

Tvorba souborů pro obrábění na zařízení laser ILS3NM

Michal Hanus

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Michal Hanus
Osobní číslo:	T18431
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Tvorba souborů pro obrábění na zařízení ILS3NM

Zásady pro vypracování

Vypracování literární studie na dané téma
Tvorba objektů pomocí software
Vyhodnocení souborů k laserovému obrábění
Vyhodnocení využití souborů

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresivne technológie*. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-709-9430-4.

FINKELSTEIN, Ellen. *Kompletní průvodce uživatele AutoCadu pro verze 2016*. Albatros media. ISBN 97880-2512765-3.

BOUTON, Gary David. *Mistrovství v CorelDRAW: [kompletní průvodce profesionálního grafika]*. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2304-1.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Knedlová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V teoretické části práce je popsán princip, rozdělení laserů dle aktivního prostředí a jeho využití. Praktická část se zabývá vyhotovením a vyhodnocením využití souborů, pro obrábění na laserovém zařízení ILS 3 NM, které jsou tvořeny různými metodami.

Klíčová slova: CorelDRAW, CAD, gravírování, sklo, dřevo, laser, vektor, rastr

ABSTRACT

In theoretical part of the thesis is described principle and division of lasers according to active interface with its usage. Practical part deals with make out and evaluation of usage of files for machining with laser device ILS 3NM, which are made by different methods.

Keywords: CorelDRAW, CAD, engraving, glass, wood, laser, vektor, rastr

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce paní Ing. Janě Knedlové, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost a za rady a připomínky, které napomohli ke vzniku této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PRINCIP LASERU	11
1.1 BUZENÍ PAPERSKU.....	12
1.2 POPIS LASERU.....	13
2 ROZDĚLENÍ LASERŮ PODLE AKTIVNÍHO PROSTŘEDÍ.....	14
2.1 PLYNOVÉ.....	15
2.2 PEVNOLÁTKOVÉ.....	18
2.3 KAPALINOVÉ.....	18
2.4 POLOVODIČOVÉ.....	19
3 VYUŽITÍ LASERU.....	20
3.1 ŘEZÁNÍ.....	20
3.2 OBRÁBĚNÍ.....	21
3.3 GRAVÍROVÁNÍ.....	22
3.4 NEPRŮMYSLOVÉ VYUŽITÍ.....	23
4 MATERIÁLY	24
4.1 DŘEVO	24
4.2 SKLO	24
4.3 POLYMERY	25
5 TVORBA SOUBORŮ	28
5.1 AUTO CAD	28
5.2 JET CAM.....	28
5.3 CORELDRAW.....	29
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
6 CÍLE PRÁCE	31
7 LASER ILS 3NM.....	32
8 TVORBA SOUBORŮ	34
8.1 VEKTOROVÁ GRAFIKA.....	34
8.2 RASTROVÁ GRAFIKA	36
9 VYHODNOCENÍ.....	49
9.1 SKLO	49
9.2 DŘEVO	53
9.3 PRYŽ	56

9.4 PMMA.....	57
ZÁVĚR	58
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK.....	67

ÚVOD

LASER pochází z anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, v češtině zesilování světla pomocí stimulované emise záření.

S předpokladem teorie stimulované emise přišel v roce 1917 Albert Einstein, čímž položil základ pro princip laseru. Nejprve byl vynalezen MASER, dalo by se říct předchůdce laseru, který fungoval jako dnešní laser, jen vyzařoval mikrovlny. Jeho zdokonalením se zabývali C. H. Townes a A. L. Schawlow a vytvořili první popis laseru, který vedl následně k jeho sestavení. Oba získali Nobelovu cenu. Jejich nápad uskutečnil v roce 1960 T. H. Maiman kdy sestrojil první funkční laser. Jednalo se o rubínový laser, který se s dnešními lasery nedá srovnávat.

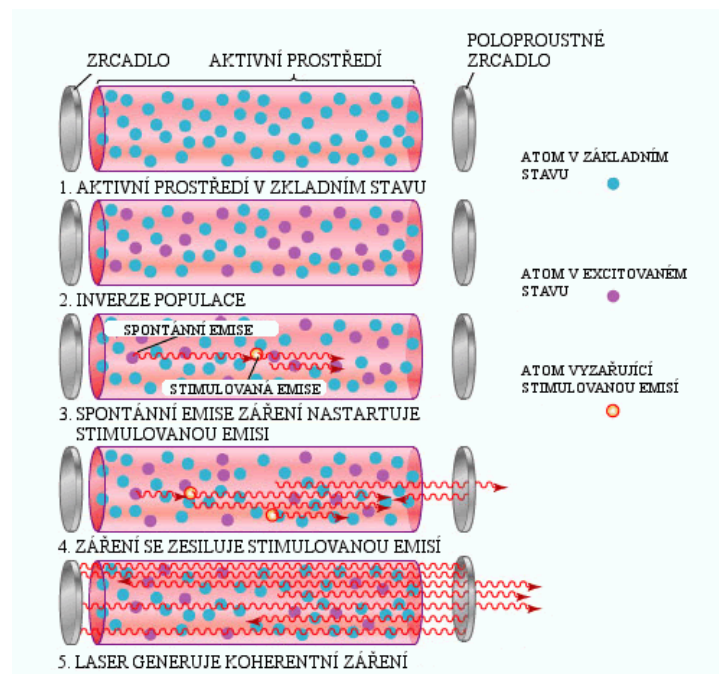
Dnes je už laser nedílnou součástí našeho života, denně se s ním setkáváme na každém kroku. Podle technických parametrů laseru určujeme, pro jakou činnost je vhodný. Setkáváme se s ním nejen v průmyslu ale i v lékařství, biologii, výpočetní technice. V lékařství nahradil laser skalpel nebo ho lze využít na zničení nádorů, ve stomatologii nahrazuje vrtačku. V geodezii se používá pro měření dvou od sebe vzdálených míst. Ve zbrojním průmyslu se laser používá jako zbraň nebo zaměřovač. Nejčastěji se s ním setkáme v laserové tiskárně nebo při každém nákupu v čtečce čárového kódu. V průmyslu nahrazují nekonvenční metody hlavně svou vysokou efektivitou a nízkými náklady.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRINCIP LASERU

Princip obrábění laserem je založen na soustředění viditelného světla na velmi malou plochu obrobku, kdy se využívá jeho energie elektromagnetického záření. Přeměna energie na energii tepelnou probíhá v místě dopadu tohoto záření. Zahřátím docílíme toho, že tavná teplota v místě dopadu přesahuje tavnou teplotu daného obráběného povrchu. Materiál se taví a odpařuje. Laser je generátorem výše zmiňovaných svazků paprsků s velmi vysokou intenzitou. Název laser pochází ze zkratky anglického pojmenování metody zesílení paprsku světla (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Principem laseru je proces uvolňování potenciální energie elektronů atomů prvku. Atomy se nachází ve velmi malém množství v základní hmotě laseru a jsou nositeli zesílení světelných paprsků. Světelný paprsek laseru vyzařuje světlo, které je až stotisíc krát intenzivnější než samotné světlo, které laser ozářilo.

Při používání laseru se využívá technologie vyzařování paprsků ve vodorovném směru. Pomocí optické čočky se pak soustředí tento paprsek na malou plochu obrobku (řádově 0,001 až 0,01 mm). Při tomto jevu dochází v místě dopadu paprsku ke vzniku tak vysoké teploty, že se materiál začne odpařovat. [[1],[2],[3]]



Obr. 1 Princip laseru [5]Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

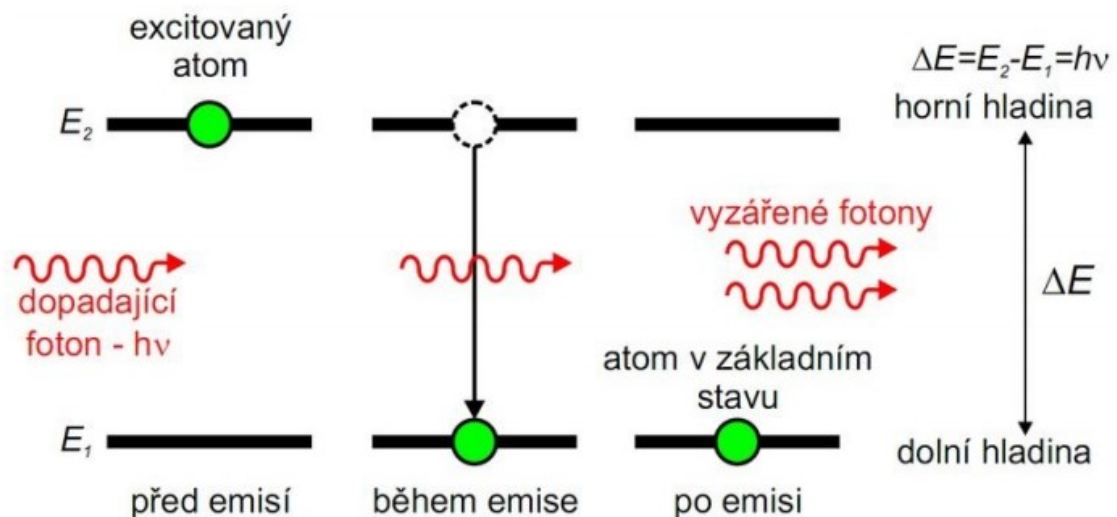
1.1 Buzení paprsku

Princip laseru můžeme popsat pomocí kvantové fyziky a planetárního modelu atomu. Světelné záření je vlnění, šířící se všemi směry. Vlivem působení emise záření laserového světla vzniká spontánní emise v okolí určitého stimulujícího elektromagnetického záření. Vlivem spontánní (samovolné) emise záření dochází k vybuzení atomů s energetickou hladinou E_2 . Dochází k emitaci kvanta světelného záření o frekvenci ν , protože se atomy snaží obsadit hladinu s nižší hodnotou energie E_1 . Frekvenci lze určit z rovnice:

$$E_2 - E_1 = h \cdot \nu$$

Vybuzený atom se v důsledku vnějšího podnětu vrací do původního stavu. Dochází zde k vyzařování nového kvantu, který má hodnotu frekvence stejnou, jakou měl předchozí kvant. Tento děj nazýváme stimulovaná (vynucená) emise záření. Díky tomuto procesu dochází ke vzniku ultrafialového, infračerveného nebo viditelného světelného záření.

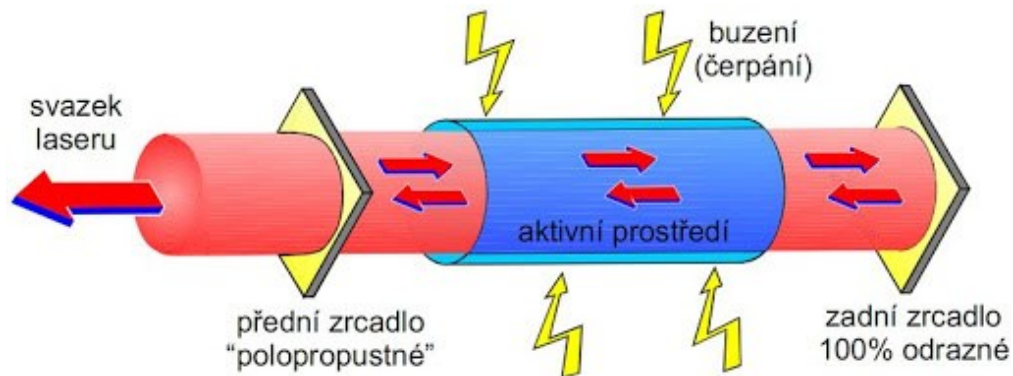
Atom se při běžných podmínkách objevuje v základním stavu. Atom může přecházet z nižší hladiny na vyšší, jedná se o emisi viz. obr. 2. Nebo obráceně, tedy z vyšší na nižší, to se nazývá absorpce. [[1]], [4]



Obr. 2 Emise [5]

1.2 Popis laseru

Laser je generátorem světelných vln a elektronickým zesilovačem, který využívá k vytvoření světelného paprsku stimulovanou emisi záření. Skládá se z aktivního prostředí, ve kterém dochází k stimulované emisi, budícího zařízení, vedení svazku a optického rezonátoru.



Obr. 3 Schéma laseru [5] **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Budící (čerpací) zařízení je zařízení, které dodává energii aktivnímu prostředí a zajišťuje přebytek částic s vyšší energií – inverzní populaci, nutné pro vznik stimulované emise.

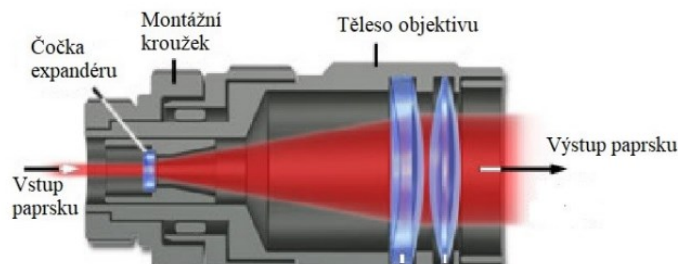
Optický rezonátor je zařazen z důvodu dosažení většího počtu stimulovaných přechodů vůči spontánním. Skládá se ze dvou zrcadel, mezi kterými se nachází aktivní prostředí.

Zrcadla slouží k odrazení záření zpět do aktivního prostředí, kde záření funguje jako podnět pro další stimulovanou emisi. Díky odrazům je záření silnější. Po dosažení potřebné intenzity svazek odchází z rezonátoru pomocí jednoho propustného zrcadla.

V průmyslu je řazen za rezonátor expandér (obr. 4), což je systém čoček a clon. Díky němu docílíme zvýšení kvality svazku, který opouští rezonátor. Také upravuje průměr výstupního svazku.

Nevýhodou je velká ztráta energie, která má za následek snížení výsledné účinnosti laseru.

[[2],[4]]



Obr. 4 Expandér **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

2 ROZDĚLENÍ LASERŮ PODLE AKTIVNÍHO PROSTŘEDÍ

Lasery lze rozdělit podle mnoha kritérií – buzení, výkon, použití. Nejvíce se ale liší aktivním prostředím.

Tabulka 1 Rozdělení laserů [1]

Druh laseru	Aktivní látka		Vlnová délka	Typ paprsku	Výkon laseru	Oblasti aplikace
Pevný	Rubín	Cr ³⁺	0,6943	pulzní	5 W	Holografie
	Nd-YAG	Nd ³⁺	1,064	kontinuální pulzní	100 až 1200 W	Strojní průmysl
	Nd-sklo	Nd ³⁺	1,064	pulzní	2 mW	
	alexandrit		0,7-0,818		10 W	
Polovodičový	GaAs		0,8-0,9	pulzní	2 až 10 W	Informační technologie, optoelektronika
Plynový	CO ₂ (N ₂ -He)	CO ₂	10,6	kontinuální pulzní	500 až 1500 W	Strojní průmysl
	He-Ne	Ne	0,6328; 1,15; 3,39	kontinuální	20 mW	Metrologie, geodézie, holografie
	Ar	Ar ⁺	0,4764; 0,488; 0,5145	kontinuální pulzní	1 až 500 W	Laserová chirurgie
	Excimer (ArCl) (XeCl) (XeFl) (KrF)		0,170 0,308 0,351 0,248	pulzní	20 až 250 W	Fotolitografie, laserová chirurgie, strojírenství
Kapalinový	Barvivo Rhodamine 6	Ethanol, methanol	0,34- 1,175	pulzní	100 W	Fotochemie, spektroskopie

V druhé tabulce můžeme vidět vlastnosti dvou druhů laserů, které se nejčastěji používají v průmyslu.

Tabulka 2 Srovnání CO₂ a Nd:YAG laseru [7]

Laser	Vlnová délka [mm]	Buzení	Efektivita	Režim	Výkon	Životnost (h)
CO ₂	10 600	RF	~10 %	CW/pulsní	10-250 W	~20 000
		EL	~25 %		až 5 kW	
Nd-YAG	1064	LD	~7 %	CW	až 6 kW	~10000
				pulsní	~100 W	
		lampy	~3 %	pulsní	~600 W	~1000

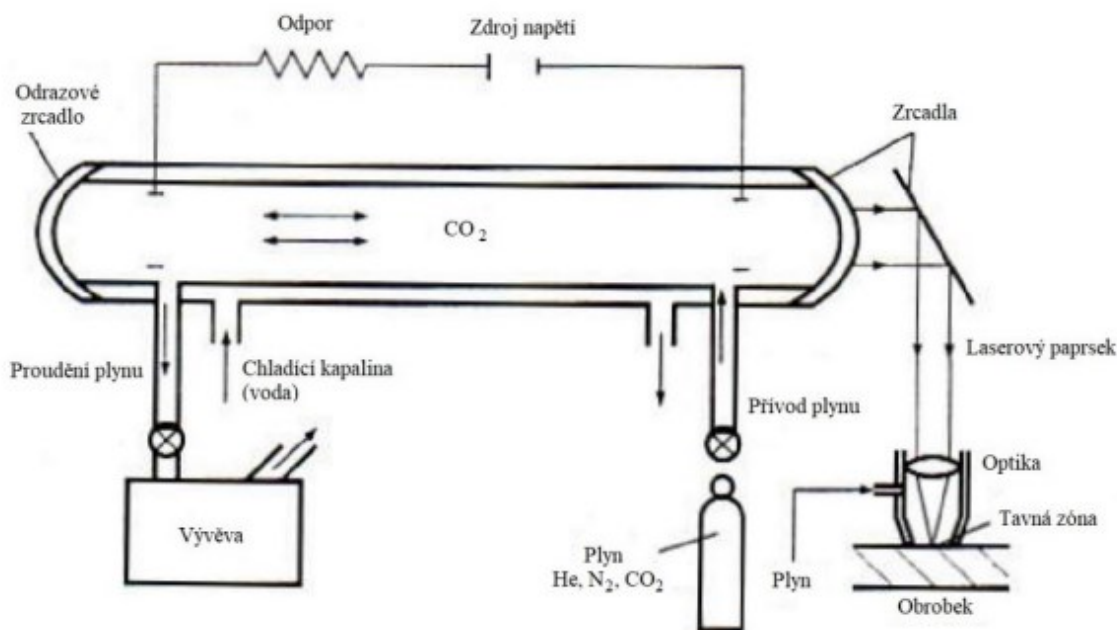
2.1 Plynové

Aktivní prostředí, jak už napovídá název, je zde tvořeno plynem. Buzení probíhá za pomoci elektrického výboje, radiofrekvenčních vln nebo opticky. Můžou pracovat v kontinuálním i v pulzním režimu.

Nejrozšířenější je Helium-neonový laser, který generuje červené světlo nebo infračervené. Infračervený CO₂ Laser se často používá pro průmysl a v medicíně. Pokud bychom chtěli světlo modré nebo zelené, použijeme argonový laser. Speciálním typem jsou excimerové lasery, které generují ultrafialové záření. [8]

2.1.1 CO₂

Základem pro laser je oxid uhličitý. Využívá oscilaci molekul oxidu uhličitého a dusíku ke vzniku stimulované emise. Důležitou součástí je trubice, která obsahuje směs plynů – oxidu uhličitého, dusíku a helia. Doutnavým výbojem mezi elektrodami napájené vysokým napětím, nám vzniká energie potřebná k vybuzení neboli excitaci. Elektrony vybuzené ze svého základního energetického stavu E_0 se srážejí s molekulami N₂ a excitují do prvního vibračního stavu na energetické hladině E_1 , která se blíží k energii E_2 . Kmitavá energie molekul se může velmi rychle a účelně měnit vlivem nepružných srážek molekul oxidu uhličitého s molekulami dusíku. Přeměnou z vyšší energetické hladiny na nižší přechází z nepravidelných vibrací na symetrické vibrace, což je doprovázeno vyzářením energie o vlnové délce 10,6 μm . [1]

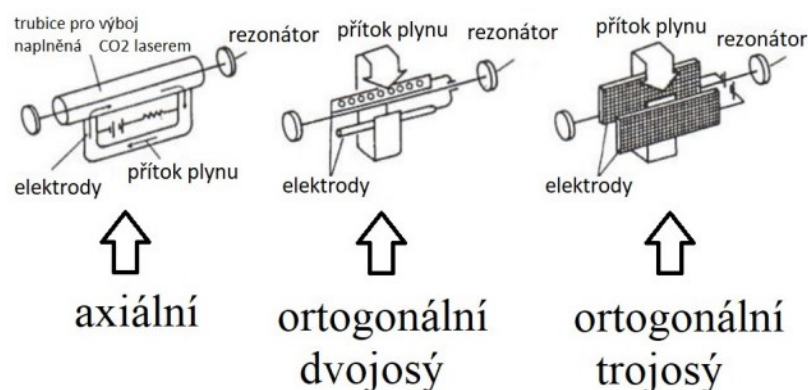


Obr. 5 Schéma CO₂ laseru [1]

Neustále musíme zajišťovat dostatečné množství energie potřebné k chodu zařízení. Proto je nutné obnovovat energetickou hladinu E_2 , dodávat energii pomocí doutnavého výboje a zajišťovat odběr energie ve spodní hladině. Odběr energie je zajištěn srážkou molekul s heliem, přičemž přebytečná energie je odvedena ze soustavy v podobě tepla pomocí vody. Teplota v dutině laseru nesmí překročit teplotu 127 °C, a proto je velmi důležité ji chladit. Plyn můžeme znovu použít pro celý proces, pokud jej regenerujeme, tedy obohatíme o čerstvou směs. Regenerace je velmi důležitá z důvodu rozpadu dvou hlavních složek (oxid uhelnatý a kyslík) což má za následek snížení výkonu laseru. [1]

Lasery na bázi CO₂ rozdělujeme na:

- axiální – plyn proudící rovnoběžně s optickou osou laseru, výkon laseru je dán také délkou laserové trubice, která může být dlouhá až deset metrů, nejpoužívanější typ.
- průřezové – plyn proudící kolmo vůči směru optické osy, a přitom také kolmo ke směru elektrického výboje v dutině laseru, dle vztahu mezi přívodem plynu a výbojem lze dále dělit na dvojosý a tříosý



Obr. 6 Typy oscilátorů [1]

Z rezonátoru se vyzáří vybuzený laserový paprsek polopropustným zrcadlem. Soustavou zrcadel je paprsek přiveden až do laserové hlavice na fokusační čočku. Čočka je zde chlazená chladícím prstencem. Optiku laseru lze upravit různými přísadami, jako je chlorid sodný, galium, arzén.

Pomocný plyn, který vystupuje z laserové hlavice souběžně se samotným paprskem, má několik funkcí:

- působením laseru se materiál rozpadá a pomocný plyn chrání optickou soustavu
- vytváří ochranou, oxidační nebo jinou agresivní atmosféru při kontaktu paprsku s materiálem
- pomáhá odstraňovat z materiálu taveninu nebo výpary z opracovávaného materiálu, [[1]]

2.1.2 Excimerové

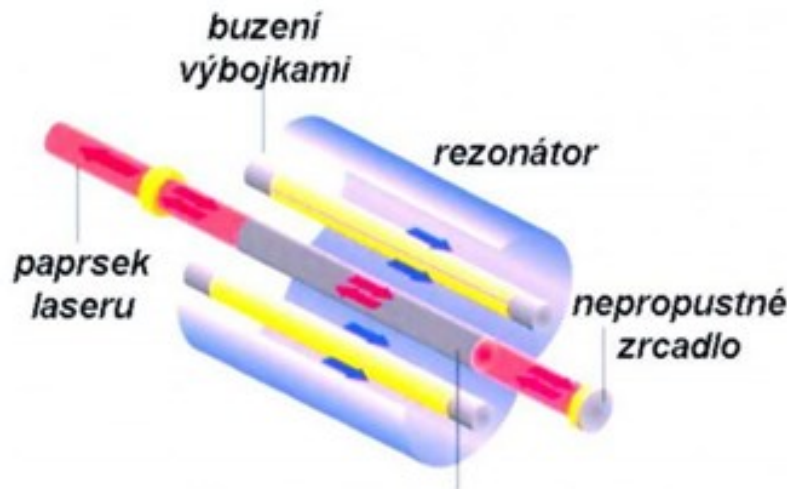
Buzení vzniká díky elektrickému výboji. Laser se nazývá excimerový, protože se molekuly plynu buzením dostávají do excitovaného stavu. Zde se využívá směs plynů argonu a xenonu jako aktivní prostředí, které rovněž určují vlnovou délku záření. Vlnová délka je v ultrafialové oblasti v rozmezí 157 nm až 351 nm. Musíme zvolit prostředí vakua, protože rozsah vlnových délek je dobře pohlcován vzduchem. Při nízké rozbíhavosti je kvalita paprsku nejvyšší. Dokáže vyvinout velmi krátké pulzy, o výkonech od miliwattů po kilowatty. Využití laseru je nejběžnější pro jemné opracování, protože zde nedochází k tepelnému ovlivnění oblasti. Další použití je pro vrtání, mikro-obrábění nebo medicínský průmysl. Hlavní nevýhodou je krátká životnost aktivního prostředí. [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.]

2.2 Pevnolátkové

Aktivní prostředí je nejčastěji pevná látka, s příměsí vhodných iontů, v podobě krystalů, skel nebo granátů. Na rozdíl od plynových laserů buzení bývá optické. Pracují ve všech režimech a jsou flexibilní. Generují záření o vlnových délkách v oblasti viditelného až infračerveného záření. Velká výhoda u těchto laserů je jejich malá náročnost na údržbu a pracovní podmínky. [8][10]

2.2.1 Neodym

Neodym se řadí k nejčastějším laserům využívaných v průmyslu s výkony do 10 kW. Zástupcem této skupiny laserů je Nd:YAG s vyzařováním o vlnové délce 1,064 μm , kde je ionty neodymu (Nd) dopován yttrito-hlinitý granát (YAG). Pracuje v kontinuálním i pulzním režimu. V kontinuálním režimu dosahuje výkonu 6 kW, v pulzním 109 W. Lze dosáhnout i vyššího výkonu, pokud zapojíme kaskádové zesilovače. Výhodou oproti plynovým laserům je možnost vedení paprsku optickým vláknem. Používáme pro svařování, řezání, vrtání a žihání. Využití má také v lékařství, kde se používá jako skalpel. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



Obr. 7 Nd:YAG laser **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

2.3 Kapalinové

Aktivní prostředí je tvořeno speciálně připravenými kapalinami nebo roztoky organických barev. Pro buzení se používá optické záření. Používají se hlavně ve spektroskopii, díky velkému rozsahu vlnové délky, která může být od 300 nm po 1500 nm. V průmyslu nejsou rozšířeny z důvodu krátké životnosti aktivního prostředí. Mohou se používat v medicíně pro odstranění nádorů. [9][10]

2.4 Polovodičové

Základem laseru je velmi malá dioda. To je velká výhoda, ale nevýhodou je větší rozbíhavost než u ostatních laserů. Může dosahovat účinnosti až 50 % a výkon lze jednoduše měnit změnou elektrického proudu. Buzení je uskutečněno fotony, svazkem elektronů nebo elektrickým polem. Můžeme je najít v počítačové, informační nebo spotřební elektronice.

[8][11]

3 VYUŽITÍ LASERU

Díky snaze o zvýšení efektivity a kvality výroby se stal laser nepostradatelným v průmyslu. Na rozdíl od konvenčních technologií umožňuje opracovávat i křehké materiály jako je sklo nebo keramika. Paprsek má malý průměr a umožňuje opracovat i špatně dostupná místa. Laserem můžeme soustružit, frézovat, řezat, svařovat nebo i opracovávat povrch.

3.1 Řezání

Při řezání laserem dosahujeme přesných, úzkých, hladkých řezů bez okují. Hrany jsou kolmé a není nutné je dále upravovat. Hloubka řezu závisí na druhu řezaného materiálu a také na výkonu laseru. Laserové řezání je v dnešní době velmi rozšířená technologie dělení materiálu. Princip této technologie spočívá v tavení materiálu bez mechanického působení. Dosahuje se velmi kvalitního řezu a díky vysoké hustotě výkonu laserového paprsku i velkých řezných rychlostí. Vzhledem k malé stopě laserového paprsku je řezná spára 13 tenká a ztráta materiálu řezem je tedy velmi malá. Při malé stopě paprsku se dají řezat i složité a jemné tvary, proto laserové řezání velmi dobře konkuruje ostatním řezacím technologiím. Tato technologie je nejvhodnější pro plošné řezání, tedy řezání plechů, kdy hlavním limitujícím faktorem je tloušťka řezaného plechu (Obr. 8). Tento parametr je závislý především na výkonu laseru. Plechy z korozi-vzdorné oceli se dají efektivně řezat až do tloušťky 50 mm. Nejpoužívanějšími lasery pro řezání jsou Nd:YAG a CO₂ lasery. CO₂ lasery mohou dosahovat velmi vysokých výkonů a jsou vhodné pro řezání běžných, korozi-vzdorných, či legovaných ocelí velkých tlouštěk. Nd:YAG lasery se hodí pro řezání kovových i nekovových materiálů menších tlouštěk. [12][13]



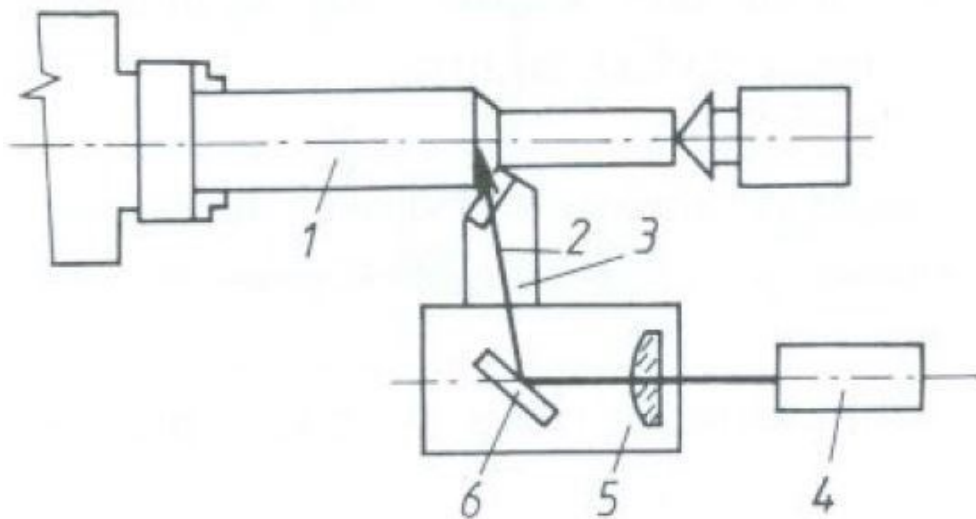
Obr. 8 Laserové řezání *Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.*

3.2 Obrábění

Na rozdíl od vrtání, které je jednorozměrný proces nebo řezání, které je dvourozměrný proces, při soustružení a frézování potřebujeme rozměry alespoň tři. V praxi je můžeme najít pod zkratkami LM a LAM (Laser machining, Laser-assisted machining).[12]

3.2.1 Laserem podporované obrábění

Jedná se o konvenční obrábění, kdy laser použit jako tepelný předehřev. Metoda se používá především při obrábění keramických a těžko obrobitelných materiálů. Při normálním obrábění by se muselo použít pomalých rychlostí a častých povrchových vad. Také je potřeba drahých nástrojů, nejlépe z diamantu, které značně navyšují cenu. Zatím co laserem podporovaného obrábění sníží náklady, umožní odebírat materiály s větší šířkou záběru ostří, zvýší životnost nástroje a zároveň sníží strojní časy. Vhodné je použití laseru Nd:YAG nebo CO2 laseru.[12]



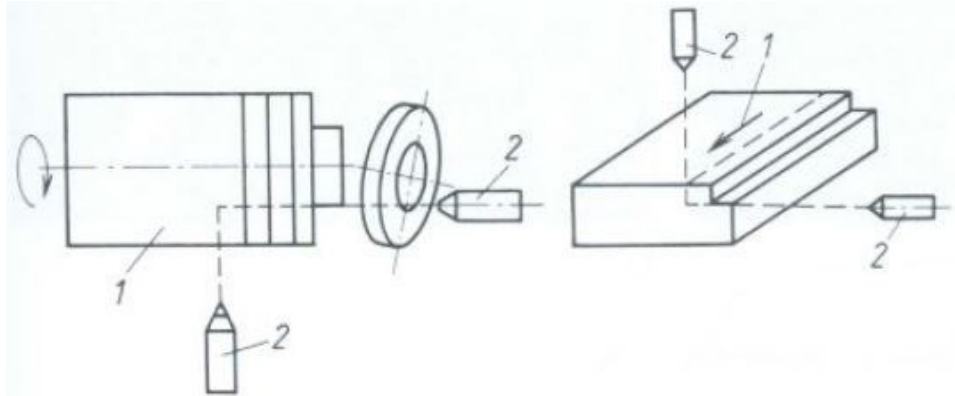
Obr. 9 Obrábění pomocí laseru [15]

1 – obrobek, 2 – paprsek laseru, 3 - řezný nástroj, 4 – laser, 5 – suport soustruhu,
6 – zrcadlo

3.2.2 Obrábění laserem

Paprsek laseru je použit jako nástroj pro odebrání materiálu. Můžeme použít dvě metody, první je použití jen jednoho paprsku, zatím co u druhé použijeme dva paprsky současně (viz obr. 10). U první metody laserová hlava vyzařuje paprsek kolmo na obrobek a zároveň se posunuje, tím se odpařuje materiál. Vhodné pro jednoduché obrábění, žádné složité tvary.

Při použití dvou paprsků proniká jeden paprsek druhým a tím je odebrán materiál. Použití u hůře obrobitelných materiálů jako jsou například křemičitany nebo nitridy. [16]



Obr. 10 Obrábění pomocí laserů **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

3.3 Gravírování

Jedná se o metodu, při které se laser používá nejčastěji. Často bývá zařazována přímo do výrobní linky, což nám zkrátí čas. Výhodou je že můžeme popisovat více druhů materiálů než například při klasickém soustružení. Nepoužívá se jen na značení kovových součástí ve strojírenství, ale laserem se značí i skla automobilů nebo popis plastových klávesnic. Další použití je na kompozity, keramiku nebo pryž. Značení materiálů laserem lze provést do libovolné hloubky, lze popisovat nepravidelně zakřivené povrchy, vytvářet složité texty nebo i čárové kódy (obr. 17). Obraz je vytvořen rozmitáním paprsku po povrchu materiálu. V místě dotyku svazku s materiálem je materiál odpařen nebo se změní jeho barva. Vše je prováděno vysokou rychlostí, bezkontaktně a zbytek výrobku není nijak ovlivněn. K popisu kovů se používají diodové lasery Nd:YAG, pro pryže a pro dřevo CO2 lasery. [12]



Obr. 11 Příklad popisování laserem [17]

Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

3.4 Neprůmyslové využití

S lasery se ale nesetkáváme jen v průmyslu, ale i každodenním životě. Stali se pro nás samozřejmostí, bez které se neobejdeme. Setkáváme se s nimi v kancelářích, ve školách i v domácnostech.

- Optická mechanika

V počítačích nebo noteboocích jsou často optické mechaniky (DVD, CD), které fungují na principu čtení a zápisu dat pomocí laserového svazku. Nejdůležitější část optické mechaniky tvoří polovodičový laser. Laserový paprsek usměrněný čočkou dopadá na povrch zapisovaného disku, na kterém je vrstva zlata nebo hliníku s organickou vrstvou pokrytou polykarbonátem. Laserový paprsek vytvoří důlek tak, že projde organickou vrstvou až k vrstvě zlata. Více takových důlků nám dává konkrétní informaci. Čím máme výkonnější laser, tím rychleji vypalujeme. Laser pak vysílá paprsek na otáčející se disk. V místech, kde vznikl důlek se odráží svazek s jinou intenzitou než v místech bez důlku. Změna intenzity je zaznamenávána fotodiodou, přes kterou se intenzita převede na elektrický signál.

- Laserová tiskárna

Dalším příkladem použití je například laserová tiskárna. Funguje na principu vykreslování textu nebo obrázku laserového paprsku na světlo citlivý válec. Povrch válce tvoří polovodič, proto v místě dopadu laserového svazku elektrický náboj poklesne. Toner pak přilne pouze na místech, s opačným nábojem, která byla ovlivněna laserovým paprskem. Ostatní části válce se odpuzují, protože jsou stejně nabitě jako toner. Výhodou laserové tiskárny je kvalita tisku, nevýhodou je zase cena oproti jiným druhům tiskáren.

- Laserové ukazovátko

Jeho základem je malá laserová dioda s elektronickým obvodem. Kvalitu diody zlepšuje spojná čočka, která zajišťuje rovnoběžnost paprsků. K napájení se používá malá baterie. Používá se také na zaměřování u zbraní.

- Čtečka čárového kódu

Laser svítí, rychle kmitá a přejíždí přes čárový kód a odráží paprsek od bílých mezer. Černá barva pohlcuje světlo, a proto se od ní nic neodrazí. Kmitání zajišťuje zrcadlo, které se otáčí kolem své osy a vychyluje paprsek. Spojením informace o poloze paprsku a zda se odráží nebo ne nám dá informaci, kterou pak další program převede do databáze a určí o jakou položku se jedná. [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů., Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.]

4 MATERIÁLY

Nejvíce používaným materiálem pro gravírování jsou polymery. Tak jako v mnoha odvětvích polymery nahrazují dříve používané materiály jako jsou kovy. Mezi další běžně používané materiály patří dural, mosaz, dřevo, sklo, kůže. [13]

4.1 Dřevo

Dřevo je velmi populární materiál, který se používá v různých odvětvích, především díky své proměnlivosti. Homogennější struktura zajišťuje vhodnost pro laserové gravírování a řezání. Práce se dřevem je ovlivněna několika vlastnostmi, a to především jeho vlhkostí, obsahem olejů a pryskyřic, hustotou. Během zpracování dřeva se může objevit oxidace, která se projeví jako zčernání. Oxidaci nejde zabránit, a proto je nutné zvolit vhodný druh dřeva. Ideální pro zpracování je sušší dřevo s nízkým obsahem pryskyřice, proto není vhodné použít dřevo z jehličnatého stromu. Fyzikální vlastnosti dřeva ovlivňují chování výrobku. Je to zbarvení dřeva, kresba dřeva, vlhkost, hustota, vůně, zvukové, tepelné a elektrické vlastnosti.

Vlastnosti se mění s druhem dřeva, jehličnany jsou nejměkčí a nejméně pevné. Lepší vlastnosti najdeme u listnatých stromů jako je například dub, buk, javor.

[18]Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.



Obr. 12 Struktura dřeva [19][20]

4.2 Sklo

Sklo je anorganický amorfní (nekystalický) materiál, vyrobený tavením vhodných surovin a následným řízeným ochlazením vzniklé skloviny bez krystalizace. Skelný stav vzniká plynulým přechodem ze stavu kapalného do stavu pevného, při ochlazování skla dochází k

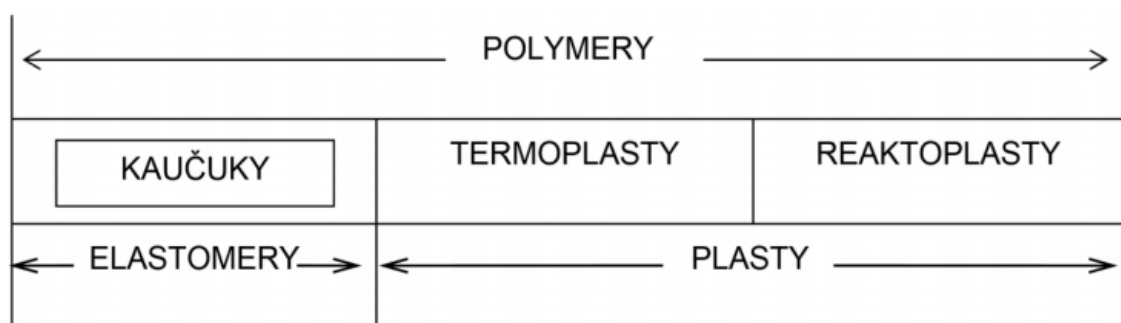
plynulému růstu viskozity až na tak vysokou hodnotu, že se materiál navenek jeví jako pevná látka. Na rozdíl od krystalických látek postrádá struktura skla pravidelné, symetrické a periodické uspořádání základních stavebních jednotek na delší vzdálenosti. Z chemického hlediska jsou běžná skla tuhým roztokem různých křemičitanů sodných, draselných, vápenatých, případně olovnatých nebo barnatých, které jsou doprovázeny dalšími sloučeninami, zejména oxidy kovů. Tyto příměsi udávají vlastnosti jednotlivých skel, které pak rozhodují o jeho dalším využití. V místě dopadu laserového záření na povrch skla dojde k částečnému odpaření a natavení skloviny a k jejímu povrchovému popraskání. Pro gravírování skla se využívá laserů, jejichž záření je sklem dobře absorbováno, např. kontinuálního CO₂ laseru. [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů., Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.]



Obr. 13 Sklo [24]

4.3 Polymery

Polymery jsou látky s obrovskou rozmanitostí vlastností a možností jejich využití. V podobě výrobku se vyskytují v tuhém stavu, během zpracovávání však procházejí kapalnou fází. Polymery dělíme na dvě hlavní skupiny, elastomery a plasty. [25]



Obr. 14 Základní dělení polymerů [25]

4.3.1 Elastomery

Elastomery mají vysokou elastickou deformaci v tahu. Pod elastomery řadíme kaučuky, které jsou vstupní surovinou pro výrobu pryže. Kaučuk je polymer, který má reaktivní místa v molekulárním řetězci, jako jsou například dvojnásobné vazby. Díky nim může proběhnout chemická síťovací reakce, která se nazývá vulkanizace. Tvar získaný vulkanizací si pryž zachovává a je možné jej měnit jen opracováním. Za pomoci tváření nelze dosáhnout změny tvaru.

Gravírování do pryže se například používá při vytváření razítek, jako na obr. 29. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**[26][28]



Obr. 15 Razítka z pryže [29]

4.3.2 Plasty

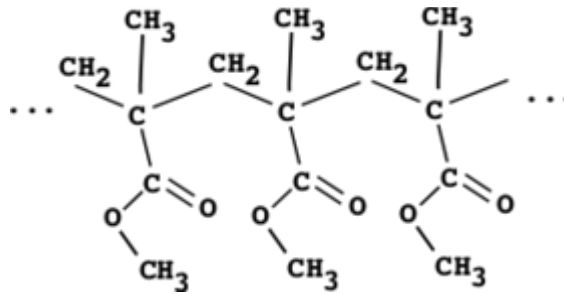
Reaktoplasty

Při zahřátí nebo přidání vytvrzovacího prostředku přechází z lineárního viskózního stavu do stavu zesíťovaného. Tím vytvoří prostorovou trojrozměrnou síť, která nastává při tváření vlivem teploty a tlaku. Poté už není možné další tváření, protože při ohřevu se teplota neroztaví a nelze ji tvarovat. Oproti termoplastům jsou tvrdší, tužší a tepelně odolnější. [30]

Termoplasty

Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a dají se tvarovat. Deformace jsou po tepelné deformaci vratné. Jsou složeny z lineárních makromolekul s dlouhým řetězcem. Řetězce jsou mezi sebou drženy mezimolekulárními interakcemi – van der Waalovými silami nebo vodíkovými můstky. Při zahřátí termoplastu tyto interakce slábnou a dochází ke změknutí polymeru. Díky snadnému zpracování se často lisují nebo odlévají. [30]

Polymethylmethakrytál – PMMA, běžně známý jako plexisklo nebo organické sklo, je zástupcem transparentních syntetických termoplastů.



Obr. 16 vzorec PMMA [31]

Jeho nejcharakterističtější vlastností je jeho čírost a naprostá bezbarvost i v tlustých vrstvách. Propustnost světla je až 92 % v celém rozsahu spektra. To umožňuje jeho dokonalou průhlednost a snadné vybarvování. Z termoplastů je nejodolnější proti povětrnosti. Má dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti, odolává vodě, kyselinám. Jeho největším nedostatkem je malý povrchový odpor, což umožňuje snadné poškrábání povrchu. Při obrábění nekonvenčními metodami patří mezi jeden z nejlépe obrobitelných polymerních materiálů. V mnoha případech se používá jako náhražka skla. Výhodou oproti sklu jsou nižší výrobní náklady, menší hmotnost, možnost ohýbání a větší odolnost vůči nárazům. [25][31][25] [32][33]

5 TVORBA SOUBORŮ

Od zdlouhavého a pracného programování NC strojů pomocí děrné pásky, ze které byly definovány pomocí kódů jednotlivé pracovní kroky, se přecházelo postupně na řízení pracovního procesu pomocí počítače. V souvislosti s nástupem PC bylo možno dráhu laserového paprsku definovat pomocí Auto CAD, později pomocí vývoje CAD systémů se pro laserové zařízení o výkonech 2000 W používá software Jet CAM.

Při každém obrábění se musíme rozhodnout, zda použijeme vektorovou nebo rastrovou grafiku. Pokud budeme chtít vygravírovat foto, obrázek nebo plný text, použijeme rastrovou grafiku. Takovýto soubor je tvořen pixely a laser postupuje bod po bodu (jako u tiskárny). Může být ve formátu jpg, png, bm. Nevýhodou je delší čas zpracování. Vektorová grafika se skládá z čar, křivek a oblouků, kdy má každá část své souřadnice a vlastnosti. Laser se pohybuje pouze po definovaných křivkách a tím je pohyb přesnější a rychlejší. Vhodné programy jsou například pro podporu konstruování CAD, Solid Edge, Radan nebo grafické programy jako je CorelDraw. [34]

5.1 Auto CAD

Auto CAD, jeden z nejpoužívanějších 2D a 3D CAD návrhových nástrojů na světě, funguje na většině operačních systémů a v mnoha světových jazycích. Prezentuje se mnoha miliony oficiálních instalací. Je určen pro jednoduché kreslení i pro složitější návrhy, které program s mnoha přídatky umožňuje. Jeho primárním účelem jsou 2D strojní dokumenty. Na práci ve 3D se se svými doplňky používá, avšak odborníci v tomto oboru dávají často přednost konkurenčním programům či některému z dalších programů firmy Autodesk. Formáty výkresu, v nichž Auto CAD ukládá své výkresy, formáty dwg a dxf, jsou již brány jako základ pro sdílení dat programů CAD. [35]

5.2 Jet CAM

Jet CAM je systém pro automatizaci tvorby programů řezacích strojů. Obsahuje CAD pro kreslení a import dílů z jiných CAD systémů, rozklad dílů na definovaný rozměr plechu, tvorbu technologického postupu, simulaci a optimalizaci práci nástroje a automatické generování NC kódů včetně informací pro systém řízení. Systém podporuje velké množství strojů.

V systému lze vytvářet, nebo do něj importovat výkresy ve formátu dxf, dwg, iges z jiných CAD softwarů. Systém také umožňuje případnou opravu vložených výkresů jejich automatickým čištěním a úpravou.

V rámci řezacích strojů má Jet CAM celou řadu funkcí usnadňující práci. Jedná se o automatické rozlišení kontur určující pozici odstraněného materiálu, tvar a velikost nájezdů, výjezdů, kontrolu lokálního tepelného ovlivnění materiálu. Jde volit různé typy společných řezů a postupů, tak aby byl lépe využit materiál i strojní čas. Možnost simulace poskytuje ověření vygenerovaného procesu a jeho případnou opravu. [36][37]

5.3 CorelDRAW

Jedná se o program určený pro tvorbu a úpravu vektorové grafiky. Sada CorelDRAW je balík obsahující jednotlivé grafické aplikace se stovkami klipartů, písem a webových prvků. Je to jeden z nejznámějších programů určených k tvorbě ve vektorové grafice. Největší výhodou je jeho cena oproti ostatním produktům, to je také důvod jeho rozšířenosti. Na rozdíl od CAD systému dokáže formátovat obrázky nejen v dwg ale i jpg nebo gif. [39]

Detailněji bude nástroj CorelDRAW rozebrán v praktické části z důvodu komunikace zařízení s tímto softwarem, budou zde vyhotoveny soubory pro vyhodnocení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRÁCE

Vyhotovení souborů pro obrábění na laserovém zařízení ILS 3NM, čehož bylo dosaženo:

- Vytvořením souborů pro testování pracovních podmínek
- Vyhotovením vzorků testovaných pracovních podmínek
- Vyhotovením finálního výrobku

7 LASER ILS 3NM

Vzorky byly vyrobeny pomocí laserového zařízení ILS 3NM (obr. 17), který je vhodný pro gravírování dřeva, PMMA, skla, pryže, tkaniny, plastové folie, mramor a povrchově upravené kovy.

Zařízení je plně kompaktní se softwarem Microsoft Windows, ke kterému je připojení přes USB, LAN nebo paralelní port.

Vnější rozměry jsou 970x865x990 mm, omezuje nás však velikost pracovní plochy, která má šířku 660 mm, délku 495 mm a hloubku 210 mm. Pro gravírování můžeme použít řeznou rychlost až 1524 mm/s. Rozlišení může být 166, 200, 250, 333, 500 nebo 1000 DPI („dots per inch“). Maximální výkon laseru je 100 W a lze jej nastavit od 0 % do 100 %. Další specifikace zařízení jsou uvedeny v tabulce 3, str. 33.



Obr. 17 Laser ILS 3NM [39]

Tabulka 3 Technické parametry laseru

Model	ILS-III-NM-100
Zdroj laseru	100 Watt, chlazení vzduchem, CO2 laser
Požadavek napájení	110/220 VAC, 20/10 A, 50/60 Hz
Řízení výkonu	Digitální řízení výkonu od 0–100 % s automatickým proporcionálním pulsním a barevným napájením
Maximální rychlost	1524 mm/s
Rozlišení	DPI 1000, DPI 500, DPI 333, DPI 250, DPI 200, DPI 166
Pracovní plocha	Šířka 660 mm, výška 495 mm
Nastavení osy Z	Nastavení až do výšky 210 mm
Maximální velikost obrobku	Šířka 660 mm, výška 495 mm, hloubka 200 mm
Paměť	64 MB / do 99 souborů
Display	LCD display zobrazující název aktuálního souboru, výkon laseru, rychlost rastru nebo vektoru, čas chodu, počet souborů načtených do paměti, nastavení a méně.
Počítačové rozhraní	Paralelní port, ethernetový port (LAN, MAN)
Software	Kompatibilní s většinou softwaru Windows, CAD.
Provozní režimy	Vektorové řezání, rastrové gravírování a bodové vrtání.
Hmotnost	230 kg
Vnější rozměry	Šířka 970 mm, výška 865 mm, hloubka 990 mm
Bezpečnostní třída	CDRH třída 1
Odsávání	Venkovní dmychadlo a potrubí

8 TVORBA SOUBORŮ

K vytvoření souborů pro gravírování byl použit program CorelDRAW. Způsoby tvorby souborů k obrábění jsou uvedeny v následujících kapitolách.

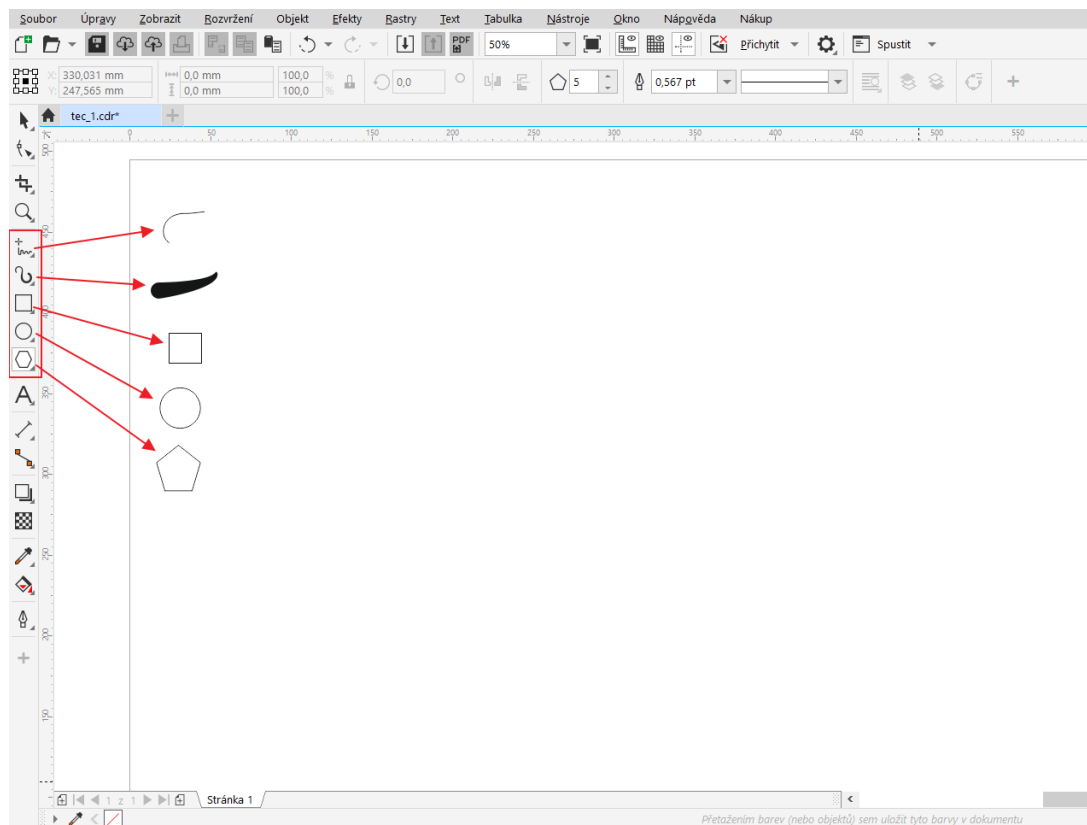
Laser ILS 3NM je schopen přečíst pouze barvy ze základní palety barev RGB, jsou to barvy (Tabulka 4) černá, červená, zelená, žlutá, modrá, purpurová, azurová a oranžová. Každé barvě můžeme nadefinovat vlastní řezné podmínky a tím ovlivnit jakou rychlostí a s jakým výkonem laser při dané barvě pojede. Výkon a rychlost lze definovat procenty od 0,1 do 100 %. 100 % výkonu odpovídá 100 W a 100 % rychlosti odpovídá 1524 mm/s.

Tabulka 4 Barvy RGB palety

Barva	Červená	Zelená	Modrá
Černá	0	0	0
Červená	255	255	0
Zelená	0	255	0
Žlutá	255	255	0
Modrá	0	0	255
Purpurová	255	0	255
Azurová	0	255	255
Oranžová	255	102	0

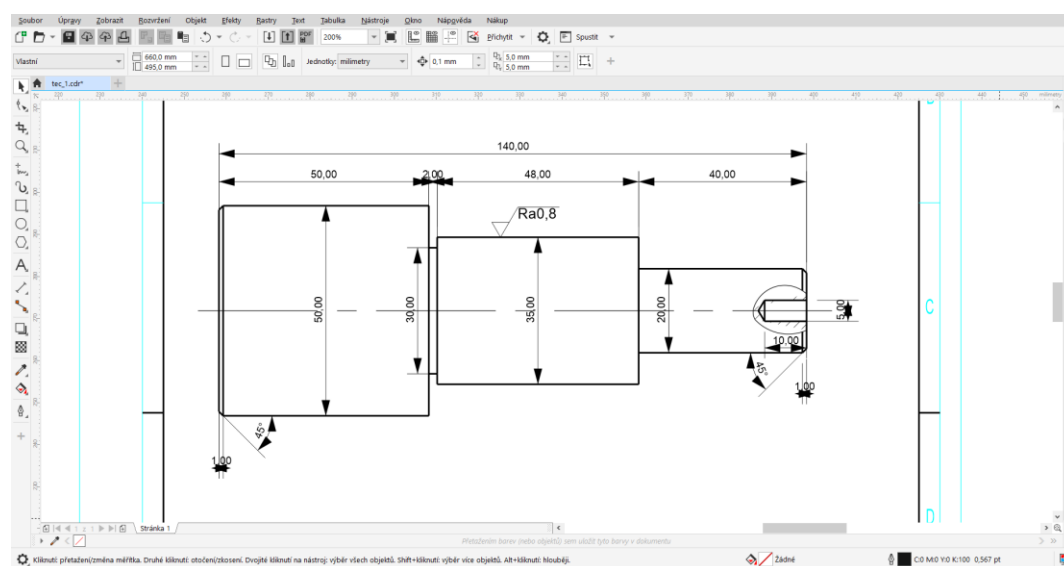
8.1 Vektorová grafika

O vektorový režim se jedná, pokud jde pouze o obrazec složený z entit jako je bod, čára, křivka, oblouk. Toho lze dosáhnout příkazem z panelu nástrojů ruční režim, malířské techniky, obdélník, elipsa nebo mnohoúhelník (obr. 18). Při tisku laser vytvoří pouze trajektorii vlasového obrysu, takže je často využit na vyříznutí ohraničení kolem objektu. V případě, že máme vektorovou i rastrovou grafiku v jednom obrázku (jako je kruh s obrysem), laser nejprve vytvoří vnitřek kruhu a až poté jeho obrys.



Obr. 18 Ukázka vektorové grafiky

V programu CorelDRAW lze otevřít 2D výkresy vytvořené v prostředí CAD uložené s příponou dwg nebo 3D uložené jako dxf. Po otevření souboru lze pracovat s křivkami jako s vektorovým souborem.



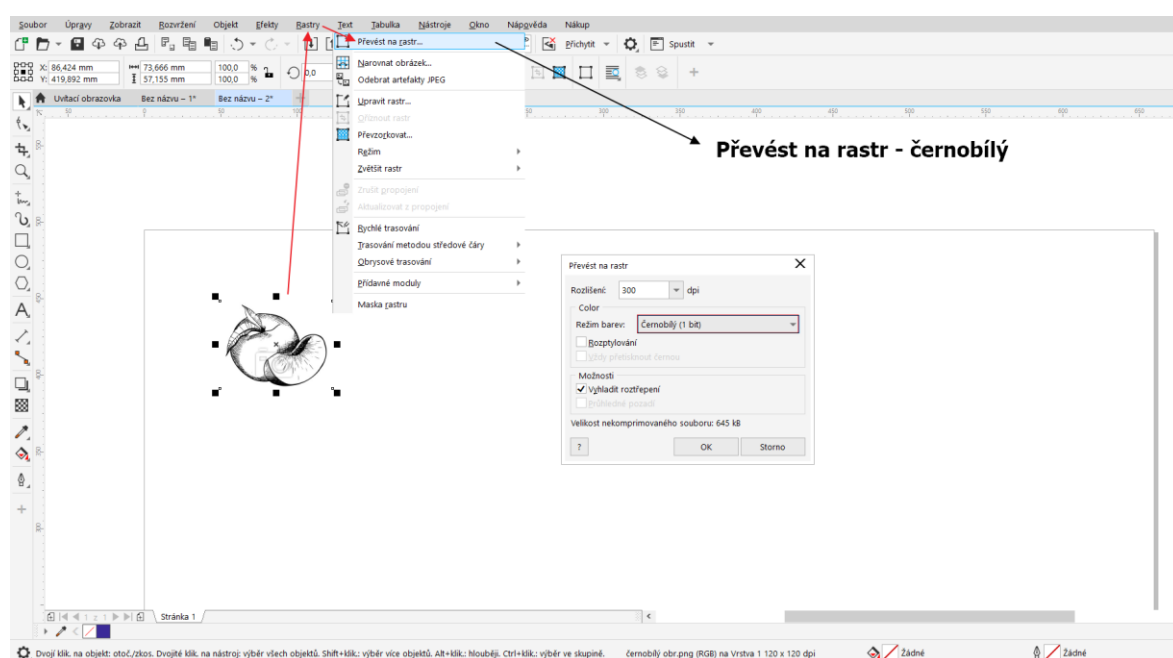
Obr. 19 Výkres z DWG

8.2 Rastrová grafika

Rastr je tvořen pixely, které jsou ve fotce nebo obrázku. S fotografiemi lze pracovat v prostředí Corel Draw, kde je možnost upravování pomocí různých nástrojů. V rastrovém režimu je tisk časově náročnější, protože laserový paprsek přejíždí přes celý nadefinovaný objekt v řádcích.

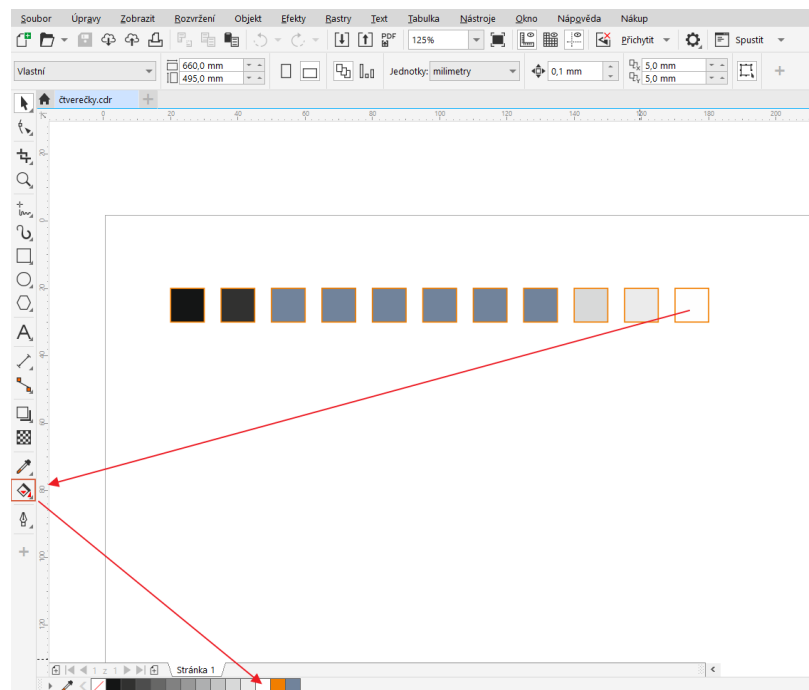
8.2.1 Černobílá fotografie

Nejrychlejší způsob je převést fotku na černobílou viz obr. 20. Toto můžeme jen zřídka použít a to tehdy, pokud se nám odstíny barev nepřekrývají. Takto upravený soubor je již připraven k tisku.



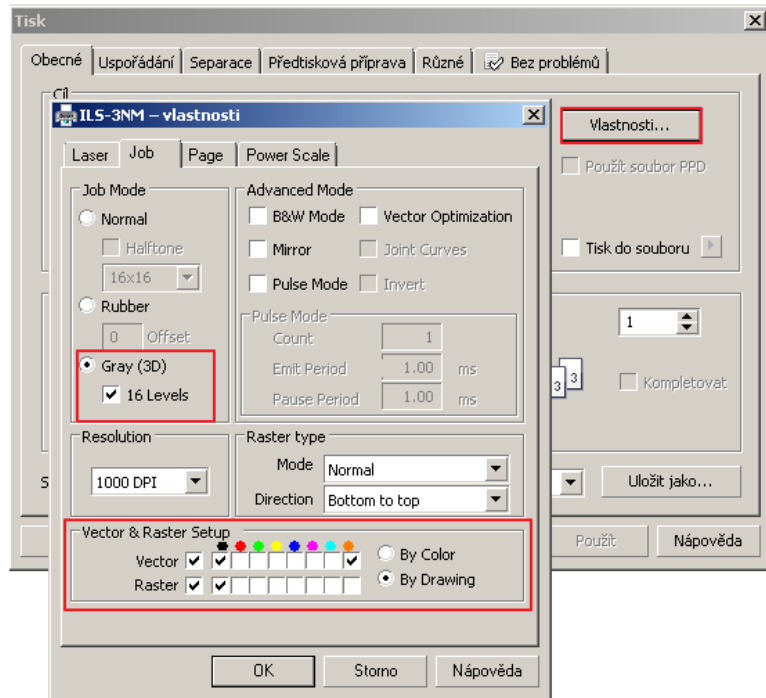
Obr. 20 Černobílá fotografie

V programu CorelDraw byly vytvořeny čtverce pro vyzkoušení, zda šedou lze použít jako černou s menší reznou rychlostí. Bylo vytvořeno jedenáct stejných čtverců s barvou výplně od černé po bílou. První čtverec měl 100 % černé a 0 % bílé, postupně bylo po deseti procentech snižováno černé a přidáváno bílé. Pro poslední objekt byla přiřazena bílá barva pomocí příkazu barva výplně viz obr 21.

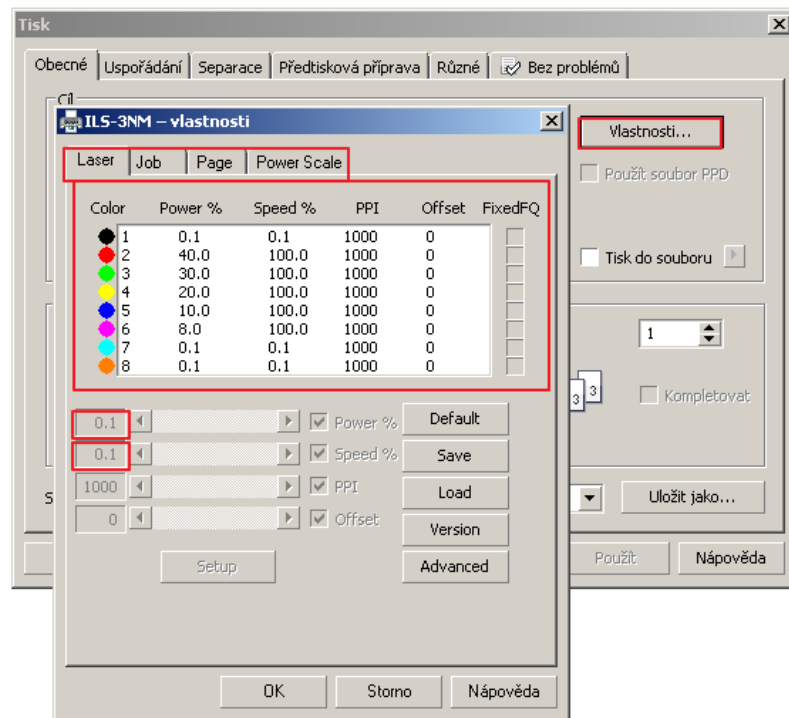


Obr. 21 Zkušební čtverečky

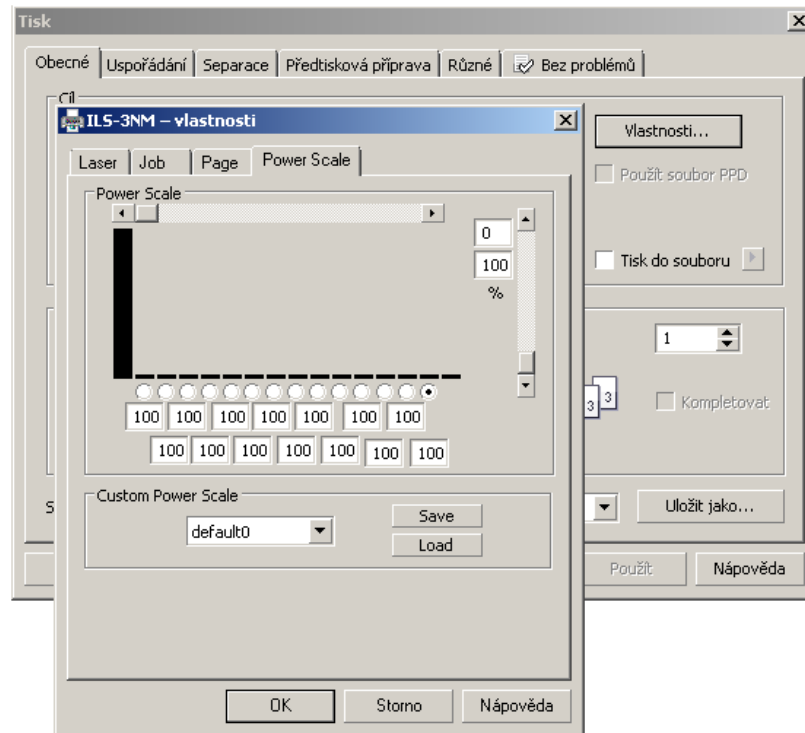
Čtverce byly vtištěny na papír s nastavením tisku Vlastnosti → Laser, v kartě Laser (obr. 23) byly nastaveny řezné podmínky pro černou barvu: výkon 20 % (20 W) a rychlost 100 % (1524 mm/s) a výkon 25 % s rychlostí 100 % pro barvu oranžovou. Pokud je v kartě Job (obr. 22) nastaveno režim šedá a je zakliknuto 16 Levels, jde zadávat výkon i v dalším kroku. Také bylo možné nastavit tisk jen barvy černé a oranžové viz obr 8.4. Tímto způsobem lze zapnout a vypnout tisk jednotlivých barev. Pokud není vybrána žádná barva, systém příkaz nepřečte a tisk se neodešle. V kartě Power Scale (obr. 24) byl nastaven výkon 100 % po celou dobu tisku.



Obr. 22 Nastavení tisku karta Job



Obr. 23 Nastavení tisku karta Laser



Obr. 24 Nastavení tisku karty Power Scale

Výsledkem viz obr. 25 bylo deset stejných čtverců a jeden bílý jen s rámečkem. Systém laseru při tisku není schopen přečíst jiné barvy než 8 základních (tabulka 4, str. 34). Laser tiskne odstíny šedé jako černou s jejími řeznými podmínkami a odstíny šedé lze použít pouze při tvorbě souborů.

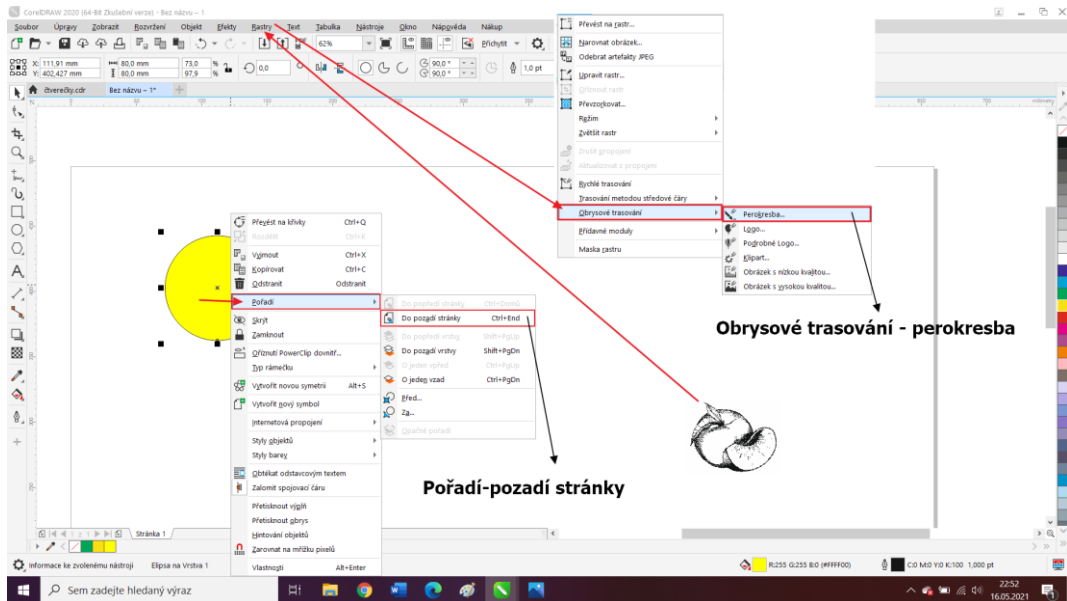


Obr. 25 Vygravírované odstíny šedé

Dále byla testována síla výkonu nastavením na kartě Job vypnutím funkce 16 Levels anebo zapnutí funkce Rubber, a zároveň změnou síly výkonu v kartě Power Scale. V obou případech byl výsledek stejný jako na obr. 25. Ani jedna funkce nemá vliv na nastavení velikosti výkonu a dále jsme s nimi nepracovali.

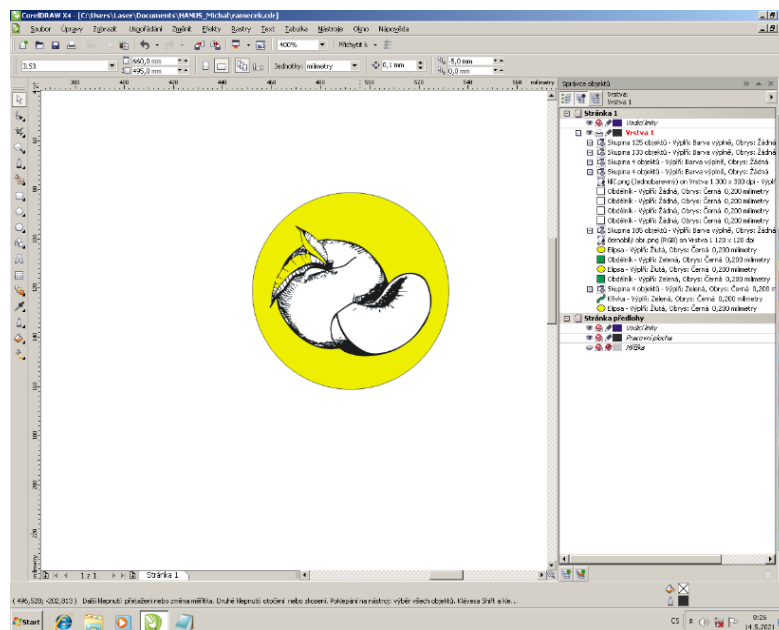
8.2.2 Práce s černobílou fotografií

Pokračujeme v úpravě obrázku z kapitoly 7.2.1. V panelu nástrojů vytvoříme přiměřeně velký kruh se žlutou barvou výplně a vlasovým obrysem. Klikneme pravým na kruh a v pořadí dáme přenést do pozadí stránky. Objektu přidáme obrysové trasování → perokresba viz obr. 26.



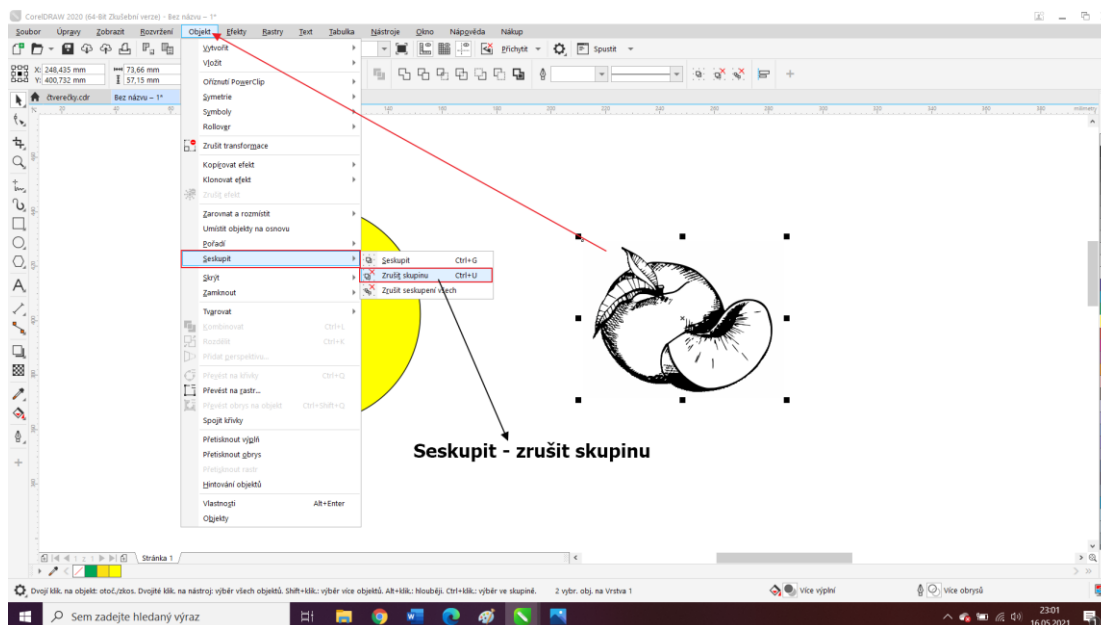
Obr. 26 Obrysové trasování

Střed obrázku byl srovnán se středem kruhu Viz obr 27.



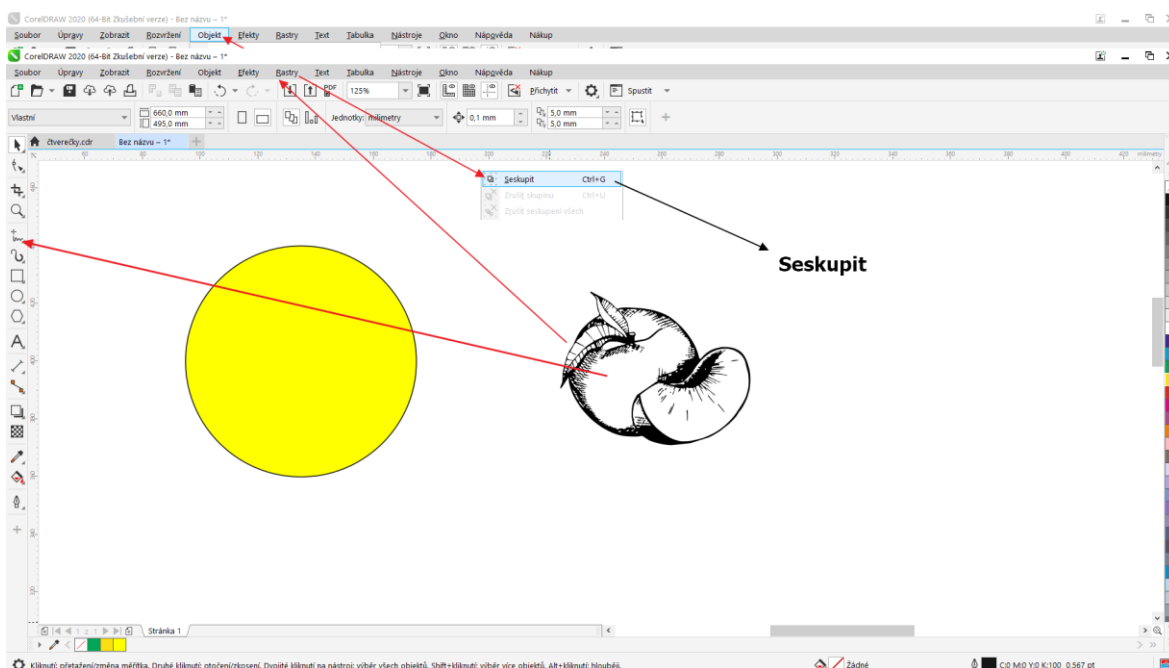
Obr. 27 Posun na střed

Některé čáry nejsou plně dotaženy viz obr. 27, a proto se provedou korekce pomocí nástroje z CorelDraw. Funkcí zpět vrátíme oba objekty vedle sebe. Vybereme obrázek a na kartě Objekt vybereme Seskupit → Zrušit skupinu.



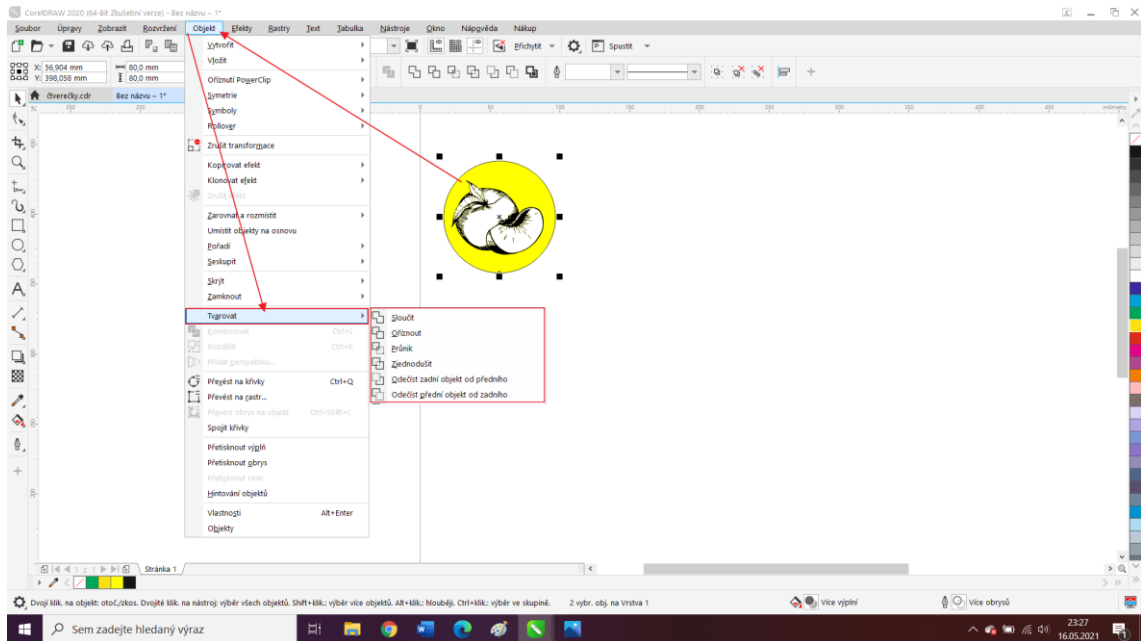
Obr. 28 Zrušení skupiny

Nyní můžeme funkcí Ruční režim přikreslit mezery viz obr. 29. Poté se vybere celý obrázek s námi dokreslenými čarami a spojíme zpět dohromady funkcí Seskupit. Znovu převedeme na rastr, přidáme obrysové trasování perokresbou a spojíme střed obrázku s kruhem.



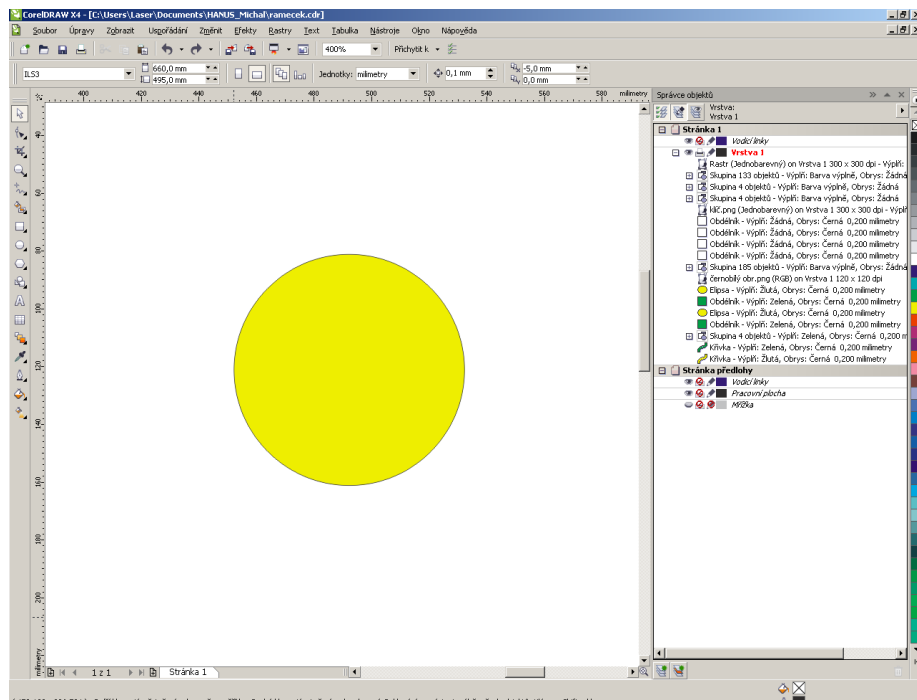
Obr. 29 Dokreslení chybějících čar

Pomocí funkce tvarovat se mohou objekty upravovat použitím nástroje Sloučení, Oříznutí, Průnik, Zjednodušení a Vzájemné odečtení viz obr. 30.



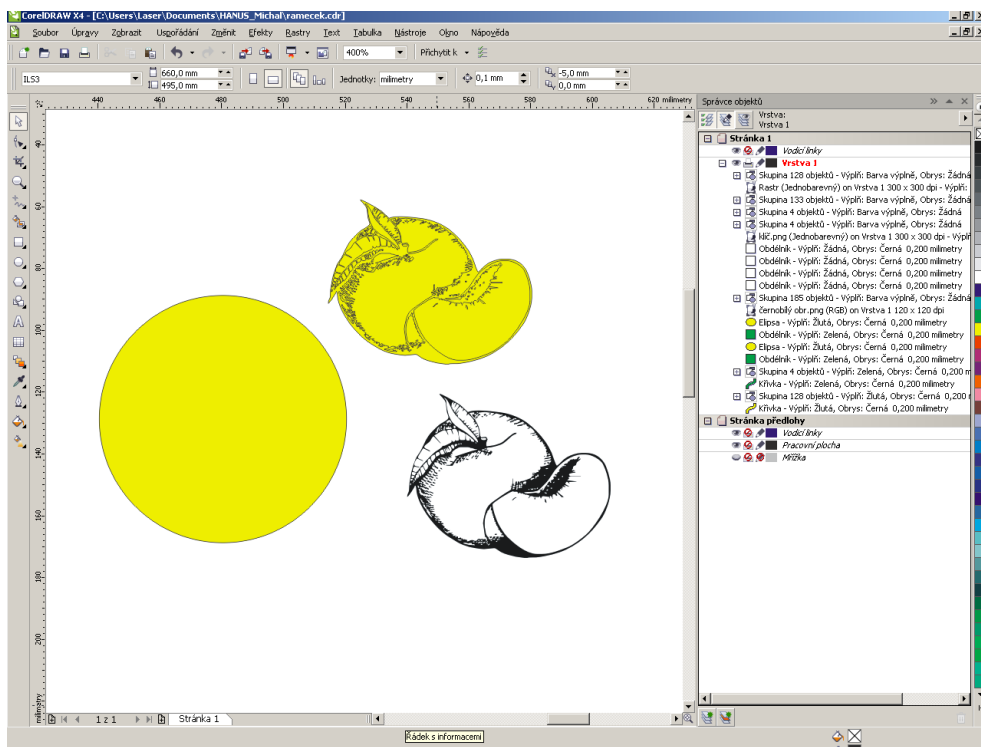
Obr. 30 Funkce tvarovat

Funkce sloučit nám vybrané objekty sloučí v jeden objekt (obr. 31).



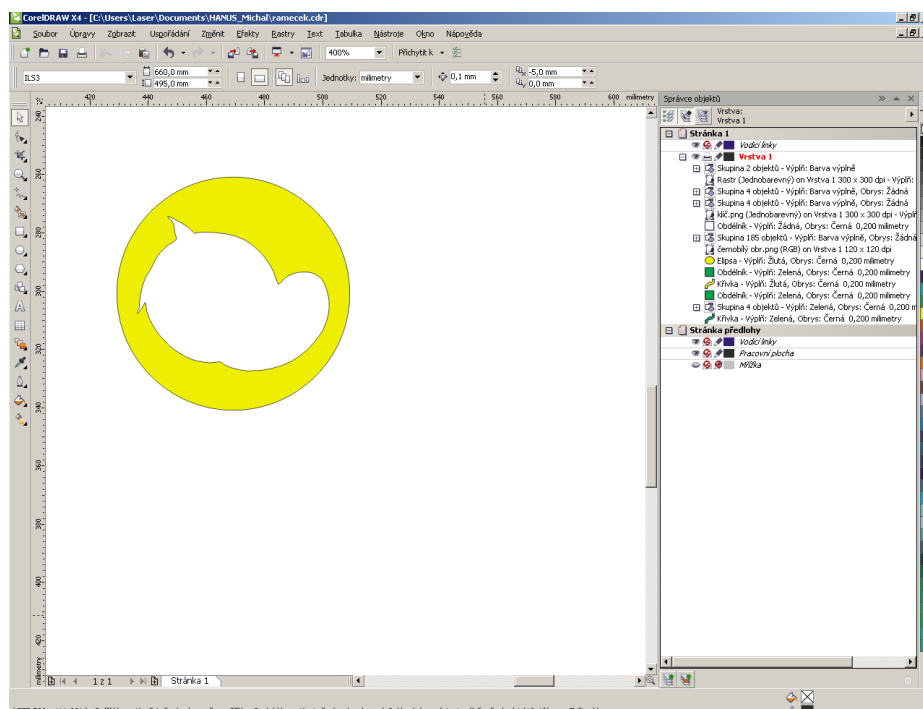
Obr. 31 Funkce sloučit

Funkce průnik nám vytvoří třetí objekt, který je složen z toho, co se nachází v prvním i v druhém objektu (obr. 32).



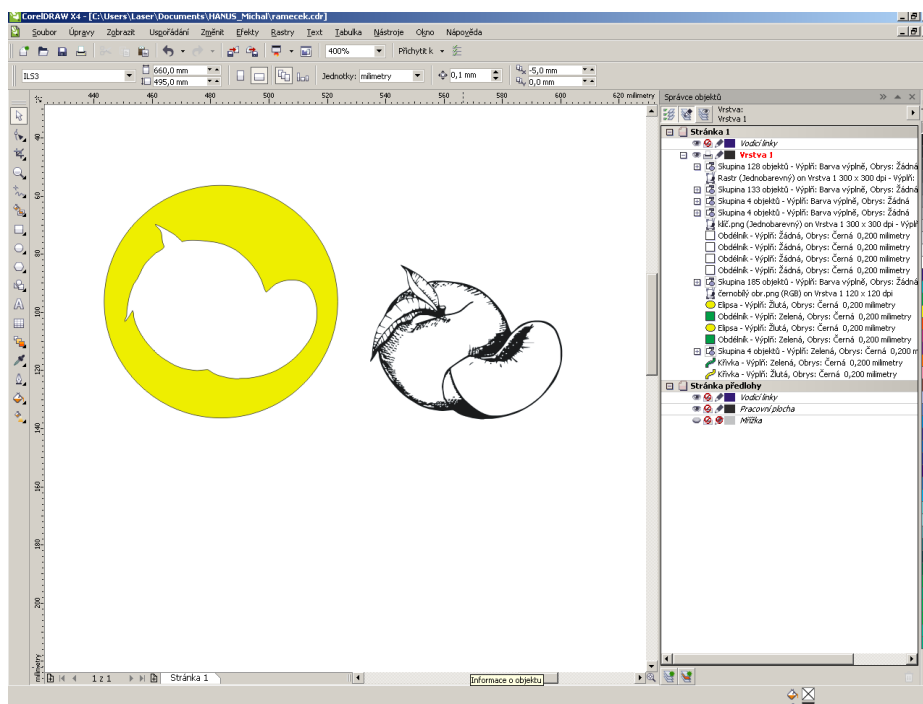
Obr. 32 Funkce průnik

Funkcí odečtením předního objektu od zadního se odečte přední obrázek od toho vzadu a vznikne opak námi požadovaného výsledku (obr. 33).



Obr. 33 Funkce vzájemné odečtení

Při použití funkce oříznutí se získá plocha v kruhu vnějších obrysů obrázku (obr. 34)



Obr. 34 Funkce oříznout

Pokud bylo pozadí odstraněno, můžeme vybrat oba objekty a seskupit je viz obr. 29, str. 42. Tím vzniknul námi považovaný výsledek, který lze použít pro tvorbu razítka.



Obr. 35 Výsledný objekt

8.2.3 Obrysové trasování

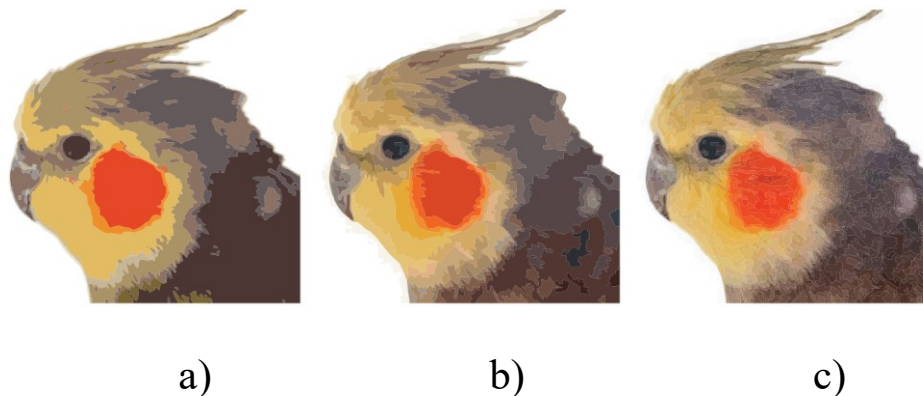
Importovanou fotografii můžeme převést na jiné barvy pomocí rastrů. Rastry → Převést na rastr viz . 20 str. 36. V tomto případě lze využít rastr černobílé, odstínů šedé a z palety barev RGB. Ne všechny možnosti se hodí pro každou fotku. První fotka byla převedena na barvy z palety RGB a nebyla nijak změněna. Druhá byla převedena na černobílou. I když je obrázek tvořen jen dvěma barvami, je zřetelné, co na obrázku je. Třetí byla převedena na stupně šedé a lze s ní dále pracovat.



Obr. 36 Rastr

Další úpravu lze provést pomocí funkce Obrysové trasování viz obr. 39. Zde nás bude pro náš případ zajímat funkce perokresba, obrázek s nízkou kvalitou a obrázek s vysokou kvalitou. Každá z těchto funkcí nám obrázek vykreslí do více odstínů barev, které se na něm nacházejí.

Prvním vyobrazením je perokresba (varianta a), která nám daný obrázek vykreslila do dvanácti odstínů barev. Druhým je obrázek s nízkou kvalitou (varianta b), kde se dosáhne 27 odstínů. Na třetím je obrázek s vysokou kvalitou (varianta c) rozdělený do 165 odstínů.



Obr. 37 Obrysové trasování

Stejné funkce bylo použito na obrázek s rastrem stupně šedé. Pokud fotku necháme ve stupních šedé, program převede všechnu šedou na černou a obrázek po vytisknutí bude mít špatné rozlišení, téměř nečitelný.



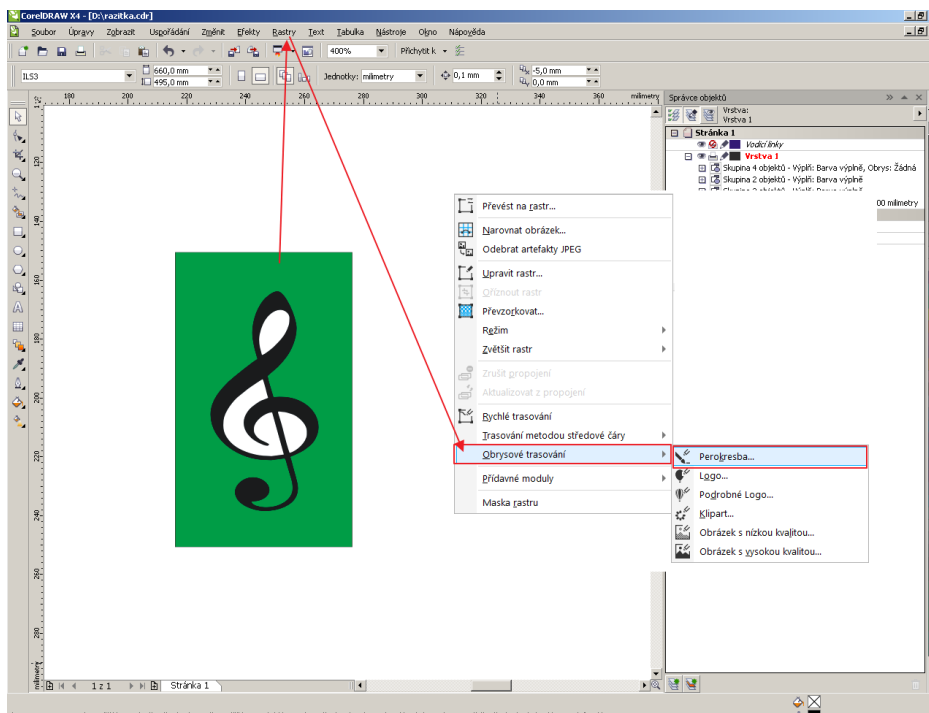
a)

b)

c)

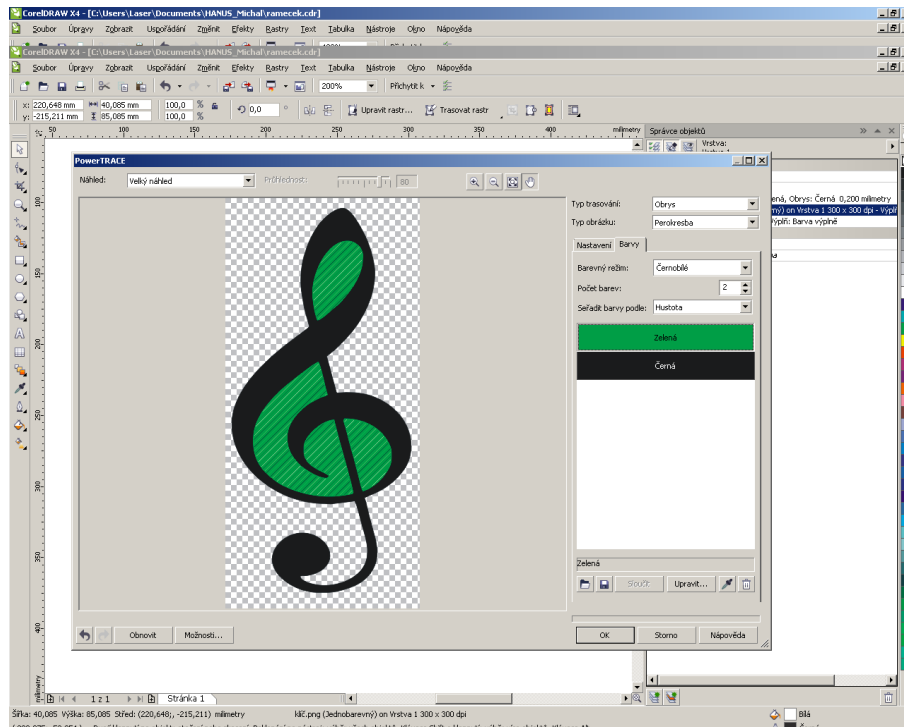
Obr. 38 Obrysové trasování stupně šedé

Vezmeme-li stejný postup jako v kapitole 7.2.2 pro obrázek například houslového klíče, nastane problém, kdy bílou barvu, která se nepočítá jako pozadí, musíme odstranit.



Obr. 39 Obrysové trasování perokresbou

Při zadávání obrysového trasování lze nahradit bílou barvu barvou pozadí viz obr. 40.



Obr. 40 Změna barvy

Postup je dále stejný jako v kapitole 7.2.2, posun na střed → oříznout → seskupit.

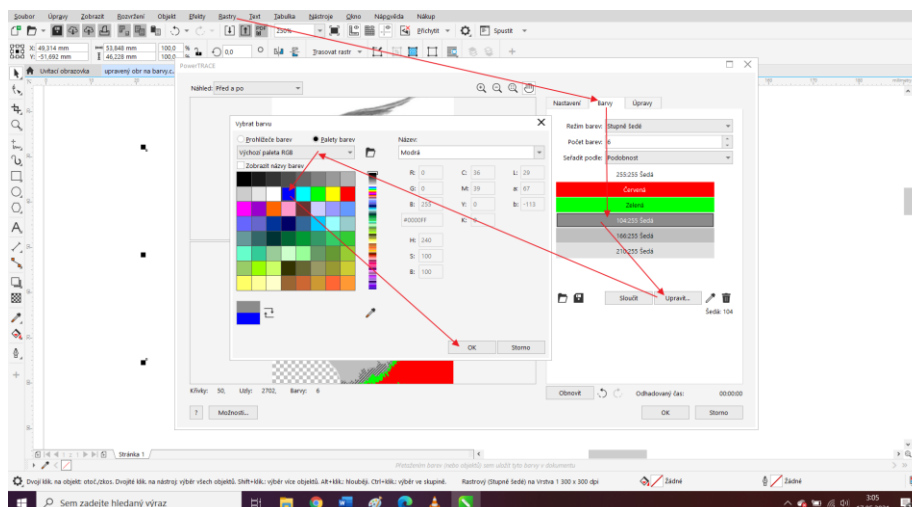


Obr. 41 Výsledný objekt

Pokud máme fotku v různých odstínech barev, lze jednotlivé odstíny změnit na jednu z osmi barev základní palety (tabulka 4, str. 34).

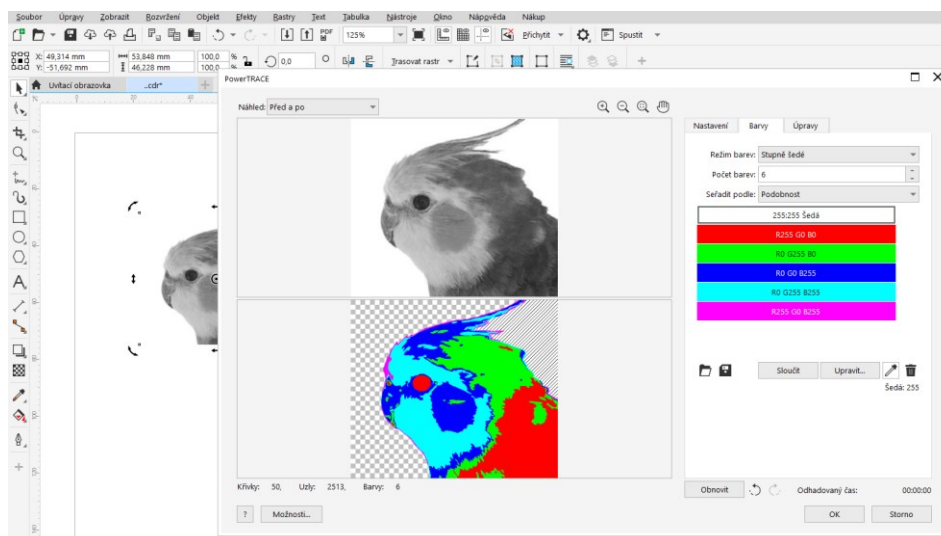
Souboru převedenému na rastr černobíle přidáme Obrysové trasování → Perokresba.

Na kartě palety RGB vybereme vhodnou barvu a potvrdíme viz obr. 42.



Obr. 42 Postup změny barev

Konečnou úpravu objektu můžeme vidět na obrázku 43.



Obr. 43 Konečná změna barev

Jednotlivým barvám nyní můžeme v kartě tisk nastavit řezné podmínky a po vytvoření lze barvy rozeznat.

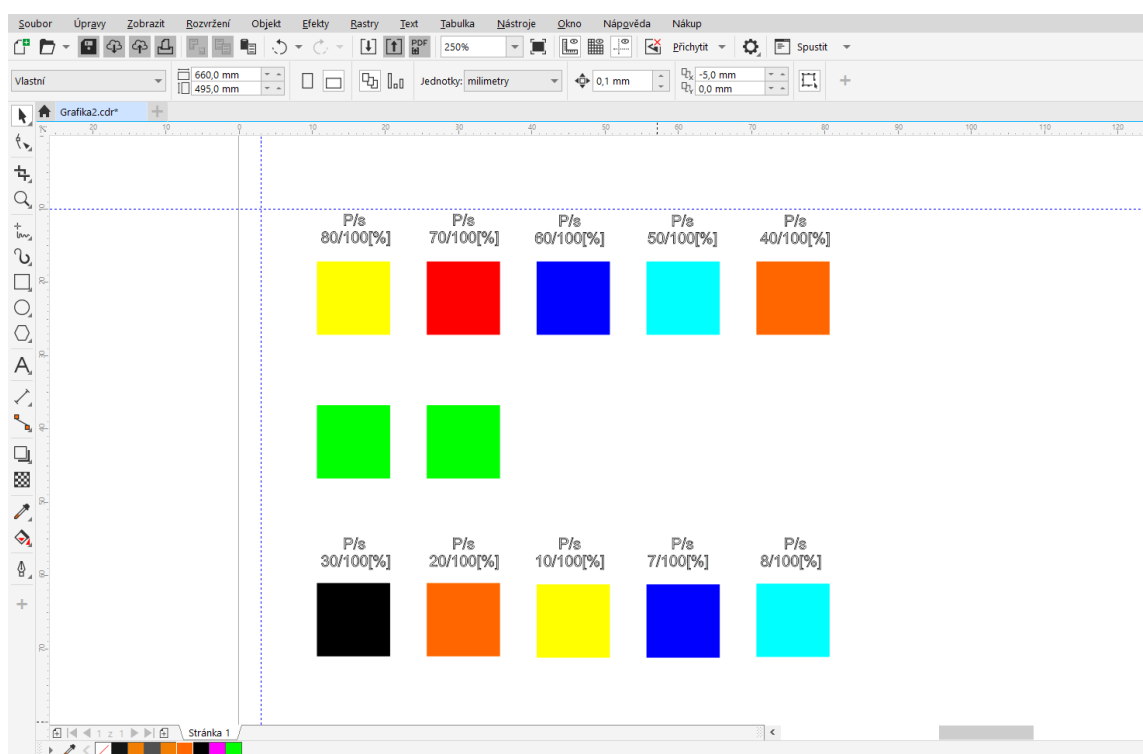
Druhý způsob je, kdy při vytvoření obrysového trasování barvy nebyly změněny, ale objektu je po dokončení zrušena skupina (28., str. 41). Objekt se rozloží na barevné plochy, které spolu nesousedí a je možné každé z nich přiřadit jinou barvu pomocí změny barvy výplně.

9 VYHODNOCENÍ

Řezné podmínky byly stanoveny pro čtyři materiály, u kterých byla předpokládána vhodnost pro naše vyhodnocení. Pro vybrané materiály dřevo, sklo, pryž, polymethylmethakrylát byla použita čočka s ohniskovou vzdáleností 1,5“, stejná rychlost 100 %. Výkon byl měněn pro konkrétní materiál a metodu vytvořeného souboru pro tisk.

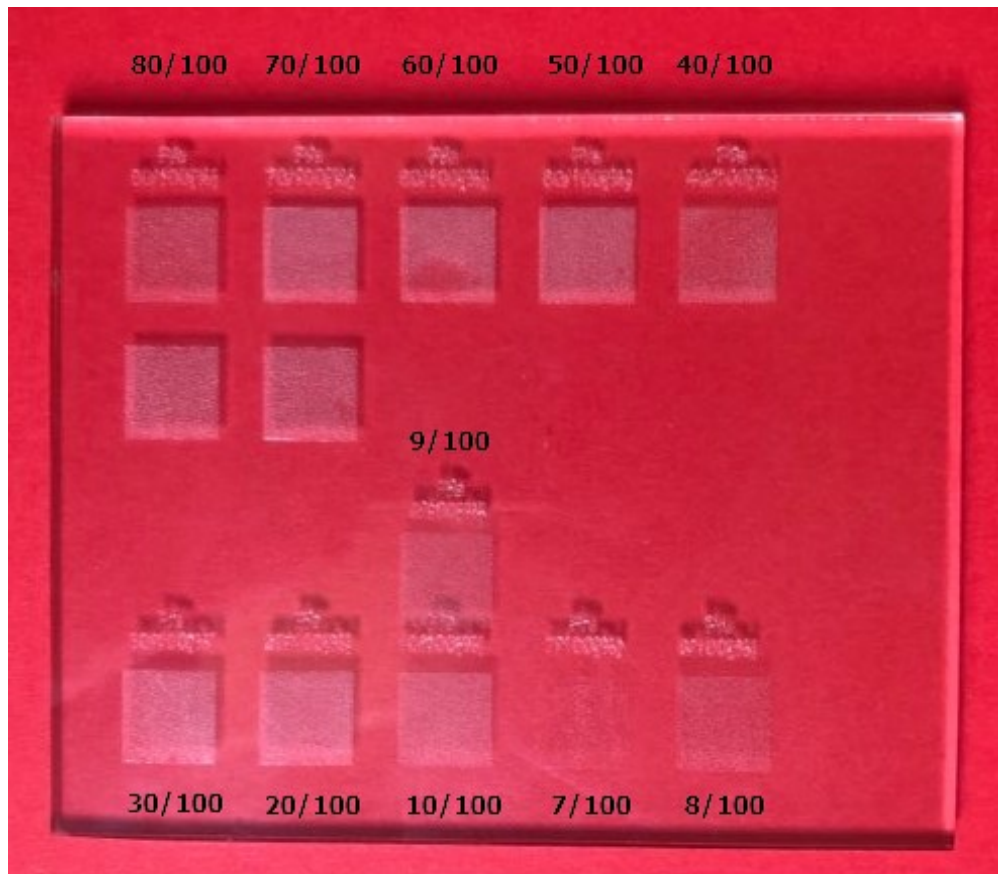
9.1 Sklo

Byla vytvořena vzorkovnice pro sklo o rychlosti 100 % a postupně klesajícím výkonu.



Obr. 44 Objekty pro vzorkovnik sklo

Začali jsme s výkonem 80 % a postupně snižovali o 10 %. Poté jsme zadávali výkon od 1 % dokud se neprojevila změna materiálu. Toho bylo dosaženo při 7 % výkonu. Jako první hodnotu doporučuji volit 8 %, kdy je gravírování výraznější. Viz obr. 45.



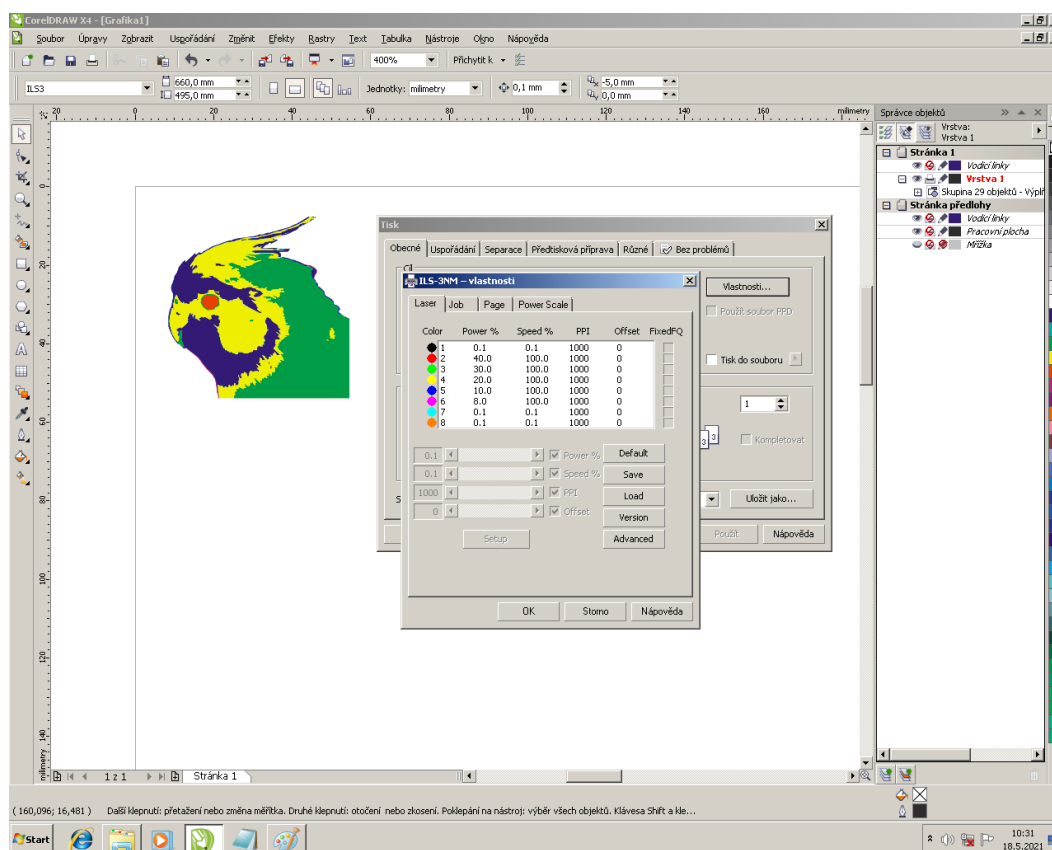
Obr. 45 Vzorkovník skla

Hodnoty mezi 80 % a 30 % nejsou výrazně odlišné, takže můžeme pracovat jen s omezeným počtem barev hladin pro nastavení pracovních podmínek. Dva nepopsané čtverce (obr. 44 zelené) mají nastaven směr rastru tam i zpět, zatímco zbylé mají zapnuto obrábění jen při pohybu zprava doleva. Rozdíl mezi nastavením směrů není zřetelný, proto jsme se tím dále nezabývali a vše bylo zkoumáno při gravírování směru zprava doleva.

Některým barevným plochám obrázku (obr. 43, str. 49) byla přiřazena jiná barva pro lepší kontrast jednotlivých řezných výkonů. Jednotlivým barvám jsme přiřadili dle vzorkovníku (obr. 45) vhodné řezné pracovní podmínky (Tabulka 5). Žluté barvě byla vypnuta hladina (obr. 22, str. 38), aby byl rozdíl odstínů výraznější.

Tabulka 5 Hladiny barev pro gravírování skla

barva	výkon/rychlost [%]
červená	90/100
zelená	80/100
modrá	8/100
žlutá	-
obrys	80/100



Obr. 46 Objekt připraven k tisku

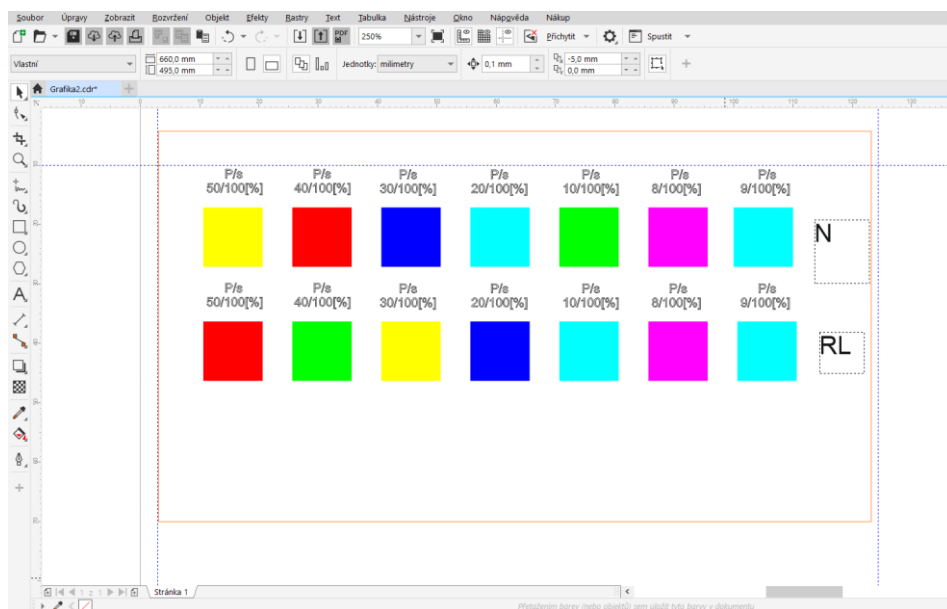


Obr. 47 Vygravírovaný objekt do skla

V tisku lze zřetelně rozeznat co bylo vygravírováno díky rozlišení hloubky tisku a díky nastavení různých pracovních podmínek, které byly nastaveny pomocí barevných hladin.

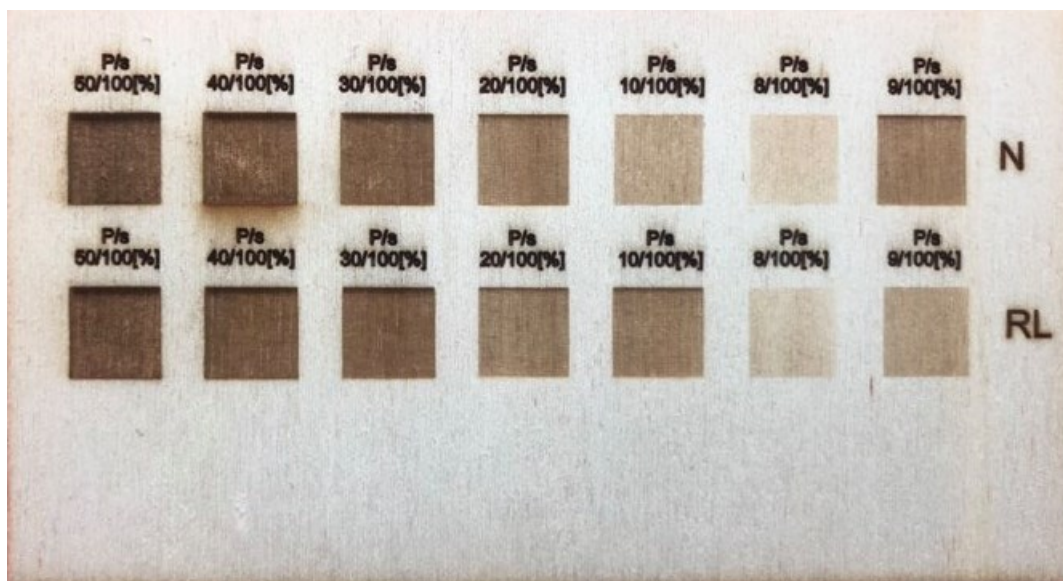
9.2 Dřevo

Pro stanovení řezných podmínek byla vytvořena vzorkovnice na překližku tloušťky 3 mm, u které byl použit upravený vzorkovník z obr. 21, str 37.



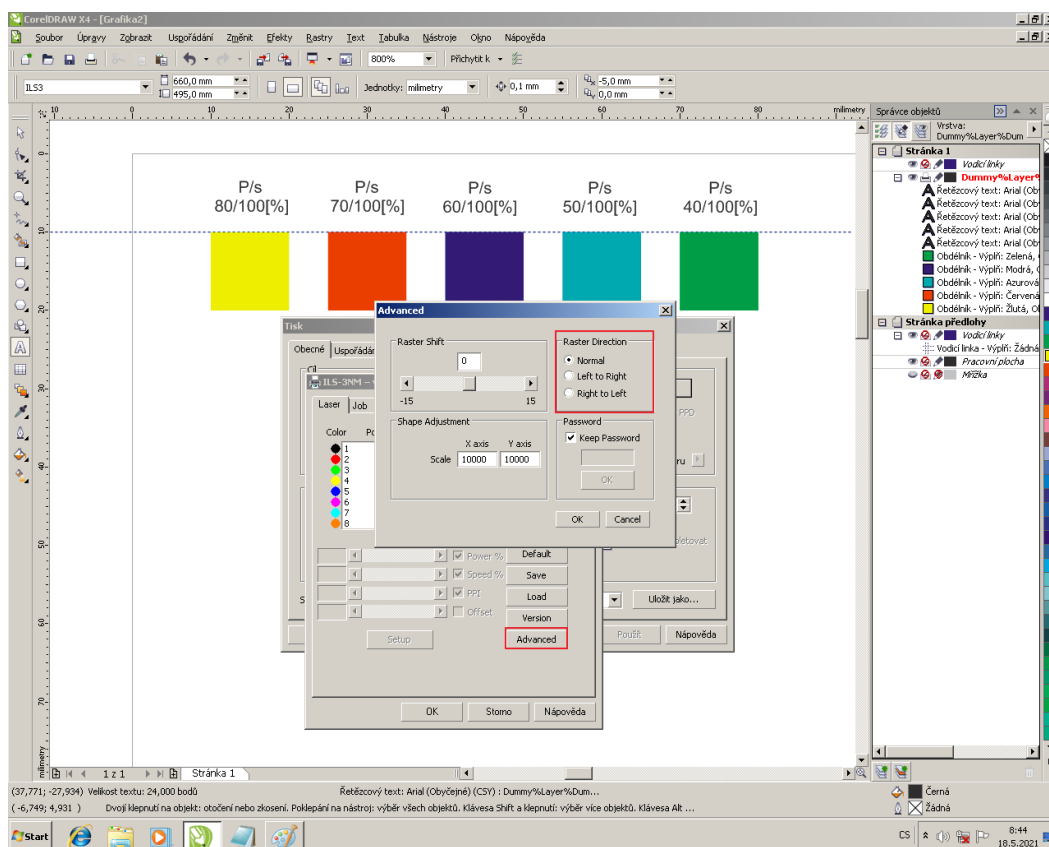
Obr. 48 Objekty pro vzorkovník dřevo

Čtvercům rozdílných barev byly nastaveny různé pracovní podmínky (viz obr. 23, str 38). Nejprve byl nastaven výkon 50 % a postupně snižován o 10 %. Poté byl zadáván výkon od 1 % do 8 %. Minimální výkon pro gravírování použité překližky o tloušťce 3 mm vzhledu bříza je 8 %, viz obr. 49.



Obr. 49 Vzorkovník pro dřevo

První řádek je pro nastavení směru laseru normal (laser gravíruje při pohybu oběma směry v ose x), druhým nastavením je right to left (laser gravíruje jen jedním směrem). Výrazný rozdíl lze rozpoznat u použitého výkonu 10 %. Pro vytvořený soubor ke gravírování do dřeva bylo použito nastavení režimu zprava do leva.



Obr. 50 Směr rastru

Dříve vytvořenému obrázku 46 (str. 52) byly změněny řezné podmínky, s ohledem na obráběný materiál, pro jednotlivé barvy hladin. Výkon pro každou barvu jsem odvodil z předchozího vzorkovníku. Pokusil jsme se vytvořit negativ obrázku gravírovanému na sklo. Největší výkon byl přiřazen barvě, která nebyla u předchozího nastavení zapnuta a naopak oko, které mělo nejvyšší výkon bylo pomocí nastavení vypnutí hladiny neobráběno.

Tabulka 6 Barvy pro gravírování do dřeva

barva	výkon/rychlost [%]
červená	-
zelená	9/100
azurová	15/100
modrá	30/100
obrys	30/100

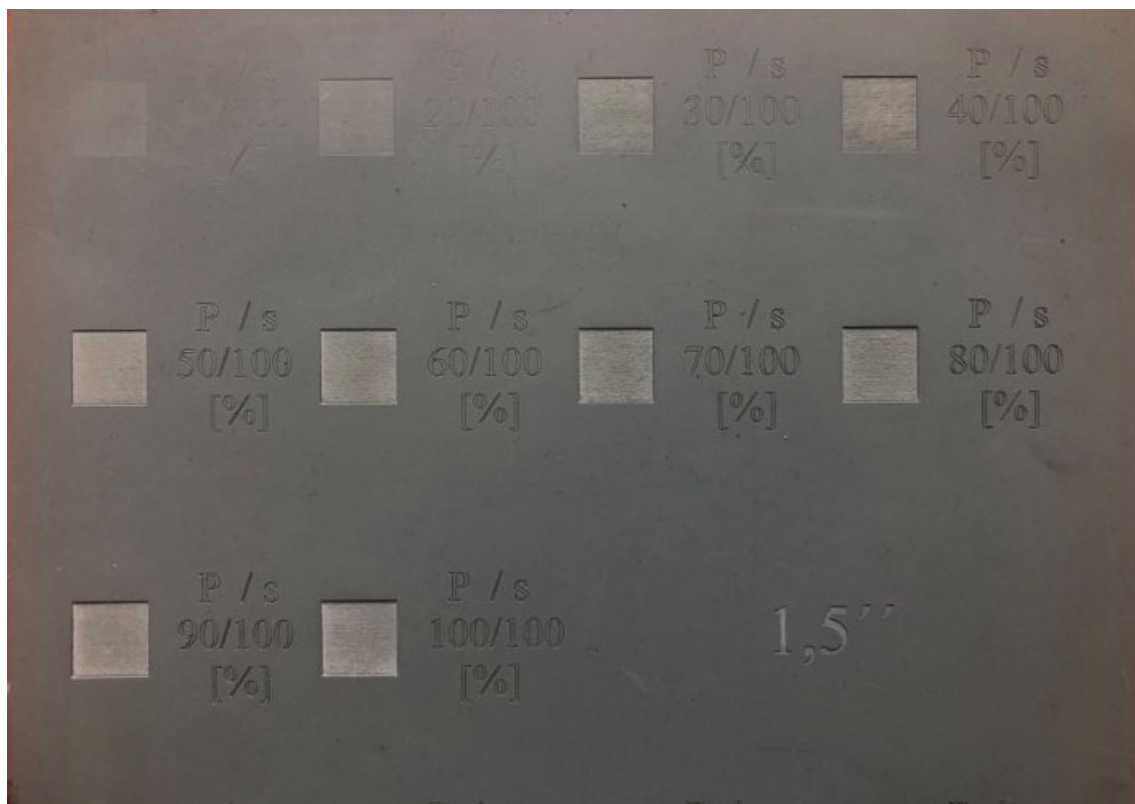
Výsledkem je dobře odstínovaný obrázek papouška, u kterého jde rozeznat jednotlivé vrstvy.



Obr. 51 Výsledek vygravírovaný na dřevo

9.3 Pryž

Pro pryž byl použit vzorkovník nacházející se v laboratoři fakulty UTB, [29]

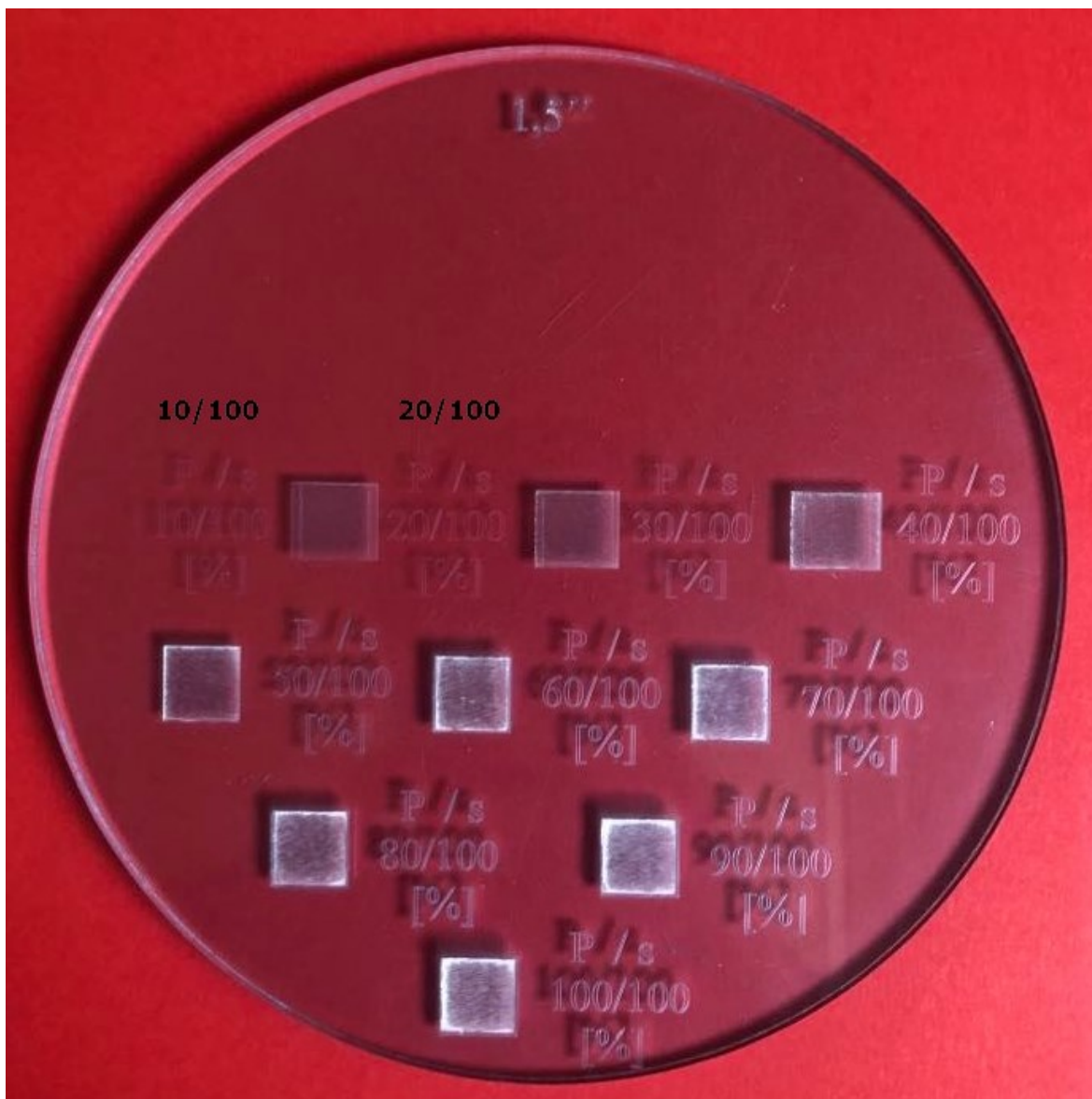


Obr. 52 Vzorkovník pro pryž [29]

Nastavení různých pracovních podmínek pro obrábění pryže má vliv, do jaké hloubky je nutno odstranit materiál. Odstraněné plochy ve vzorkovníku jsou si dost podobné. Pokud bychom přidělili řezné podmínky jednotlivým barvám, po vygravírování by přechody mezi barvami nebyly zřetelné. Pro gravírování fotky není pryž vhodná a větší uplatnění by našla při gravírování jedné barvy z obrázku (obr. 41, str. 48). Vygravírovanou částí by byla zelená barva, zatímco bílá by mohla zůstat beze změny. Takový objekt by se dal použít na výrobu razítka.

9.4 PMMA

Vzorkovník pro PMMA byl opět použit z laboratoře fakulty UTB, [40]



Obr. 53 Vzorkovník pro PMMA [40]

Materiál při zadání vyššího výkonu zbledá a zmatně se změnil jeho povrch. Při gravírování fotky, kdy chceme dosáhnout vyšší kvality, PMMA není vhodný. Dal by se použít při gravírování černobílé fotky (obr. 20, str. 37), kdy se opracovává jen jedna barva.

ZÁVĚR

V práci je popsán postup výroby souborů pro obrábění laserovým paprskem na zařízení ILS 3NM. Tyto soubory byly vytvořeny v programu CorelDRAW pro vektorovou a rastrovou grafiku. CorelDRAW umožňuje několik možností úprav objektů, jako je vytvoření pozadí, změna barvy fotografie, vytvoření obrysového trasování nebo tvarování. Konkrétní vhodnost použití těchto metod je demonstrováno na vyhotovených výrobcích.

Při výrobě vzorků bylo otestováno několik objektů o různých odstínech šedé barvy. Bylo zkoumáno, zda ovlivní výkon některá z funkcí v nastavení tisku a zda má vliv odstín šedé barvy na výkon. Systém laseru převede šedou na černou a šedou lze použít jen pro vytváření souborů. Pro tisk je nutné použít jen barvy z palety RGB. Výkon je ovlivněn pouze pokud se zapne funkce Gray a zatrhne se 16 Levels. Jednodušší způsob je nechat pracovní režim standartní a výkon nastavovat pro jednotlivé barvy zvlášť.

Pro vytvořené soubory byly vybrány materiály dřevo, sklo, PMMA a pryž jako potenciálně vhodné na jejich zobrazení. Pro všechny materiály bylo nutné znát vhodné řezné podmínky. Pro PMMA a pryž byly použity vzorky již vytvořené dřívě, které se nacházeli v laboratoři. Pro sklo a dřevo byly vytvořeny vzorky obsahující gravírování rastru při konstantní rychlosti 1524 mm/s a při postupně se zvyšujícím výkonu. Gravírování dřeva bylo značně výraznější oproti sklu, kdy povrch byl jen lehce obroben.

Z důvodu malých rozdílů ve výkonech u materiálů PMMA a pryže není vhodné použít více barev pro nastavení pracovních podmínek. Oba materiály jsou vhodnější pro černobílé fotografie, kdy jsou zadány řezné podmínky jen jedné hladině.

U materiálů sklo a dřevo byl rozdíl výkonů znatelnější, a proto lze využít většího počtu barev pro nastavení pracovních podmínek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Maňková, Ildikó. Progresívne technológie. Vienaľa Košice, 2000. ISBN 80-7099- 430-4.
- [2] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [3] GELETA, Vojtech. Progresívne technológie obrábania. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2013. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80- 227-3997-9.
- [4] Laserové technologie v praxi [online]. LAPŠANSKÁ, Hana. Univerzita Palacké-ho v Olomouci, 2010 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
- [5] SERIÁL NA TÉMA LASERY – ZÁKLADNÍ PRINCIP LASERU A JEJICH DĚLENÍ [online]. NOVÁK, Miroslav. 2011 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/laoinfo-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-ajejich-deleni-127>
- [6] *Expandér* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://laserpointerforums.com/threads/beam-expander-to-focus-laser-beam.102522/page-5>
- [7] Seriál na téma lasery – Hlavní typy laseru používaných v průmyslu [online]. KOŘÁN, Pavel. 2013 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laserupouzivanych-v-prumyslu-128>
- [8] KACHTÍK, Lukáš. Využití laserů. Laser a vše o něm [online]. [cit. 2020-11-19]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/vyuziti.html>
- [9] Lasery pro průmysl [online]. [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-pro-prumysl.html>
- [10] Nekonenční metody obrábění [online]. [cit. 2020-12-04]. Dostupné z WWW: [Nekonenční metody obrábění – 4. díl \(mmspektrum.com\)](http://www.mmspektrum.com/nekonenchni-metody-obrabeni-4-dil)
- [11] Typy laserů [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>

- [12] Laserové technologie v praxi [online]. LAPŠANSKÁ, Hana. Univerzita Palackého v Olomouci, 2010 [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
- [13] Cutting stainless steel at record thickness. [Online] 2013. [cit. 2021-01-10] <http://www.us.trumpf.com/en/metanavigation/news-archive/cutting-stainlesssteel-at-record-thickness/rec-uid/266055.html>.
- [14] Řezání laserem [online]. [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.opetech.cz/laserove-rezani-kovu-a-plechu/>
- [15] Obrábění laserem [online]. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1423>
- [16] Sváření laserem [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <http://www.dkstyl.com/svareni-laserem.php>
- [17] Laserové popisování [online]. [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/novinky/vyuziti-varioscan-pri-laserovem-popisovani>
- [18] Laserové řezání a gravírování dřeva [online]. [cit. 21-01-20]. Dostupné z: <https://www.eurolaser.com/cz/materialy/drevo/>
- [19] Fyzikální vlastnosti dřeva [online]. [cit. 2021-2-21]. Dostupné z: <http://www.elearning.aspara.cz/subdom/elearning/index.php?page=fyzikalni-vlastnosti-dreva>
- [20] Vlastnosti dřeva - Dub [online]. [cit. 2021-2-21]. Dostupné z: <http://www.benateckyctyrlitek.eu/?p=4960>
- [21] Vlastnosti dřeva - Jedle [online]. [cit. 2021-2-21]. Dostupné z: <https://www.vseolodich.cz/album/fotogalerie-z-ceho-se-stavely-a-stavi-lode1/jedle-drevo-kruhy-jpg/>
- [22] Sklo [online]. Ostrava [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>
- [23] Laser-assisted fabrication of materials. New York, 2012, Springer, ISBN 978-364-2283-581
- [24] Čiré sklo [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.svet-koupelny.cz/produkt/police-800x100x8mm-cire-sklo-23484/>

- [25] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3, Přepřac. Praha: Vydavatelství vysoké školy chemicko-technologické v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [26] *Plasty* [online]. [cit. 2021-1-21]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/plasty.pdf>
- [27] *Pryž* [online]. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/download/pryz.pdf>
- [28] PEREMSKÝ, Rudolf a Miloš SAMEC. Tvrdá pryž. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968. Gumárenská technologie.
- [29] BARTÍK, David. *Návrh technologických podmínek a vzoru pro obrábění pryže laserem*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2019, 75 s. (69 848 znaků), P VII. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/45388>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Knedlová, Jana.
- [30] Rozdělení a charakteristika polymerů [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [31] *Polymethylmethakrylát* [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.polyplasty.cz/polymethylmethakrylat.html>
- [32] SÝKOROVÁ, Libuše, Jana KNEDLOVÁ, Vladimír PATA a Milena KUBIŠOVÁ. Technological parameters and PMMA surface structure. *Manufacturing Technology* [online]. 2018, vol. 18, iss. 5, s. 856-860. [cit. 2021-02-13]. ISSN 1213-2489. Dostupné z: https://ar1.ujep.cz/ar1-ujep/cs/detail-ujep_us_cat.13-0265356-Technological-parameters-and-PMMA-surface-structure/.
- [33] SÝKOROVÁ, Libuše, Jana KNEDLOVÁ, Vladimír PATA a Milena KUBIŠOVÁ. Structural changes in polymethyl methacrylate during laser machining. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. Kecskemét: Institute of Physics Publishing, 2018 [cit. 2021-02-14]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/448/1/012047>.
- [34] Vektorová a rastrová grafika [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://lasercat.cz/jak-na-to/>
- [35] Autodesk [online]. 2013 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/>

- [36] JETCAM. [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.jetcam.com/expert.htm>
- [37] Protech SpT – profesionální technologie zpracování plechu [online]. 2010 [vid. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.protech-spt.cz/product/1-jetcam-expert-cadcamsoftware.html#text>
- [38] SOBOTKA, Petr. *Tvorba moderního webdesignu v programu CorelDRAW* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/36826/SobotkaP_Tvorbamoderniho_ZK_2010.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- [39] *Laser ILS 3NM* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://topsolutions.info/?product=ils-3nm>
- [40] NOVOSAD, David. *Vliv optiky na optimalizaci pracovních podmínek na laseru ILS 3NM*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2019, 64 s. (7x příloha A3). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/45410>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Knedlová, Jana.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

mm	Milimetr
nm	Nanometr
μm	Mikrometr
mm/s	Milimetr za sekundu
J	Joule
E	Energie
W	Watt
kW	Kilowatt
mW	Megawatt
h	Hodina
kg	Kilogram
°C	stupně Celsia
Hz	Hertz
A	Ampér
%	Procento
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
Nd	Neodym
YAG	Yttrito – hlinitý granát
Cr	Chlór
CO ₂	Oxid uhličitý
Ne	Neon
Ar	Argon
ArCl	
XeCl	

XeFl

KrF

D průměr

CAD Computer aided design

CAM Computer aided manufacturing

VAC Význam třetí zkratky

USB Universal Serial Bus

LAN Local Area Network

DPI Dots per inch

DVD Digital video disc

CD Compact disk

CW kontinuální režim

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Princip laseru [5]</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.	11
<i>Obr. 2 Emise [5]</i>	12
<i>Obr. 3 Schéma laseru [5]</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.	13
<i>Obr. 4 Expandér</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. <i>Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.</i>	13
<i>Obr. 5 Schéma CO₂ laseru [1]</i>	16
<i>Obr. 6 Typy oscilátorů [1]</i>	17
<i>Obr. 7 Nd:YAG laser</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.	18
<i>Obr. 8 Laserové řezání</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.	20
<i>Obr. 9 Obrábění pomocí laseru [15]</i>	21
<i>Obr. 10 Obrábění pomocí laserů</i> Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.	22
<i>Obr. 11 Příklad popisování laserem [17]</i>	22
<i>Obr. 12 Struktura dřeva [19][20]</i>	24
<i>Obr. 13 Sklo [24]</i>	25
<i>Obr. 14 Základní dělení polymerů [25]</i>	25
<i>Obr. 15 Razítko z pryže [29]</i>	26
<i>Obr. 16 vzorec PMMA [31]</i>	27
<i>Obr. 17 Laser ILS 3NM [39]</i>	32
<i>Obr. 18 Ukázka vektorové grafiky</i>	35
<i>Obr. 19 Výkres z DWG</i>	35
<i>Obr. 20 Černobilá fotografie</i>	36
<i>Obr. 21 Zkušební čtverečky</i>	37
<i>Obr. 22 Nastavení tisku karta Job</i>	38
<i>Obr. 23 Nastavení tisku karta Laser</i>	38
<i>Obr. 24 Nastavení tisku karty Power Scale</i>	39
<i>Obr. 25 Vygravírované odstíny šedé</i>	39
<i>Obr. 26 Obrysové trasování</i>	40
<i>Obr. 27 Posun na střed</i>	40
<i>Obr. 28 Zrušení skupiny</i>	41
<i>Obr. 29 Dokreslení chybějících čar</i>	41
<i>Obr. 30 Funkce tvarovat</i>	42
<i>Obr. 31 Funkce sloučit</i>	42
<i>Obr. 32 Funkce průnik</i>	43
<i>Obr. 33 Funkce vzájemné odečtení</i>	43
<i>Obr. 34 Funkce oříznout</i>	44

<i>Obr. 35 Výsledný objekt</i>	44
<i>Obr. 36 Rastr</i>	45
<i>Obr. 37 Obrysové trasování</i>	45
<i>Obr. 38 Obrysové trasování stupně šedé</i>	46
<i>Obr. 39 Obrysové trasování perokresbou</i>	46
<i>Obr. 40 Změna barvy</i>	47
<i>Obr. 41 Výsledný objekt</i>	47
<i>Obr. 42 Postup změny barev</i>	48
<i>Obr. 43 Konečná změna barev</i>	48
<i>Obr. 44 Objekty pro vzorkovník sklo</i>	49
<i>Obr. 45 Vzorkovník skla</i>	50
<i>Obr. 46 Objekt připraven k tisku</i>	51
<i>Obr. 47 Vygravírovaný objekt do skla</i>	52
<i>Obr. 48 Objekty pro vzorkovník dřevo</i>	53
<i>Obr. 49 Vzorkovník pro dřevo</i>	53
<i>Obr. 50 Směr rastru</i>	54
<i>Obr. 51 Výsledek vygravírovaný na dřevo</i>	55
<i>Obr. 52 Vzorkovník pro pryž [29]</i>	56
<i>Obr. 53 Vzorkovník pro PMMA [40]</i>	57

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Rozdělení laserů [1]</i>	14
<i>Tabulka 2 Srovnání CO₂ a Nd:YAG laseru [7]</i>	15
<i>Tabulka 3 Technické parametry laseru</i>	33
<i>Tabulka 4 Barvy RGB palety</i>	34
<i>Tabulka 5 Hladiny barev pro gravírování skla</i>	51
<i>Tabulka 6 Barvy pro gravírování do dřeva</i>	55