	171	1,80
2x	251	250	99	255	255	238	255	255	103	2,15
3x	252	250	49	255	255	225	255	255	51	2,10
4x	251	248	30	255	255	187	255	255	31	1,70
2x16										
1x	250	250	177	255	255	248	255	255	177	2,25
2x	251	250	131	255	255	238	255	255	130	2,00
3x	251	250	75	255	255	231	255	255	78	2,15
4x	250	249	52	255	255	212	255	255	54	1,85
2x16y										
1x	249	249	192	255	255	251	255	255	196	2,80
2x	251	250	127	255	255	243	255	255	130	2,35
3x	251	250	57	255	255	229	255	255	58	2,22
4x	251	248	35	255	255	209	255	255	36	1,95
2x32										
1x	249	249	178	255	255	248	255	255	180	2,15
2x	250	250	136	255	255	238	255	255	135	1,97
3x	251	250	81	255	255	221	255	255	79	1,85
4x	251	249	41	255	255	197	255	255	43	1,75
2x32y										

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
1x	250	250	180	255	255	246	255	255	178	2,05
2x	250	250	134	255	255	239	255	255	133	2,05
3x	251	250	83	255	255	229	255	255	81	2,05
4x	251	250	59	255	255	202	255	255	60	1,70

Tabulka 32 - Fixace barviva laserem – porovnání naměřené barevnosti, predikované barevnosti a predikované barevnosti s korekčním faktorem - Ostazinová modř HBR

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
2x2										
1x	192	194	234	250	251	255	190	193	255	2,5
2x	146	151	227	239	240	255	148	152	255	1,8
3x	64	67	197	200	204	255	63	67	255	1,55
4x	32	35	136	172	177	255	33	36	255	1,5
2x2y										
1x	191	193	238	252	252	255	190	193	255	3,05
2x	148	152	231	245	246	255	146	150	255	2,15
3x	68	71	203	207	210	255	67	70	255	1,59
4x	32	34	143	158	164	255	31	33	255	1,44
2x4										
1x	188	191	236	251	251	255	190	193	255	2,55
2x	144	147	227	244	246	255	144	150	255	2,35
3x	68	71	201	222	225	255	69	74	255	1,85
4x	34	36	140	205	210	255	33	37	255	1,82
2x4y										
1x	194	197	239	251	252	255	196	199	255	2,92
2x	144	147	227	245	247	255	144	150	255	2,42
3x	64	66	197	230	233	255	64	69	255	2,1
4x	32	36	141	196	201	255	32	36	255	1,71
2x6										
1x	205	209	240	251	251	255	206	209	255	2,25
2x	154	160	234	244	246	255	157	162	255	2,1
3x	66	71	199	219	223	255	67	72	255	1,8
4x	31	34	130	190	196	255	31	34	255	1,68
2x6y										
1x	203	207	239	250	251	255	204	207	255	2,32
2x	153	159	233	246	247	255	153	158	255	2,35
3x	95	101	220	240	242	255	96	103	255	2,35
4x	38	42	139	205	210	255	38	43	255	1,79
2x8										
1x	194	199	239	250	251	255	196	199	255	2,52
2x	149	156	234	240	242	255	151	156	255	1,95
3x	90	98	219	234	237	255	91	97	255	2,07

	naměřené			predikované			predikované			korekce
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
4x	38	39	137	213	217	255	36	41	255	1,92
2x8y										
1x	196	197	238	251	251	255	195	199	255	2,8
2x	149	151	231	247	248	255	151	156	255	2,55
3x	82	84	214	227	230	255	78	84	255	1,92
4x	42	43	169	211	216	255	42	46	255	1,85
2x16										
1x	199	201	238	250	251	255	201	204	255	2,6
2x	154	158	228	246	247	255	153	159	255	2,45
3x	96	99	215	232	234	255	96	102	255	2
4x	44	46	169	216	220	255	44	49	255	1,95
2x16y										
1x	190	191	238	251	251	255	187	190	255	2,6
2x	146	148	233	242	244	255	145	151	255	2,13
3x	56	56	198	218	221	255	55	60	255	1,85
4x	28	28	139	202	207	255	28	31	255	1,83
2x32										
1x	180	182	237	249	250	255	175	178	255	2,38
2x	135	136	229	243	244	255	136	142	255	2,25
3x	91	91	219	223	226	255	88	92	255	1,77
4x	41	41	173	190	195	255	38	42	255	1,62
2x32y										
1x	192	194	235	250	250	255	194	197	255	2,15
2x	148	151	228	243	244	255	150	155	255	2,15
3x	75	78	207	228	231	255	75	81	255	1,98
4x	41	43	168	208	212	255	41	46	255	1,82