

Technologie laserového popisování polymerních materiálů

Roman Školný

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman ŠKOLNÝ**
Osobní číslo: **T090029**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Technologie laserového popisování polymerních materiálů**

Zásady pro vypracování:

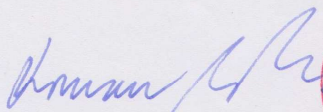
1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Zpracujte metodickou příručku pro práci na laserovém zařízení za účelem využívání studenty ve výuce
3. Vypracujte návrhy pro aplikační možnosti daného zařízení



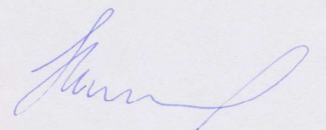
Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: KROČNÝ ROMAN

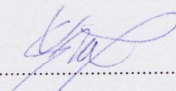
Obor: TZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2013


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávajíc zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání řezných parametrů laserového popisování u polymerních a přírodních materiálů (koženek a usní). V teoretické části jsou popsány druhy laserů a jejich princip, technologie mikro-obrábění a laserového popisování.

V praktické části je popsána metodika práce na laseru ILS 3NM, technologie výroby vzorků. V poslední části byly zpracovány výsledky laserového popisování a jejich vizuální vyhodnocení.

Klíčová slova: laser, gravírování, popisování, řezné podmínky, useň, koženka

ABSTRACT

The aim of this work was to compare the laser cutting parameters Description-ing with polymeric and natural materials (artificial leather and leather). The theoretical part POPS-ny types of lasers and their principles, technology, micro-machining and laser marking.

The practical part describes the methodology of work on laser ILS 3NM, technology samples. The last part of the results obtained by laser marking and visual evaluation.

Keywords: laser engraving, marking, cutting conditions, leather, leatherette

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za vedení, cenné rady a také za uskutečnění experimentálního obrábění. Také chci poděkovat Ing. Janě Knedlové za pomoc při experimentálním obrábění.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 LASER.....	12
1.1 POPIS HLAVNÍCH ČÁSTÍ LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ.....	14
1.2 TYPY LASERŮ.....	15
1.2.1 Plynové lasery.....	16
1.2.2 CO2 lasery.....	16
1.2.3 Pevnolátkové lasery.....	18
1.2.4 Rubínové lasery.....	18
1.2.5 Polovodičový laser.....	19
2 LASEROVÉ POPISOVÁNÍ	20
2.1 VÝHODY A NEVÝHODY LASEROVÉHO POPISU.....	21
2.2 ZNAČENÍ LASEREM.....	22
2.3 VZNIK POPISU NA POVRCHU MATERIÁLU.....	23
2.4 NĚKTERÉ PŘÍKLADY POUŽITÍ LASEROVÉHO ZNAČENÍ.....	24
3 GRAVÍROVÁNÍ LASEREM.....	25
4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	26
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ A MATERIÁLY.....	28
5.1 ZAŘÍZENÍ.....	28
5.1.1 Popis laseru ILS 3NM.....	28
5.1.2 Kamera ProScopeHR.....	33
6 POUŽITÉ MATERIÁLY.....	35
6.1 KOŽENKY.....	35
6.2 KŮŽE A USNĚ, PERGAMEN.....	36
6.2.1 Postup výroby usní.....	36

6.2.2 Pergamen.....	38
7 EXPERIMENTÁLNÍ POPIS.....	39
7.1 METODIKA PRÁCE V PROGRAMU CORELDRAW	39
7.2 POROVNÁNÍ ŘEZNÝCH PARAMETRŮ	41
7.3 VZORKY.....	43
7.3.1 Koženky	43
7.3.2 Usně	49
7.3.3 Pergamen.....	60
7.3.4 Papír	62
7.3.5 Hovězí kost	64
8 ZÁVĚR	65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

Laser se používá přes 50 let a stal se tak součástí lidstva. Používá se v mnoha vědních oborech, i v běžných lidských činnostech. Laser se uplatňuje v průmyslu – svařování, řezání, mikro-obrábění. Využívá se též v medicíně, telekomunikacích, v tiskárnách i tam, kde se něco měří a dávkuje. Jednou z možných aplikací v oblasti mikro-obrábění je popisování, kterým se budeme zabývat v této bakalářské práci. Hlavní výhody laserového popisování jsou přesnost, rychlost, ekologičnost, produktivnost a efektivnost. Má velký potenciál, který ovlivní naši budoucnost. Bakalářská práce se bude věnovat popisu polymerních a přírodních materiálů a jejich srovnáním.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LASER

Slovo **LASER** je zkratkou anglických slov *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, což lze přeložit jako *zesílení paprsků světla pomocí vynucené emise záření*. Obrábění laserem (**LBM – Laser Beam Machining**) je jedna z mnoha průmyslových aplikací laserového paprsku. První popis teoretických základů vynucené emise záření podal již v roce 1917 *Albert Einstein*. Začátky kvantové elektroniky však byly položeny až na počátku 20. století, kdy byla realizována zařízení generující a zesilující elektromagnetické záření na principu stimulované emise záření.

V roce 1958 *C. H. Townes* a *A. L. Shawlow* navrhli první laser, v roce 1960 zkonstruoval první rubínový laser *T. H. Maiman*. Poté došlo k realizaci dalších zařízení. V roce 1961 začal intenzivní vývoj dalších typů laserů s rozvojem laserové technologie. V téže roce *Snitzer* poprvé použil pevnolátkový laser na bázi neodym (Nd) – sklo. V roce 1962 byl objeven polovodičový laser. S plynovým CO₂ laserem, který má v současné průmyslové výrobě nejširší uplatnění, poprvé experimentoval roku 1964 *C. H. Patel*. První krůčky kapalínového laseru byly uskutečněny v roce 1966.

První praktické využití laseru pro vrtání otvorů do diamantových kalibrů (konkrétně se jednalo o rubínový laser) se datuje na rok 1966. Od roku 1971 pak dochází k enormnímu rozvoji laserové technologie, v současné době je laser široce využíván v různých odvětvích, např.:

- průmyslové aplikace (řezání, vrtání, svařování, kalení, legování, nanášení povlaků, tváření, obrábění, tepelné zpracování povrchů) pro opracování materiálů jako kompozity, plasty, keramika, sklo, diamant, obtížně obrobitelné oceli.

- lidská medicína („laserový skalpel“),
- přehrávače CD, DVD,
- metrologické systémy,
- nedestruktivní testovací metody,
- informační a telekomunikační technologie (přenos a uchovávání informací),
- astronomie,
- geodézie,

- chemie,
- biologie,
- spektroskopie,
- energetika,
- vojenská technika,
- automatizace,
- dálkové řízení.

[1,2,3]

LASER, nebo-li zesílení paprsků světla pomocí vynucené emise záření, je ve své podstatě generátor elektromagnetického záření v optické oblasti vlnových délek. Vynucené záření vzniká potlačením spontánního záření, kdy se vybuzený atom prvku vrací do základního stavu vlivem energie přijaté dopadem záření.

Spontánní emise záření vzniká ve chvíli, kdy vybuzené atomy s energetickou hladinou E_2 mají tendenci zaujmout hladinu s nižší energií E_1 a při tom emitují kvantum světelného záření o frekvenci f a s energií, která je dána vztahem:

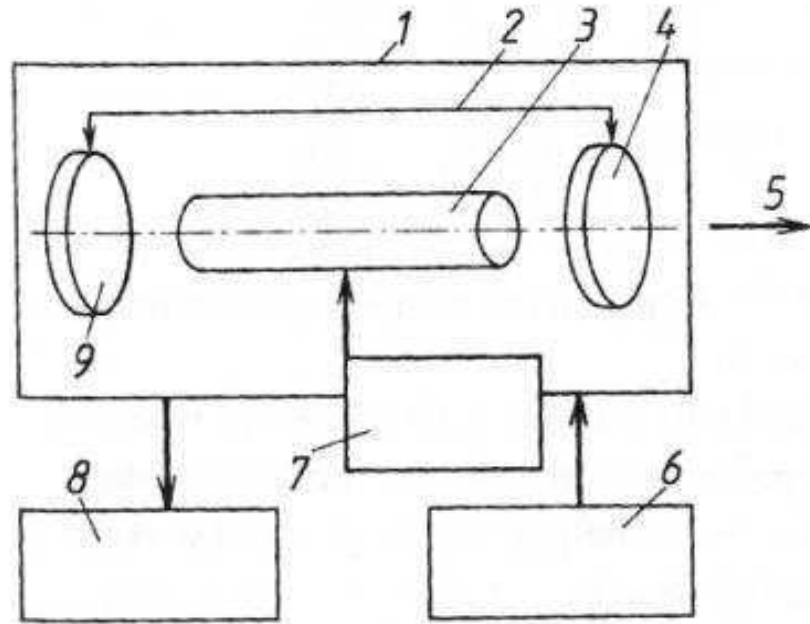
$$h \cdot f = E_2 - E_1 \quad [1]$$

kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Planckova konstanta

Další příjem energie vyvolá vyzáření atomem přijaté energie do prostoru. Toto záření je vysoce monochromatické (má prakticky jedinou vlnovou délku), koherentní (fotony se v paprsku pohybují jedním směrem, kmitají se stejnou fází v rovině kolmé na směr šíření paprsku a v jeho průřezu jsou velmi pravidelně rozmístěny) a vyniká nízkou divergencí (rozbíhavostí) svazku (všechny fotony laserového záření se pohybují stejným směrem). Ze všech druhů záření těmito vlastnostmi vyniká právě jen laserové. [2,4]

Vlastnosti laserového paprsku umožňují jeho fokusací soustředit vysokou hustotu energie do místa dopadu paprsku a tím dosáhnout požadovaného natavení či odpaření obráběného materiálu. [2]

1.1 Popis hlavních částí laserového zařízení



Obr. 1 Schéma laserového zařízení [4]

- 1 – laserová hlavice
- 2 – optický rezonátor
- 3 – laserové médium
- 4 – polopropustné zrcadlo
- 5 – výstup paprsku
- 6 – zdroj energie buzení
- 7 – budicí zařízení
- 8 – chladicí systém
- 9 – nepropustné zrcadlo

• **Laserová hlavice** – obsahuje laserové médium, rezonátor, polopropustné a nepropustné zrcadlo.

• **Optický rezonátor** – neustále vrací část stimulované emise záření do laserové dutiny. Jedná se o optický systém, který umožňuje zformovat a zesílit záření, tj. elektromagnetickou vlnu z něj vycházející. Je tvořen nejméně dvěma zrcadly, jeho konstrukce má zásadní vliv na vlastnosti paprsku.

- **Zdroj energie buzení** – jedná se o speciální druh síťového napáječe.
- **Budicí zařízení** – ovlivňuje pracovní režim laseru, způsob buzení je dán laserovým médiem. Plynné médium je buzeno téměř vždy elektrickým výbojem, stejnosměrným nebo střídavým proudem. Pevné laserové médium je nejčastěji buzeno lampami (výbojkami) nebo diodami, ve zvláštních případech i zářením jiného laseru (např. polovodičového).
- **Chladicí systém** – odvádí tepelnou energii jako nevyužitou energii, která se nepřemění v záření. Nejčastěji používaným druhem chlazení pro zpracování materiálů je chlazení vodou. Chladicí okruh má dvě větve: vnitřní (používá se deionizovaná voda) a vnější (voda z vodovodní sítě nebo ze speciálního zásobníku s čerpadlem). Ve speciálních případech se používají také zařízení s vnitřním okruhem chlazeným vzduchem. [2,4]

1.2 Typy laserů

Jak již bylo napsáno v úvodu, možnosti použití laserů jsou v současné době široké, rozmanité a zajímavé. Ve strojírenské výrobě jsou používány především lasery plynové a pevnolátkové.

Druh laseru	Aktivní látka		Vlnová délka [μm]	Typ paprsku	Výkon laseru	Oblasti použití
PEVNÝ	Rubin	Cr ³⁺	0,6943	pulsní	5 W	Holografie
	Nd - YAG	Nd ³⁺	1,064	kontinuální pulsní	100 až 1 200 W	Strojírenský průmysl
	Nd - sklo	Nd ³⁺	1,064	pulsní	2 mW	
	alexandrit		0,7 až 0,818	pulsní	10 W	
POLOVODIČOVÝ	GaAs		0,80 až 0,90	pulsní	2 až 10 mW	Informační technologie Optoelektronika
PLYNOVÝ	CO ₂ (N ₂ + He)	CO ₂	10,6	kontinuální nebo pulsní	500 až 20 000 W	Strojírenský průmysl
	He - Ne	Ne	0,6328; 1,15; 3,39	kontinuální	20 mW	Metrologie Geodézie Holografie

Obr. 2 Rozdělení laserů [2]

	Ar	Ar ⁺	0,4764; 0,488; 0,5145	kontinuální nebo pulsní	1 až 5 000 W	Laserová chirurgie
	Excimer (ArCl)		0,17	pulsní	20 až 250 W	Fotolitografie Laserová chirurgie Strojařství
	(XeCl)		0,308			
	(XeF)		0,351			
	(KrF)		0,248			
KAPALINOVÝ	Barvivo Rhodamine 6	Etanol, metanol	0,34 až 1, 175	pulsní	100 W	Fotochemie Spektroskopie

PRIMÁRNÍ TVAROVÁNÍ	TVÁŘENÍ	ŘEZÁNÍ	SPOJOVÁNÍ	POVLAKOVÁNÍ	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ
Stereo- litografie	Tváření laserovým ohřevem (ohýbání)	Řezání: sublimační, tavné, s aktivním plynem	Svařování	Povrchové legování	Kalení
Spékání		Vrtání	Pájení	Plazma CVD	Žihání
		Gravírování			Zpevňování
		LAM (Laser Assisted Machining)			
		Označování			

Obr. 3 Klasifikace laserových technologických operací [2]

1.2.1 Plynové lasery

Aktivní prostředí plynových laserů je v plynné fázi. Tato zařízení jsou schopna pracovat v kontinuálním i pulsním režimu. Plynové lasery je možné budít elektrickým výbojem, chemickou reakcí, fotodisociací, rychlou expanzí plynu, průchodem svazku rychlých elektronů nebo opticky. Konkrétně se jedná o měděné lasery, vodíkové lasery, helium-kadmiové lasery, helium-neonové lasery, jódové lasery, argonové lasery, dusíkové lasery, excimerové lasery.

1.2.2 CO₂ lasery

Co se týká technologie opracování materiálů, používají především CO₂ lasery pro řezání a svařování, popisování, mikroobrábění keramických materiálů, obrábění diamantu, čištění povrchů strojních součástí i uměleckých děl a vrtání děr průměru 10 μm a více. [4]

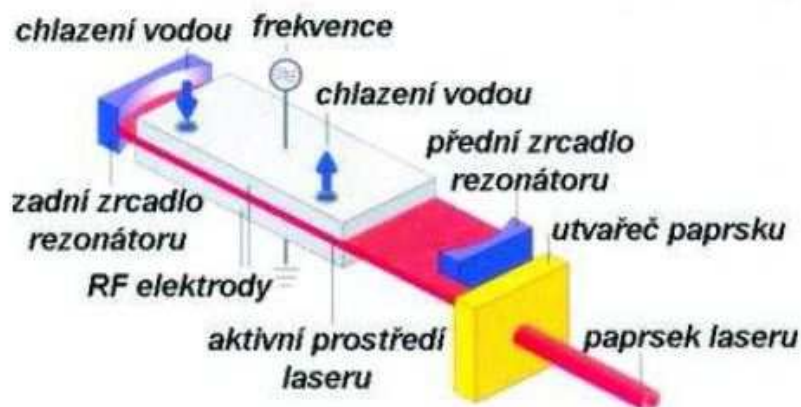
CO₂ lasery jsou nejpoužívanější laserová zařízení pro řezání a svařování a to především díky svým výkonovým možnostem. Současné CO₂ lasery jsou schopny pracovat v pulsním i kontinuálním režimu. Z hlediska konstrukčního uspořádání se vyrábějí lasery s axiální a příčnou excitací aktivního prostředí. [4,6]

CO₂ laserová zařízení mohou dosahovat výkonu až 20 kW, běžně používané výkony se však pohybují mezi 500 až 5 000 W. Obecně jsou CO₂ lasery spínány elektronickým spínačem tak, že délka pulzů je v rozmezí od 0,1 ms do kontinuálního provozu (CW). Špičkový výkon pulzu u CO₂ laserů je normálně stejný jako maximální CW výkon, tzn. že průměrný výkon se při pulsaci snižuje. Výjimku tvoří zařízení, jež dokážou při pulsním provozu dosáhnout maximálního výkonu pulsu až 5krát vyššího, než je výkon v kontinuálním režimu CW. Těto vlastnosti se říká superpulse.

CO₂ lasery jsou používány k řezání, svařování, vrtání, popisování součástí, nanášení povlaků a tepelnému zpracování. [4]

Princip CO₂ laseru

CO₂ laser využívá ke vzniku stimulované emise záření kvantově energetické pochody související s oscilací molekul CO₂ a N₂. Aktivním prostředím jsou molekuly oxidu uhličitého. Buzení je prováděno elektrickým výbojem, který zapaluje směs plynů CO₂, N₂ a He a někdy i dalších přídatných plynů. Rezonátor CO₂ laseru emituje záření o vlnové délce 10,6 μm. CO₂ lasery existují v několika konstrukčních variantách rezonátorů, systému proudění plynu a elektrického výboje. [4]



Obr. 4 Princip CO₂ laseru [4]

Druh laserů	Aktivní látka		Vlnová délka [μm]	Typ paprsku	Výkon laseru	Oblasti použití
PEVNÝ	Rubín	Cr ³⁺	0,6943	pulsní	5 W	Holografie
	Nd - YAG	Nd ³⁺	1,064	kontinuální pulsní	100 až 1 200 W	Strojírenský průmysl
	Nd - sklo	Nd ³⁺	1,064	pulsní	2 mW	
	alexandrit		0,7 až 0,818	pulsní	10 W	
POLOVODIČOVÝ	GaAs		0,80 až 0,90	pulsní	2 až 10 mW	Informační technologie Optoelektronika
PLYNOVÝ	CO ₂ (N ₂ + He)	CO ₂	10,6	kontinuální nebo pulsní	500 až 20 000 W	Strojírenský průmysl
	He - Ne	Ne	0,6328; 1,15; 3,39	kontinuální	20 mW	Metrologie Geodézie Holografie

Obr. 5 Druhy laserů [6]

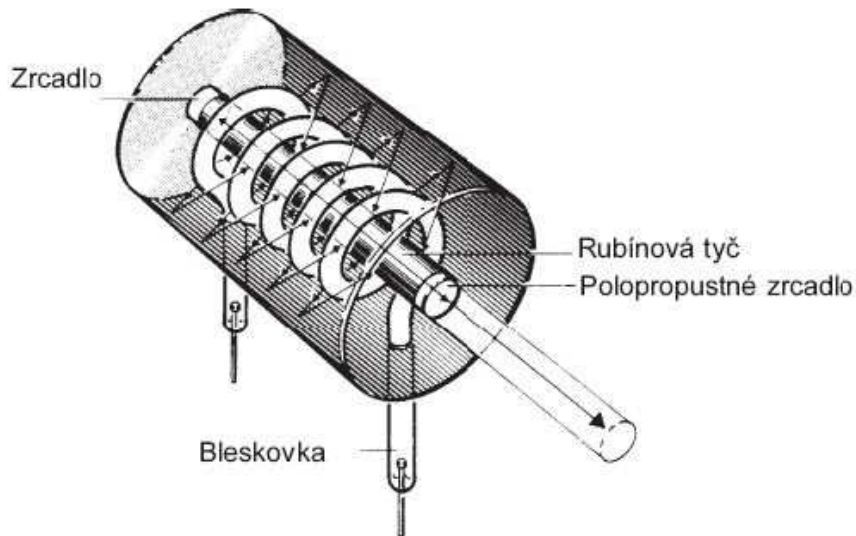
1.2.3 Pevnolátkové lasery

Obecně lze do této skupiny laserů zařadit všechna laserová zařízení, jejichž aktivní prostředí se nachází v pevném stavu. Tato látka zpravidla obsahuje ionty vzácných zemin popřípadě další prvky, kterými je poměrně malým podílem obohacena krystalová mřížka či amorfní matrice (sklo, keramika) nosného materiálu. Zdrojem stimulovaného záření jsou zde zmíněné aktivní ionty, přes jejichž absorpční pásy se obsazují příslušné energetické hladiny, mezi kterými dochází k inverzi. Z velkého množství existujících aktivních prostředí jmenujme ty, které mají význam pro technologické využití, tedy především rubínový laser a Nd – YAG laser. [6]

1.2.4 Rubínové lasery

Aktivní prostředí rubínového laseru tvoří safír dotovaný chromem – rubín, čili Al₂O₃ aktivovaný ionty Cr³⁺. Podíl Cr₂O₃ v Al₂O₃ tvoří přibližně 0,05% váhového množství. Rubínový laser má tři hladiny, k dosažení inverzního stavu je nutné přečerpat alespoň polovinu iontů Cr³⁺ ze základního stavu na stav excitovaný. Takový úkon vyžaduje značnou energii, jejíž čerpání je prováděno absorpcí světelné energie z čerpacích výbojek. Rubín se vybrousí do tvaru válečku s osou rovnoběžnou nebo kolmou na optickou

osu krystalu. Váleček bývá dlouhý 5 až 10 cm a jeho průměr se pohybuje v mezích 6 až 10 mm. Účinnost tohoto laseru závisí na tom, jak se podaří soustředit čerpací záření do aktivního prostředí. Systém s rubínem v ose šroubovicové výbojky je velmi málo účinný, neboť jeho prahová budící energie je poměrně velmi vysoká, až 103 J. Lepší účinností lze dosáhnout, umístí-li se rubín a výbojka do ohniskových os válce s eliptickým průřezem. [6]



Obr. 6 Konstrukce rubínového laseru [6]

1.2.5 Polovodičový laser

Polovodičové lasery jsou poměrně rozšířeným typem laseru. Vyznačují se vysokou účinností, běžně až 50%. Pracují jak v kontinuálním, tak pulzním režimu a mohou dosahovat relativně vysokých výstupních výkonů při velmi kompaktním uspořádání.

Polovodičový laser je tvořen v podstatě přechodem p-n miniaturního krystalu GaAs (gallium arsenid). Po vzniku prvního diodového laseru GaAs bylo postupně vytvořeno velké množství polovodičových laserů, pracujících na přechodech p-n. [6]

2 LASEROVÉ POPISOVÁNÍ

V poslední době se značení a gravírování stalo jednou z nejrozšířenějších laserových aplikací jak v průmyslu, tak i v oblasti reklamy, výroby dárkových předmětů a dokonce i umění. Popisování pomocí laserové technologie představuje dokonalé propracování popisovaného nápisu či grafiky jak po technické, tak i po estetické stránce. Oproti jiným metodám laserové značení vyniká trvanlivostí naneseného nápisu či grafického motivu, flexibilitou, vysokou rychlostí popisu a nízkými provozními náklady. Navíc se jedná o nekontaktní způsob značení. Také se popisování používá u vstřikovacích, odlévacích a lisovacích forem, které se používají v plastikářském, gumárenském a hutním průmyslu. Laserové značení se používá ke značení finálních výrobků nebo dílu. Popisovacím prostředkem je světelný paprsek, který vytváří na povrchu materiálu s vysokou přesností stálý, velmi kontrastní a mechanicky odolný popis. Popis probíhá bez přímého kontaktu s materiálem, nedochází k mechanické deformaci, ani k znečištění povrchu popisovaného materiálu. Vynikající grafická kvalita vyplývá z mimořádně přesného a jemného zpracování písmen, znaku a grafických předloh. [8]

Popisovat se dají plochy rovinné i válcové, po kružnici či jinak zakřivené, popisovat lze i na nepřístupných místech. Laserové značení má velkou trvanlivost a je nesmazatelné. Výhodou je rychlost, vysoká produktivita a nízká cena popisu. Flexibilita laserových strojů umožňuje nanášení jak alfanumerických kódů, například sériových čísel, čárových kódů, tak i vektorové grafiky nebo rastrových obrázků. Ve speciálních aplikacích, ku příkladu při precizním značení či rytí kovu, nejčastěji ve zlatnictví. Laserový svazek vedou dvě galvanometrická zrcadla a je přenesen optickou soustavou na popisovaný výrobek. Zrcadla se pohybují ve 2D prostoru, to znamená, že mění svou polohu v ose x a y . Tímto způsobem dochází k laserovému popisu. Laserové popisování můžeme tedy chápat jako psaní perem. Požadovaný symbol popisu se vytváří v programech jako jsou CAD, CAM apod. [8]



Obr. 7 Ukázka popisování eloxovaného hliníku [8]

2.1 Výhody a nevýhody laserového popisu

- vytváří trvalé popisy s neomezenou trvanlivostí
- umožňuje výjimečně výrazné kvalitní značky
- popisuje množství různých materiálů včetně plastických hmot, kompozitu, keramiky, pryže, kovu a slitin
- píše přímo na výrobek, a tak odstraňuje náklady na nálepky a zjednodušuje výrobní proces
- popisuje nepravidelné nebo zakřivené povrchy
- automatické razení dat umožňuje trvalou identifikaci výrobku a jeho sledovatelnost
- velmi malá písmena popisu vytvářejí čitelné značky i drobného tisku
- je to bezkontaktní metoda, která minimalizuje napětí v materiálu
- pracuje vysokou rychlostí a snižuje výrobní náklady
- snadno vytváří složitou grafiku i texty
- podporuje popis čárových kódů a jiných symbolů
- je to čistý a bezpečný postup, který nevyžaduje použití kyseliny, inkoustu, rozpouštědla
- nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady laserů

- ne všechny materiály můžou být popsány v požadované kvalitě [6]

Laser vytváří na povrchu materiálu s vysokou přesností stálý, mechanicky odolný, velmi kontrastní a jinak nenapodobitelný popis. Vše probíhá v jediné krátké operaci bez použití chemických přísad a inkoustů nebo mechanických zásahů do struktury materiálu. Výška znaků je obvykle zlomky až jednotky milimetrů, tloušťka odpařené vrstvy materiálu je v řádu mikrometrů. Laserem je možné označovat všechny materiály, jako kalené i nekalené oceli a litiny, titan, mosaz, bronz, hliník a jeho slitiny, slinutý karbid, zlato, keramiku, drahé kameny, plasty, dřevo, sklo, gumu, papír, kůži atd. Popisovaný povrch může být broušený, pískovaný, lakovaný, černěný, smaltovaný, opatřený povlakem chromu, zinku, titankarbidu, titannitridu, keramickým povlakem apod. Laserem lze popisovat rovinné, válcové i jinak zakřivené plochy, a to i na málo přístupných místech. [5]

2.2 Značení laserem

Můžeme říct, že se jedná o relativně novou technologii, která si ovšem velice rychle našla své místo na trhu. Výhodou značení laserem je možnost aplikace na běžně používané materiály, ve většině případů bez nutnosti použití speciálních přísad. Laser na povrchu materiálu vytváří popis, který je stálý, mechanicky odolný, kontrastní a jinak nenapodobitelný a to všechno s vysokou přesností. [9]

Popis vzniká v jednom kroku přímým působením laserového záření na povrch materiálu. Nevyžaduje se použití pigmentů či inkoustů oproti klasickým technologiím. Z těchto důvodů lze technologii laserového značení velmi jednoduše implementovat do výrobního procesu. Velkého rozmachu v popisovacích technologiích laserového charakteru dosahují oproti dříve používaným Nd:YAG a CO₂ laserům lasery vláknové. “Fibre“ neboli vláknové lasery jsou oproti dříve používaným Nd:YAG a CO₂ laserům výhodnější hned z několika důvodů:

- Mohou pracovat v kontinuálním i pulzním režimu.
- Dobu pulzu v pulzním režimu lze měnit v širokém rozsahu 1 - 200 ns.
- Frekvenci pulzů lze měnit také v širokém rozsahu od 1 do 500 kHz.
- Vysoký špičkový výkon v pulzu – desítky kW.
- Vysoká energetická účinnost až 25 %.
- Vlákno, ve kterém je emitováno laserové záření je chlazeno vzduchem.

- Výstupní svazek je velmi kvalitní (rozbíhavost řádově 1-2 mrad) a lze jej proto dobře zaostřit až na průměr 1 μm .
- Tyto lasery nevyžadují údržbu a udávaná životnost je 100 000 hod.
- Díky energetické nenáročnosti, bezúdržbovému fungování a dlouhé životnosti přinášejí vláknové lasery i nejnižší provozní náklady. [9]

2.3 Vznik popisu na povrchu materiálu

Překrytím jednotlivých pulzů laseru lze vytvořit linie, kterými je tvořen popis. Změnou rychlosti a frekvence se může překrytí jednotlivých pulzů měnit a dosáhnout tak různých linií. Jestliže se použije překrytí bodů menší než 5 %, bude vytvořen výsledný popis s nízkým rozlišením a okraje budou vroubkované. Pokud bude překrytí bodů větší než 65 %, pak bude výsledný popis vytvořen s vysokým rozlišením a okraje budou hladké.

Výsledný popis lze vytvářet s různým rozlišením dle požadavků na rychlost jeho tvorby a kvalitu popisu. Popis může být vytvářen na rovinné, válcové i zakřivené ploše. Lze také popisovat na povrch materiálu, který je: broušený, pískovaný, smaltovaný, lakovaný, černěný, opatřen povlakem chromu, zinku, titankarbidu, titannitridu, keramickým povlakem apod. [9]



Obr. 8 Ukázka popisování různých povrchů [9]

2.4 Některé příklady použití laserového značení

- Kovy

Popis předmětů z oceli (řezné kotouče, pily, měřítko) – vhodným nastavením parametrů (rychlosti značení a frekvence pulzů) lze dosáhnout popisu ve stupních šedi i některých barevných odstínů.

- Plasty

Popis obalových materiálů (čárové kódy, trubky PVC, ABS) – laserový popis výborně splňuje požadavek na trvanlivost a mechanickou odolnost.

- Polovodiče

Využívá se při výrobě tenkovrstvých solárních článků – řezání křemíkových desek, rozdělení desky na pole článků, vrtání, tvorba vnitřních kontaktů, laserové pájení - systém přívodů k jednotlivým článkům, rozdělení panelu na jednotlivé články vytváření systému nevodivých cest. Tato technologie postupně vytlačuje klasické výrobní postupy používané při výrobě solárních článků. Její výhodou je především rychlost a přesnost. Zapojení této technologie do většiny operací výrobu podstatně zjednodušuje. Solární články, tak lze vyrobit s nižšími energetickými i ekonomickými náklady.

- Sklo

Sklo je obecně pro laserové technologie docela problematický materiál. A to kvůli jeho malé absorpci záření. Avšak tento problém lze vyřešit několika způsoby:

Značení pomocí napaření tenké kovové vrstvy na sklo – laserový svazek projde značeným sklem, na jehož druhé straně je přiložená kovová vrstva, ve které se absorbuje energie laserového záření. Nebo pomocí navázání chemických směsí na povrch skla - tyto směsi obsahují pigmenty (oxidy kovů), dále látku absorbující na vlnové délce laseru a skleněná zrna. Směs je nanášena na značený povrch např. pomocí spreje, laserové záření je absorbováno ve složce směsi absorbující laserové záření, dojde k tavení částic skla a vytvoření vazeb mezi nimi a substrátem. [9]

3 GRAVÍROVÁNÍ LASEREM

Gravírování je proces podobný značení, s tím rozdílem, že při opakovaném úběru dosáhneme větších hloubek řádově v mm. Standardní hloubka gravírování se pohybuje mezi 0,0125 mm až 0,1500 mm. Umožňuje vytváření jednoduchých i velmi složitých a přesných reliéfů pomocí odpařování materiálu v místě působení paprsku. Ke gravírování se využívají jak Nd:YAG, tak i CO₂ lasery. Nd:YAG lasery se používají pro gravitování kovových materiálů, plastů a keramiky. CO₂ lasery se používají pro organické; materiály např.: dřevo, guma, papír, sklo.

Ve strojním průmyslu se tato technologie uplatňuje především pro tvorbu reliéfů do forem z kalených ocelí určených ke vstřikování plastů. Dále k vytvoření popisů do zápus-tek, vygravírování datamatrix kódů do desek plošných spojů, značení nástrojů, popisu měřidel a v dalších procesech. Gravírování může být v rovině, v několika různých hloubkách nebo lze vytvářet prostorové reliéfy. [9]



Obr. 9 Gravírovat lze i rotační předměty [9]

4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Vzhledem k zadání a obsahu teoretické části se bude praktická část této práce zabývat:

1. Volbou materiálu a jeho popisem
2. Experimentálním obráběním vzorků
3. Vyhodnocením popisování vzorků

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ A MATERIÁLY

5.1 Zařízení

5.1.1 Popis laseru ILS 3NM

Laserový systém ILS 3 NM je zařízení vhodné pro gravírování a řezání organických materiálů jako je dřevo, akryl, kov, sklo, guma, kůže, mramor / kámen, tkaniny, vinylové, laminované plasty a plastové fólie. Kompaktní design tohoto laserového pracoviště představuje ideální volbu pro aplikace, kde se vyžaduje kvalitní značení. ILS 3 NM se připojuje stejně jednoduše jako laserová tiskárna (USB, paralelní port, LAN), je plně kompatibilní s Microsoft Windows. Zdrojem laserového záření je CO₂. Splňuje podmínky pro zařazení do třídy bezpečnosti 1. Rozměr pracovní plochy je 660 mm x 495 mm (formát A3-A0). Laser ILS 3NM zvládne malé i velké množství jakékoliv Windows grafiky jako je obraz, logo nebo text. To vše převede na již výše zmiňované druhy materiálů. Může tedy fungovat jako značení na různé dárkové předměty, štítky na trofejích, suvenýry, těsnění a další položky. Na trhu se objevuje toto zařízení ve třech výkonových variantách (30W, 60W a 100W). V našem případě stanovují řezné podmínky na laseru ILS 3NM o výkonu 100W. [10]



Obr. 10 Laser ILS 3NM [10]



Obr. 11 Školní laser ILS 3NM



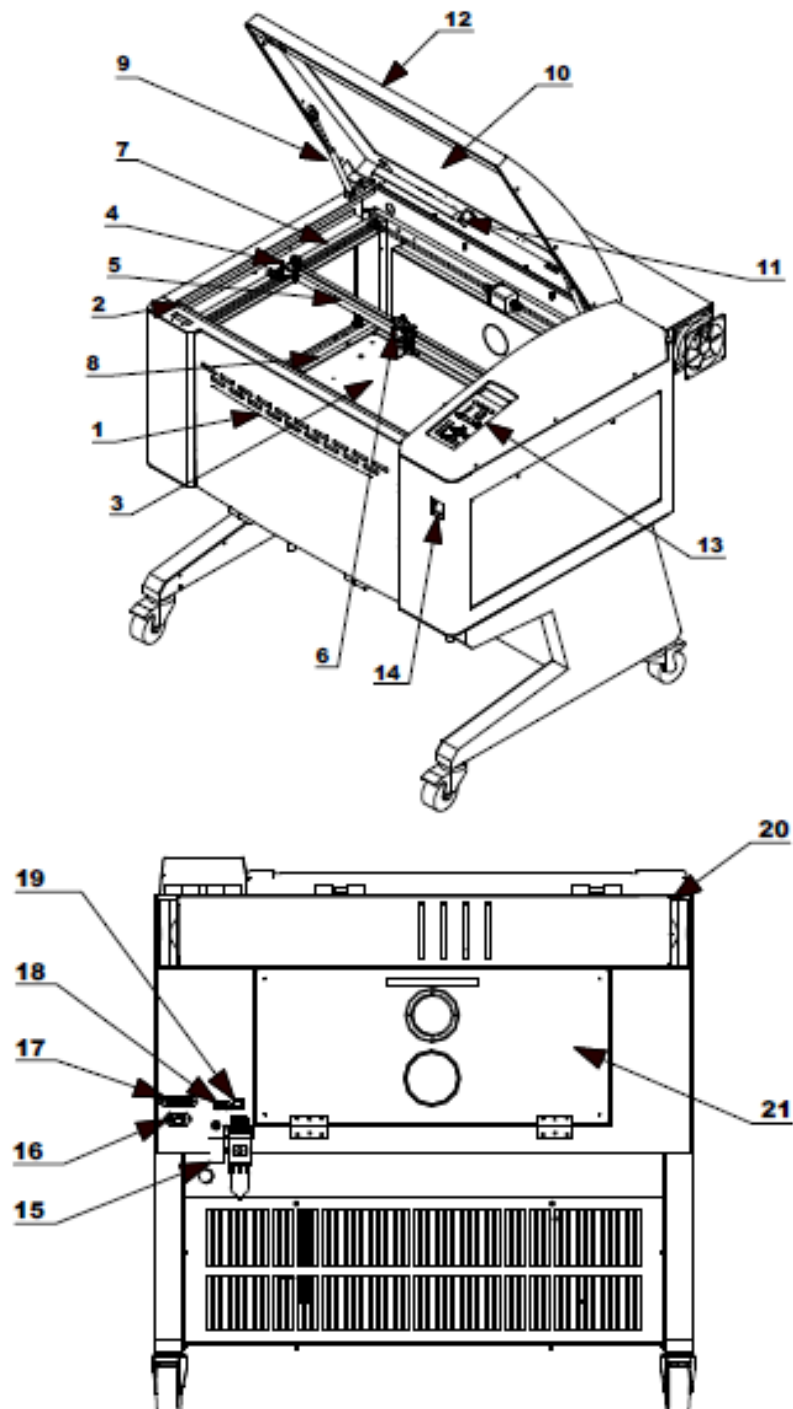
Obr. 12 Ovládací panel

Technické parametry laseru ILS 3NM

V tabulce jsou uvedeny přesné technické parametry k laserovému zařízení. Popisuje například největší možnou tloušťku materiálu, velikost pracovní plochy, rozlišení, pracovní teplotu a podobně. Nabízí i možnosti volby příslušenství – rotační součást. [10]

Vnější rozměry	900(D) x 865(H) x 990(V)
Pracovní pole (největší rozměr materiálu)	660 x 495 x 210(V) mm
Osa Z	210 mm
Vlnová délka	10,6 μ m
Chlazení	Vzduchové
Maximální rychlost značení	1524 mm/1s
Rozlišení	1000, 500, 333, 250, 200, 166
Auto Fokus	Standard
Červený naváděcí paprsek	Standard
Připojení	USB, LPT1, LAN
Připojení k PC	Kompatibilní s Windows softwarem (Cad, Corel, ...)
Paměť (buffer)	64 MB – max 99 souborů
Operační módy	Rastrové gravírování , vektorové řezání
Displej panel zobrazuje	seznam vzorů, síla laseru, gravírovací rychlost, čas průběhu, načtené soubory, nastavení a diagnostiku stroje
Příslušenství	Odfuk splodin, odsávání , kompresor, rotační osa, deska pro řezání (s odsáváním / bez odsávání) , speciální přípravek pro tvorbu razítek.
Připojení odsávání	Ø135 mm
Napájení	230V 50/60 Hz 10A
Pracovní teplota	15°C až 35°C

Obr. 13 Technické parametry [10]

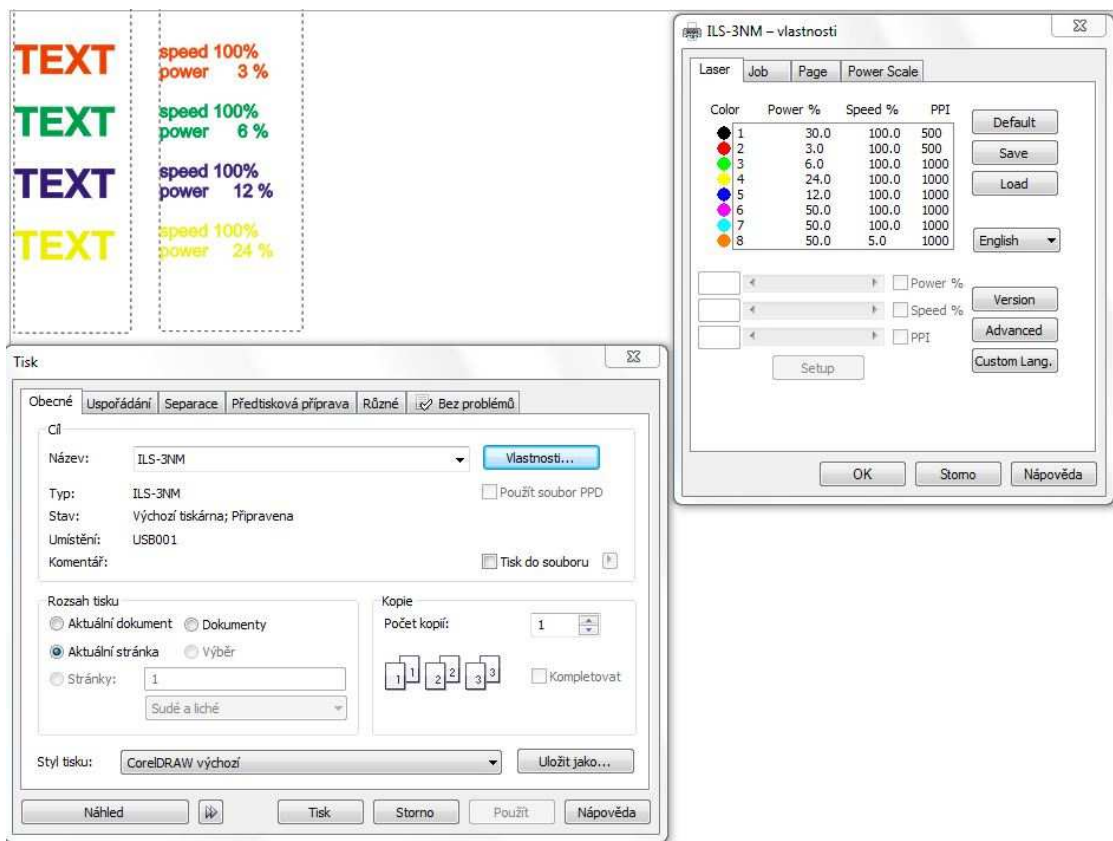


Obr. 14 Popis zařízení [10]

1-přední dvířka, 2-zámek, 3-pracovní stůl, 4-reflektor, 5-rameno osy X, 6-zaměření čočky, 7-rameno osy Y, 8-pravítko, 9-držení dvířek, 10-okno dvířek , 11-osvětlení, 12-horní dvířka, 13-ovládací panel, 14-hlavní vypínač, 15-pojistka, 16-vstupní napájení, 17-paralelní port, 18-sériový port, 19-port LAN, 20-chladící ventilátor, 21-zadní dvířka

Metodika práce na laseru ILS 3NM

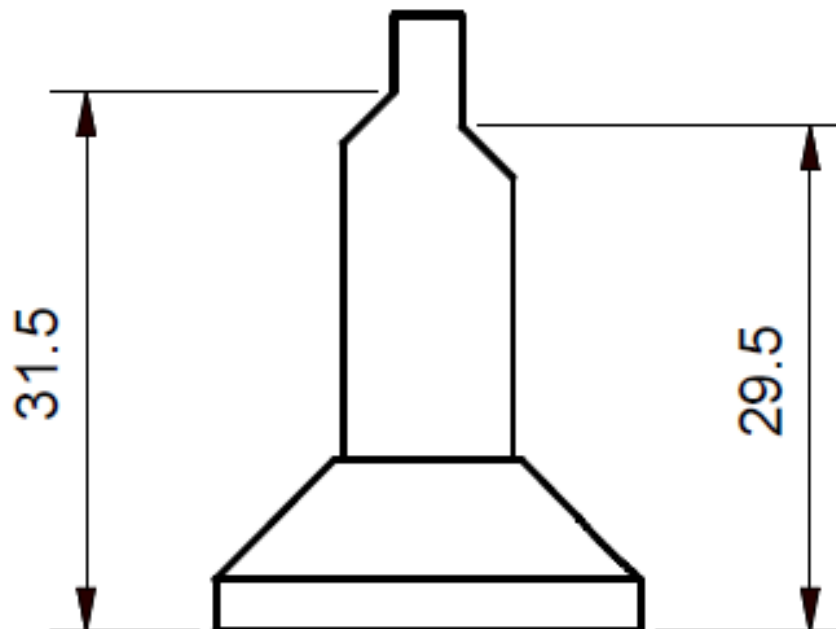
- Aktivace hlavního vypínače
- Umístění materiálu na pracovní stůl
- Fokusace pomocí tělíska
- Příprava souboru v CorelDRAW
- Nastavení síly, rychlosti, PPI a dalších parametrů
- Odeslání souboru do ILS 3NM
- Zapnutí odsávání zplodin
- Tlačítko Laser ON
- Zpracování pomocí tlačítka RUN
- Vypnutí tlačítka Laser OFF
- Vypnutí odsávání zplodin
- Vypnutí hlavního vypínače



Obr. 14 Prostředí CorelDraw

Zaostřování laseru (fokusace)

S použitím různé tloušťky materiálu se liší výška pracovního stolu a tím i zaostření laseru. Je tedy třeba, při každé změně materiálu, provést fokusaci zařízení pomocí fokusačního tělíska. Jakmile umístíme materiál na pracovní stůl, můžeme provést zaostřování. Nastavení provedeme tak, že fokusační tělísko postavíme na materiál a nižší ryska se musí dotýkat s hranou hlavy laseru. Výšku stolu ve směru osy Z nastavíme nahoru pomocí tlačítka UP a dolů pomocí tlačítka DOWN. Polohu laserové hlavy ve směru os X a Y udáváme pomocí šipek na ovládacím panelu. [10]

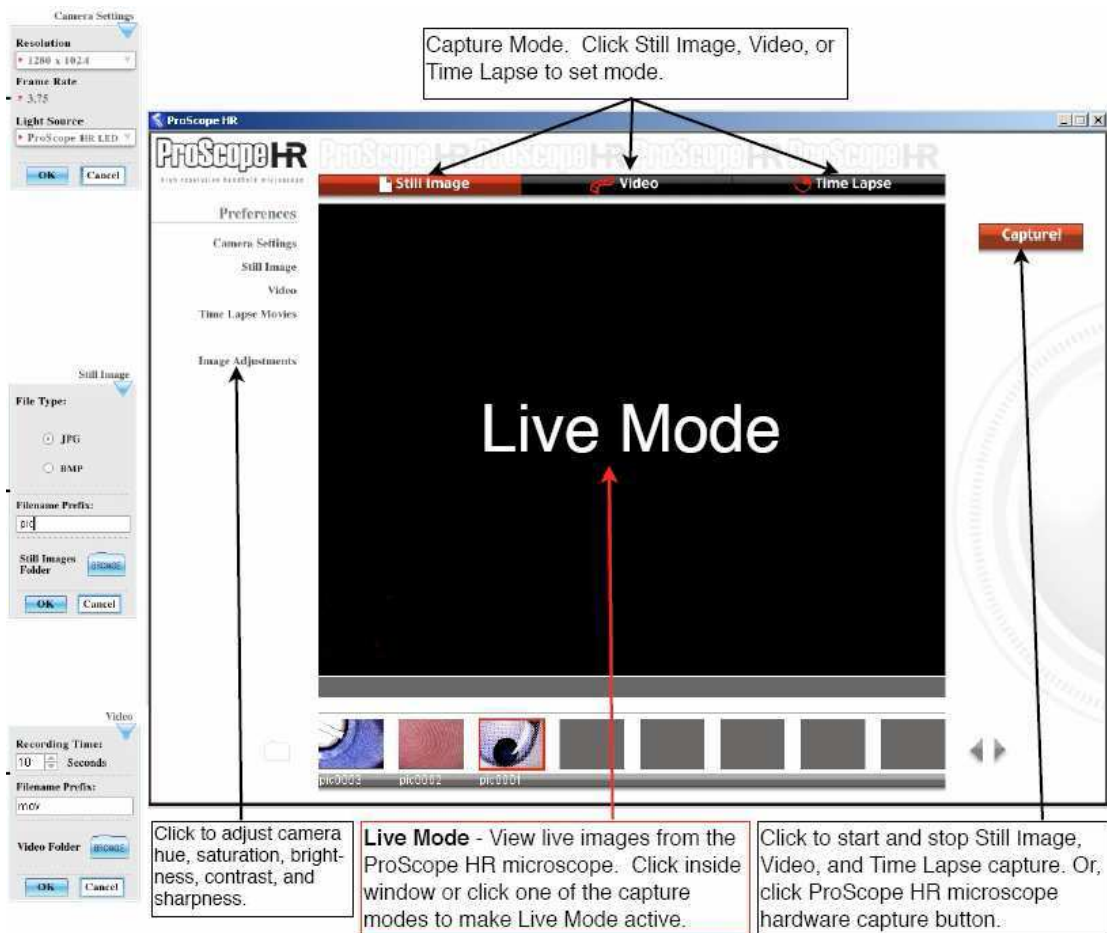


Obr. 15 Fokusační tělísko [10]

5.1.2 Kamera ProScopeHR

Pro podrobnější zkoumání vzorků vypálených na laseru byla použita kamera ProScopeHR se zvětšením 100x a 400x. Úkolem tohoto přístroje bylo získat fotografie zvětšených vypálených nápisů, které je možné dále hodnotit a zkoumat. Ovládání tohoto přístroje byl intuitivní a velmi snadné. Kamera ve stativu s požadovaným zvětšením se pouze přiložila nad zkoumaný vzorek. Po zaostření byla vytvořena přímo fotografie zvětšeného povrchu. Osvětlení vzorku bylo zajištěno LED diodami v objektivu. ProScope HR je vybaven zobrazovacím zařízením 1,3 Mp. Disponuje rozlišením 320X240 pro video, rozlišením

640X480 pro živé prezentace a rozlišením 1280X1024 pro pořízení fotografií s velkou rozlišovací schopností. Mikroskop využívají školy a univerzity, také ho používají federální, státní a policejní vyšetřovatelé. [11]



Obr. 16 Software pro zpracování snímků kamery ProScopeHR [11]

6 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro experimentální popis byly zvoleny následující materiály:

- Polymerní materiály (koženky)
- Přírodní materiály (usně)

6.1 Koženky

Jsou plošné materiály na bázi PVC, PUR, PAK a jejich kombinací na textilním nebo netkaném podkladu. Vyznačují se vynikajícími zpracovatelskými vlastnostmi. Mohou mít speciální vlastnosti - nehořlavost, antifogging, paropropustnost.

Z hlediska použitého polymeru jsou vyráběny materiály:

- PVC - na bázi měkčeného polyvinylchloridu
- PUR - na bázi aromatických a alifatických polyuretanů
- PAK - na bázi polyakrylátových disperzí
- PVC+PUR - kombinace nánosů na bázi měkčeného polyvinylchloridu, aromatických a alifatických polyuretanů

Dle použitého podkladového materiálu, který zásadním způsobem určuje základní fyzikálně mechanické a zpracovatelské vlastnosti jsou vyráběny koženky:

- na klasických textilech, molitanech, keprech
- na úpletech
- netkaných vláknitých vrstvách [12]



Obr. 17 Linka na výrobu koženky [12]

6.2 Kůže a usně, pergamen

Kůže je vrchní pokryv těla obratlovce, pro stažené kůže menší velikosti se používá výrazu kožka (definice dle ČSN 79 0000).

Useň je vyčiněná kůže, jejíž vláknitá struktura zůstala v podstatě zachovaná, chlupy mohou nebo nemusí být odstraněny, kůže může být rozštípnutá na vrstvy nebo rozdělena na části před nebo po činění, tloušťka povrchové úpravy nesmí být větší než 0,15 mm (definice dle ČSN 79 0001). [13]

6.2.1 Postup výroby usní

- **Námok** - na vše, co koželuh s kůží dělá, musí být kůže mokrá. Námok tedy znamená, že kůži ponoříme do vody a necháme pořádně rozmočit, abychom s ní mohli dále pracovat
- **Moudření** - odstranění zbytků svaloviny, různé vazy, blány
- **Loužení a odchlupení** - Cílem je odstranit chlupy a někdy i svrchní vrstvu kůže několikatýdenním namočením do příslušného roztoku

- **Vyprání, neutralizace** - jelikož je roztok na loužení zásaditý, je třeba upravit pH (činění probíhá snad vždy v kyselém prostředí)

- **Moření** - odstranění všech buněčných zbytků kromě kolagenových vláken

- **Činění** - je fyzikálně-chemický postup, který mění kůži na useň

- **Mazání** - činěná kůže se musí namastit, což jí dodá další odolnost (částečně proti vodě), trvanlivost a měkkost

- **Měkčení a sušení** - na závěr se kůže suší. A protože skoro každá kůže je po vyčinění tvrdá, pokud se nechá vyschnout, je potřeba ji během schnutí průběžně mechanicky změkčovat. [13]

Rozdělení kůží podle způsobů činění:

- **Tříslučiněná useň** je kůže vyčiněná tříslavinami rostlinnými (kůra stromů) nebo syntetickými (syntany). Tříslučiněné usně se používají jako těžké usně sedlářské nebo brašnářské.

- **Chromočiněná useň** je kůže vyčiněná bazickými solemi chromu. Chromočinění dává usně měkké, pevné, trvanlivé, odolné proti vodě, které se dají snadno barvit, bývají však poněkud méně tažné.

- **Zámišově činěná useň** je kůže vyčiněná tuky zejména rybími (tresek). [13]



Obr. 18 Činění kůží [13]

6.2.2 Pergamen

Je při napětí sušená a hlazená zvířecí kůže. Používá se kůže různých domácích zvířat, např. oslů, vepřů, koz, ovcí nebo hovězího dobytka, zpravidla mladších jedinců, jejichž kůže je jemnější. Je to materiál bílkovinné povahy (kolagen a elastin). Pergamen se začal používat 200 let před naším letopočtem a používal se až do 18. století. [13]

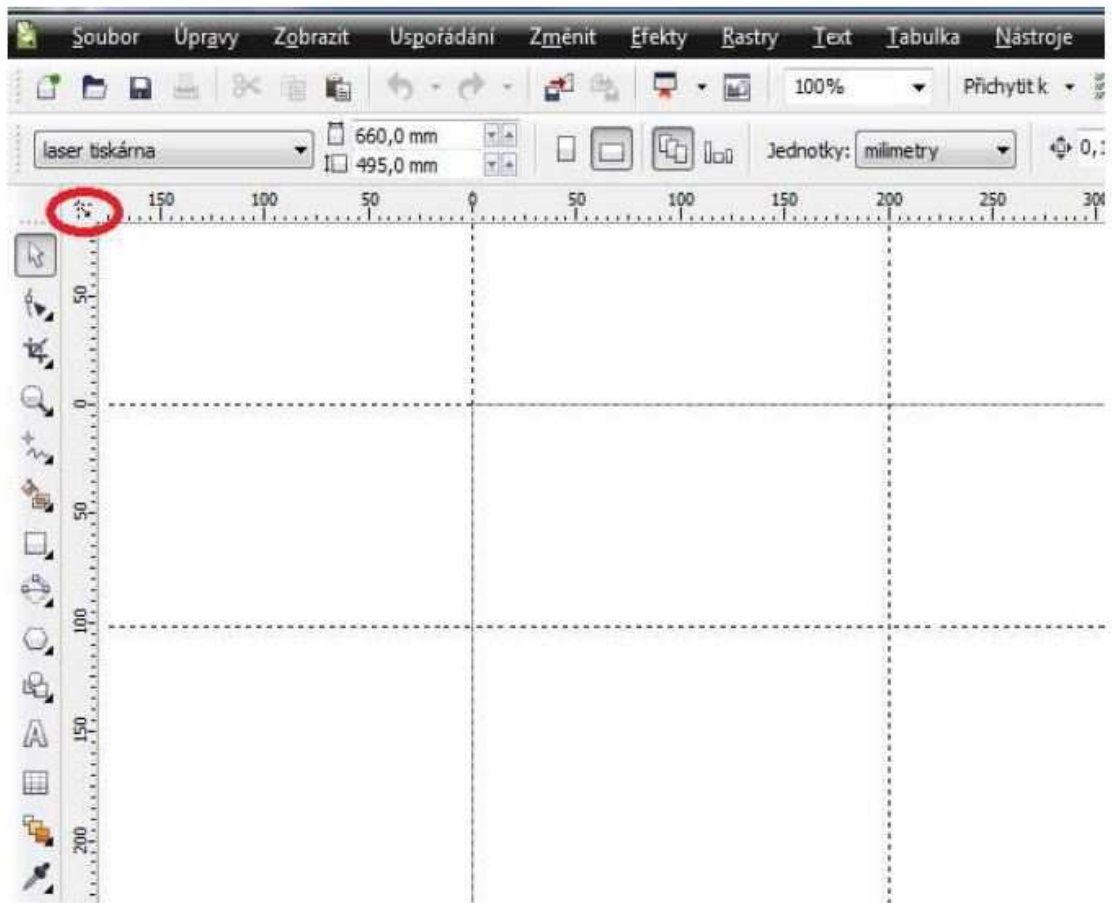


Obř. 19 Pergamen se používal od roku 200 př. n. l. [13]

7 EXPERIMENTÁLNÍ POPIS

7.1 Metodika práce v programu CorelDRAW

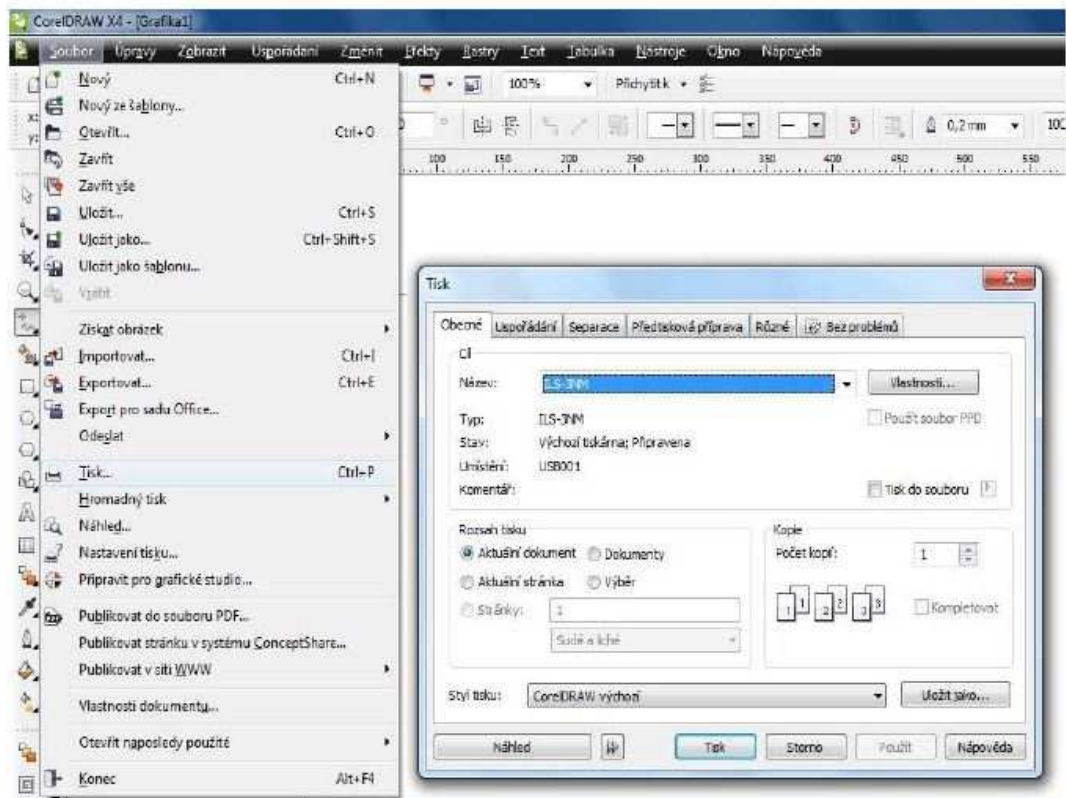
Proto, abychom mohli začít na laseru pracovat, potřebujeme program CorelDRAW. V něm si nastavíme pracovní plochu – náš popisovaný materiál. Do pracovní plochy vložíme obrázek v rastrové či vektorové grafice.



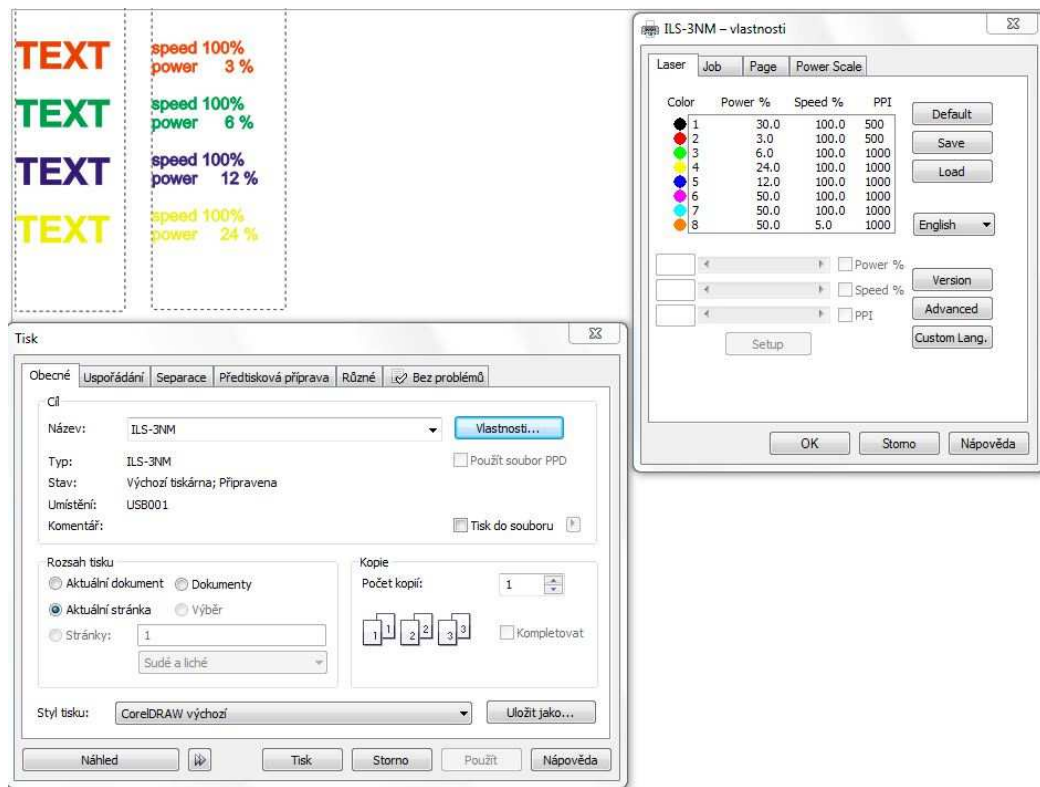
Obr. 20 Tvorba mřížky

V programu se nastaví tisk a poté nastavíme řezné podmínky, tzn. výkon (power) a řeznou rychlost (speed). Pro každý materiál jsou tyto parametry odlišné, v další části se zaměřím na jejich porovnání. Takto nastavený soubor se odešle do laseru, kde se zpracuje.

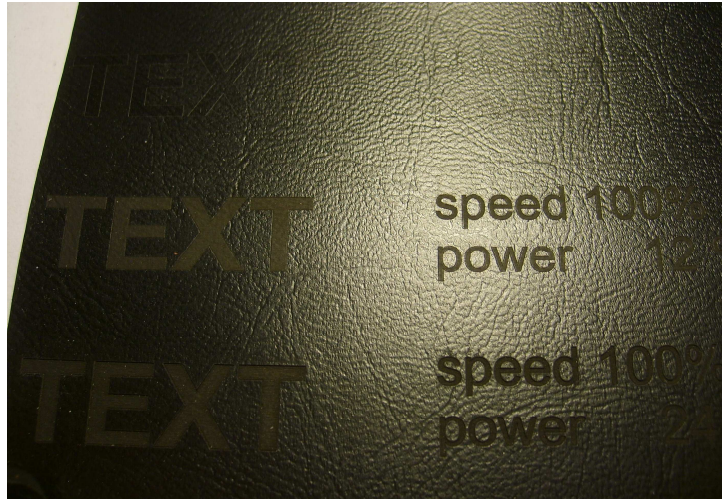
V našem případě se parametr rychlosti pohyboval pro gravírování usní a koženek vždy na 100%, u řezání 10-20% maximální rychlosti. Parametr výkonu byl při gravírování téměř vždy 15% a při řezání až 70% maximálního výkonu.



Obr. 21 Nastavení tisku pro laser



Obr. 22 Nastavení rezných podmínek



Obr. 23 Výsledek popisování laserem

7.2 Porovnání řezných parametrů

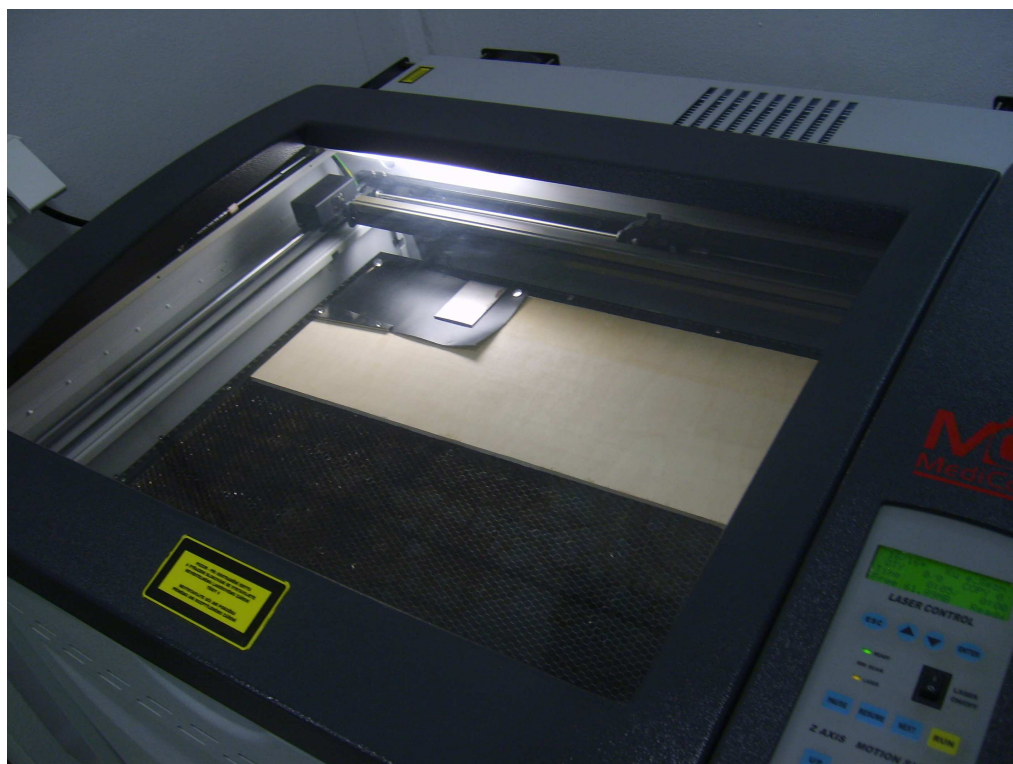
Technické parametry se v praxi udávají v procentech z celkového výkonu a rychlosti. Popis se skládá ze dvou čísel oddělených lomítkem, např. 15/100. První číslice, tedy 15, udává výkon (power), kterým laser vypaluje. Jedná se o 15% z celkového výkonu, který je 100W.

Druhá číslice udává rychlost (speed), kterou laserová hlava přejíždí na materiálem. V našem případě jde o 100% z maximální rychlosti stroje, která je 1524mm/s.

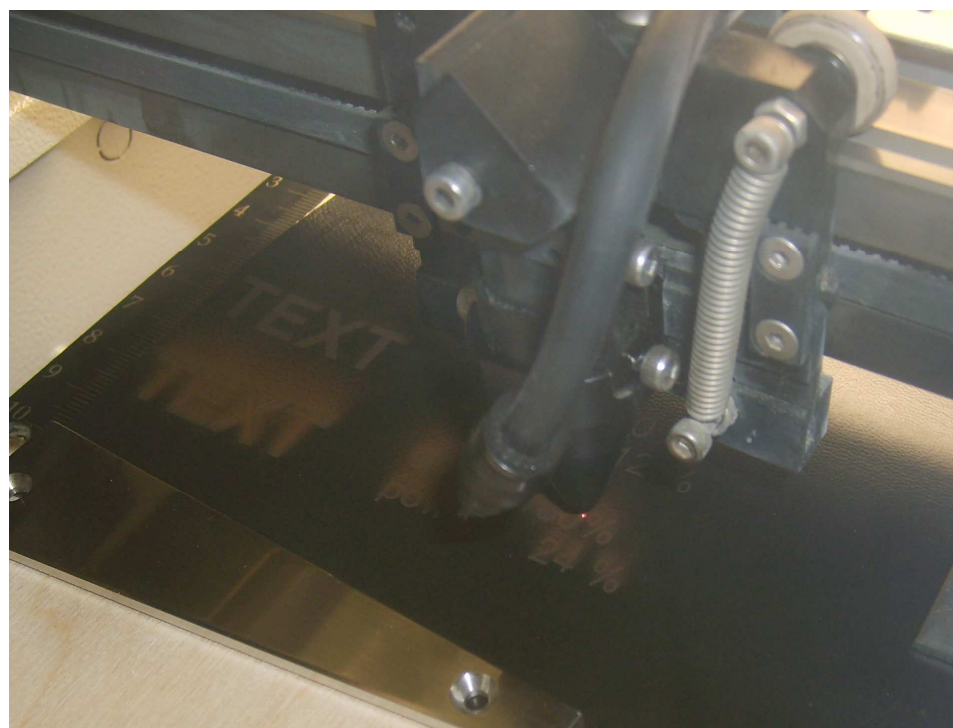
Materiály jsme upnuli pomocí připínáčků k překližce, kterou jsme poté zatížili, abychom získali rovnou plochu, která je pro popisování laserem důležitá – při nerovnostech se mění ohnisko laseru a to způsobuje nerovnoměrnost popisu.



Obr. 24 Ukázka upnutí kůže



Obr. 25 Popisování koženky



Obr. 26 Hlava laseru

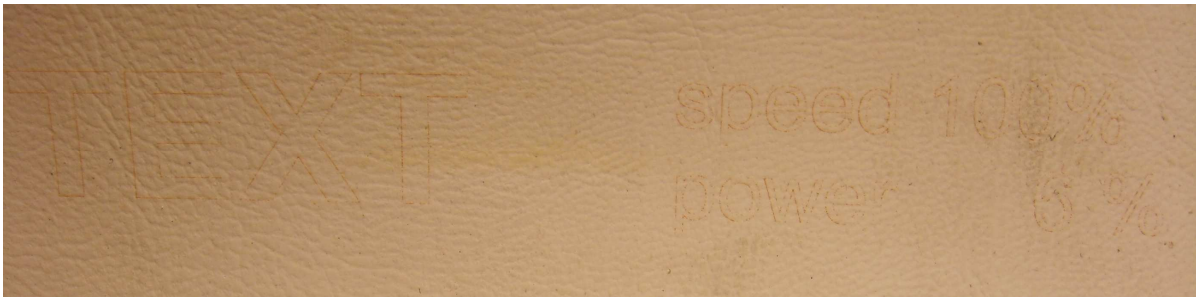
7.3 Vzorčky

7.3.1 Koženky

Koženka PVC na textilu, druh 893, výr. Technoplast Chropyně, tloušťka 1 mm

Materiál se pro popisování laserem jeví jako vhodný, text je při podmínkách 24/100 dobře čitelný. Po vypálení vzniká lepidlá vrstva (natavená), která po čase zavadne a nelepí. Logo firmy Škoda mělo rozlišení 300 DPI, gravírování bylo kvalitní, jeho vypálení trvalo 7 minut. Při zvětšení na mikroskopu byly patrné stopy jednotlivých kroků laseru – zuby.

Materiál lze označit pro popis laserem vyšším výkonem jako vhodný, s připomínkou, že PVC uvolňuje jedovaté výpary, je tedy nutné odsávání zplodin.



Obr. 27 Parametry 6/100



Obr. 28 Parametry 12/100



Obr. 29 Parametry 24/100



Obr. 30 Parametry gravírování 15/100, řezání 40/25



Obr. 31 Detail loga zvětšený 100x

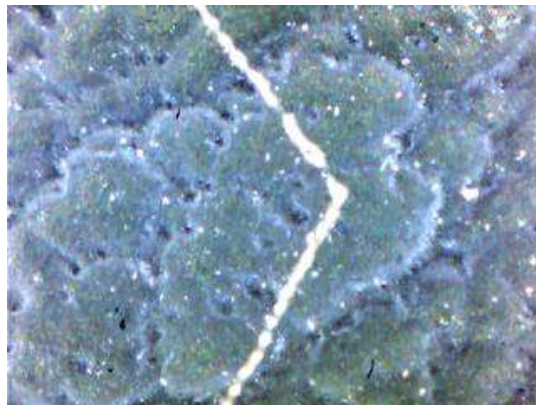
Na této fotografii je zřetelný chod laseru, všimněte si jednotlivých linií – laser obrazec řádkuje. Gravírování je bez obrysu, který by zdůraznil tvar obrazce.

Koženka PVC na netkané textilií, tloušťka 2,5 mm

Materiál je opět povrstvený PVC, takže se při jeho popisování uvolňují zplodiny. Při vyšším výkonu je text dobře čitelný, opět vznikala lepivá vrstva, která zaschla. Na zvětšených snímcích jde vidět, že laser při gravírování vypálí vodorovné linky a nakonec celý obrys vypálí nepřetržitou linkou. Materiál lze také označit jako vhodný pro laserové popisování.



Obr. 32 Parametry 6/100

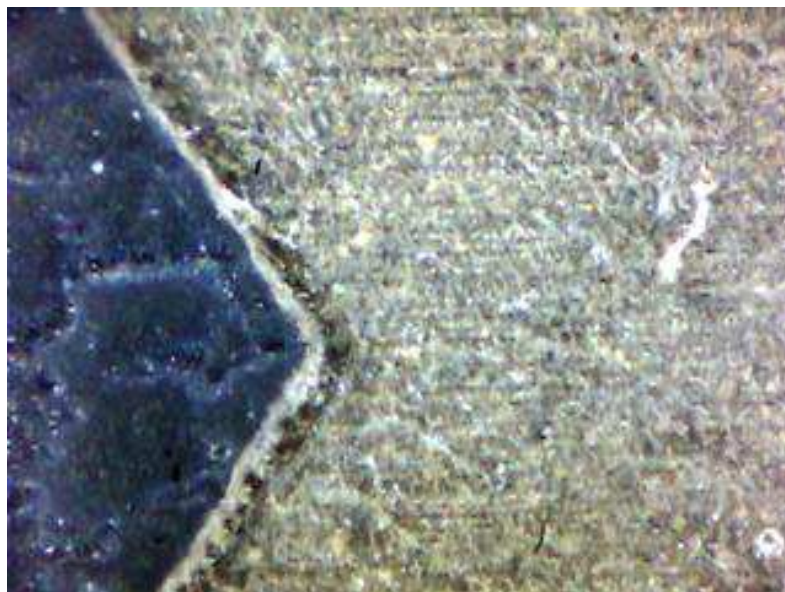


Obr. 33 Detail zvětšený 100x

Na tomto detailu je zřetelné, že výkon 6/100 je slabý a ani obrys netvoří rovnoměrnou linku.



Obr. 34 Parametry 12/100



Obr. 35 Detail zvětšený 100x



Obr. 36 Parametry 24/100



Obr. 37 Detail zvětšený 100x

Poromerní materiál „Parex“, tloušťka 1,5 mm

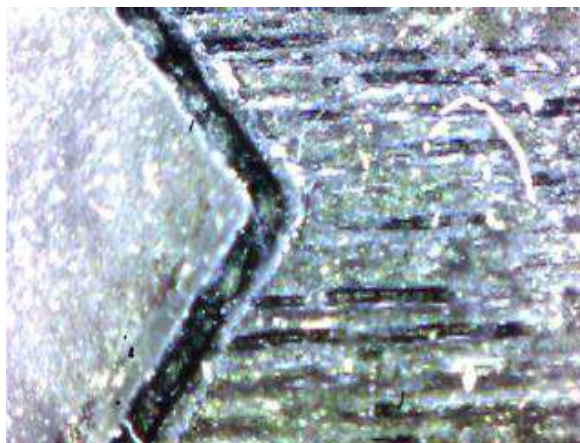
Tento materiál je zajímavý svou vlastností – dokáže propouštět vodní páry v obou směrech. Jednalo se o pokus vývoje materiálu pro výrobu bot, tato vlastnost se však ukázala jako neúčinná.

Po vypálení zůstala černá spálenina, která je vůči hnědé barvě hůře čitelná. Při nižším výkonu je text špatně čitelný, při vyšším výkonu zase došlo k odpálení vrstvy polymeru a tím se odhalila pletenina, na které je polymer nanášen.

Materiál se jeví jako nepříliš vhodný, kvůli horší čitelnosti.



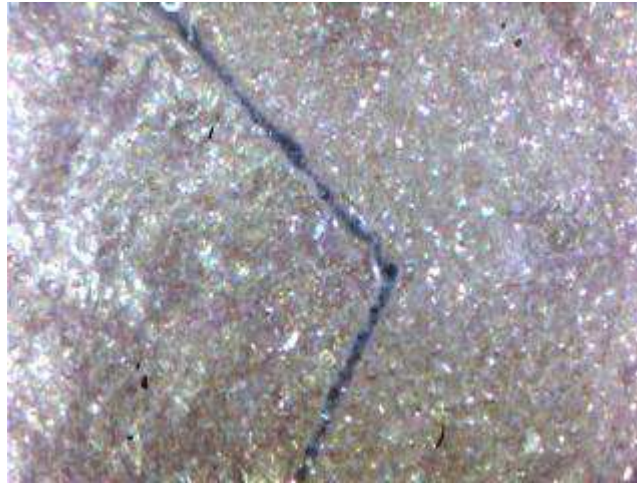
Obr. 38 Parametry 6/100



Obr. 39 Detail zvětšený 100x



Obr. 40 Parametry 12/100

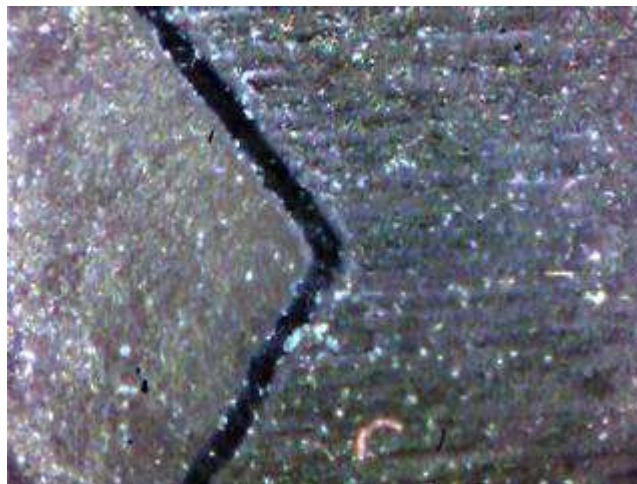


Obr. 41 Detail zvětšený 100x



Obr. 42 Parametry 24/100

U výkonu 24/100 se vnitřní část písmen roztavila a zůstala měkká delší dobu. To způsobilo, že se do nich dostaly nečistoty, které tam poté zaschly. Několik vláken lze vidět i na zvětšených snímcích.



Obr. 43 Detail zvětšený 100x

7.3.2 Usně

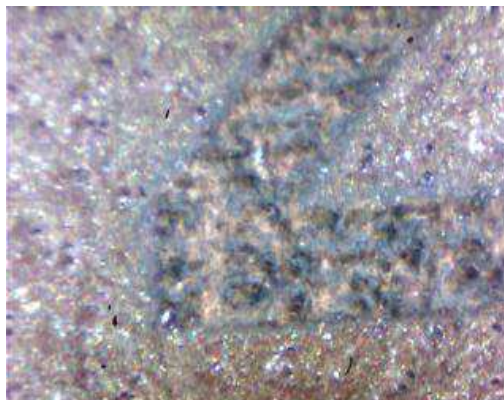
Po popisování vzorků koženek jsme se rozhodli vyzkoušet popis usní, které vlastně koženky napodobují. Jelikož jsou usně organického původu, měl jejich popis několik potíží. Kůže se nejprve musela vyrovnat pod tlakem, při popisování se pod vlivem tepla laseru krouť. Okraje jsou poté pokryty sazemi, které špiní. Usně také v teple částečně degradují, takže se mohou znehodnotit.

Hovězina chromočiněná s korigovaným límcem, tloušťka 2 mm

Tato useň má korigovaný límec, to znamená, že je povrch broušen a pigmentován, aby měl atraktivní vzhled. To ale laseru vadilo a povrch při popisu hodně kouřil a zapáchal, což způsobila barva na jeho povrchu. Na řezání byl použit parametr 70/10, po řezání jde na krajích vidět opal. Kůže je hodně pórovitá a na zvětšeném snímku lze vidět nerovnoměrné spáleniny. Kůže se jevila pro laserový popis jako vhodná, protože jde dobře vidět kontrast mezi usní a textem.



Obr. 44 Hovězinová useň



Obr. 45 Detail popisu

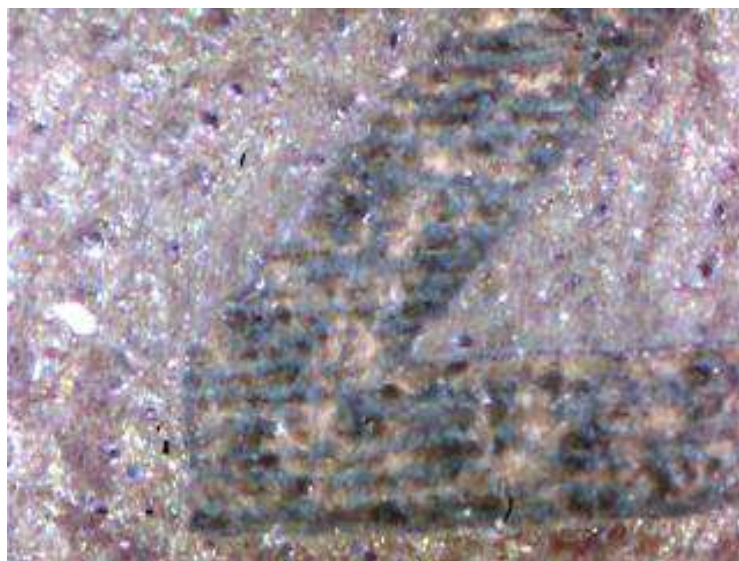
Hovězinový box chromočiněný se sejmutým límcem, polymerní apretura, tloušťka 2 mm

Jak již název napovídá, na povrchu kůže je polymer, který zajišťuje barevnost, vyšší trvanlivost a také odpuzuje vodu. Laserový paprsek tuto vrstvu odpařil, což hodně kouřilo a zapáchalo. Řezné podmínky pro řezání obvodu byly 70/25.

Popis je vidět pouze z určitých úhlů, což je značná nevýhoda, proto je tato kůže k popisování nevhodná.



Obr. 46 Hovězinová useň



Obr. 47 Detail popisu

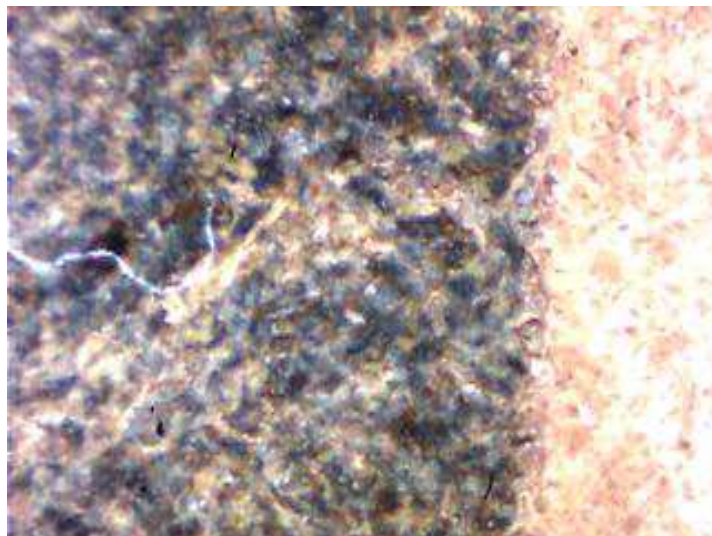
Vepřovice podšívková chromočiněná, tloušťka 1 mm

Je to tenká useň, která se používá k výrobě pracovních rukavic, zástěr pro svařování. Je světlá, vypálený text jde dobře přečíst. Kvůli pórovitosti není text příliš ostrý – na zvětšené fotografii lze vidět nejasný přechod vypáleného textu.

Vzhledem k tenké tloušťce se useň teplem kroutila, ale i tak je pro laserové popisování vhodná.



Obr. 48 Vepřová useň



Obr. 49 Detail popisu

Hovězinový box chromočiněný, tl. 1 mm

Jedná se o vzhledově atraktivní useň, po vypálení je text tmavý. Její tloušťka však způsobuje nepoddajnost a kroucení. Kolem loga značky Škoda je vidět lehký opal, ten lze korigovat řeznými podmínkami. Vypálená oblast také špiní svými sazemi. Řezné podmínky pro řezání byly 40/25 a gravírování 15/100.

Useň se jeví pro popisování jako vhodná.



Obr. 50 Hovězinová useň



Obr. 51 Detail popisu



Obr. 52 Detail popisu



Obr. 53 Logo Škoda vyrobené z usně

Hovězina tříslučiněná s přírodním límcem, tl. 1,5 mm

Jedná se o nejatraktivnější useň z našich vzorků. Její přírodní vzhled je přirozený. Kvůli její světlosti je také text dobře viditelný. Jediná z mých vzorků, která je tříslučiněná. Kůže se při řezání smršťovala a degradovala, což způsobilo, že se linka laseru nesetkala a

useň se neuřízla. Useň se totiž zkroutila a vzorek se posunul. Po úpravě řezných podmínek by tento problém přestal.

Useň je pro laserový popis velmi vhodná.



Obr. 54 Hovězinová useň



Obr. 55 Detail chyby

Hovězinová štípenka chromočiněná, tl. 1,5 mm

Tato tlustá štípenka je pro laserový popis naprosto nevhodná. Text je sice ostrý, ale protože jsou na povrchu chloupky, text se rozmazává. Stejně tak černí okraj štípenky. Její vzhled je také nepříliš atraktivní. Jedinou výhodou lze vidět v její vyšší pevnosti.



Obr. 56 Hovězinová štípenka



Obr. 57 Detail popisu

Na detailním záběru si můžeme povšimnout chloupků, které tvoří celý povrch štípenky.

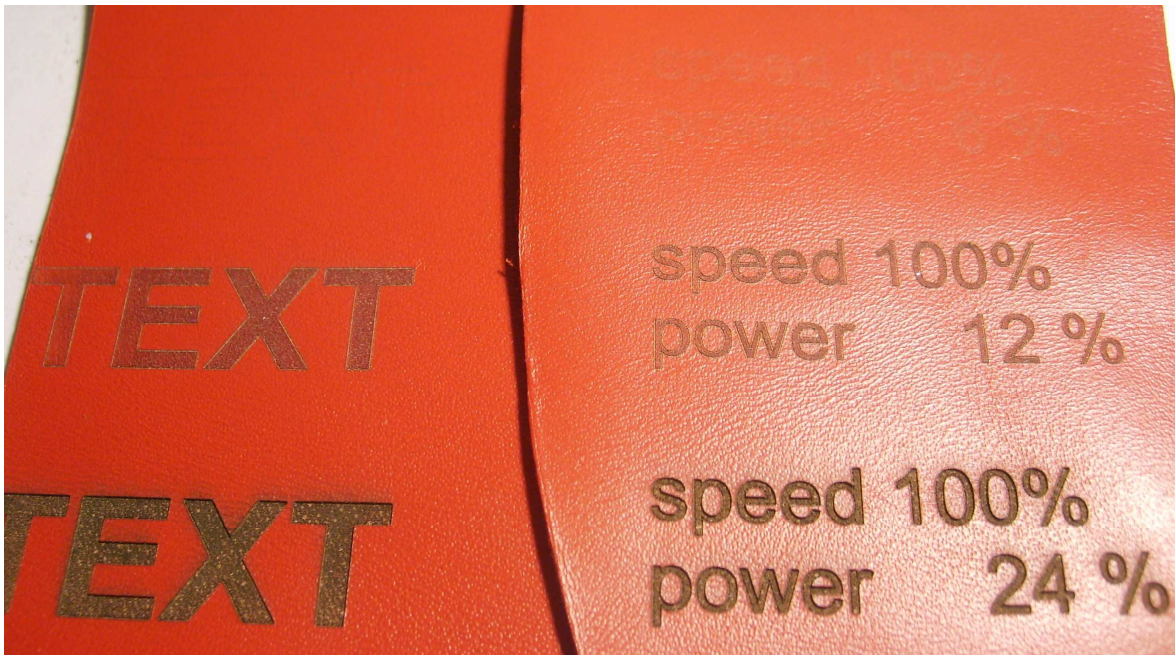


Obr. 58 Text se snadno rozmaže

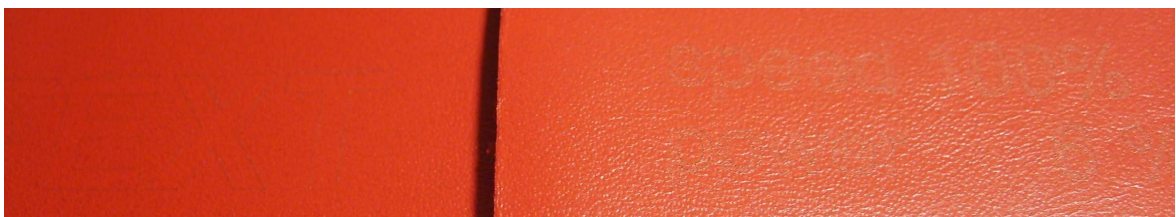
Hovězina chromitotříslená s povrchovou úpravou, tl. 1,5 mm

Toto je jedna z mála usní ze vzorků, která je chromitotříslená. Na jejím povrchu se nachází polymer, takže useň vypadá jako koženka. To způsobuje, že popis je ze strany polymeru kvalitní. Pro zkoušku popisování jsme použili obě strany, z přírodní strany je popis kvůli chloupkům nekvalitní.

Při nejnižším výkonu je text špatně čitelný, je vidět jen obrys. Při výkonu 12% je text dobře čitelný, nikde nejsou žádné opálené místa. Při výkonu 24% je text nejvíce kontrastní, obrys písmen je vypálený do hloubky, jdou vidět jednotlivé kroky laseru a lehké opálení po obvodu. Strana s polymerem je pro laserový popis velmi vhodná.



Obr. 59 Celkový pohled na kvalitu textu



Obr. 60 Parametr 6/100

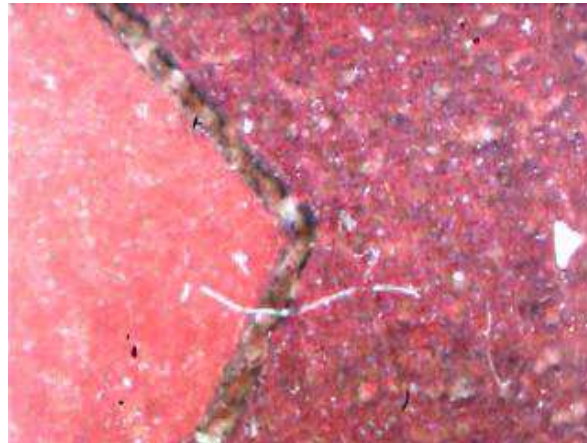


Obr. 61 Detail 6/100

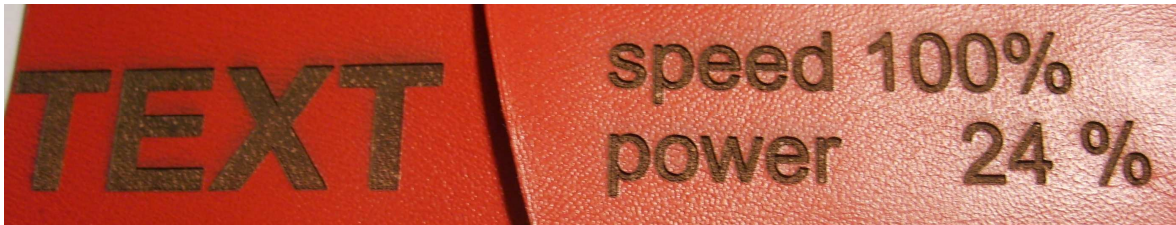
U výkonu 6/100 je text téměř nerozpoznatelný, obrys je přerušovaný.



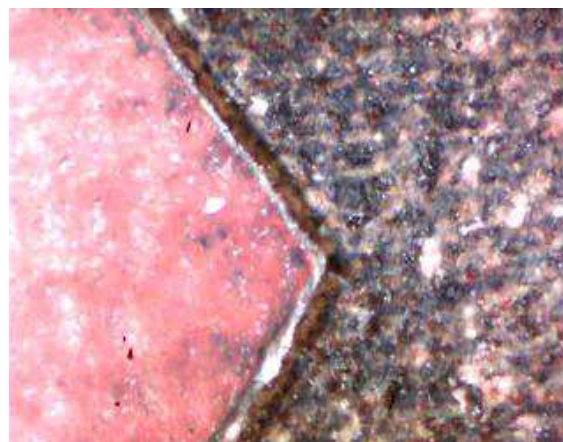
Obr. 62 Parametr 12/100



Obr. 63 Detail 12/100

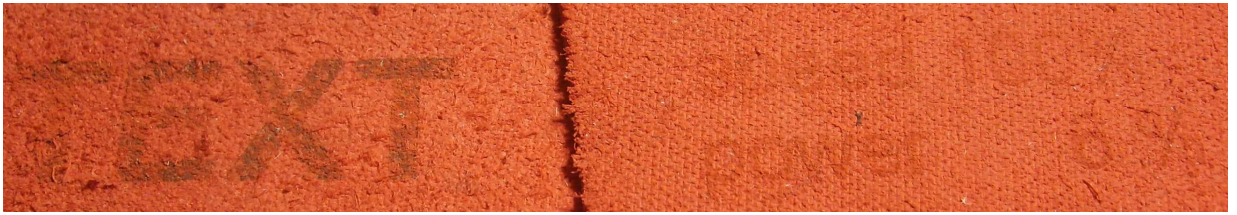


Obr. 64 Parametr 24/100



Obr. 65 Detail 24/100

Druhá strana usně vhodná na popisování není. Povrch je tvořen drobnými chloupky, text se rozmazává, není ostrý. Vznikají saze, které černí.



Obr. 66 Parametr 6/100



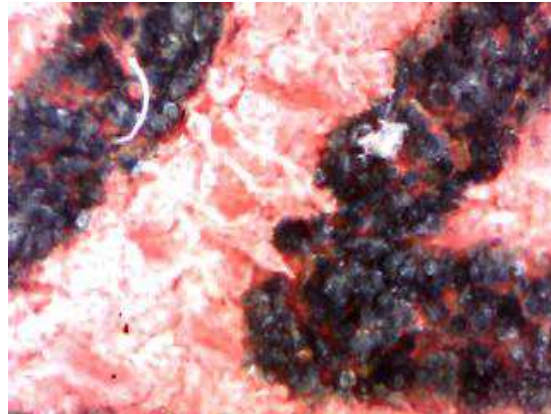
Obr. 67 Parametr 12/100



Obr. 68 Parametr 24/100



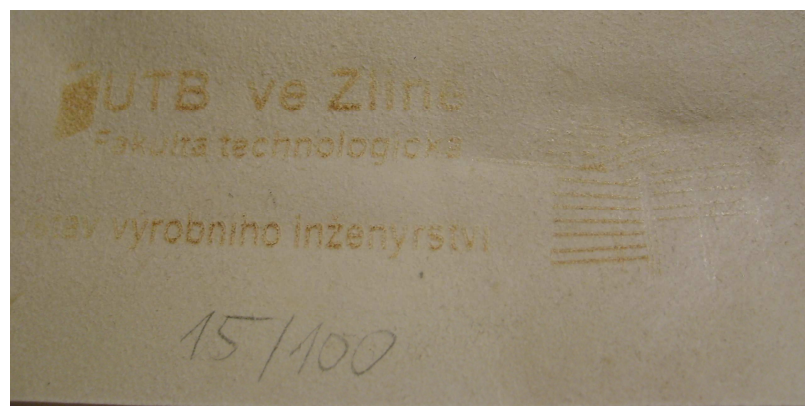
Obr. 69 Detail popisu



Obr. 70 Detail popisu

7.3.3 Pergamen

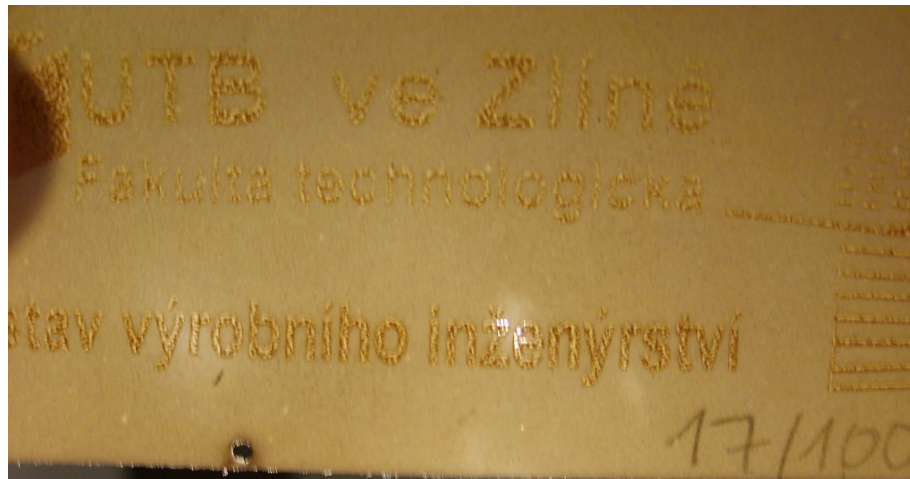
Popisování pergamentu bylo složité, protože je to přirozeně nerovný materiál, který nemá konstantní tloušťku. Popis se nepovedl ani u jednoho vzorku, kvůli zmíněným nerovnostem. Při nízkém výkonu byl text nečitelný a při vyšším výkonu se pergamen propálil. Problém by odstranil rovný nebo tlustší pergamen. Na posledním snímku lze hezky pozorovat buněčnou strukturu pergamentu.



Obr. 71 Pergamen 15/100



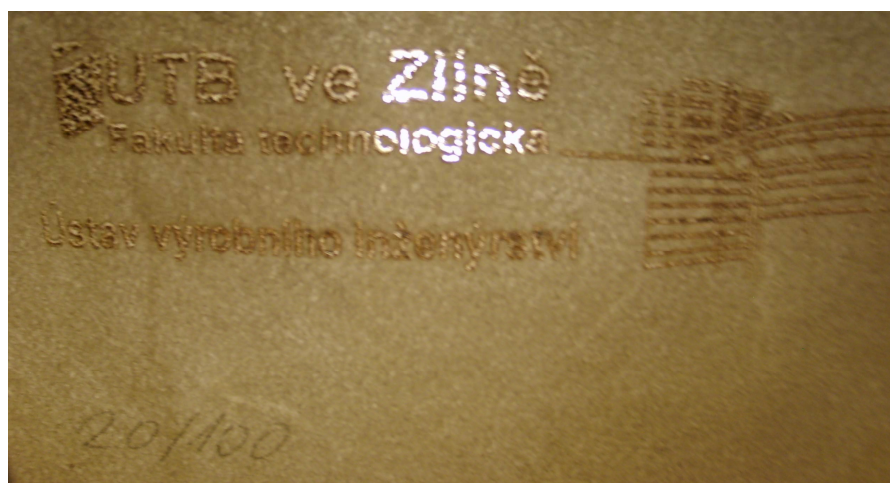
Obr. 72 Pergamen 17/100



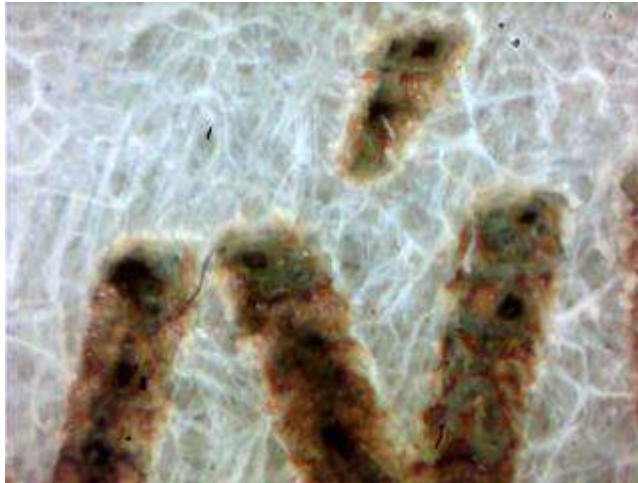
Obr. 73 Pergamen je propálený skrz



Obr. 74 Pergamen 20/100



Obr. 75 Pergamen je opět propálený



Obr. 76 Pergamen 100x zvětšený

7.3.4 Papír

Po neúspěšném pokusu s pergamenem jsme se rozhodli tytéž podmínky aplikovat na papír, který má rovnoměrnou tloušťku. Výsledkem byl kvalitní rovnoměrný popis. Je to způsobeno rovností papíru. Při nižším výkonu ještě rozdíl kvality není markantní, ale při výkonu 20/100 je text ostrý. Při výkonu 30/100 už je okolí textu ohořelé.



Obr. 77 Papír 15/100



Obr. 78 Papír 20/100



Obr. 79 Papír 30/100



Obr. 80 Papír detail 20/100



Obr. 81 Papír detail 30/100

Na posledních dvou fotografiích vidíme rozdíl 10% výkonu. Při 20% je text ostrý a kvalitní, při 30% je vidět „přetok“ písmen, který způsobil opal okolo paprsku laseru. Takové písmo není příliš kvalitní a působí opáleně.

7.3.5 Hovězí kost

Vzorky tvořily umělé – koženky a přírodní látky – usně a pergamen, proto jsme chtěli vyzkoušet ještě další přírodní materiál – kost. Je to pevný materiál, který tvoří organická složka, kasein a krystaly solí. V našem případě jsme použili kost hovězí a tloušťce 5 mm. Protože je kost kulatá, bylo potřeba z ní vybrousit destičku rovnou alespoň z jedné strany. K broušení byla použita ruční bruska, takže nebylo docíleno rovinné plochy. Nepravidelný tvar také ztěžuje zadání pracovní plochy do CoreluDraw. Kvůli tomu, že byla kost z jedné strany zakulacená, se musela podkládat, ale i tak jsme nedocílili vodorovné plochy. Dalším negativem je, že kost obsahuje z vnitřní strany póry a dírky, které se musí odbrousit. Tyto všechny nedostatky ovlivní kvalitu popisu a způsobí, že nápis bude nekvalitní.

Tento problém by vyřešila frézka, která by kost obrobila do roviny. Hlavní nevýhodou broušení kosti je silný zápach, který organická kost produkuje. Tento problém lze vyřešit louhováním kosti v lihu, za nějakou dobu se složky v kosti rozloží, kost změkne. Po vyschnutí ale opět vytvrdne a při obrábění nezapáchá.



Obr. 82 Nápis na kosti

Pro vytvoření nápisu na kosti jsme použili řezné parametry 15/100.

8 ZÁVĚR

V této práci byla řešena problematika laserového popisování polymerních a přírodních materiálů při daných řezných podmínkách laseru. Jednalo se o materiály umělé usně (PVC koženky), usně, pergamen, papír a hovězí kost.

Teoretická část obsahuje popis rozdělení základních typů laserů, jejich popis a způsob využití. Dále charakteristiku laserového popisování, princip vzniku popisu na materiálu i jeho výhody a nevýhody. Poslední bod teoretické práce obsahuje charakteristiku laserového gravírování.

Úkolem praktické části byl experimentální popis vybraných vzorků. V jejím úvodu jsou popsány použité přístroje a technologie výroby použitých materiálů (laser ILS 3NM, kamera ProScopeHR). Dále je práce zaměřena na experimentální popis a vizuální vyhodnocení obrobených entit.

Byly vyvozeny tyto závěry:

Všechny PVC koženky jsou pro laserové popisování vhodné, text je kvalitní a dobře čitelný, jsou však vhodnější koženky světlejší, aby text vynikl. Koženky mají tvarovou stálost a nekroučí se, takže jsou na laseru lehce popisovatelné. Ale vzhledem k tomu, že PVC se nedoporučuje na laseru používat z důvodu vzniku nebezpečných zplodin, je tedy nutné jejich odsávání.

Usně jsou pro laserové popisování méně vhodné než koženky. Při jejich popisu vzniká zápach, zvláště když je na jejich povrchu nanášena pigmentační vrstva. Na jejich povrchu vznikají saze, které černí, stejně tak i po jejich obvodu při řezání. Usně v teple degradují a kroučí se, takže musí být připevněny k přípravku, aby tvořily rovnoměrný rovný povrch. Tento problém by odstranilo jejich nalepení na pevný povrch – například na desky knih. Taková useň by byla dobře popsitelná, nekroutila by se. Usně lze tedy označit za vhodné pro popis na laseru jen za specifických podmínek.

Hovězí kost byla vhodná, i když materiál při popisu silně zapáchal. U kosti je důležitý tvar, je nutný rovný povrch, který se u ní těžce vytváří. Pokud by se technologie jejího obrobení zdokonalila tak, aby byl vzorek rovný, byla by kost pro laserový popis velmi vhodná.

Pergamen pro naše účely popisování vhodný nebyl. Byl příliš tenký, takže se při popisu kroutil a při vyšších výkonech se propaloval. Lze jej tedy označit za zcela nevhodný pro popis laserovým paprskem.

Posledním popisovaným materiálem byl papír, který je na rozdíl od pergamenu pro tuto technologii vhodný.

Závěrem lze říct, že tři z pěti zkoumaných materiálů lze použít pro laserové popisování. Jsou to koženky, hovězí kost a papír.

Naopak jako nevhodný pro laserové popisování se jeví pergamen.

Usně lze použít, ale jen v určitých případech a kombinacích nastavení parametrů laserového paprsku.

Tato nekonvenční technologie popisování je velmi účinná, rychlá a levná. Na laseru ILS 3NM s ní lze vyrábět dekorativní předměty a ozdoby, popisovat eloxovaný hliník, vyrábět nejrůznější štítky a loga. V kombinaci s rotační součástí dokáže laser popisovat a gravírovat i rotační předměty – sklenice a lahve. Tyto vyrobené propagační předměty by mohly univerzitu a Ústav výrobního inženýrství dobře reprezentovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Sedláček K., *Laser v mnoha podobách*. Naše vojsko. Praha, 1982.
- [2] Maňková I., *Progresívne technologie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
- [3] Barcal J., *Nekonvenční metody obrábění*. Skriptum ČVUT. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989. 122 s.
- [4] Řasa J., *Nekonvenční metody obrábění – 4. díl 2007*,
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonevncni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [5] Janata M., *Průmyslové lasery a jejich aplikace 2006*,
http://www.airproducts.cz/metalfabrication/svarovani/pdf/Lasery_clanek-MJ.pdf
- [6] Minařík V., *Technologické lasery 2007*, <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=228>
- [7] *Zvláštní světlo*, <http://www.fascination-of-light.net/campaign-cz/vystava/laser-2013-zvlastni-svetlo/vlaknovy-laser-2013-vedene-svetlo>
- [8] Vyšlo v MM průmyslové spektrum, 21.05.2003 v rubrice Výroba / Obrábění, Strana 70, <http://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem.html>
- [9] Řasa J., *Lasery, laserové technologie a stroje s laserem*,
<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-laserem>
- [10] *Plotrový laser ILS 3* [online] 2011, <http://www.cemark.cz/plotrove-co2-lasery-ils-3/>
- [11] *Stránky výrobce* <http://proscopehr.com/>
- [12] *Stránky výrobce koženek* <http://www.svitap.cz/produkty/i17-kozenky-synteticke-usne>
- [13] *Škola textilu* <http://www.skolatextilu.cz/kuk/index.php?page=9>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LBM	Laser Beam Machining
Nd	neodymový laser
E	velikost kvanta energie
f	rezonanční frekvence záření [Hz]
W	Watt
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
CO ₂	oxid uhličitý
N	Dusík
He	Helium
Ne	Neon
Xe	Xeon
Ar	Argon
Cl	Chlor
μm	mikrometr
ms	milisekunda
CW	kontinuální režim
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý (safír)
Cr ₂ O ₃	Oxid chromitý
Cr ³⁺	Kation chromitý
cm	centimetr
J	Joule
GaAs	Arsenid gallitý
CAD/CAM	computer-aided design/computer-aided manufacturing
ns	nanosekunda

Hz	Hertz
mrad	miliradiány
PVC	Polyvinylchlorid
ABS	Akrylonitril-butadien-styrén
USB	Universal Serial Bus
LAN	Local Area Network
A	Ampér
Mb	Megabyte
Mp	Megapixel
PUR	Polyuretan
PAK	Polyakrylát
ČSN	česká státní norma
Př. n. l.	Před naším letopočtem
DPI	Dots per inch

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma laserového zařízení [4]	14
Obr. 2 Rozdělení laserů [2]	15
Obr. 3 Klasifikace laserových technologických operací [2]	16
Obr. 4 Princip CO ₂ laseru [4]	17
Obr. 5 Druhy laserů [6]	18
Obr. 6 Konstrukce rubínového laseru [6]	19
Obr. 7 Ukázka popisování eloxovaného hliníku [8]	21
Obr. 8 Ukázka popisování různých povrchů [9]	23
Obr. 9 Gravírovat lze i rotační předměty [9]	25
Obr. 10 Laser ILS 3NM [10]	28
Obr. 11 Školní laser ILS 3NM	29
Obr. 12 Ovládací panel	29
Obr. 13 Technické parametry [10]	30
Obr. 14 Popis zařízení [10]	31
Obr. 14 Prostředí CorelDraw	32
Obr. 15 Fokusační tělísko [10]	33
Obr. 16 Software pro zpracování snímků kamery ProScopeHR [11]	34
Obr. 17 Linka na výrobu koženky [12]	36
Obr. 18 Činění kůží [13]	37
Obr. 19 Pergamen se používal od roku 200 př. n. l. [13]	38
Obr. 20 Tvorba mřížky	39
Obr. 21 Nastavení tisku pro laser	40
Obr. 22 Nastavení řezných podmínek	40
Obr. 23 Výsledek popisování laserem	41

Obr. 24 Ukázka upnutí kůže	41
Obr. 25 Popisování koženky	42
Obr. 26 Hlava laseru	42
Obr. 27 Parametry 6/100	43
Obr. 28 Parametry 12/100	43
Obr. 29 Parametry 24/100	43
Obr. 30 Parametry gravírování 15/100, řezání 40/25	44
Obr. 31 Detail loga zvětšený 100x	44
Obr. 32 Parametry 6/100	45
Obr. 33 Detail zvětšený 100x	45
Obr. 34 Parametry 12/100	45
Obr. 35 Detail zvětšený 100x	46
Obr. 36 Parametry 24/100	46
Obr. 37 Detail zvětšený 100x	46
Obr. 38 Parametry 6/100	47
Obr. 39 Detail zvětšený 100x	47
Obr. 40 Parametry 12/100	47
Obr. 41 Detail zvětšený 100x	48
Obr. 42 Parametry 24/100	48
Obr. 43 Detail zvětšený 100x	48
Obr. 44 Hovězinová useň	49
Obr. 45 Detail popisu	49
Obr. 46 Hovězinová useň	50
Obr. 47 Detail popisu	50
Obr. 48 Vepřová useň	51

Obr. 49 Detail popisu	51
Obr. 50 Hovězinová useň	52
Obr. 51 Detail popisu	52
Obr. 52 Detail popisu	53
Obr. 53 Logo Škoda vyrobené z usně	53
Obr. 54 Hovězinová useň	54
Obr. 55 Detail chyby	54
Obr. 56 Hovězinová štípenka	55
Obr. 57 Detail popisu	55
Obr. 58 Text se snadno rozmaže	56
Obr. 59 Celkový pohled na kvalitu textu	57
Obr. 60 Parametr 6/100	57
Obr. 61 Detail 6/100	57
Obr. 62 Parametr 12/100	58
Obr. 63 Detail 12/100	58
Obr. 64 Parametr 24/100	58
Obr. 65 Detail 24/100	58
Obr. 66 Parametr 6/100	59
Obr. 67 Parametr 12/100	59
Obr. 68 Parametr 24/100	59
Obr. 69 Detail popisu	59
Obr. 70 Detail popisu	60
Obr. 71 Pergamen 15/100	60
Obr. 72 Pergamen 17/100	60
Obr. 73 Pergamen je propálený skrz	61

Obr. 74 Pergamen 20/100	61
Obr. 75 Pergamen je opět propálený	61
Obr. 76 Pergamen 100x zvětšený	62
Obr. 77 Papír 15/100	62
Obr. 78 Papír 20/100	62
Obr. 79 Papír 30/100	63
Obr. 80 Papír detail 20/100	63
Obr. 81 Papír detail 30/100	63
Obr. 82 Nápis na kosti	64

SEZNAM PŘÍLOH

Experimentální popisované vzorky koženek, usní, pergamenu, papíru a hovězí kosti.