

# Aplikační možnosti nízko-výkonného CO<sub>2</sub> laseru při popisování (značení) materiálů

Bc. Petr Hubík

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Hubík**

Osobní číslo: **T13767**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Aplikační možnosti nízko-výkonného CO2 laseru při popisování (značení) materiálů**

Zásady pro vypracování:

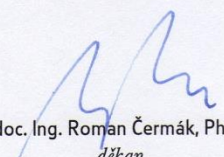
1. Vypracování literární studii na dané téma (lasery, princip laseru, rozdělení, aplikace, moderní aplikace (technologie) pro nástřiky kovových materiálů za účelem laserového značení, povlakování materiálů)
2. Provedte povlakování a experimentální značení (popisování) vzorků
3. Vyhodnoťte optimální technologické podmínky
4. Provedte ekonomický rozbor a statistické zpracování výsledků



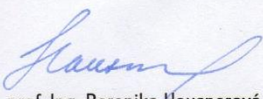
Rozsah diplomové práce:  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:  
Dle doporučení vedoucí práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**  
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



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



Příjmení a jméno: HUBÍK PETR

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

## 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 obhajoby<sup>1)</sup>;
- 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. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> 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 § 60<sup>3)</sup> 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 8.5.2015

Hubík

<sup>1)</sup> 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 nevydělečně 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.

<sup>2)</sup> 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, užije-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).

<sup>3)</sup> 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). Odpírá-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 užít 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 jím 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá lasery, jejich historií, obecnou teorií a použitím. Teoretická část popisuje laserové mikroobrábění a technologie laserového popisování. Praktická část práce obsahuje postup při povlakování kovu za účelem následného laserového popisování. Dále je zde série experimentálních obrábění na různé vzorky materiálů s cílem nalezení optimálních technologických podmínek laseru pro tyto materiály, včetně ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova: Laser, značení, popisování, nekonvenční, gravírování, CO2

## **ABSTRACT**

This thesis deals with lasers, their history, general theory and application. The theoretical part describes laser micromachining and laser engraving technology. The practical part contains the procedure of metal coating for subsequent laser engraving. Furthermore there is a series of experimental machining on the various samples of materials to find the optimal technological conditions of laser for these materials, including economic evaluation.

Keywords: Laser, Mark, Describing, Non-conventional, Engraving, CO2



Tímto děkuji paní doc. Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D za odborné vedení a rady, kterými napomohla k vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, že mi umožnila studovat a po celou dobu mě podporovala a také firmě NTS Prometal Machining za poskytnutí experimentálních vzorků.

*„Dříve studovali lidé sami kvůli sobě; dnes studují, aby učinili dojem na druhé.“*

Konfucius (551 - 479 př. n. l.)

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ROZDĚLENÍ NEKONVENČNÍCH TECHNOLOGIÍ .....	12
<b>2 LASER</b> .....	<b>13</b>
2.1 HISTORIE LASERU .....	13
2.2 PRINCIP LASERU .....	14
2.3 LASEROVÝ PAPERSEK.....	16
2.3.1 Vlastnosti laserového paprsku.....	16
2.3.2 Módová struktura TEM.....	18
2.3.3 Laserové pulsy .....	20
2.3.4 Působení laserového paprsku na materiál .....	21
2.4 ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ LASERU.....	23
2.4.1 Rezonátor .....	24
2.4.2 Budící zařízení .....	25
2.4.3 Optická soustava .....	26
2.5 DĚLENÍ LASERŮ.....	27
2.6 DRUHY LASERŮ .....	28
2.6.1 Pevnolátkové lasery .....	29
2.6.2 Plynové lasery .....	31
2.6.3 Polovodičové lasery .....	33
2.6.4 Kapalinové lasery.....	34
<b>3 PRŮMYŠLOVÉ APLIKACE LASERU</b> .....	<b>35</b>
3.1 LASEROVÉ ŘEZÁNÍ .....	35
3.1.1 Řezání nekovových materiálů .....	37
3.2 LASEROVÉ SVAŘOVÁNÍ .....	38
3.3 NAVAŘOVÁNÍ LASEREM .....	38
3.4 PÁJENÍ LASEREM .....	39
3.5 VRTÁNÍ LASEREM.....	39
3.6 ZUŠLECHŤOVÁNÍ POVRCHU MATERIÁLU LASEREM .....	39
3.7 LASEROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ .....	40
3.7.1 Aplikace laserového mikroobrábění .....	40
3.8 LASEROVÉ GRAVÍROVÁNÍ A POPISOVÁNÍ .....	41
3.8.1 Způsoby gravírování a značení .....	43
3.8.2 Povrchové úpravy k laserovému popisu .....	44
<b>4 STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>47</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>48</b>
<b>5 POPIS LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ</b> .....	<b>49</b>
5.1 LASER ILS 3NM .....	49
5.1.1 Přídavné rotační zařízení.....	52
5.1.2 Ovládací panel.....	52



5.1.3	Fokusace laseru .....	53
5.1.4	Pracovní postup na laserovém zařízení .....	54
5.2	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE .....	55
5.2.1	Fischer DUALSCOPE MP 20ES .....	55
5.2.2	Mikroskop oční digitální AM423B .....	56
<b>6</b>	<b>MATERIÁLY A EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>57</b>
6.1	MATERIÁLY .....	57
6.2	EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ.....	57
6.2.1	Příprava pracovního souboru .....	57
6.2.2	Gravoxal – modrý, lesklý s bílým popisem .....	60
6.2.3	AlumaAlu – bílý, lesklý s černým popisem .....	61
6.2.4	LaserAlu – černý, lesklý se stříbrným popisem .....	62
6.2.5	LaserAlu – černý, lesklý se zlatým popisem.....	64
6.2.6	AlumaSign – stříbrný, matný s černým popisem .....	65
6.2.7	AlumaMark – zlatý, drátkovaný s černým popisem .....	66
6.2.8	AlumaMark – stříbrný, drátkovaný s černým popisem.....	67
6.2.9	LaserThins – žlutý, matný s černým popisem.....	69
6.2.10	Laserables – bílý, matný s černým popisem .....	70
6.2.11	Laserables – červený, matný s bílým popisem.....	72
6.2.12	Laserables – stříbrný, broušený s černým popisem .....	73
6.2.13	Laserables – zlatý, broušený s černým popisem .....	74
6.2.14	LaserablesPlus – měděný, broušený s černým popisem .....	75
6.2.15	Laserables Reverse – stříbrný, lesklý.....	76
6.2.16	Fólie – bílá, matná s černým popisem.....	77
6.2.17	Fólie – stříbrná, lesklá s černým popisem .....	78
6.2.18	CerMark – sprej na kovy .....	79
6.2.19	Eloxovaný vzorek A.....	83
6.2.20	Eloxovaný vzorek B .....	86
6.2.21	Eloxovaný vzorek C .....	88
6.2.22	Eloxovaný vzorek D.....	89
<b>7</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>91</b>
7.1	NÁKLADY NA JEDNU HODINU PRÁCE STROJE S OBSLUHOU .....	91
7.2	NÁKLADY NA VYGRAVÍROVÁNÍ LOGA VČETNĚ MATERIÁLU .....	92
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>105</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>106</b>

## ÚVOD

Laser bezesporu patří mezi jedny z největších objevů lidstva. Od 60. let 20. století jeho vývoj prudce stoupá a tím i jeho využitelnost. S tímto univerzálním nástrojem se každodenně setkáváme v běžném životě, ale i v mnoha vědních odvětvích a bohužel také například ve vojenství. Laser charakterizují jeho dvě základní vlastnosti, jeho nízká rozbíhavost (divergence) a „jednobarevnost“ (monochromaticnost). Laser patří mezi nekonvenční technologie výroby, jeho paprsek je bezkontaktní nástroj, u kterého nejsou rozhodující mechanické vlastnosti obráběného materiálu, a proto ho lze využít pro jinak těžkoobrobitelné materiály. Právě specifické vlastnosti laserového paprsku stojí za jeho širokým použitím. Směr, kterým se část vývoje laserů ubírá, zejména v průmyslových aplikacích, je oblast miniaturizace výrobků, kde se využívá laserové mikroobrábění díky možnosti laserový paprsek fokusovat na velmi malé rozměry. Za poměrně novým nekonvenčním odvětvím laserového mikroobrábění stojí neustálé zvyšování tvarové složitosti součástí, zmenšování výrobků, zpřesňování rozměrů, ale i zkracování výrobních časů výroby. Nicméně vývoj laserů není zdaleka u konce. V dnešní době se lasery neustále zdokonalují a vyvíjí se, jak po stránce vyšší účinnosti, lepší kvality paprsku, či vyšších hustot výkonu, takže se také neustále nacházejí nové možnosti využití laserů.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Jako klasické, neboli konvenční, metody obrábění považujeme již dlouho známé: soustružení, frézování, vrtání, broušení atd. S vývojem přicházejí také nové materiály a zvyšuje se tvarová náročnost výrobků, proto v mnoha případech není použití konvenčních metod hospodárné. Dalším důležitým aspektem je vyšší míra ekologie, při použití nekonvenčních metod obrábění. [1]

Nekonvenční metody jsou charakterizovány skutečnostmi, že materiál nástroje nemusí být tvrdší než obráběný materiál, zvláště tvrdé materiály se dají s přehledem obrábět nástroji z měkkých materiálů, a tudíž u většiny z těchto metod není k úběru materiálu potřebná ani mechanická práce. K úběru dochází působením elektrické energie, tepla, abraze, chemické reakce, ultrazvuku nebo jejich vzájemné kombinace. Velkou výhodou je, že v mnoha případech není obrobek namáhán silovým působením, proto není nezbytné upnutí obrobku. Při použití nekonvenčních technologií není pro obrobiteľnost materiálů ani tak důležitá jejich tvrdost a pevnost ale fyzikální vlastnosti, jako jsou například: tepelná a elektrická vodivost, teplota tání a vypařování, chemická odolnost atd. Při obrábění nekonvenčními metodami se využívá možnosti cíleně ovlivňovat opracovávaný povrch, např.: zvyšování tvrdosti, zvyšování odolnosti proti korozi. [3]

### 1.1 Rozdělení nekonvenčních technologií

Tab. 1 Základní rozdělení nekonvenčních technologií [7]

Mechanické procesy:	Obrábění ultrazvukem (USM)
	Obrábění vodním paprskem (AWM/AJM)
	Obrábění proudem brusiva (WJM/AWJM)
Chemické procesy:	Chemické obrábění (CM)
	Fotochemické obrábění (PCM)
Elektrické nebo elektrochemické procesy:	Elektrochemické obrábění (ECM)
	Elektrochemické broušení (ECG)
Tepelné nebo elektrotepelné procesy:	Obrábění laserem (LBM)
	Obrábění paprskem plazmy (PAM)
	Obrábění paprskem iontů (IBM)
	Obrábění paprskem elektronů (EBM)
	Elektroerosivní obrábění (EDM)

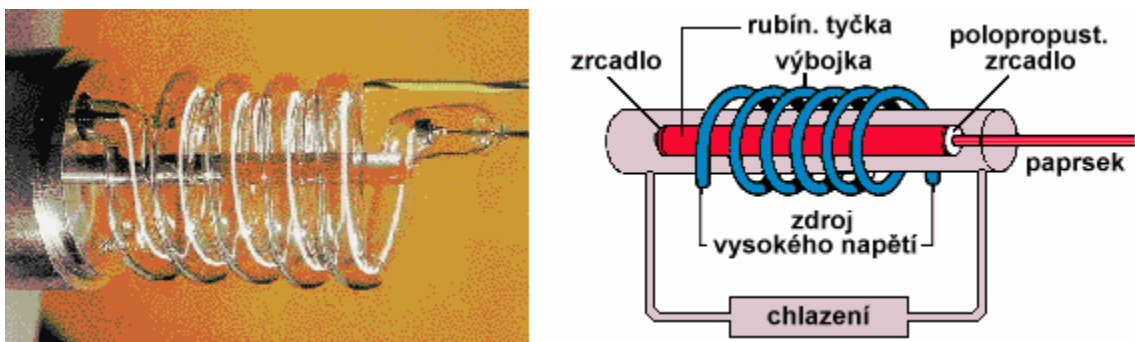
Následující kapitoly jsou úzce zaměřeny na laser, jako nástroj nekonvenčních technologií. Především budou probrány průmyslové oblasti mikroobrábění a gravírování laserem.



## 2 LASER

### 2.1 Historie laseru

Laser – složenina z počátečních písmen anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v překladu znamená: „zesílení elektro-magnetického záření (světla) pomocí vynucené (stimulované) emise“. S prvotní myšlenkou přišel již v roce 1917 Albert Einstein, který teoreticky odůvodnil existenci elementárního procesu, při kterém záření o určité frekvenci způsobí kvantový přechod elementárních částic jím prostupované látky, přičemž je vyzářeno nové kvantum energie, jehož frekvence, směr šíření a polarizace jsou souhlasné s frekvencí příchozího záření. Ovšem první laser čekal na svůj vznik až do roku 1960, kdy Theodore H. Maiman v USA poprvé úspěšně předvedl pulzní rubínový laser. Tyčinka laseru měla koncové plochy vybroušeny s vysokou přesností a byly vyleštěny tak, aby tvořily soustavu dvou rovinných, rovnoběžných zrcadlových ploch. Obě dvě plochy byly postříbřeny, kdy na jedné straně byla silnější vrstva než na straně druhé. Tak mohl laserový paprsek vyšlehnout ven polopropustnou stěnou, jakmile dosáhl patřičné energetické hladiny. Čerpání rubínového laseru se provádí světelným výbojem výkonné xenonové výbojky, která krystal obklopuje. Světlo rubínového laseru vyzařuje na vlnové délce  $0,6943\mu\text{m}$  a to odpovídá červené barvě. [1,2,3]



Obr. 1 Fotografie a schéma prvního (rubínového) laseru zkonstruovaného T. H. Maimanem [5]

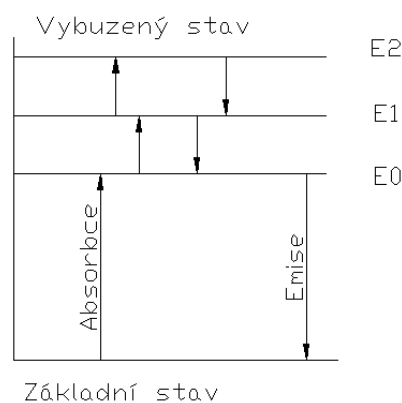
Po úspěchu rubínového laseru, který pracoval na tří-hladinovém principu, byly realizovány lasery s jinými krystaly, které byly založené na čtyř-hladinovém principu, protože snahou bylo zvětšovat účinnost laseru. Rubínový pracoval s velmi nízkou účinností, která nedosahovala ani 1%. Dnešní lasery běžně dosahují účinnosti kolem 30%, výjimkou je diodový laser s účinností 60%.

Nejvýkonnější laser v České republice je vyvíjen v rámci projektu ELI (Extreme Light Infrastructure) a měl by patřit ke světové špičce. Tento laser má pomoci vědeckým oborům jako chemii, biologii, lékařství, astronomii nebo také ve vývoji nových materiálů. Jeho výkon bude 10 petawattů. Vývojem laserů pro průmyslové aplikace se zabývá projekt HiLASE, taktéž v České republice, tyto lasery dosahují menších výkonů než lasery projektu ELI. Jejich předností bude především vysoká frekvence velmi krátkých pulzů, řádově ve femtosekundách. S tak krátkými pulzy je možné například řezat trhavy, aniž by došlo k tepelnému ovlivnění materiálu. [4]

## 2.2 Princip laseru

Fyzikální princip vychází z kvantové fyziky a lze objasnit za pomoci planetárního modelu atomu. Kolem kladně nabitého jádra (protonu) krouží po uzavřených drahách elektrony, které podléhají přitažlivým elektrostatickým silám. Přitom každé dráze přísluší přesně určené množství energie, zvané energetická hladina. Vzdálenější dráze elektronu přísluší větší množství energie, což je způsobeno nutností vykonat větší práci na překonání přitažlivé síly protonu. Tudíž změny energie elektronu nemohou probíhat plynule, nýbrž po skocích odpovídajících drahám, na kterých se může elektron nacházet. Za normálních podmínek se nachází atom v kvantovém stavu s nejmenší energií (tzv. základním stavu). Přechod elektronu ze základní energetické hladiny  $E_0$  na vyšší energetickou hladinu  $E_1$  je doprovázen absorpcí a zpětný přechod z hladiny vyšší na hladinu nižší je naopak doprovázen emisí přesně určené hodnoty energie. Tato hodnota energie, která je nazývána kvantem, je rovna rozdílu mezi energiemi sousedních hladin: [5,6]

$$E = E_2 - E_1 \quad (1)$$

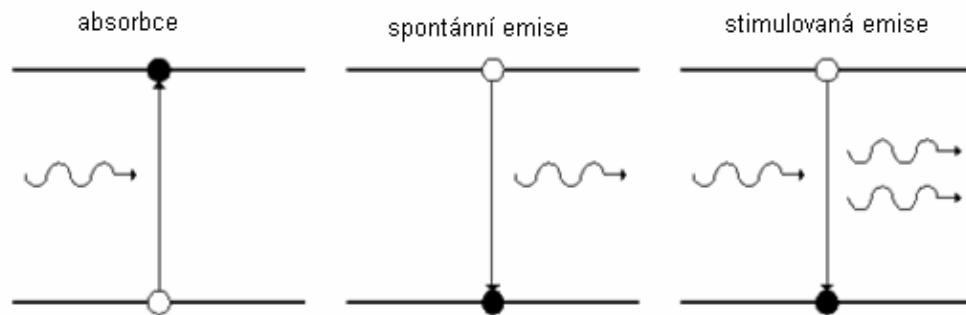


Obr. 2 Skokové změny hodnot energie [7]

### Stimulovaná emise

Emise může být buď samovolná (spontánní), nebo vynucená (indukovaná či stimulovaná). U vynucené emise dopadá na atom kvantum elektromagnetického záření. Zastihne-li ho na spodní energetické hladině, může být atomem pohlceno a atom přeskóčí na horní energetickou hladinu (absorpce). Setká-li se naopak záření s atomem na horní energetické hladině, může ho donutit vyzářit další kvantum energie (elektromagnetického záření) a přejít na spodní hladinu, tím dochází k indukované emisi, tedy o fyzikálním jevu, na kterém je založena činnost laserů. [5]

Důležitý je rozdíl mezi spontánním a stimulovaným zářením. Stimulovaný foton má stejnou energii, směr, fázi a polarizaci s fotonem iniciačním. Spontánně vyzářený foton má náhodou fázi, polarizaci i směr šíření. [2]



Obr. 3 Absorpce, spontánní a stimulovaná emise [7]

Laserové paprsky tedy vznikají v prostředí určitého stimulujícího elektromagnetického záření. Při spontánní emisi když vybuzené atomy s energetickou hladinou  $E_2$  mají tendenci zaujmout hladinu s nižší energií  $E_1$  a přitom emitují kvantum světelného záření s frekvencí  $f$ , která se určí z rovnice: [1,5]

$$E = E_2 - E_1 = f \cdot h \quad (2)$$

Planckova konstanta:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  [J·s]

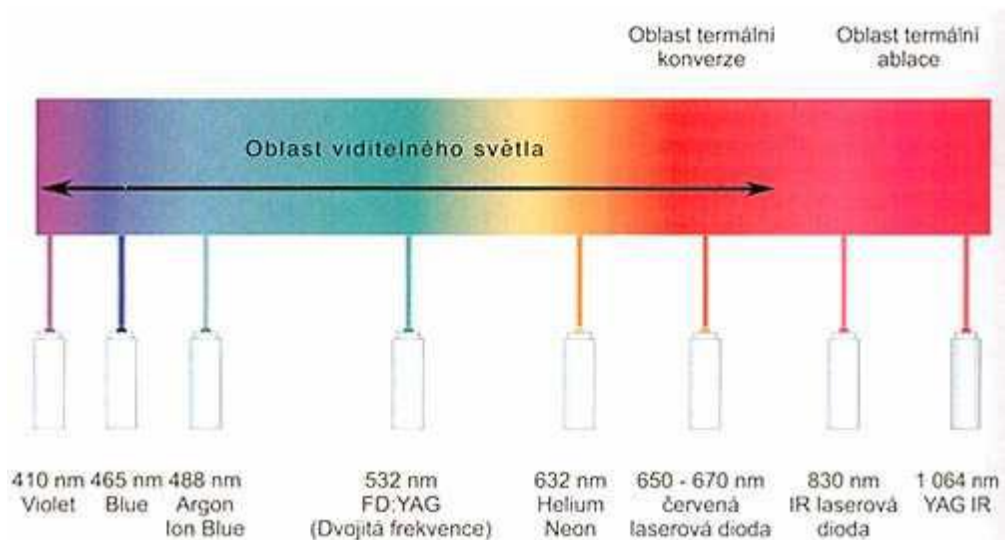
## 2.3 Laserový paprsek

### 2.3.1 Vlastnosti laserového paprsku

Důvodem proč lasery mají tak široké pole využití, jsou jedinečné vlastnosti laserového paprsku. Laserové světelné záření se svými vlastnostmi značně odlišují od záření běžných světelných zdrojů (plynové výbojky, žárovky). Níže jsou uvedeny základní vlastnosti laserového paprsku.

#### Monochromaticita

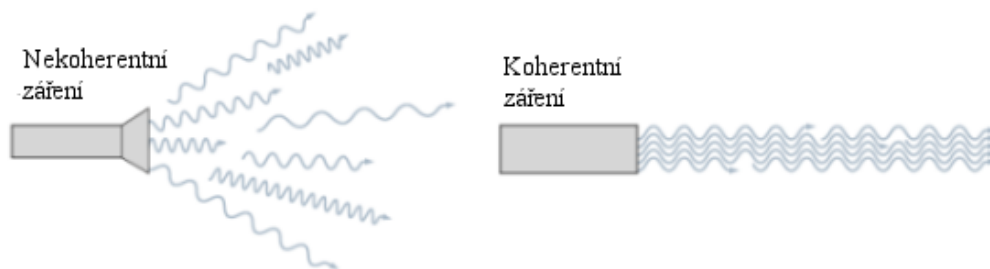
Laserové záření má na rozdíl od jiných zdrojů světla (např. žárovky) jednotnou vlnovou délku. Zapříčiňuje to stimulovaná emise, která emituje stále stejné fotony. Vlnová délka (udávaná v nanometrech) je dána závislostí na rozdílu energetických hladin a určuje, v jaké části spektra se bude laserový paprsek pohybovat, je navíc důležitá i pro velikost stopy laseru. Podle vlnové délky se také dělí lasery na termální (IR), u kterých je vlnová délka vyšší než 630 nm, lasery pracující ve spektru viditelného světla (380 - 630 nm) a lasery pracující v UV oblasti (pod 380 nm). [8]



Obr. 4 Vlnové délky pro různé typy laserů [7]

#### Koherence

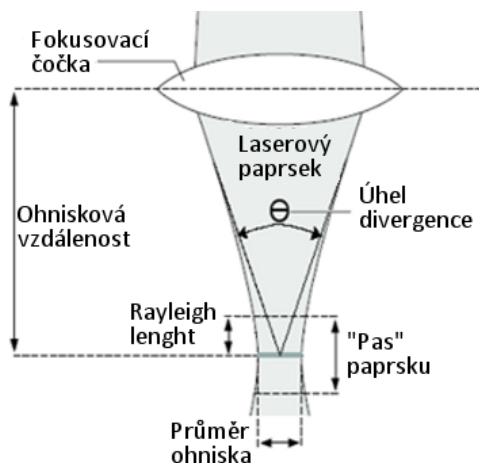
Laserový paprsek je prostorově i časově uspořádaný. Všechny částice v prostorově koherentním paprsku kmitají se stejnou fází v rovině kolmé na směr šíření paprsku. Časová koherence znamená, že všechny částice světelné vlny kmitají se stejnou fází ve směru šíření paprsku.



Obr. 5 Rozdíl mezi koherentním a nekoherentním zářením [11]

## Divergence

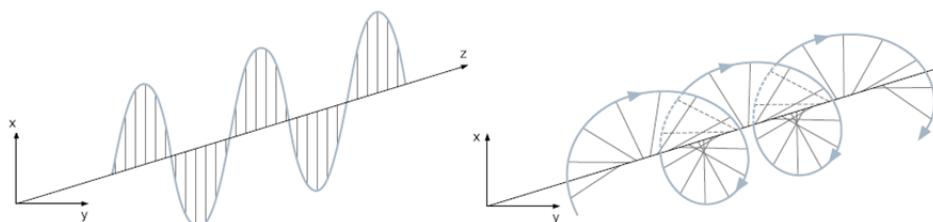
Divergenci neboli rozbíhavost má laserové záření minimální a tudíž se v prostoru nešíří všemi směry, ale v úzkém svazku rovnoběžných paprsků, které je možno fokusací (zaostřením) soustředit na malou plochu a dosáhnout tím velmi vysoké hustoty výstupního výkonu. S fokusací úzce souvisí i vlnová délka, čím je vlnová délka kratší, tím je větší schopnost zaostřit paprsek na menší plochu. [9,10]



Obr. 6 Zaostření laserového paprsku [10]

## Polarizace

Světlo je elektromagnetické vlnění, a pokud jeho vektor stále kmitá v jedné rovině, jedná se o lineárně polarizované světlo. Běžné zdroje světla jsou nepolarizované, laserový paprsek může být lineárně nebo i kruhově polarizovaný. Pro univerzální použití laseru je vhodnější kruhová polarizace. [12,13]



Obr. 7 Polarizace [13]

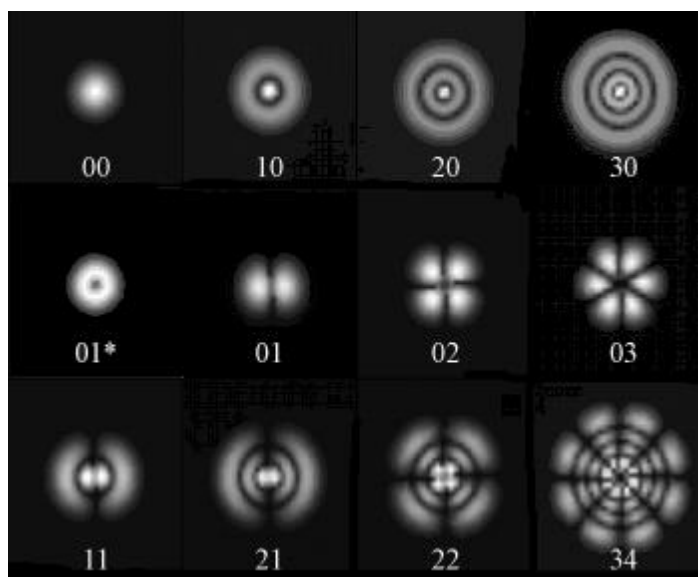


### 2.3.2 Módová struktura TEM

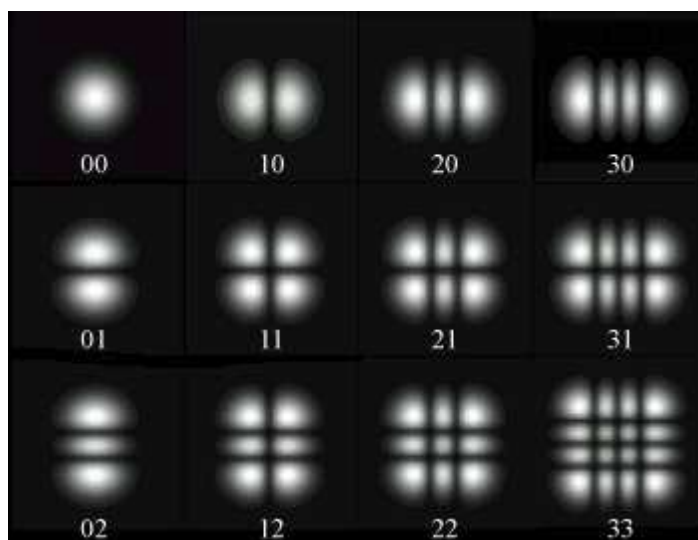
TEM (transverse electromagnetic mode) – tvar průřezu svazku laserového záření je dán vlnovou délkou fotonů, souosostí a průměrem laserové trubice, vzdáleností a zakřivením zrcadel. Pokud paprsek v příčném průřezu vytváří jen jednoduchou stopu, jedná se o základní mód, lasery pracující v základním módu TEM<sub>00</sub> (index charakterizuje symetrii elektromagnetického pole v rovině kolmé na směr šíření paprsku) dosahují nejvyšší hustoty výstupní energie, avšak mohou se objevit i složitější obrazce průřezu: pravoúhlé nebo kruhově symetrické. Je to dáno elektromagnetickým polem rezonátoru, toto pole získává ze stimulované emise určitou konfiguraci (mód) v závislosti na okrajových podmínkách rezonátoru. Mód laseru určuje jeho vhodnost pro průmyslové využití. [5]

průřez A v rovině kolmé na směr paprsku	průřez B kolmý na A	půdorys	označení TEM (použití)
			TEM <sub>00</sub> řezání
			TEM <sub>01</sub> svařování, kalení
			TEM <sub>21</sub>
			TEM <sub>32</sub>
			multimód (řezání)
			multimód (nevhodné pro řezání)

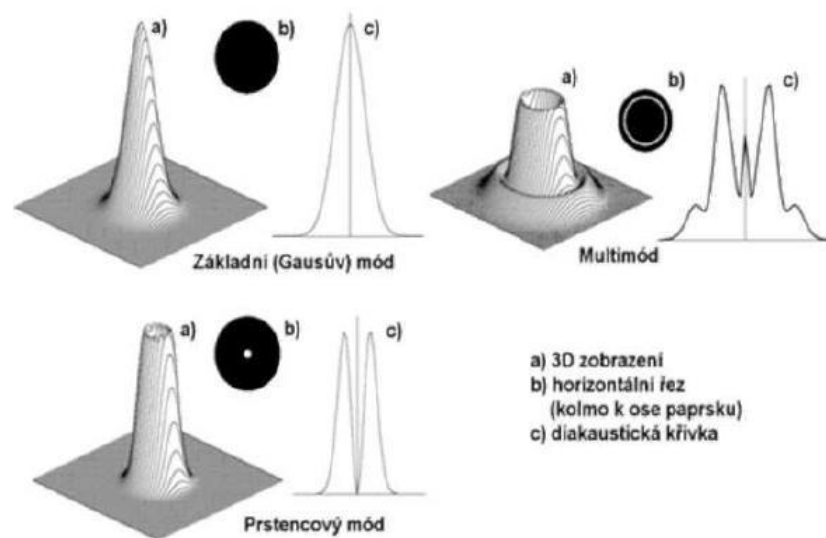
Obr. 8 Vybrané módy s jejich označením a vhodným použitím [7]



Obr. 9 Příklady osově symetrických módů - válcovité módů [7]



Obr. 10 Příklady středově symetrických módů - obdélníkových módů [7]



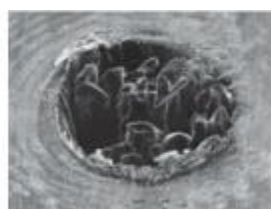
Obr. 11 Módové struktury ve 3D [14]

### 2.3.3 Laserové pulsy

Laser umožňuje generovat extrémně krátké světelné impulsy, které trvají milisekundy (ms) až pikosekundy (ps) a dokonce i femtosekundy ( $fs = 10^{-15}$  s). Čím kratší je doba trvání záblesku, tím větší je špičková energie a výkon. Vlivem velmi krátkých pulsů lze dosáhnout opracování materiálu bez tepelného ovlivnění nebo případné degradace materiálu. Zejména v oblasti laserového mikroobrábění a gravírování je pulsní režim nutností. Při použití pulzního laseru lze v úzké oblasti vlnových délek uvolnit optický výkon o hodnotách od  $10^{10}$  do  $10^{13}$  W. [15,16]



Puls 3,3 ns a 1 mJ



Puls 80 ps a 0,9 mJ



Puls 200 fs, 0,12mJ

Obr. 12 Porovnání délky pulsu a výsledku kvality obrábění [17]

Laserové mikroobrábění je často spojováno s pojmem „studené obrábění“. Hranice délky pulsu, za kterou se považuje, že nedojde k tepelnému ovlivnění je 10 ps, tato hranice se může měnit podle druhu materiálu a také od této hranice se označují pulsy za ultrakrátké. [11,17]

### 2.3.4 Působení laserového paprsku na materiál

Interakce při dopadu paprsku laserového světla na obráběný materiál závisí především na schopnostech pohlcení a odrazu laserového záření daným materiálem. Část materiálu se po dopadu paprsku odrazí, část se absorbuje a část případně projde skrz materiál. Absorbovaná část paprsku se mění v teplo, které způsobí natavení a následné odpaření materiálu z oblasti působení laserového paprsku. Během odpařování částic materiálu vznikají poměrně vysoké tlaky a tavenina je vytlačována ze vznikajícího otvoru tlakem páry. Absorpce a následný ohřev materiálů závisí na tepelné vodivosti materiálů a nepříznivým faktorem absorpce je zbytkové napětí v povrchové vrstvě materiálu. [2,18]



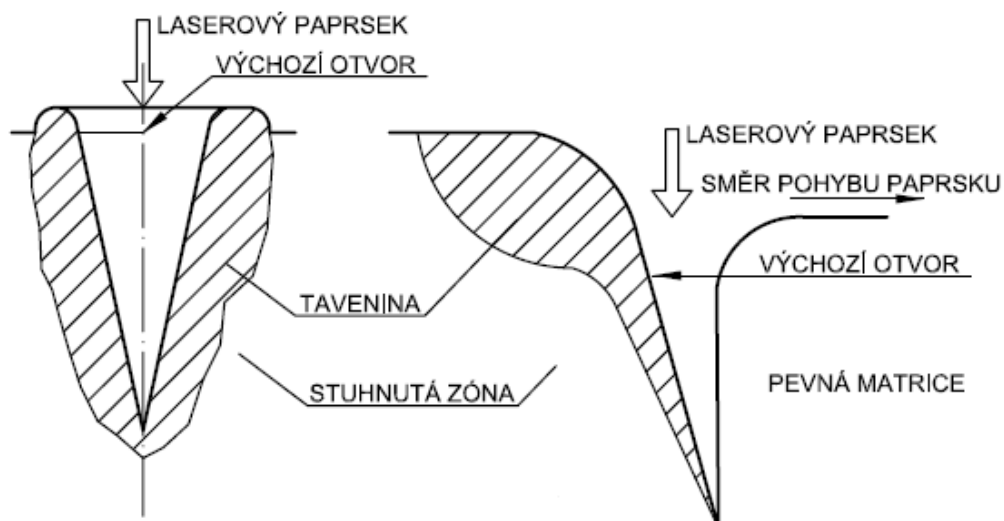
Obr. 13 Účinek laserového paprsku při dopadu na obráběný materiál [7]

Odrazivost materiálu je velmi nežádoucí a obecně platí, že se zvyšováním vlnové délky světelného záření odrazivost kovů stoupá. Odrazivost je možné eliminovat několika způsoby: zdrsněním povrchu, vytvořením krycí nekovové vrstvy (kapitola 3.8.2 Povrchové úpravy k laserovému popisu), porušením oxidové vrstvy ozářením povrchu laserovým paprskem s vysokou energií nebo ohřevem materiálu. S rostoucí teplotou povrchu tedy odrazivost klesá a minima dosahuje při dosažení teploty tavení materiálu.

Tab. 2 Srovnání odrazivosti materiálů při různé vlnové délce [6]

Odrazivost R [%]		
Kov	Vlnová délka [ $\mu\text{m}$ ]	
	0,9 - 1,1	9 - 11
Zlato	94,7	97,7
Stříbro	96,4	99
Hliník	73,3	96,9
Měď	90,1	98,9
Železo	65	93,8
Nikl	72	95,6
Zinek	49	98,1
Chrom	57	93
Křemík	28	28
Ocel (1% uhlíku)	63,1	93-96
Uhlík (grafit)	26,8	59

Vzniklá tepelně ovlivněná zóna HAZ (heat affected zone) se dělí dle druhu obrábění na dvojrozměrnou nebo trojrozměrnou. Obecně platí, že čím vyšší rychlost pohybu laserového paprsku, tím je menší velikost tepelně ovlivněné zóny. Laserové řezání je ustálený proces, během kterého se tepelně ovlivněná zóna tvoří pouze na stěnách řezu. Laserové vrtání je charakterizováno jako nestacionární proces, protože čelo eroze se pohybuje s ohledem na pevný laserový paprsek a tepelně ovlivněná zóna se tvoří na stěně otvoru.[18]



Obr. 14 Působení laseru na materiál při řezání [18]



Řezání laserovým paprskem je ovlivněno mnoha technologickými podmínkami a ty nejdůležitější z nich jsou specifikovány do následujících bodů:

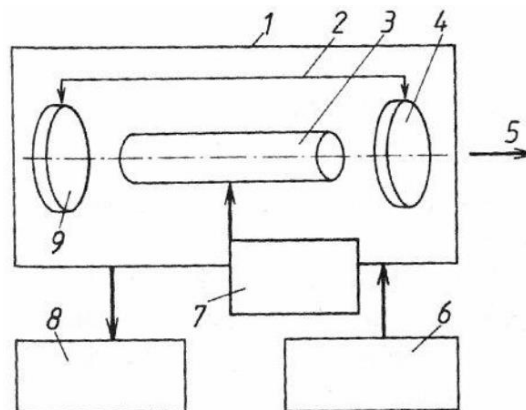
1. Laserový paprsek, který je určen: rychlostí posuvu, polohou (sklon laserového paprsku)
2. Aktivní plyn, který je určen: chemickým složením, teplotou a tlakem
3. Fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálů a jejich chemické složení: (odrazivost, tepelná vodivost, tepelná kapacita, měrné teplo, viskozita taveniny, tlak par, entalpie, atd.).
4. Struska: (chemické složení, viskozita, stav, povrchové napětí, atd).

Výsledkem těchto efektů je laserově obrobený povrch, který je specifikován takto:

- hloubka řezu nebo opracovaná tloušťka plechu
- kvalita povrchu v podélném i příčném směru a velikost tepelně ovlivněné zóny
- šířka řezu [6]

## 2.4 Základní konstrukční řešení laseru

Veškeré lasery vycházejí z téměř shodného konstrukčního řešení, základními částmi jsou: rezonátor s aktivním prostředím, budicí zařízení a podstatné je také chlazení, chladícím médiem je většinou voda nebo vzduch.

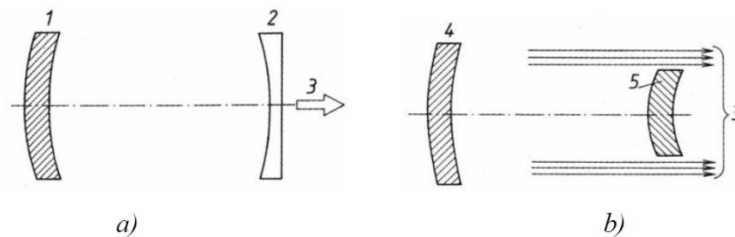


Obr. 15 Schéma zařízení pro obrábění laserem [19]

Pozn. Obr. 15.: 1) Laserová hlavice, 2) Rezonátor, 3) Laserové médium, 4) Polopropustné zrcadlo, 5) Výstup paprsku, 6) Zdroj energie buzení, 7) Budicí zařízení, 8) Chladicí systém, 9) Nепropustné zrcadlo

### 2.4.1 Rezonátor

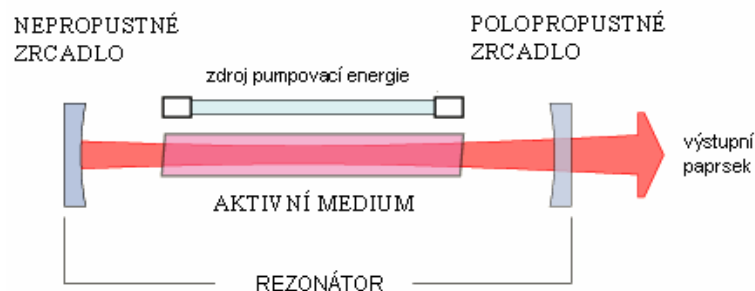
Je dutina, ve které je vložena aktivní látka. Na okrajích jsou umístěny, naproti sobě, dvě zrcadla (sférická či rovinná) v konfokálním stabilním či v konfokálním nestabilním uspořádání. V prvním případě je jedno ze zrcadel zcela odrazivé a druhé polopropustné, což je častější. V druhém případě jsou nepropustná obě. [1]



Obr. 16 Uspořádání zrcadel optického rezonátoru [19]

a) konfokální stabilní: 1) nepropustné zrcadlo, 2) polopropustné zrcadlo, 3) výstupní záření  
b) konfokální nestabilní: 3) výstupní záření, 4) zadní zrcadlo, 5) přední zrcadlo

Tato zrcadla jsou laserovým médiem vzájemně propojenými oscilátory. Princip je takový, že emitovaná vlna z aktivní látky se odrazí nazpět a při zpětném přechodu vzbuzuje další a další vynucené emise fotonů. Dokud nemají fotony dostatečnou energii na průnik polopropustným zrcadlem. Rezonátor tedy začne emitovat záření na vlnové délce charakteristické pro dané aktivní laserové prostředí. Pro správnou funkci laseru je třeba zvolit aktivní prostředí, ve kterém lze vytvořit inverzi populace energetických hladin elektronů a současně zabezpečit pomocí otevřeného rezonátoru kladnou zpětnou vazbu pro zesilování generovaného záření. [8]



Obr. 17 Schéma struktury laseru [8]

Konstrukční uspořádání rezonátoru určuje vlastnosti paprsku (koherenci, intenzitu záření, jeho pravidelnost, spektrální a prostorové charakteristiky). Průměr a zakřivení zrcadel určují rozdělení intenzity záření a energetickou rozbíhavost laserového záření, tzv. divergenci paprsku, která je dána rovinným nebo prostorovým úhlem, ve kterém se šíří. La-

sery u kterých stačí jediný průchod laserovým médiem k získání potřebné energie, se nazývají Superradiační a nepotřebují rezonátor. [19]

### **Aktivní prostředí**

Aktivní prostředí je látka, ve které se elektrony nebo molekuly dají vhodným čerpáním (přívodem excitační energie) vybudit na požadovanou pracovní hladinu, ze které pak mohou emitovat záření. Aktivní prostředí je jedna z nejdůležitějších částí laseru, jelikož v něm vzniká stimulovaná emise a také je určující pro vlnovou délku generovaného záření. Pracovní látkou v aktivním prostředí může být plyn (He-Ne laser, oxid uhličitý), kapalina (Rhodamin-barvivo), krystal (rubín), polovodič, molekuly nebo plazma. [1]

### **Inverze populace**

Při vhodném čerpání aktivní látky se docílí jevu zvaného inverze populace a ten nastane, pokud je na vybuzené hladině více elektronů než na hladině základní. Inverze populace musí nezbytně probíhat uvnitř aktivního prostředí, aby docházelo k zesilování světla. Při čerpání je do aktivního prostředí dodávána excitační energie, při excitaci přechází kvantová soustava ze stavu s nižší energií do stavu s vyšší energií. K tomu, aby tento děj nastal, musí kvantová soustava přijmout přesné množství excitační energie, které je charakteristické pro daný přechod a odpovídá rozdílu energie kvantové soustavy před a po excitaci. Excitace, neboli vzbuzení, kvantové soustavy lze dosáhnout různými prostředky. Způsob buzení závisí na použitém aktivním prostředí. Zdroje buzení mohou pracovat buď kontinuálně, nebo pulsně. [8]

#### **2.4.2 Budící zařízení**

Způsob buzení (čerpání) je dán laserovým médiem. Plynné médium je buzeno téměř vždy elektricky. Pevné laserové médium je nejčastěji buzeno opticky. Rozpis jednotlivých způsobů buzení:

- opticky - výbojkou, jiným laserem, slunečním světlem, radioaktivním zářením
- elektricky - srážkami v elektrickém výboji, svazkem nabitých částic, injektáží elektronů, interakcí elektromagnetického pole se shluky nabitých částic
- chemicky - energií chemické vazby, fotochemickou disociací, výměnou energie mezi molekulami a atomy
- tepelnými změnami (termodynamicky) - zahřáním a ochlazením plynu
- jadernou energií - reaktorem, jaderným výbuchem

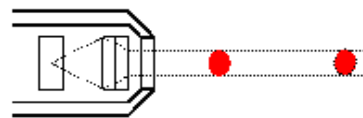
### 2.4.3 Optická soustava

Pro konečné podmínky a výkon působící na dopadovou plochu je také velmi důležitá optická soustava. Ta zajišťuje, správným nastavením fokusace, soustředění mimořádně vysoké energie na malou plochu. Taková energie je schopna natavení nebo dokonce odpaření materiálu, čímž se dosahuje výsledného efektu obrábění. Bez použití optického zařízení dosahuje průměr laserového paprsku až několika milimetrů. Naopak při použití optického zařízení dosahujeme při řezání CO<sub>2</sub> laserem o výkonu 1kW průměru řezu 0,3 mm. S tímto nastavením dosahujeme hustoty výstupního výkonu 1,4 MW/cm<sup>2</sup>. Tato hustota výstupního výkonu  $I$  [W/cm<sup>2</sup>] není nijak limitována zákony o záření absolutně černého tělesa. [18]

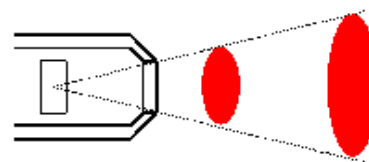
Tab. 3 Hustoty výkonu energetických zdrojů [6]

Zdroj energie	Hustota výkonu [W.cm <sup>2</sup> ]
Slunce	$5 \cdot 10^2$
Elektrický oblouk	$1 \cdot 10^5$
Acetylen-kyslíkový plamen	$1 \cdot 10^4$
Plasmový paprsek	$1 \cdot 10^5$
Elektronový paprsek	$4 \cdot 10^8$
CO <sub>2</sub> laser cw	$1 \cdot 10^9$
Nd laser pw	$1 \cdot 10^{14}$

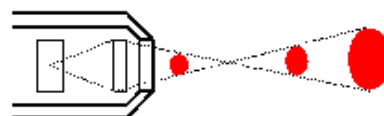
**KOLIMOVANÝ, PARALELNÍ**  
výkonová hustota je konstantní bez ohledu na vzdálenost sondy



**ROZBÍHAVÝ BEZ OHNISKA**  
výkonová hustota se zmenšuje s vzdáleností sondy



**ROZBÍHAVÝ S OHNISKEM**  
výkonová hustota se zmenšuje s vzdáleností od ohniska

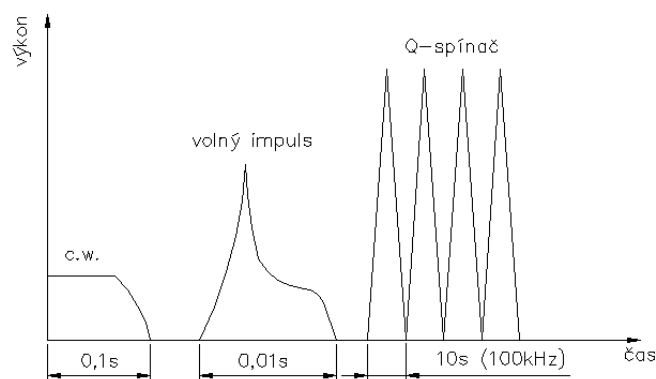


Obr. 18 Možnosti fokusace laserového paprsku[7]

## 2.5 Dělení laserů

Nabídka laserů na trhu je velmi rozmanitá a rozdělit je můžeme podle více aspektů, níže jsou uvedeny některé z nich:

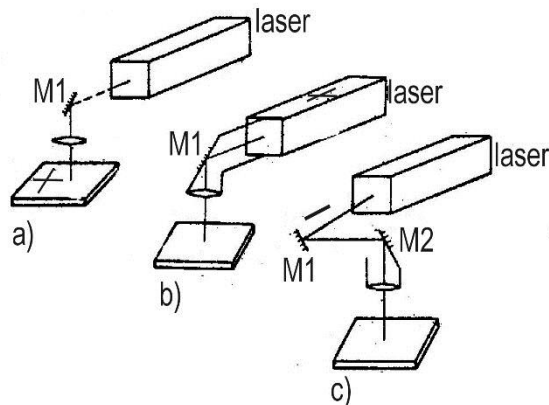
- Aktivní prostředí:
  - pevnolátkové
  - plynové
  - kapalinové
  - polovodičové
- Způsob buzení (čerpání):
  - opticky
  - elektrickým výbojem
  - chemickou reakcí
- Provozní režim paprsku:
  - kontinuální (cw – continuous wave)
  - pulsní (pw - pulsed wave) – doba trvání pulsu může být různá
    - řádově milisekundy (vhodné pro pulsní svařování)
    - řádově mikrosekundy až nanosekundy (vhodné pro gravírování)
    - řádově pikosekundy až femtosekundy (vhodné pro mikroobrábění bez tepelného ovlivnění)
  - impulsní – velmi krátké pulsy s malou opakovací frekvencí, ale velmi vysokou energií, pro vědecké účely [20]



Obr. 19 Přehled laserových pulsů [7]

- Výkon:
  - nízkovýkonné (desetiny W ÷ stovky W)
  - vysokovýkonné (1 kW ÷ desítky kW)

- Vlnová délka:
  - infračervené (780nm - 1mm)
  - oblast viditelného záření (360nm - 780nm)
  - ultrafialové (10nm - 360nm)
- Konstrukce:
  - pohyblivá hlava a pevný stůl (viz Obr. 20 - b)
  - pevná hlava a pohyblivý je:
    - pracovní stůl (viz Obr. 20 - a)
    - pohyblivý paprsek (tzv. skenovací hlava), (viz Obr. 20 - c)



Obr. 20 Konstrukční provedení laserového zařízení [7]

- Použití:
  - vědecké lasery
  - průmyslové lasery
  - vojenské lasery
  - lékařské lasery
  - ostatní

## 2.6 Druhy laserů

Základní dělení laserů je podle aktivního prostředí, jelikož se jedná o nejdůležitější část každého laseru, ve které vzniká stimulovaná emise. Pracovní látkou v aktivním prostředí může být plyn (He:Ne laser, oxid uhličitý), kapalina (Rhodamin-barvivo), krystal (rubín), polovodič, molekuly nebo plazma.

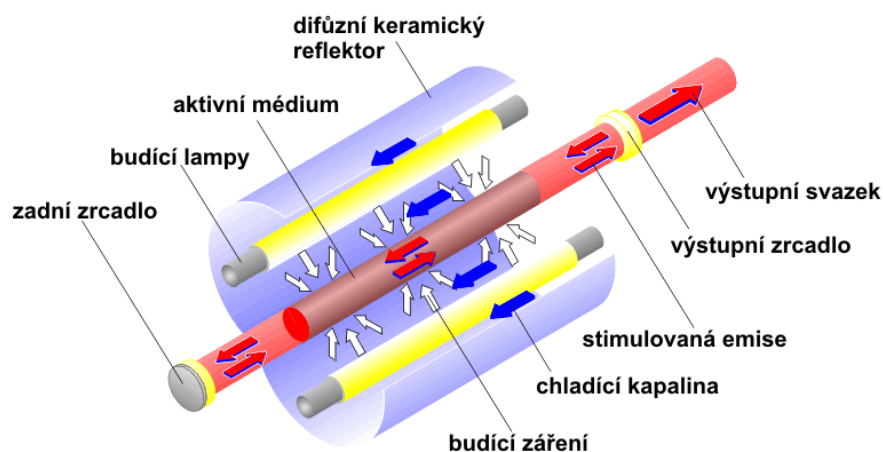


### 2.6.1 Pevnolátkové lasery

Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny laserů jsou Nd:YAG, diskový a vláknový laser. Aktivním prostředím bývají pevné krystalické, případně amorfní látky s příměsí vhodných iontů (krystaly, oxidy, sklo a granáty). Buzení je nejčastěji optické a převážně pracují v pulzním režimu. Pro dosažení vysoké kvality paprsku a velkého výkonu je důležité účinné chlazení. Vláknový laser je chlazen po celé délce aktivního prostředí, ale to platí i pro diskový laser. Snaha je udržet v aktivním prostředí konstantní teplotu, aby nedocházelo ke generování laserového záření odlišných vlastností. Základem nových Innoslab laserů je právě kvalitní chlazení. [20,21,22]

#### Nd:YAG laser

Historicky nejstarším typem laseru, který byl nasazen v průmyslu. Aktivní prostředí tvoří pevné krystalické nebo amorfní látky YAG (yttrium-aluminium-granat), dopovaný ionty plynu neodemu - Nd (Er, Yb). NdYAG našel využití v mnoha oborech, v průmyslu se používá k vrtání, svařování a řezání, v chirurgii jako skalpel a v oční mikrochirurgii atd. Buzení je opticky pomocí výbojek nebo LED diod. Může pracovat v pulzním i kontinuálním provozu. Běžná účinnost je 2 - 3%. Vlnová délka tohoto laseru je 1064 nm. Velkou výhodou je možnost vedení laserového paprsku optickým vláknem. Nevýhodou jsou vysoké nároky na chlazení a poměrně nízká životnost výbojek (cca 1000h). [20,21,22,23]



Obr. 21 Nd:YAG buzený výbojkami [20]

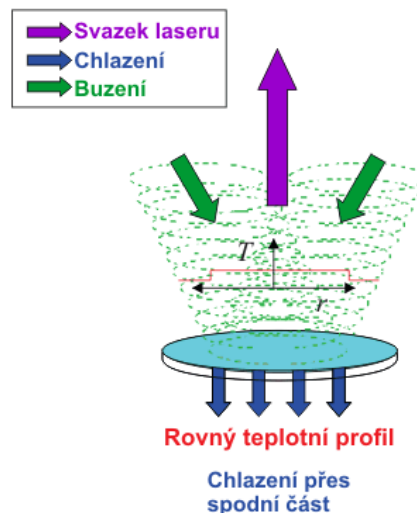
Podle výkonu určujeme použitelnost těchto laserů následovně:

- do 200 W – gravírování a mikroobrábění, použití v jemné mechanice, elektronice

- rozmezí 200 až 2000 W – převážně pro řezání, sváření a pro natavování a spékání materiálu (3D tisk)
- nad 2000 W – převážně pro sváření

### Diskový laser

Principiálně podobný jako Nd:YAG laser, ale používají se jiné aktivní prostředí (např. Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:YLF nebo Yb:YAG), od kterého se odvíjí i vlnová délka. Aktivní prostředí má tvar disku s průměrem řádově desítek milimetrů a tloušťkou několika desetin milimetru. Tvar aktivního prostředí umožňuje kvalitní chlazení (vzduchem nebo vodou) s rovnoměrným teplotním profilem po celém disku, jenž umožňuje dosáhnout vysokých výkonů (až 32kW) s dobrou kvalitou výstupního svazku. Účinnost se pohybuje mezi 15 – 20%. Využívá se spíše pro aplikace, kde je nutný vyšší výkon (sváření a řezání). Tento typ laseru je možné použít i pro technologii „Remote welding“ (někdy označováno jako laserové skenovací svařování nebo letmé svařování) podstatou je neustále zaostřování paprsku na materiál při pohybu paprsku, kdy laserová hlava stojí. [20, 21, 24]

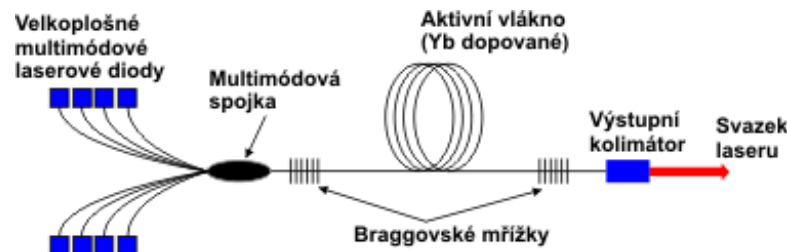


Obr. 22 Schéma diskového kotouče [20]

### Vláknový laser

Vláknový (fibre či fiber) laser je technologicky nejmodernější a nejperspektivnější typ pevnolátkového laseru. Základem laseru je optické vlákno, které tvoří vedení laserového paprsku, ale tvoří také aktivní prostředí a dochází v něm i k buzení a generování laserového paprsku. Optické vlákno zde odpovídá krystalu u pevnolátkových laserů a je dlouhé až několik metrů. Buzení z laserových diod je vedeno přes optickou spojku do aktivního vlákna, které je dopované prvky vzácných zemin, nejčastěji se používá erbium, 22 ytterbium nebo

i praseodym, případně jejich kombinace a namísto zrcadel jsou zde Braggovské mřížky, což jsou struktury vytvořené přímo na optickém vlákně. Záření je pak z vlákna „vyvázáno“ pomocí optického kolimátoru. [23, 24]



Obr. 23 Vláknový laser [20]

V průmyslu nahrazuje klasické NdYAG lasery. Ohromnou výhodou vláknového laseru je jeho modulární uspořádání, jednoduchost (celý laser tvoří optické vlákno) a nízké provozní náklady. Optický rezonátor je vytvořen podél optického vlákna a je chlazen po celé délce. Díky těmto výhodám má vláknový laser výbornou jakost paprsku a proto je také možné dosáhnout velmi vysoké hustoty výkonu ( $10^9 \text{ W.cm}^{-2}$ ). Buzení je LED diodami, které mají dlouhou životnost (až 100 000h). Účinnost je také poměrně vysoká (až 35%). Výkon tohoto laseru dosahuje až 100kW, což je použitelné spíše pro speciální aplikace. Například při svařování vláknový laser s výkonem 20kW značně zvýší produktivitu a sníží spotřebu elektrické energie oproti CO<sub>2</sub> laseru. [23, 24]

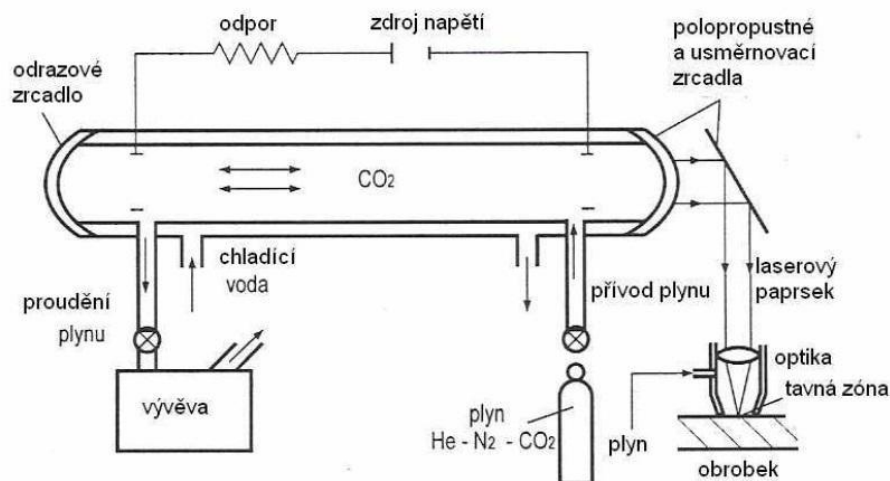
Vláknový laser se používá také pro mikroobrábění. Firmou CeramOptec byl vyvinut laser s výkonem 1,3kW, který pracuje v pulzním režimu s délkou trvání pulsu řádově ve femtosekundách. Je s ním možné obrábět materiály, u kterých by teplotné ovlivnění vedlo k degradaci materiálu. [24]

## 2.6.2 Plynové lasery

Aktivní prostředí zde tvoří plyn nebo směs plynů. Nejčastější způsob buzení je pomocí elektrického výboje. Většina plynových laserů pracuje v kontinuálním režimu, ale je možné jejich použití i v pulsním režimu a nejpoužívanějšími plynovými lasery jsou CO<sub>2</sub>, helium-neonový a excimerový. [25]

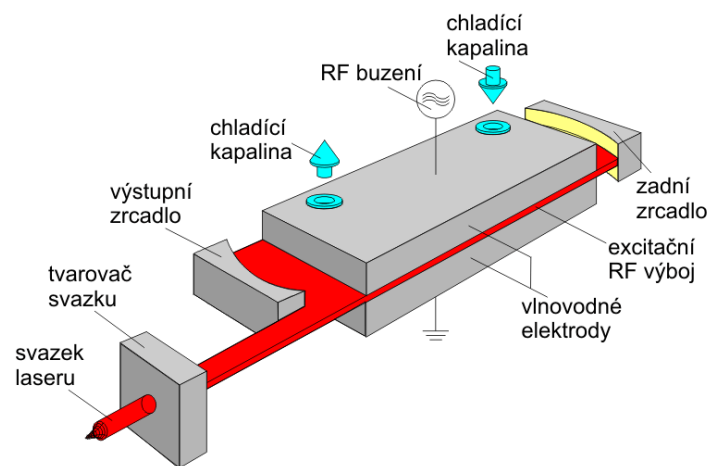
## CO<sub>2</sub> laser

Jeden z nejstarších průmyslově používaných laserů. Aktivní prostředí je směs plynů obsahující CO<sub>2</sub> a buzen je radiofrekvenčně nebo elektrickým výbojem. Může dosahovat vysokých výkonů (až 20kW), ale jeho účinnost je nižší, pohybuje se v rozmezí 5 - 10%. CO<sub>2</sub> laser je poměrně rozšířený a jeho hlavním použitím je řezání (ocel až 40 mm, hliník 15 mm) a především se využívá pro sváření. Vlnová délka je 10600 nm, s tím souvisí možnost využití tohoto laseru na řezání, gravírování a značení nekovových materiálů (plasty, sklo, dřevo, kůže, papír atd.) z důvodů dobré absorpce laserového paprsku těmito materiály. Naopak nevýhodou dané vlnové délky je vedení laserového paprsku pouze pomocí zrcadel, není možné použít vedení optickým vláknem, což v dnešních aplikacích, kde se hojně využívá průmyslových robotů je velká nevýhoda. S částečným řešením přišla firma Re- is, která umístila laser přímo na rameno průmyslového robota. [20, 21]



Obr. 24 Základní části CO<sub>2</sub> laseru [7]

Poslední generací je difúzně chlazený a radiofrekvenčně buzený DC RF CO<sub>2</sub> laser (tzv. slab), který vyniká spolehlivostí, dlouhou životností a nízkými provozními náklady. Dosahuje lepší kvality paprsku, výkonu a následně i kvalitnějšího řezu při dělení materiálu. Podstatou je použití výbojových elektrod, kterými protéká chladicí kapalina. Tento způsob chlazení nevyžaduje oběhovou turbínu, ta má totiž omezenou životnost a je poměrně finančně nákladná. [20, 21]



Obr. 25 princip DC RF CO<sub>2</sub> laseru [20]

### Excimerový laser

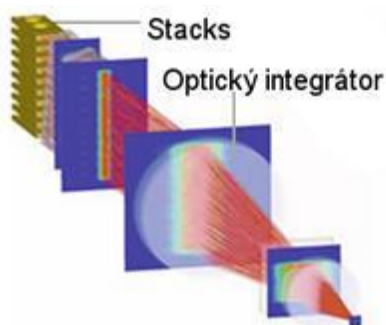
Aktivní prostředí je směs plynů (argon, xenon a krypton), která udává vlnovou délku záření. Buzení nejčastěji probíhá elektrickým výbojem, čímž se molekuly plynu dostanou do vybuzeného neboli excitovaného stavu (excited dimers), proto i název excimerový laser. Paprsek tohoto laseru má vysokou kvalitu s nízkou divergencí. Záření tohoto typu laseru se pohybuje v ultrafialové oblasti od 157 nm do 351 nm, tyto vlnové délky jsou dobře absorbovány různými materiály dokonce i vzduchem, proto u nejkratších vlnových délek musí být použito vakuum. Tyto lasery pracují v pulsních režimech a je možné s nimi dosáhnout i krátkých pulsů (v řádech ns) s vysokou opakovací frekvencí. Excimerový laser se používá k vrtání a jemnému opracování materiálu především v mikroelektronice, ale také se používá v lékařství. Výkon laseru je od jednotek miliwattů až do 1200 wattů podle aplikace. Nevýhodou těchto laserů je pouze omezená životnost aktivního prostředí.[21, 26]

### 2.6.3 Polovodičové lasery

#### Diodový laser

U tohoto laseru se záření generuje přímo v polovodiči (GaAs, AlGaAs) v PN přechodu průchodem elektrického proudu. Tyto miniaturní emitery s výkonem několika mW se skládají do řad (bars) délky několika mm a výkonu cca 10 W, které se dále skládají na sebe do sloupců (stacks, výkon až 600 W). Laserové záření musí projít přes optický integrátor, který uspořádá laserový paprsek z většího počtu PN přechodů, do požadovaného tvaru. Spojováním sloupců se dosahují výkony až v řádech kW. Diodový laser má poměrně vysokou účinnost (až 60%), ale se špatnou kvalitou laserového paprsku s velkou rozbíhavostí.

Jeho investiční a pořizovací náklady jsou nízké a má i poměrně dlouhou životnost, další výhodou je jeho kompaktnost. Jeho provoz je převážně kontinuální a vlnová délka se pohybuje kolem 1000nm, ale je možné ji měnit. Specifický laserový paprsek má i ojedinělé, téměř konstantní, rozložení intenzity nejčastěji s obdélníkovým průřezem. Jeho průmyslové použití je pro povrchové úpravy – navařování, kalení a dále pro řezání a sváření plastů, nebo se používají k buzení pevnolátkových laserů. Dále je tento typ laseru možné využít v elektrotechnice, např. u čtečky čárových kódů, v laserové tiskárně nebo v laserovém ukazovátku. [7, 20, 21, 25, 27]



Obr. 26 Vznik paprsku diodového laseru [27]

#### 2.6.4 Kapalinové lasery

Aktivním prostředím bývají opticky buzené roztoky organických barviv (barvivové lasery). Největší výhodou těchto laserů je možnost nastavení různé vlnové délky záření od 300 nm až do 1500 nm. Nevýhodou je degradace aktivního prostředí vlivem tepla a světla při buzení. Využití těchto laserů v průmyslu je poměrně malé, používají se v informační technice a spektroskopii. [1, 7]

Novinkou je boranový laser na jehož vývoji spolupracovali Češi a Španělé. Laser vykazuje větší odolnost proti degradaci aktivního prostředí. Jeho aktivní prostředí je čistě anorganické (sloučeniny boru a vodíku), má modré světlo a krom spektroskopie, by měl najít uplatnění i v průmyslu a dermatologii. [28]



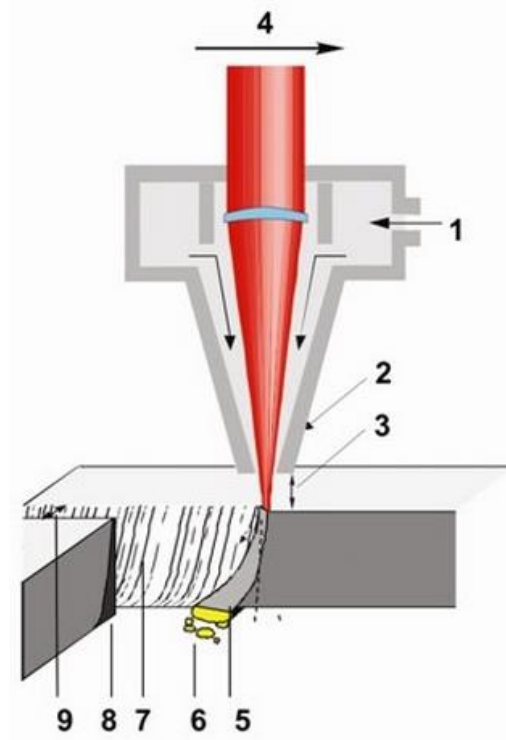
### 3 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE LASERU

Tab. 4 Klasifikace průmyslových aplikací laseru dle normy DIN 8580 [7]

primární tváření	tváření	řezání	spojování	Povlakování	tepelné zpracování
stereolitografie	tváření laserovým ohřevem	sublimační tavné s aktivním plynem	svaření	povrchové legování	kalení
Spékání		vrtání	pájení	plazma CVD	žihání
		gravírování			zpevňování
		LAM			
		popisování			

#### 3.1 Laserové řezání

Velmi častá aplikace laseru v průmyslu je dělení materiálu, zejména se používá pro řezání plechů, u tenkých plechů se dosahuje řezných rychlostí až  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Spojením robotického zařízení a laseru získáme 3D laser pro řezání profilů a prostorových obrobků. Řez může dosahovat vysoké přesnosti a kolmosti s úzkou spárkou, velkou výhodou je malá tepelně ovlivněná oblast v okolí řezu (několik desetin mm). Obecně platí, že pro řezání tenkých plechů jsou vhodnější pevnolátkové lasery a pro plechy nad 3mm CO<sub>2</sub> lasery, které v poslední době začínají vytlačovat lasery vláknové. [29, 30, 31]



Obr. 27 Princip metody řezání laserem [33]

Pozn. Obr. 27: 1 - asistenční plyn, 2 - řezací tryska, 3 - pracovní vzdálenost trysky, 4 - posuv, 5 - tavenina, 6 - odtavený materiál, 7 - stopy po paprsku laseru, 8 - tepelně ovlivněná oblast, 9 - šířka řezu

Řezání laserem je založeno na velmi rychlém ohřevu materiálu, který se následně dostane do tekutého stavu a expanzí par se vytvoří mezera, ze které je stlačeným plynem materiál odstraněn. Na základě použitého řezného plynu může být dělení materiálu tavné nebo oxidační. [29, 31]

### Oxidační řezání

Při oxidačním řezání neboli řezání plamenem, je použit proud kyslíku, vlivem kterého obráběný kov částečně shoří. Dochází zde k exotermické reakci, která zvyšuje rychlost a snižuje potřebný výkon laseru. Tlak kyslíku je asi 5 barů a kvalita řezu je horší, než u tavného řezání, proto se tento způsob řezání využívá pro konstrukční oceli, a to až do tloušťky 30mm. [30, 31, 32]

### **Tavné řezání**

K řezání se používá inertní plyn (dusík nebo argon). Tlak plynu je přibližně 15 barů a jeho spotřeba je poměrně velká, oproti oxidačnímu je toto řezání nákladnější. Využívá se hlavně pro řezání barevných kovů a nerezové oceli. [29, 30]

### **Sublimační řezání**

Řezání probíhá nejčastěji prostřednictvím skenovací hlavy bez přívodu stlačeného plynu. Způsob řezání využívaný u mikroobrábění, pro řezání anorganických materiálů nebo kovových fólií. Řez je proveden jedním přejezdem paprsku (fólie do tloušťky cca 0,05mm) nebo u silnějších materiálů vícenásobným přejezdem. U těchto silnějších materiálů vzniká problém, je-li použita skenovací hlava. Musí se rozšířit řezná spára a to buď jednotlivými, rovnoběžnými přejezdy paprsku nebo kmitáním paprsku. [33]

### **Plazmové řezání**

Je zvláštní způsob řezání, při kterém dochází k ohřevu materiálu působením velmi vysoké intenzity energie, která v místě řezu vytvoří plazma. Touto metodou je možné řezání barevných kovů, nebo nerezové oceli až do tloušťky 50mm, ale s poměrně hrubým povrchem obrobené plochy. [29, 30]

#### **3.1.1 Řezání nekovových materiálů**

Dělení laserem je možné použít i pro nekovové materiály. Řezný proces nekovových materiálů zahrnuje tři hlavní mechanismy:

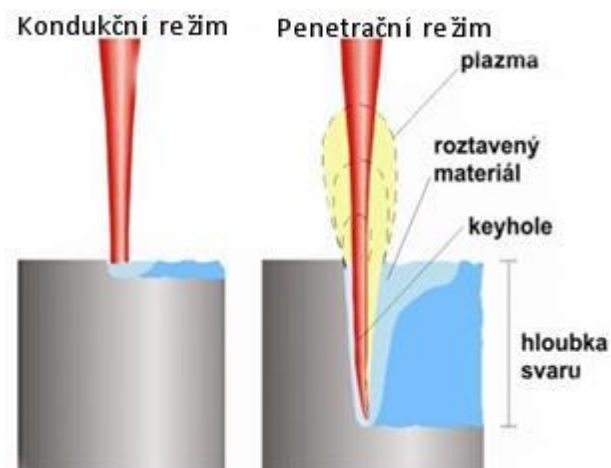
- dělení tavením a následným smykem - typické pro termoplasty a pro keramické materiály
- odpařováním - typické pro PMMA, polyacetát, akryl
- chemická degradace, která vzniká vlivem vysoké teploty a různorodosti složení materiálu. Typické pro řezání produktů na bázi dřeva, kompozitních materiálů, ale i PVC nebo polyuretanu.

Při řezání kompozitních materiálů se doporučuje výkon laseru volit s ohledem na vlastnosti použitých vláken (skleněné, uhlíkové, aramidové, aj.). [8]

### 3.2 Laserové svařování

Laser je velmi oblíbený nástroj ke svařování, využívá se hlavně v automatizovaném a velkoobjemovém provozu a to vzhledem k pořizovací ceně a také nutnosti použití přípravků. K velkým výhodám laserového svařování patří svařitelnost různých materiálů i nekovových např. plastů. Tepelně ovlivněná oblast je velmi malá, zaručuje vysokou štíhlost sváru a nízký výskyt teplených deformací. Nejpoužívanější lasery pro svařování jsou CO<sub>2</sub> a pevnolátkové lasery. Pro svařování v ochranné atmosféře se používají plyny jako N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> nebo He. Svařování probíhá bez přídavného materiálu. [23, 34]

Podle hustoty výkonu svazku dělíme svařování laserem na kondukční a penetrační. U penetračního je hustota výkonu až 10<sup>8</sup> W.cm<sup>-2</sup> a vzniká při něm tzv. Keyhole, což je dutina vzniklá vlivem expanze par roztaveného kovu. Podstatou kondukčního režimu je pouze natavení povrchové vrstvy materiálu. Svár má podobný vzhled jako u svařování elektrickým obloukem a hustota výkonu zde dosahuje maximálně 10<sup>6</sup> W.cm<sup>-2</sup>. [23, 34]



Obr. 28 Režim svařování [11]

### 3.3 Navařování laserem

Nejlépeším nástrojem pro navařování je laser (vláknový, diodový), používá se k vytvoření povrchové vrstvy s lepšími vlastnostmi (korozivzdornost, ořezuvzdornost), než má základní materiál nebo při opravách např. vstřikovacích forem. Princip je takový, že se přídavný materiál přivádí do místa natavovaného laserovým paprskem a ten částečně nataví také přídavný materiál (drát, prášek). Materiál je možné navařit i na tvarově složitější součásti. Výsledná vrstva má vysokou kvalitu bez defektů a jemnozrnnou strukturu, protože dochází k malému teplotnímu ovlivnění s možností rychlého ochlazení. Lze navařovat

různé materiály (kovy, keramiku i polymery) nebo i gradované struktury s různými vlastnostmi jednotlivých vrstev. [11, 35]



Obr. 29 Princip navařování [35]

### 3.4 Pájení laserem

Tato inovační aplikace se hojně využívá v automobilovém průmyslu, kde často nahrazuje svařování, protože přiváděné teplo do základního materiálu je nižší než při svařování, tudíž nezhoršuje korozní odolnost materiálu. Další možností aplikace laserového pájení je pájení řezných destiček na obráběcí nástroje nebo pájení elektronických komponentů. Výhodou je možnost spojování rozdílných materiálů. K pájení se převážně používají diodové lasery. [11]

### 3.5 Vrtání laserem

Pro vrtání těžko obrobitelných materiálů (např. diamant) nebo pro otvory s vysokým sklonem k povrchu materiálu a s vysokým poměrem hloubky a průměru otvoru, které jsou jinak nevyrobitelné, pro tyto operace je vhodný právě laser. Další výhodou je, že průřez otvoru může mít jakýkoliv tvar. Nejčastěji se používají pulsní pevnolátkové lasery nebo CO<sub>2</sub> lasery. [36]

### 3.6 Zušlechťování povrchu materiálu laserem

Nejčastější proces tepleného zpracování laserem je laserové kalení, které umožňuje přetvářet vlastnosti povrchové vrstvy materiálu. Během zpracování dochází k malému tepelnému ovlivnění materiálu, proto téměř nedochází k deformacím nebo jiným defektům na obrobku. Výhodou je také možnost pouze lokálního kalení na určitém místě, což je ekonomické. Používají se vláknové, CO<sub>2</sub> a diodové lasery. Diodové lasery generují vhodný

paprsek (nejčastěji ve tvaru obdélníku) k přímému tepelnému opracování. Principem laserového kalení je prudký ohřev povrchu materiálu vhodně fokusovaným laserovým paprskem a následné ochlazení probíhá samovolně. Problematické je kalení laserem pokud se jedná o zpracování velkých ploch nebo tenkostěnných výrobků, u kterých není možné odvedení tepla do materiálu. [37]

### **3.7 Laserové mikroobrábění**

Laser se osvědčil jako univerzální a bezkontaktní nástroj v mnoha odvětvích od lékařství přes průmysl až po vojenské aplikace. Laserové mikroobrábění a gravírování je jen úzkou oblastí průmyslových laserů. Jednotlivé aplikace se od sebe liší především výkonem použitého laseru, kde pro mikroobrábění a gravírování se používají výkony na spodní hranici průmyslových laserů. Gravírování i mikroobrábění mají společný rys a to odebírání materiálu. [33, 38]

#### **Rozdíly mezi laserovým mikroobráběním a gravírováním**

Laserové mikroobrábění je charakteristické malým objemem odebraného materiálu, často i z obrobků miniaturních rozměrů. Důležitá je přesnost, míra tepelného ovlivnění a povrch obrobeného materiálu u aplikací jako je mikrořezání, mikrovrtání, 3D laserové obrábění nebo strukturování povrchu. Přesné otvory je možné vytvářet až do průměru 1  $\mu\text{m}$  a to i nekruhových průřezů. Materiály, jež se takto obrábějí, jsou nejčastěji kovy, plasty, sklo a keramika. [33, 38, 39]

Laserové gravírování je pojem pro značení a popisování výrobků. Zde je důležitý především vizuální dojem, než například přesnost. V současné době je laserové gravírování velmi využíváno kvůli svým výhodám a použitelnosti pro různé materiály (kovy, dřevo, sklo, plasty, kůže a další). [33, 38]

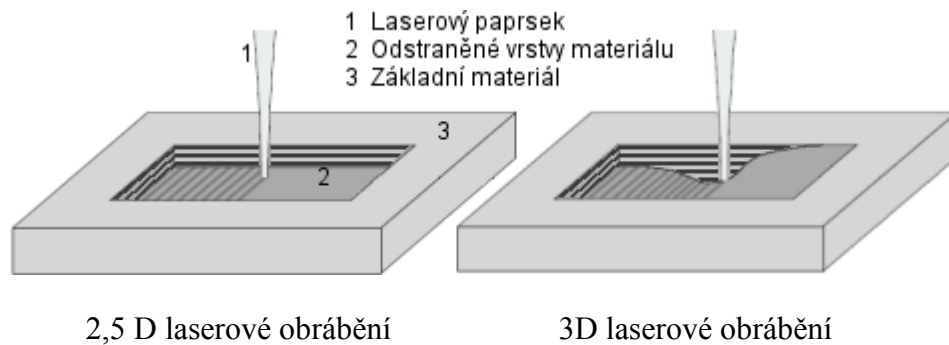
#### **3.7.1 Aplikace laserového mikroobrábění**

##### **Laserové 2,5 D a 3D mikroobrábění (ablování)**

U řezání nebo vrtání dochází k odstranění veškerého materiálu v místě působení paprsku. Pokud laserový paprsek použijeme pouze k odstranění tenké vrstvy materiálu konstantní tloušťky rovinných nebo tvarových ploch, jedná se o 2,5D obrábění a na tomto principu je založeno značení a popisování laserem. Další možností je odstranění materiálu po vrstvách s proměnnou tloušťkou odstraněného materiálu. Podle počtu překrývajících se



průjezdů paprsku vznikne tvarové vybrání – 3D obrábění. Hloubka odstraněného materiálu se může pohybovat od několika mikrometrů až po několik milimetrů. [33, 38, 40]



Obr. 30 Laserové obrábění [11]

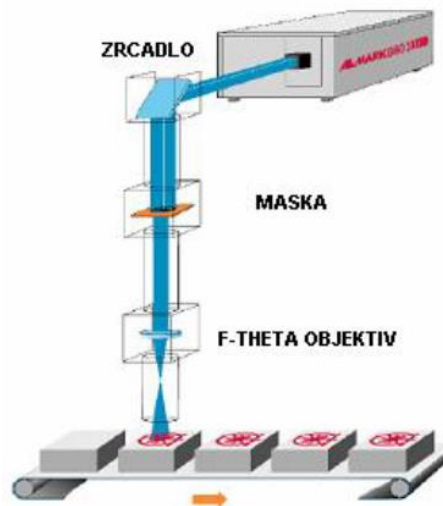
### 3.8 Laserové gravírování a popisování

Dříve používané metody a nástroje k popisování neboli značení v průmyslu (např. razníky, mikro-úderové značení, vysokootáčkové frézky aj.) jsou postupně vytlačeny laserovým gravírováním. Laser je efektivní, rychlý a přesný nástroj. Vytvořená značka je mechanicky odolná a trvanlivá. Vše probíhá v jediné krátké operaci bez použití chemických přísad nebo inkoustů. Laserové gravírování je použitelné pro libovolný materiál, omezením je pouze výběr vhodného laseru, aby docházelo k účinné absorpci laserového záření daným materiálem. Nejvyšší absorpce záření u materiálů, jako dřevo, papír, sklo a plasty, dosahuje CO<sub>2</sub> laser. Naopak pro kovy a některé plasty se nejčastěji používá pevnolátkový Nd:YAG laser. Lasery fungují v pulsním režimu a výkony dosahují jednotek až stovek wattů, paprsek nejčastěji vychází ze skenovací hlavy a rychlost pohybu paprsku po povrchu materiálu může být až několik metrů za sekundu. Nevýhodou je pracovní rozsah a také omezená barevnost popisu. Gravírovacími lasery je možné také řezání různých fólií nebo papíru. [1, 11]

#### Princip popisování přes masku

U této metody se používá masky, která je tvořena z mosazi, bronzu nebo ušlechtilé oceli a je v ní vyřiznut potřebný znak nebo kód. Hlavní částí značkovacího optického ramene je maska a zobrazovací element (čočka, objektiv, zrcadlo). Paprsek laseru osvítli najednou nebo po řádcích masku, a tím je popis přenesen na výrobek či obal. Místa zakrytá maskou zůstávají nepopsána. Používají se lasery CO<sub>2</sub>, Nd:YAG i excimerové. Mezi výhody této metody patří jednoduchý popisovací systém a vysoká rychlost popisování (až 3 000

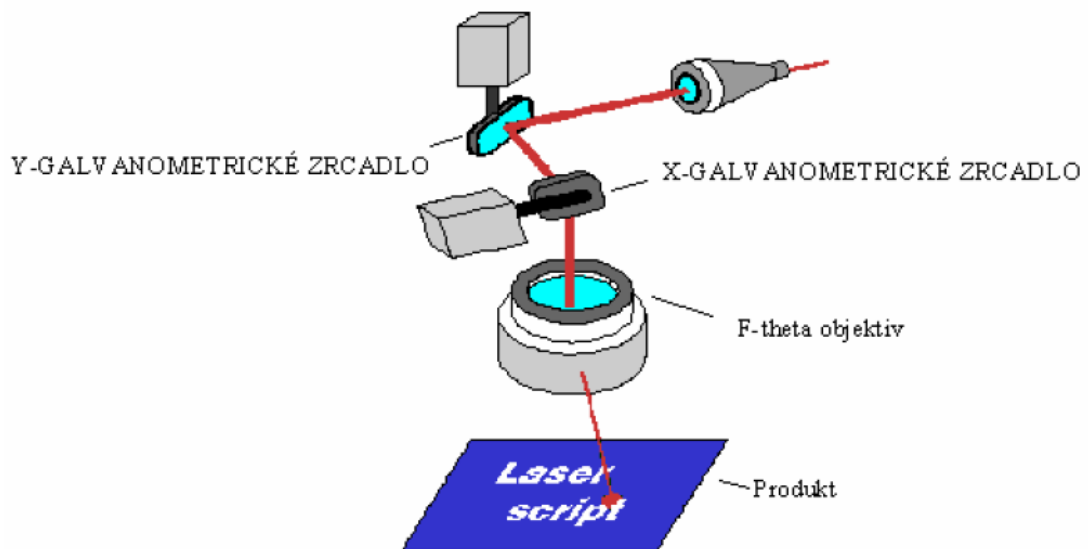
znaků za minutu). Hlavními nevýhodami jsou malé popisovací pole (10 až 40 mm<sup>2</sup>), horší kvalita popisu, malá flexibilita a vyšší náklady spojené se změnou popisu, neboť je nutné vždy vyrobit celou masku. Metoda je vhodná především pro velké série popisovaných součástí. [1, 15]



Obr. 31 Schéma laserové optiky u maskovací metody [7]

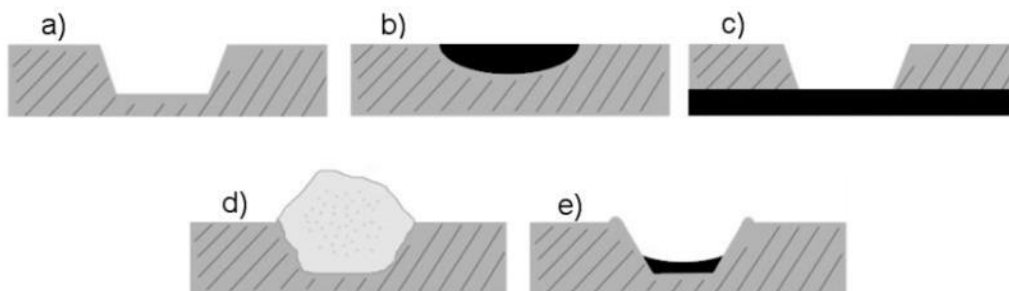
### Princip popisování vychylováním paprsku laseru

Hlava laseru je nazývána skenovací a nejvíce se používá pro laserové mikroobrábění a gravírování. Dosahovaná rychlost je až několik metrů za sekundu. Nevýhodou je relativně malý obslužný prostor (se zvětšující se ohniskovou vzdáleností se sice obslužný prostor zvětšuje, ale klesá přesnost polohování paprsku). Ohnisková vzdálenost se zde pohybuje v řádech desítek až stovek milimetrů. Paprsek vycházející z laseru je vychylován dvěma vzájemně kolmými zrcadly, jejichž pohyby řídí počítač (můžeme si představit vedení laserového svazku jako „psaní perem“). Pokud je přenos paprsku řešen optickým vláknem, je možno popisovat součásti také na málo přístupných místech. Při této metodě se dosahuje vysoká kvalita popisu s ohledem na jeho dokonalou čitelnost a kontrast. Významnou předností je také vysoká operativnost a rychlost změny psaného textu nebo vzoru, neboť jde pouze o provedení změny řídicího programu prostřednictvím počítače, čímž odpadá výroba a výměna masky. [10, 15]



Obr. 32 Schéma laserové optiky u popisovací metody vychylováním svazku [7]

### 3.8.1 Způsoby gravírování a značení



Obr. 33 Způsoby gravírování a značení [41]

#### a) odebrání materiálu

Laserový paprsek vytvoří odebráním materiálu viditelný reliéf. Hloubka a šířka je dána použitými pracovními parametry laseru. Tato metoda je vhodná pro jakýkoliv materiál. [15, 41]

#### b) změna barvy (karbonizace)

Energie laseru se mění na tepelnou a ta způsobí lokální zahřátí materiálu a následnou karbonizaci, vznikají tak tmavé nebo černé značky na světlém podkladu. Této možnosti je možné využít i u ocelí, které od teploty 600 °C (kalící teploty) začínají měnit barvu. [15, 41]

#### c) odebrání materiálu určité vrstvy

Značka se vytváří v důsledku odstranění povrchové vrstvy materiálu. Nejčastěji dochází k odstranění tenké vrstvy barvy z povrchu povlakovaných kovů (např. eloxo-

vaný hliník), nebo plastů (tlačítka s nápisy - laserem se odstraní vrchní vrstva tmavého laku na transparentní polymer, který je pak možno podsvítit). [15, 41]

**d) zpěnění (sublimace)**

Tento způsob je používán u plastů. Jakmile se materiál zahřeje laserovým zářením, uvolní se z něho plyny, které vytvoří na povrchu materiálu pěnu. Pěna vystoupí na povrch v tloušťce přibližně 40 $\mu$ m, může dojít i ke změně barvy zpěněného materiálu. Tento typ popisu může být méně odolný vůči mechanickému opotřebení. [15, 41]

**e) odebrání a změna barvy materiálu**

Kombinace metody a) a b), kde dojde zároveň k odebrání materiálu a změně barvy materiálu v místě dopadu paprsku. [15, 41]

### 3.8.2 Povrchové úpravy k laserovému popisu

Laserem lze popisovat rovinné, válcové i jinak zakřivené plochy. Popisovaný povrch může být broušený, pískovaný, lakovaný, černěný, smaltovaný, opatřený povlakem chromu, zinku, keramiky, polymeru apod.

Povlak je povrchová vrstva vytvořená na základním materiálu. Zpravidla jej vytváříme záměrně k dosažení nebo zlepšení požadovaných vlastností. Jedná se například o různé typy pokovení nebo nanesení jiného anorganického povlaku (plastový, pryžový). [1]

- **Anorganické povlaky**

Anorganické povlaky jsou vytvořené chemickou reakcí kovového povrchu nebo se jedná o nátěrové hmoty, jejichž základem je anorganická látka. Povlaky chrání základní materiál bariérově, případně pasivací. Základní rozdělení se nejčastěji provádí na anorganické povlaky kovové a nekovové. [42]

### **Oxidace (pasivování povrchu kovového materiálu)**

Princip pasivace spočívá v řízeném vytvoření ochranné oxidační vrstvy. Probíhá tak, že v oxidačním prostředí, zpravidla v lázni, se na povrchu součásti vytvoří vrstva oxidů a dalších sloučenin, které chrání materiál před vlivem korozního prostředí. Ocelový povrch při tomto procesu zčerná, proto se uvedený postup běžně nazývá černění. [42]

### **Eloxování (anodická oxidace)**

Jedná se o elektrochemický proces, kdy na povrchu kovu (hliníku, titanu, niobu), který je v elektrolytické lázni zapojen jako anoda, dochází ke tvorbě rovnoměrné kompaktní vrstvy oxidu, který je výrazně tvrdší a chemicky odolnější než kov sám a zlepšuje tak mechanické a chemické vlastnosti eloxovaných výrobků. Nespornou výhodou je také možnost vybarvování této vrstvy průmyslovými barvivy do prakticky libovolného odstínu. Navíc na rozdíl od organických barviv nanášených pouze na povrch kovu, nemá eloxová vrstva při správném provedení tendenci k odlupování a barvivo je v této vrstvě uzavřeno. Asi nejznámější a nejrozšířenější je eloxování hliníku, kdy na jeho povrchu vzniká vrstva oxidu hlinitého se strukturou korundu a běžnou tloušťkou 5 – 25  $\mu\text{m}$  (Tvrdá anodizace – tloušťka vrstvy 25 – 200  $\mu\text{m}$  a naopak Pásová anodizace 0,2 - 25 $\mu\text{m}$ ). [1, 42]

### **Chromátování**

Chromátování je technologický proces, při němž se povrch ocelových nebo zinkových (pozinkovaných) součástí pasivuje ve vodním roztoku kyseliny chromové při teplotě 95°C. Chemickou reakcí vzniká velmi tenká vrstva chromanů. Výsledný povrch je nejčastěji bezbarvý nebo žlutý. [42]

- **Kovové anorganické povlaky**

K nejčastěji používaným kovovým anorganickým povlakům patří nanesení vrstvy jiného kovu vhodnou technologickou metodou.

### **Galvanické pokovení**

Nejčastěji se vytváří povlaky zinkové, měděné, niklové, chromové, stříbrné nebo cínové. Pokovované součásti jsou zavěšovány do galvanické lázně (elektrolytu) jako katódy a při průchodu stejnosměrného proudu se kov anody rozpouští a přenáší se na pokovovanou součást (katodu). Nanesená vrstva má nejčastěji tloušťku 1 až 7  $\mu\text{m}$ , výjimečně 20  $\mu\text{m}$ . [42]

### **Difuzní pokovení**

Korozivzdorná vrstva vzniká difundováním z pevného, kapalného nebo plynného prostředí do součásti za ohřevu v ochranné atmosféře nebo vakuu. Difuzí se nejčastěji nanáší zinek, hliník nebo chrom. [42]

## Vakuové pokovení

Kovové páry se získávají vypařováním kovů ve vysokém vakuu. Odpařovaný ochranný kov ve tvaru drátu nebo prášku se vkládá do odpařovacího tělesa ohřivaného odporovým teplem. Pokovované předměty jsou zavěšeny ve vakuové komoře a vznikající kovové páry na chladnějším povrchu ploch přivrácených k odpařovacímu tělesu kondenzují a vytváří se tenký souvislý povlak. Tímto způsobem se nanáší kovy i nekovy na kovové nebo nekovové součásti, např. reflexní vrstvy světlometů, optické filtry na brýlích proti oslnění, pokovování plastů, textilu, papíru, vodivé povlaky v elektrotechnice. [42]

- **Povlaky z plastů**

Povlaky z plastů se provádí na kovových součástech z tvrditelných nebo (častěji) z netvrditelných plastů (PA - polyamid, PE - polyetylen, PVC - polyvinylchlorid, PTFE - teflon). Způsoby nanášení povlaků z plastů:

- lepením fólií – lze použít na rovné plochy (stěny nádrží), spáry se zpravidla svařují
- přivaření fólií ultrazvukem
- obalení přehřátých součástí v práškovém plastu
- žárovým stříkáním – plast se z tlakové komory nanáší na ohřátý povrch součásti.[42]

- **Smaltování**

Smaltování je vytvoření neporézního tvrdého povlaku z borsilikátových skel s velkou chemickou odolností zejména proti kyselinám. Je křehký, nesnáší mechanické rázy ani změny teplot. Vytváří se tak, že hladký povrch součástí se máčí nebo polévá suspenzí práškového smaltu s vodou, nebo se na přehřátý povrch sype práškový smalt, který se natavuje. Dále následuje vypalování při teplotě až 900°C. Pro zlepšení vzhledu se nanáší ještě krycí povlak obsahující barvicí přísady. Druhý povlak se vypaluje při teplotě cca 800°C. [42]

#### **4 STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Z poznatků plynoucích z prostudované literatury a s ohledem na dosavadní praxi s laserovým popisováním byly zvoleny následující cíle praktické části této diplomové práce:

1. Proved'te povlakování a experimentální značení (popisování) vzorků
2. Vyhodno'te optimální technologické podmínky
3. Proved'te ekonomický rozbor a statistické zpracování výsledků

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 POPIS LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

### 5.1 Laser ILS 3NM

Kompaktní laserový systém ILS 3 NM je zařízení vhodné ke gravírování a řezání široké škály materiálů jako jsou: plasty a plastové fólie, dřevo, guma, kůže, tkaniny, sklo, mramor/kámen a v omezené míře také kovy, poněvadž zdrojem laserového záření je CO<sub>2</sub>. Řídicí program je zprostředkováván pomocí počítače a může být ve formě vektorové nebo rastrové grafiky (obrázek, logo, nebo text), což zaručuje velmi kvalitní a přesné značení, vhodné pro popisování dárkových předmětů, suvenýru, plaket, štítků na trofejích, nebo pro běžné průmyslové značení. Zařízení je plně kompatibilní s Microsoft Windows a propojení s počítačem je řešeno podobně jako u běžné tiskárny (USB, paralelní port, LAN). Tento laser je na trhu dostupný v několika výkonových variantách. My máme k dispozici ILS 3NM o výkonu 100W. Zařízení vybaveno pojezdovým stolem s pracovní plochou 660 x 495 mm (formát A3-A0), rotačním zařízením pro značení válcových předmětů a čelními dvířky pro značení nekonečně dlouhých desek. Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v Tab. 3. [43,44]

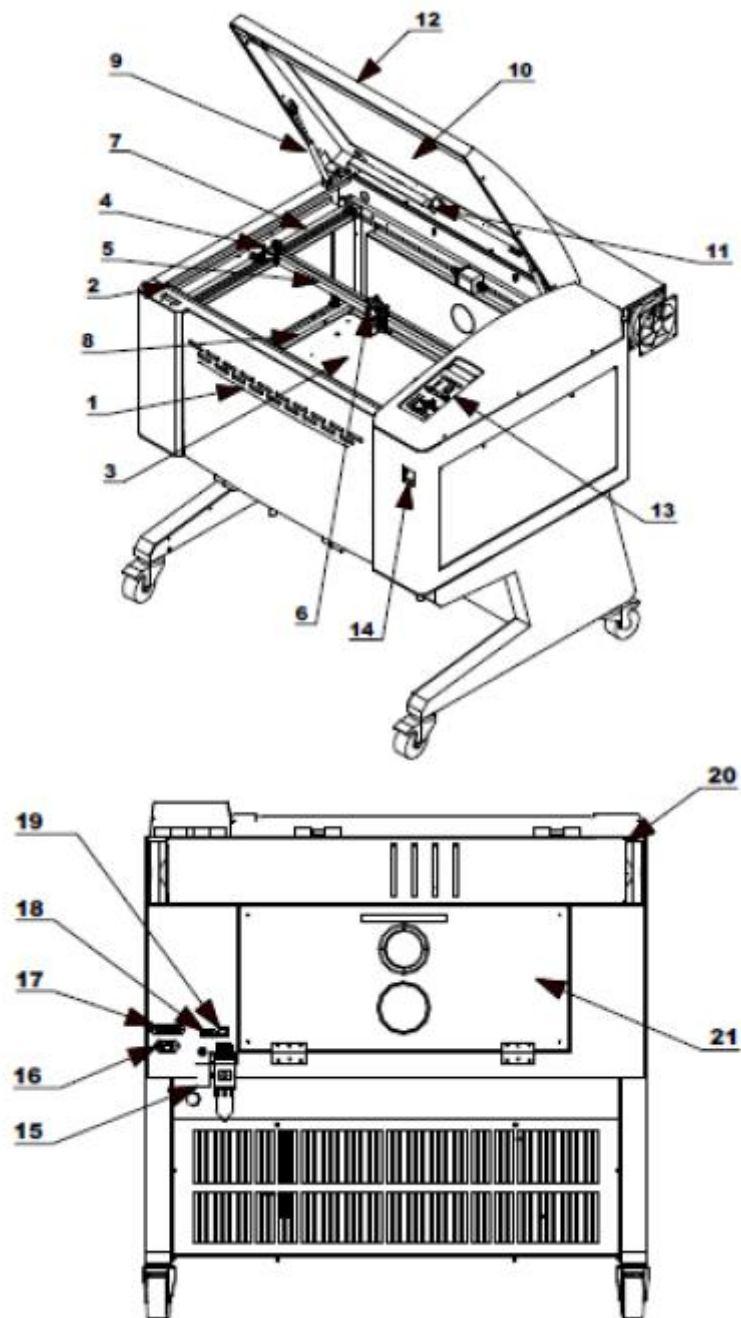


Obr. 34 Laser ILS 3 NM [44]

Tab. 5 Technické parametry laseru ILS 3NM [44]

ILS 3NM	
Výkon	100W
Aktivní prostředí	plyn - CO <sub>2</sub>
Pracovní režim	kontinuální, pulsní
Chlazení	vzduchové
Pracovní pole (největší rozměr materiálu)	660mm(D) x 495mm(Š) x 200mm(V)
Osa Z	210mm
Rozlišení	1000DPI, 500DPI, 333DPI, 250DPI, 200DPI, 166DPI
Vlnová délka	10,6μm
Řízení rychlosti posuvu	nastavitelné od 1mm/s do 1524mm/s
Řízení výkonu laseru	nastavitelné od 0% do 100%
Nastavení ohniskové vzdálenosti	automatické, manuální
Operační módy	rastrové gravírování, vektorové řezání
Komunikační rozhraní	USB, LPT1, LAN
Software	kompatibilní se software pro Microsoft Windows (AutoCAD, Corel)
Integrovaná paměť (buffer)	64 MB - max 99 souborů
Displej zobrazuje	seznam vzorů, síla laseru, gravírovací rychlost, čas průběhu, načtené soubory, nastavení a diagnostiku stroje
Napájení	110/220V AC, 20/10A, 50/60 Hz
Vnější rozměry	970mm(D) x 865mm(Š) x 990mm(V)
Hmotnost	230Kg
Bezpečnostní standard	Třída 1
Příslušenství	odsávání zplodin, kompresor, rotační zařízení, deska pro řezání (s odsáváním / bez odsávání), přípravek pro tvorbu razítek

Pro podrobnější seznámení s laserovým zařízením ILS 3NM jsou v následujícím obrázku (Obr. 35) pozicemi označeny jednotlivé části zařízení.

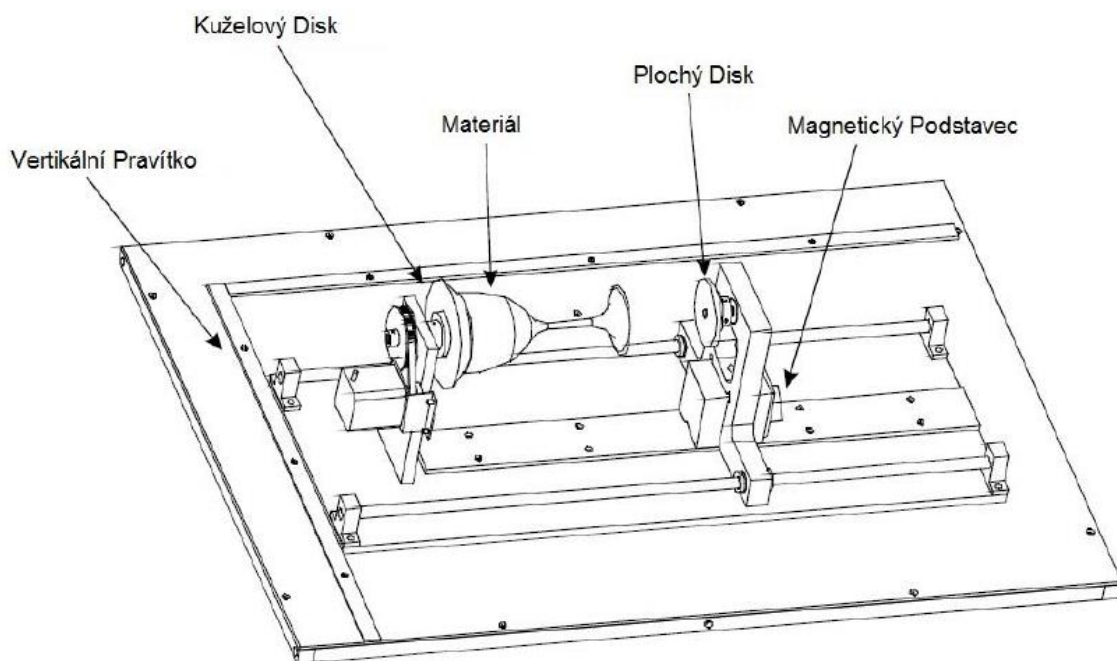


Obr. 35 Popis laserového zařízení [44]

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-chladicí ventilátor, 21-zadní dvířka.

### 5.1.1 Přídavné rotační zařízení

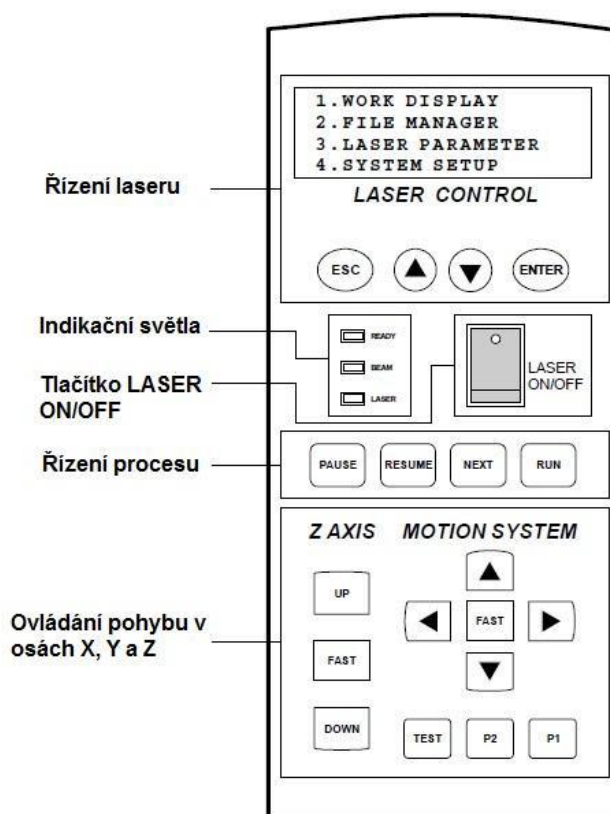
Přídavné rotační zařízení slouží ke značení a gravírování válcových dílů nebo lahví. Pro instalaci zařízení je nutné nejprve vyjmout voštinový pracovní stůl a na jeho místo umístit a připevnit rotační zařízení. Následným připojením konektoru, který ovládá pohon rotace, dokončíme montáž. Obrobek je umístěn mezi poháněný kuželový disk a přítlačný plochý disk, který je možno magneticky zajistit, tím dosáhneme dostatečného uchycení k obrábění. [44]



Obr. 36 Popis rotačního zařízení [44]

### 5.1.2 Ovládací panel

Ovládací panel obsahuje LCD displej, jenž zobrazuje informace o pracovních souborech, parametry laseru, či nastavení laseru. V řádku displeje WORK DISPLAY najdeme soubory, které byly odeslány z počítače. Dále pak na panelu nalezneme spínač Laser ON/OFF, světelné indikátory nebo tlačítka k řízení procesů a pohybů. [43]



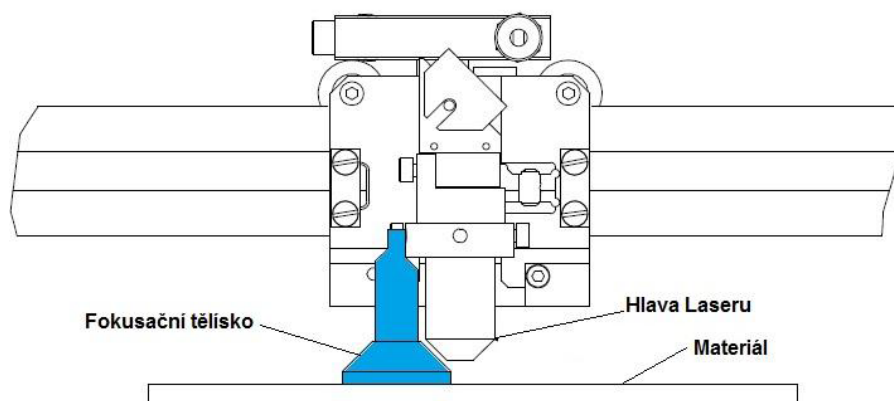
Obr. 37 Ovládací panel laseru ILS 3NM [44]

### Indikační světla

- Zelená kontrolka READY - systém je připraven k provozu
- Červená kontrolka BEAM - bliká, je-li laserový paprsek v provozu
- Oranžová kontrolka LASER - indikuje, zda je zapnuto tlačítko Laser ON

### 5.1.3 Fokusace laseru

Fokusaci hlavy laseru je nutné provést při každé změně tloušťky materiálu. Automatické nastavení změny ohniskové vzdálenosti se nachází na displeji v nabídce SYSTEM SETUP – Position setup – Focus Length. K manuální fokusaci slouží speciální tělísko, které položíme na polotovar, a při optimální výšce stolu se musí laserová hlava dotýkat nižší rysky fokusačního tělíska (Obr. 38). 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 (Obr. 37). [1]



Obr. 38 Manuální fokusace laseru [44]

#### 5.1.4 Pracovní postup na laserovém zařízení

Pro práci s laserem ILS 3NM je vhodné dodržovat následující sled operací v daném pořadí:

1. Aktivace hlavního vypínače
2. Zapnutí interního počítače
3. Umístění materiálu na pracovní plochu
4. Fokusace pomocí tělíska (nebo autofokusace)
5. Příprava souboru v programu CorelDRAW
6. Nastavení výkonu, rychlosti, PPI a dalších parametrů
7. Odeslání souboru do zařízení ILS 3NM
8. Zapnutí odsávání zplodin
9. Zapnutí chlazení
10. Ujistění se, zda je soubor přenesen do paměti zařízení
11. Aktivace laseru tlačítkem Laser ON
12. Zpracování pomocí tlačítka RUN
13. Vypnutí laseru tlačítkem Laser OFF
14. Vypnutí odsávání zplodin
15. Vypnutí chlazení
16. Vypnutí hlavního vypínače

## 17. Vypnutí interního počítače

Před samotným procesem lze odeslaný soubor vyzkoušet tlačítkem RUN, za předpokladu, že bude tlačítko v režimu Laser OFF. Můžeme tak někdy předejít různým potížím. [43]

## 5.2 Měřicí přístroje

Měřicí přístroje použité během výzkumu experimentálních vzorků.

### 5.2.1 Fischer DUALSCOPE MP 20ES

Přístroj pro měření tloušťky povrchové vrstvy. Sonda využívá elektromagnetické indukce, nebo vířivých proudů, ale na trhu jsou k dispozici i jiné sondy. Je možno měřit vrstvy nanesené na feromagnetickém povrchu např. zinek, chrom, měď, cín, syntetický nebo smaltovaný lak na oceli, ale i elektricky nevodivé povlaky na neželezných kovech, umělé hmoty nebo eloxované vrstvy na hliníku, mosazi či zinku. Měřitelný rozsah tloušťky vrstvy je do 20mm, se speciální sondou až do 300mm. Přístroj je možné připojit přímo k počítači nebo tiskárně, pro lepší zpracování dat. [45]



Obr. 39 Fischer DUALSCOPE MP 20ES



### 5.2.2 Mikroskop oční digitální AM423B

Digitalizovaný mikroskop Carl Zeiss Jena, u kterého byl okulár nahrazen okulárovou kamerou Dino-Eye AM423B. Obraz z kamery je přenášen přes USB port do počítače, kde je možné snímky zachytávat a dále s nimi pracovat.

Tab. 6 Technická specifikace - Dino-Eye AM423B

<b>Dino-Eye AM423B</b>	
Rozlišení	1,3 Megapixel (1280x1024)
Rozhraní	USB 2.0
Materiál	Hliník
Výstupy	Obrázky, video, časosběrné video
Počet snímků	Až 30/s, při max. rozlišení 15/s
Měření	Úsečka, úhel, kruh, kruh pomocí tří bodů, atd.
Kalibrace	Ano
Kompatibilita	Windows XP/Vista/7 a Mac OS X
Software	DinoCapture 2



Obr. 40 Mikroskop oční digitální AM423B



## 6 MATERIÁLY A EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ

### 6.1 Materiály

Pro experimentální obrábění bylo použito několik materiálů. Po průzkumu trhu a materiálů, které jsou na něm běžně dostupné, jsme se zaměřili na produkty od firmy Gravotech. Jednalo se o hliníkové plechy s povrchovou úpravou, vícevrstvé plastové desky a o speciální sprej, který je přímo určený pro gravírování na nerez. Cílem bylo najít optimální nastavení laseru pro gravírování těchto produktů. Dále pak jsme měli k dispozici hliníkové vzorky s povrchovou úpravou anodickou oxidací (tzv Elox) od firmy NTS Prometal.

### 6.2 Experimentální obrábění

#### 6.2.1 Příprava pracovního souboru

Pro přípravu pracovního souboru používáme program CorelDRAW. Jedná se o program pro práci s vektorovou i rastrovou grafikou.

#### Rastrový režim

Tento režim se používá pro gravírování, laser se pohybuje sem a tam po pracovní ploše a sepíná pouze pokud je přítomna grafická oblast.

#### Vektorový režim

V tomto režimu laser pálí konkrétní dráhu nadefinovanou grafickým programem. Vektorový režim je mnohem rychlejší než rastrový. Používá se pro řezání a vypalování.

Ať už vytváříme nový soubor, nebo pouze upravujeme starší obrázek, vždy je potřeba zadat velikost pracovní plochy, nadefinovat počátek pracovní plochy a nastavit polohu a rozměr obrazce, který má být zpracován. [1,43]

#### 1.) Nastavení velikosti pracovní plochy

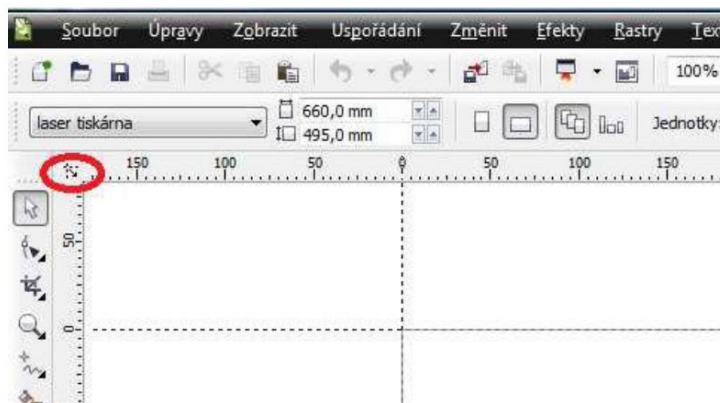
Pokud jsme nezadali rozměry při vytváření nového dokumentu, tak je doplníme do kolonek viditelných na (Obr. 41). V našem případě je velikost pracovního stolu 660 mm x 495 mm.



Obr. 41 Nastavení velikosti pracovní plochy [43]

## 2.) Definování počátku pracovní plochy

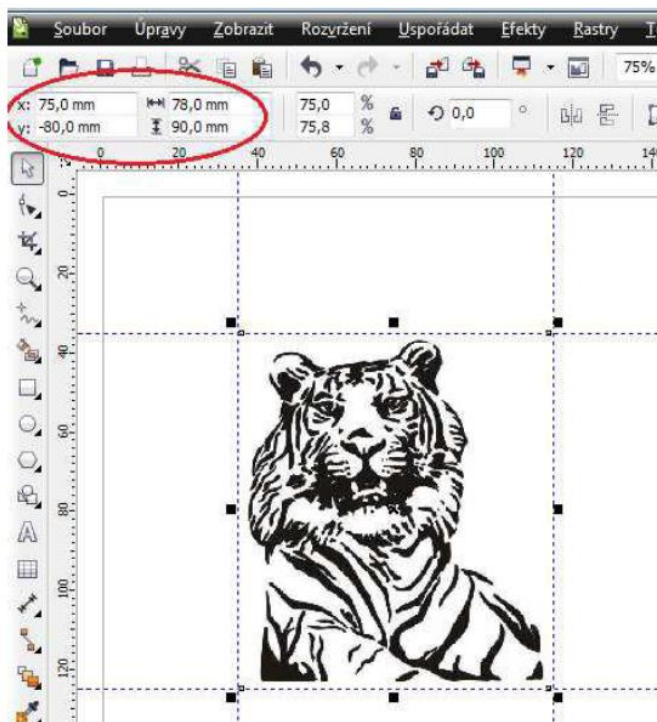
Souřadnice bodu [0,0] vytvoříme přetažením ikony na požadované místo pracovní plochy (Obr. 42). Přetažením svislého a vodorovného pravítka můžeme vytvořit pomocné čáry, které nám pomohou při nadefinování rozměrů a polohy polotovaru. [43]



Obr. 42 Nastavení počátku pracovní plochy [43]

## 3.) Nastavení polohy a rozměru objektu

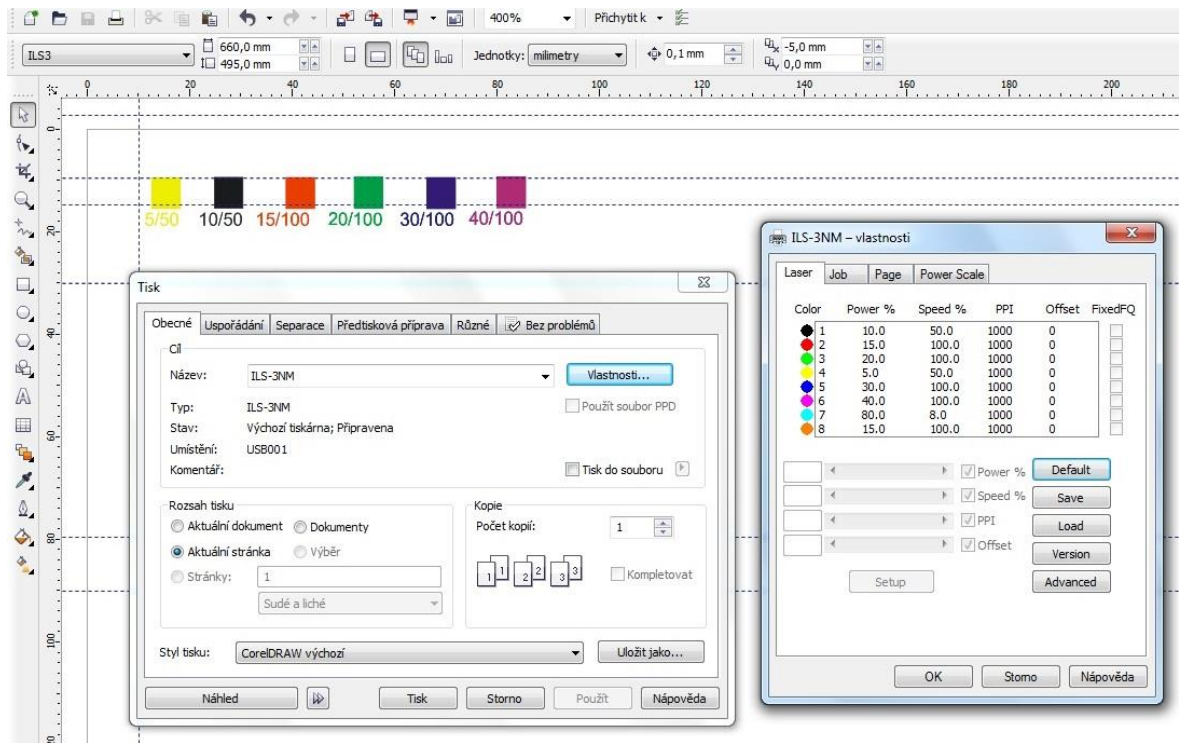
Polohu a rozměr obrázku lze v osách X a Y nadefinovat zadáním hodnot do jednotlivých kolonek (Obr. 43).



Obr. 43 Nastavení polohy a rozměrů obrázku [43]

## 4.) Nadefinování řezných podmínek

Připravený pracovní soubor odešleme k tisku kliknutím na panelu nabídky SOUBOR → TISK, otevře se nám okno, kde pod tlačítkem VLASTNOSTI můžeme nastavit další parametry tisku.



Obr. 44 Návrh experimentálního obrábění v programu CorelDraw

V okně VLASTNOSTI nalezneme seznam osmi barev a ke každé z nich je možné nadefinovat odlišný výkon (power), řeznou rychlost (speed) a PPI (puls na palec). U gravírování znamená PPI hustotu bodů, s jakou je obraz vypalován. Barvy se tisknou v předdefinovaném pořadí a použijeme-li jinou barvu, než je těchto osm, tak si laser zvolí sám nejbližší odstín, avšak v tomto případě nemůžeme očekávat přesné výsledky. Pokud jsou všechny parametry nastaveny, kliknutím na tlačítko TISK odešleme soubor do paměti laseru, kde bude čekat na zpracování. [1,43]

Vzorky povlakovaných kovových plechů od firmy Gravotech:

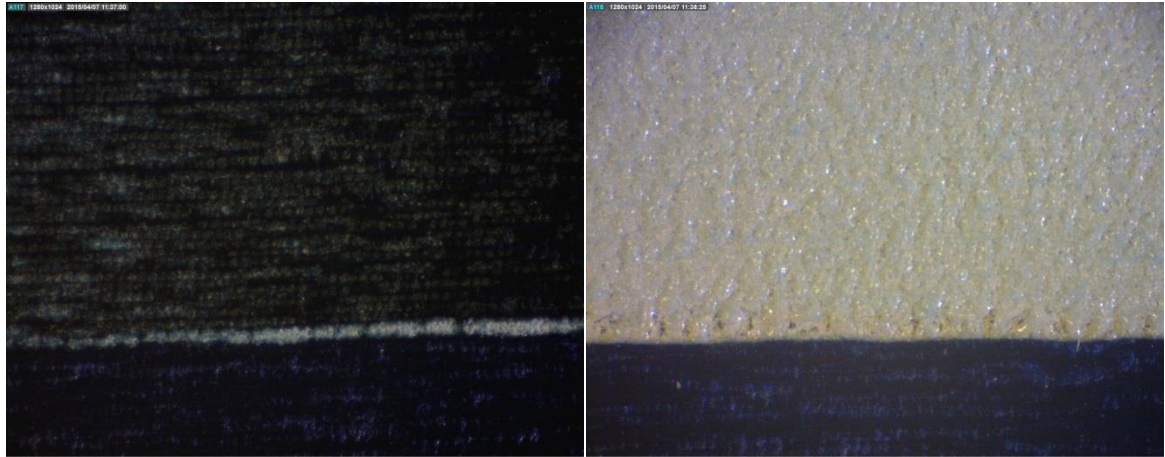
### 6.2.2 Gravoxal – modrý, lesklý s bílým popisem

Oboustranně eloxovaný hliníkový vzorek, o síle 1mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,012mm. Povrch může být lesklý i matný a je dodáván v různých odstínech a tloušťkách – katalogový list viz příloha P I.



Obr. 45 Experimentální obrábění vzorku produktu Gravoxal - modrý

U vzorku produktu Gravoxal bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Ve směru obrábění vzhledem ke směru textury povrchu nebyl prokazatelně viditelný rozdíl. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 45, byly zvoleny: 50% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyššího výkonu laseru 60% nebyl znatelný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 50%, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%, 40%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva, nebo se obrábění vůbec neprojevalo.

**Mikroskopické snímky obrobeneých ploch:**

*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 50%, posuv 100%*

*Obr. 46 Obrobené plochy vzorku produktu Gravaxal (zvětšení 15x)*

**6.2.3 AlumaAlu – bílý, lesklý s černým popisem**

Jednostranně lakovaný hliníkový vzorek o síle 0,51mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,011mm. Materiál je dodáván s lesklou povrchovou úpravou a v různých odstínech – materiálový list viz příloha P II.

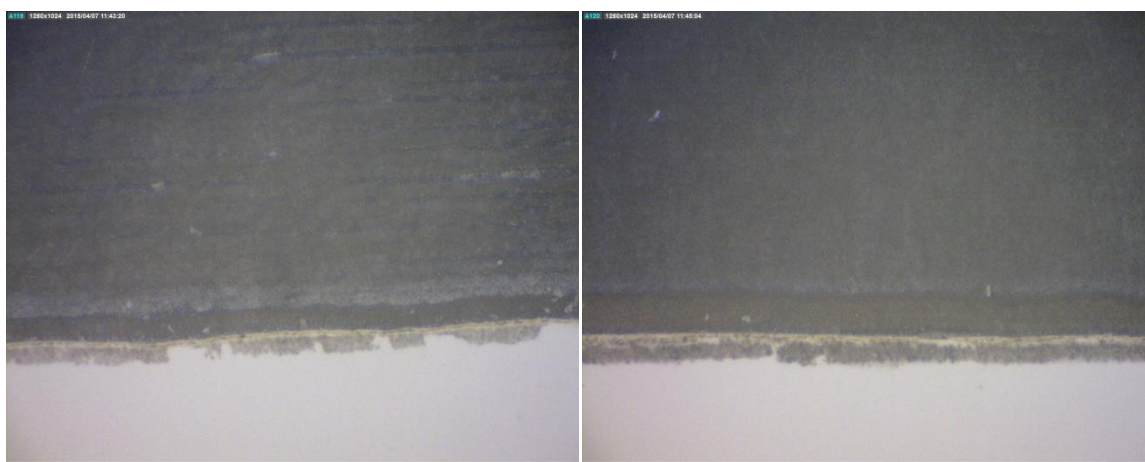


*Obr. 47 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaAlu - bílý*



U vzorku produktu AlumaAlu bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 47, byly zvoleny: 40% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (50%, 60%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 40%, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%, 20%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 48 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaAlu (zvětšení 15x)*

#### 6.2.4 LaserAlu – černý, lesklý se stříbrným popisem

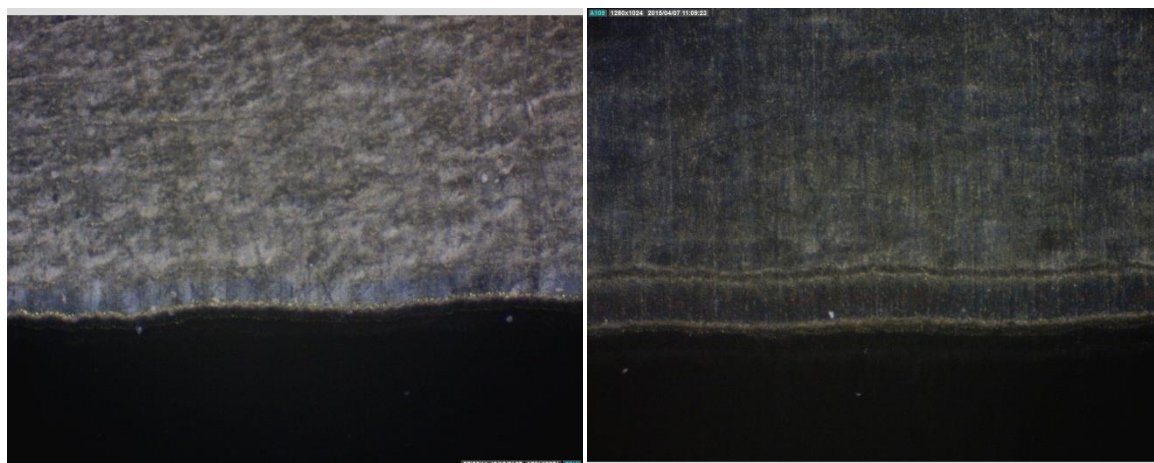
Jednostranně lakovaný hliníkový vzorek o síle 0,51mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,022mm. Materiál je dodáván s lesklou povrchovou úpravou a v různých odstínech – katalogový list viz příloha P III.



*Obr. 49 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserAlu - černostříbrný*

U vzorku produktu LaserAlu bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 49, byly zvoleny: 10% výkon za rychlosti posuvu 50%. Použitelné parametry by byly také výkon 20 – 40% za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (50%, 60%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování výkonem 40%, naopak u nižších výkonů (5%, 15%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.

#### **Mikroskopické snímky obrobených ploch:**



*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 50 Obrobené plochy vzorku produktu LaserAlu (zvětšení 15x)*

### 6.2.5 LaserAlu – černý, lesklý se zlatým popisem

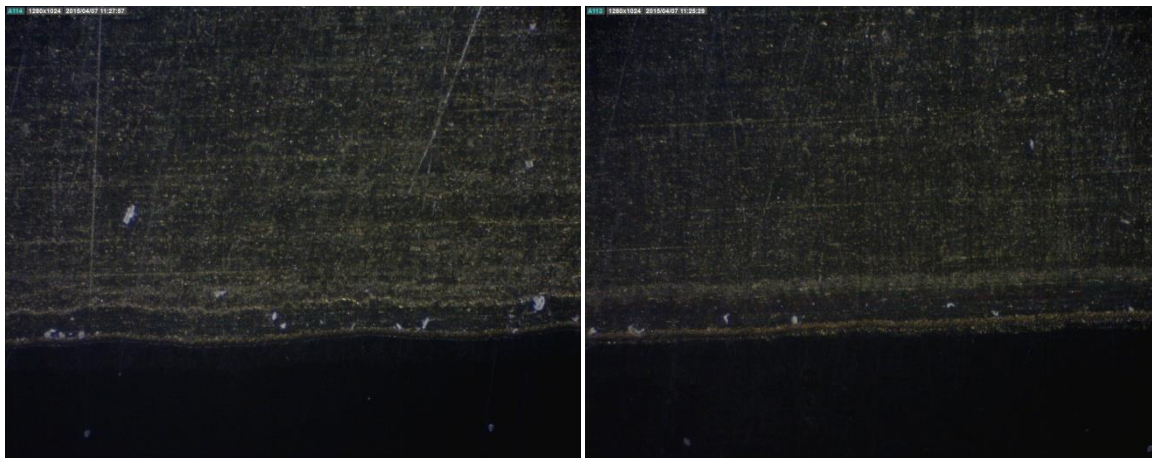
Jednostranně lakovaný hliníkový vzorek o síle 0,51mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,018mm. Materiál je dodáván s lesklou povrchovou úpravou a v různých odstínech – katalogový list viz příloha P III.



*Obr. 51 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserAlu - černo-zlatý*

U vzorku produktu LaserAlu bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 51, byly zvoleny: 40% výkon za rychlosti posuvu 100%. Použitelné parametry by byly také výkon 20% za rychlosti posuvu 100% nebo výkon 10% s rychlostí posuvu 50%. U vyšších výkonů laseru (50%, 60%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování výkonem 40%, naopak u nižších výkonů (5%, 15%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.



**Mikroskopické snímky obrobených ploch:**

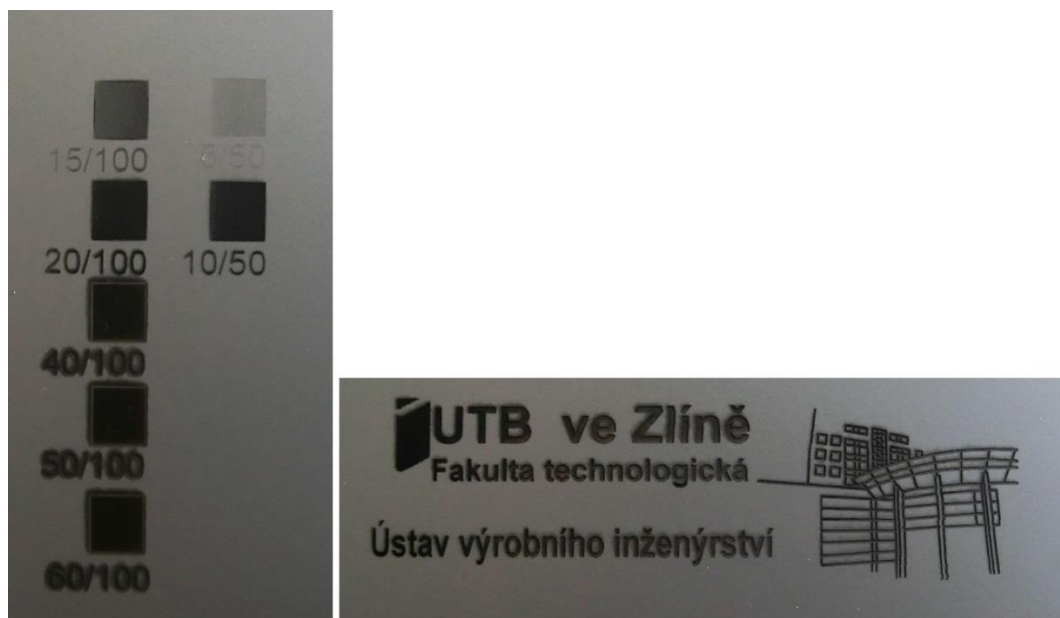
*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 52 Obrobené plochy vzorku produktu LaserAlu (zvětšení 15x)*

**6.2.6 AlumaSign – stříbrný, matný s černým popisem**

Hliníkový vzorek o tloušťce 0,5mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,045mm. Materiál je jednostranně lakovaný matným polyesterovým lakem - materiálový list viz příloha P IV.

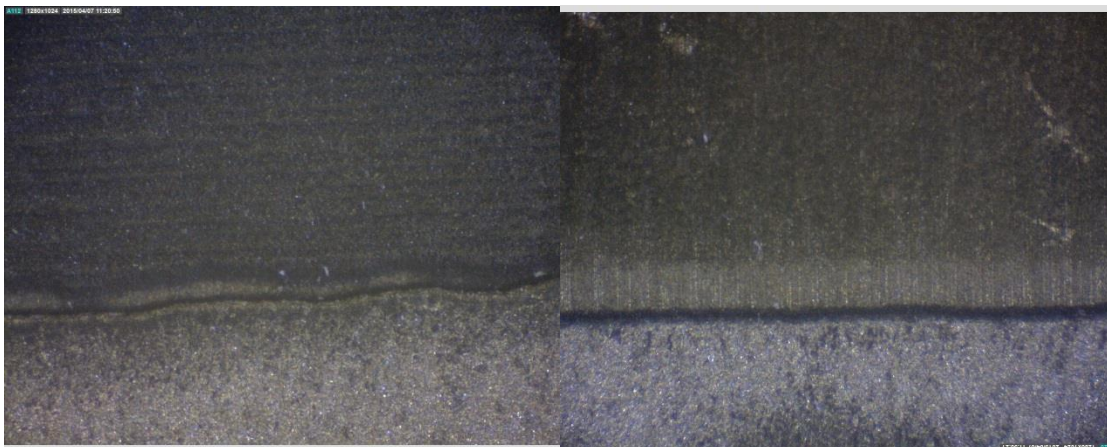


*Obr. 53 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaSign - stříbrný*

U vzorku produktu AlumaSign bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Na povrchu materiálu

jsou znatelné stopy po všech výkonových úrovních obrábění. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 53, byly zvoleny: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%, použitelný by byl také výkon 10% za rychlosti posuvu 50%. U vyšších výkonů laseru (40%, 50%, 60%) už docházelo ke značnému opálení materiálu, naopak u nižších výkonů (5%, 15%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



výkon 20%, posuv 100%

výkon 40%, posuv 100%

Obr. 54 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaSign (zvětšení 15x)

#### 6.2.7 AlumaMark – zlatý, drátkovaný s černým popisem

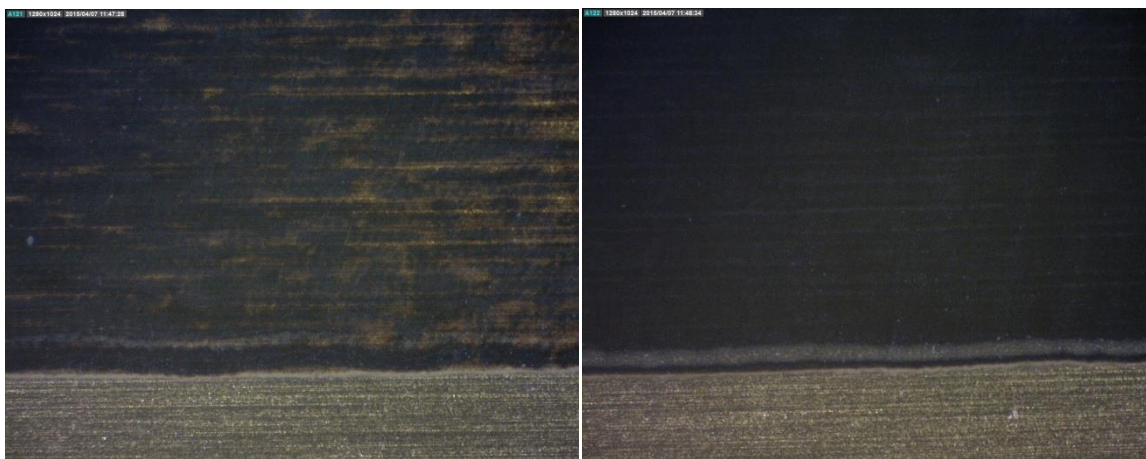
Hliníkový vzorek o tloušťce 0,5mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,012mm. Materiál je z jedné strany opatřen saténovým lakem a je dodáván v různých tloušťkách a několika odstínech - katalogový list viz příloha P V.



Obr. 55 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaMark - zlatý

U vzorku produktu AlumaMark bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 55, byly zvoleny: 40% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (50%, 60%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 40%, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%, 20%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva, jak také můžeme vidět na mikroskopických snímcích Obr. 56. Výrobce doporučený výkon laseru, který je uveden v katalogovém listu, byl pouze 6 - 10W.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 56 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaMark (zvětšení 15x)*

#### 6.2.8 AlumaMark – stříbrný, drátkovaný s černým popisem

Hliníkový vzorek o tloušťce 0,5mm a s průměrnou tloušťkou povrchové vrstvy 0,010mm. Materiál je z jedné strany opatřen saténovým lakem. Materiál je dodáván v různých tloušťkách a několika odstínech - katalogový list viz příloha P V.

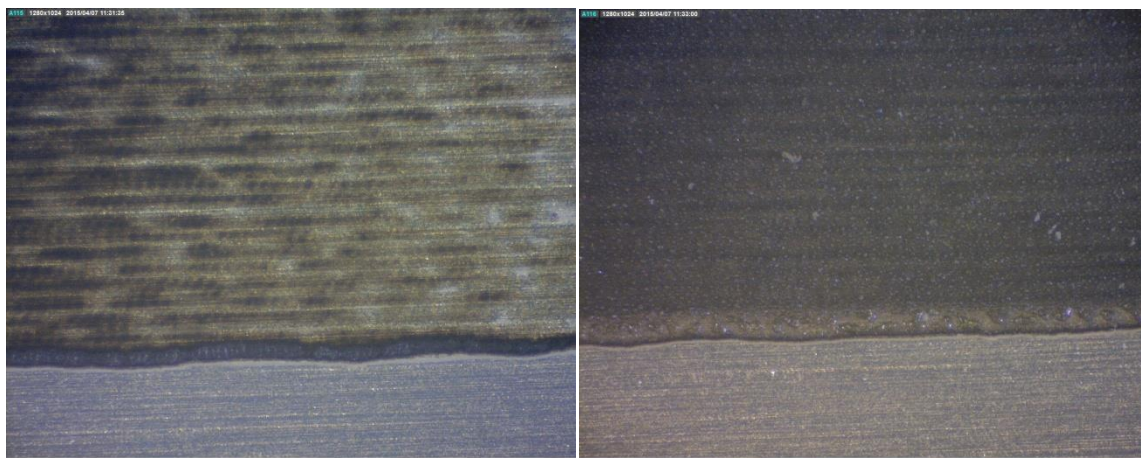




*Obr. 57 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaMark - stříbrný*

U vzorku produktu AlumaMark bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 40%, 50%, 60% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 57, byly zvoleny: 40% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (50%, 60%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 40%, naopak nižších výkonů (5%, 10%, 15%, 20%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.

#### **Mikroskopické snímky obrobených ploch:**



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 58 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaMark (zvětšení 15x)*

Vzorky plastů a fólií od firmy Gravotech:

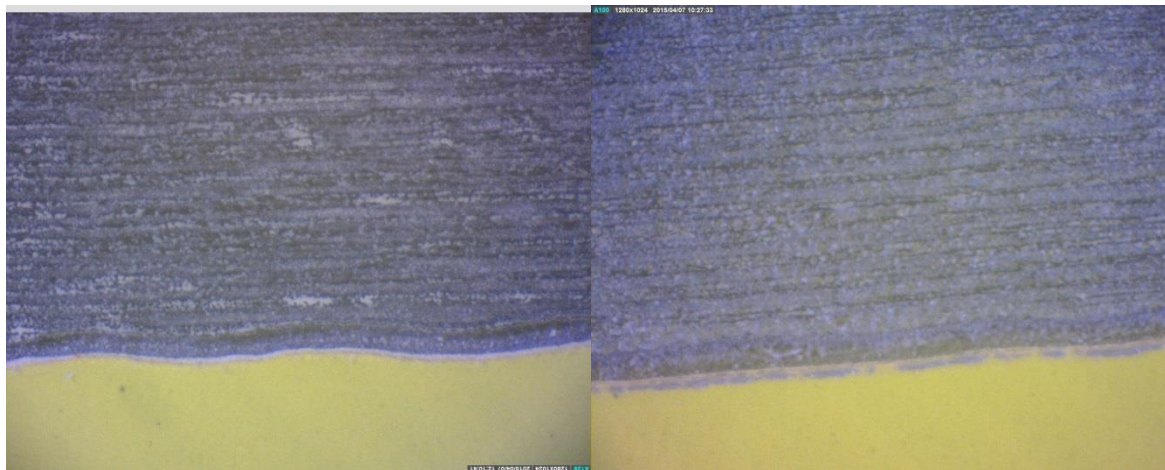
### 6.2.9 LaserThins – žlutý, matný s černým popisem

Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 0,8mm. Po odgravírování vrchní vrstvy o síle 0,025mm vynikne podkladový materiál. Produkt je dodáván v různých barvách a povrch může být lesklý, broušený nebo matný - katalogový list viz příloha P VI.



Obr. 59 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserThins – žlutý

U vzorku produktu LaserThins bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 59, byly zvoleny: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (30%, 40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 20%, pouze se zvětšovala odgravírovaná prohlubeň, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%) nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva, nebo se obrábění vůbec neprojevovalo.

**Mikroskopické snímky obroběných ploch:**

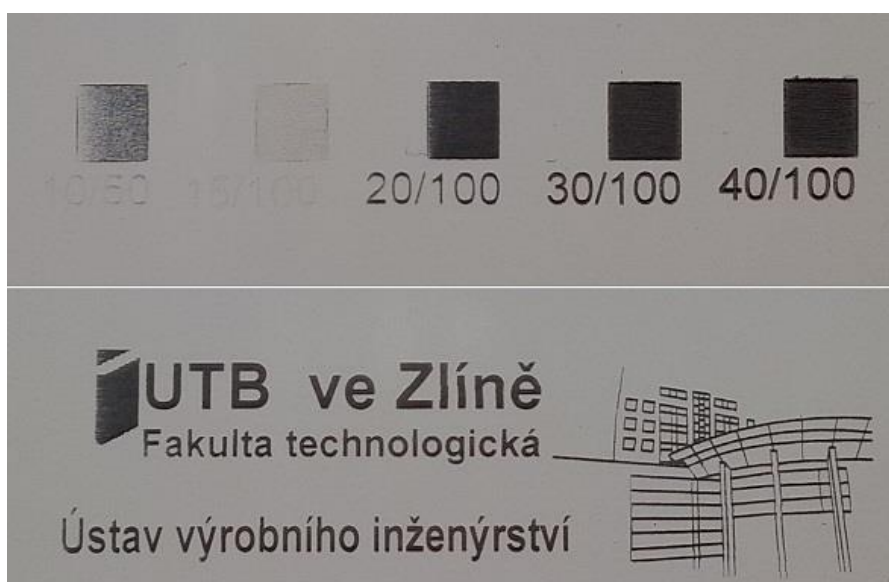
*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 60 Obroběné plochy vzorku produktu LaserThins (zvětšení 15x)*

**6.2.10 Laserables – bílý, matný s černým popisem**

Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 1,6mm. Po odgravírování vrchní vrstvy o síle 0,025mm vynikne podkladový materiál. Produkt je dodáván v různých barvách a povrch může být lesklý, broušený nebo matný - katalogový list viz příloha P VII.

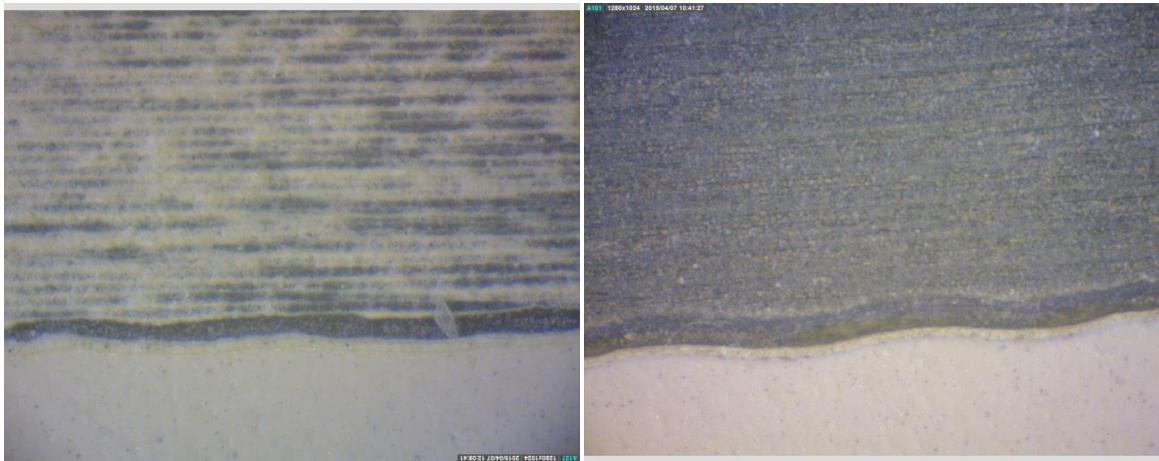


*Obr. 61 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – bílý*

U vzorku produktu Laserables bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu

100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 61, byly zvoleny: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (30%, 40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 20%, pouze se zvětšovala odgravírovaná prohlubeň, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%) se obrábění vůbec neprojevovalo, nebo nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva, jak také můžeme vidět na mikroskopických snímcích Obr. 62.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 62 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)*



### 6.2.11 Laserables – červený, matný s bílým popisem

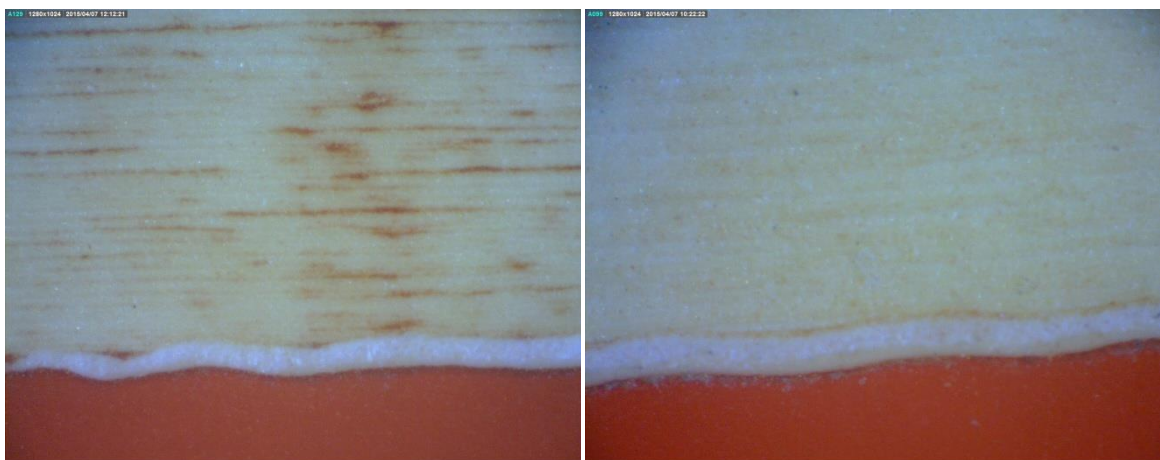
Další barevná varianta produktu Laserables o tloušťce 1,6mm - katalogový list viz příloha P VII.



Obr. 63 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables –  
červený

Optimální technologické podmínky použité pro logo (viz obr. 63) byly zvoleny, jako u předchozího vzorku Laserables: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



výkon 10%, posuv 50%

výkon 20%, posuv 100%

Obr. 64 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)



### 6.2.12 Laserables – stříbrný, broušený s černým popisem

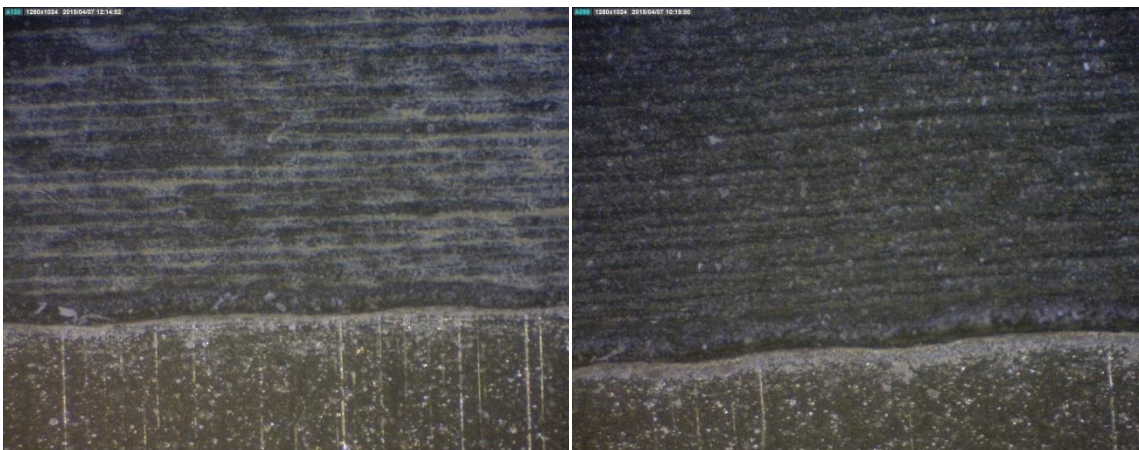
Další barevná varianta produktu Laserables o tloušťce 1,6mm. Povrchová vrstva je imitací broušeného kovu - katalogový list viz příloha P VII.



*Obr. 65 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – stříbrný*

Optimální technologické podmínky použité pro logo (viz obr. 65) byly zvoleny, jako u předchozích vzorků Laserables: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



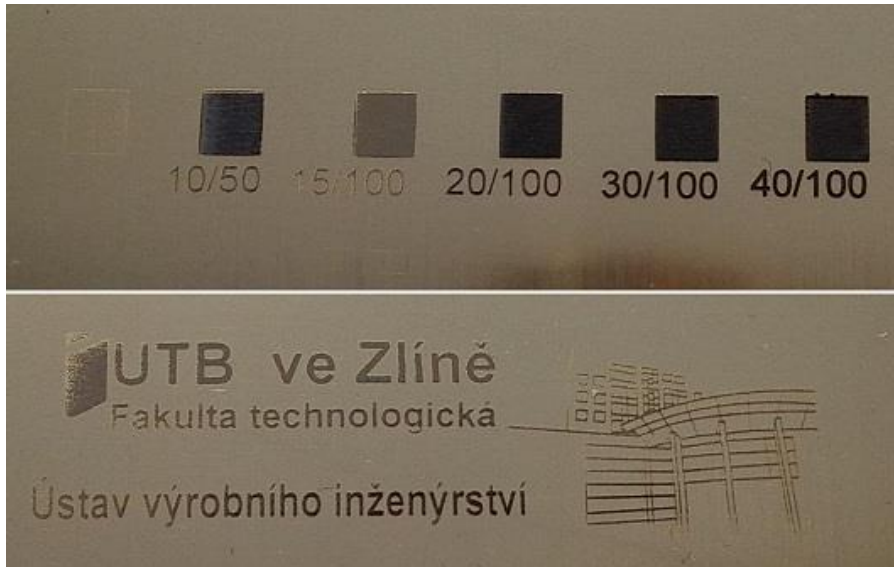
*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 66 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)*

### 6.2.13 Laserables – zlatý, broušený s černým popisem

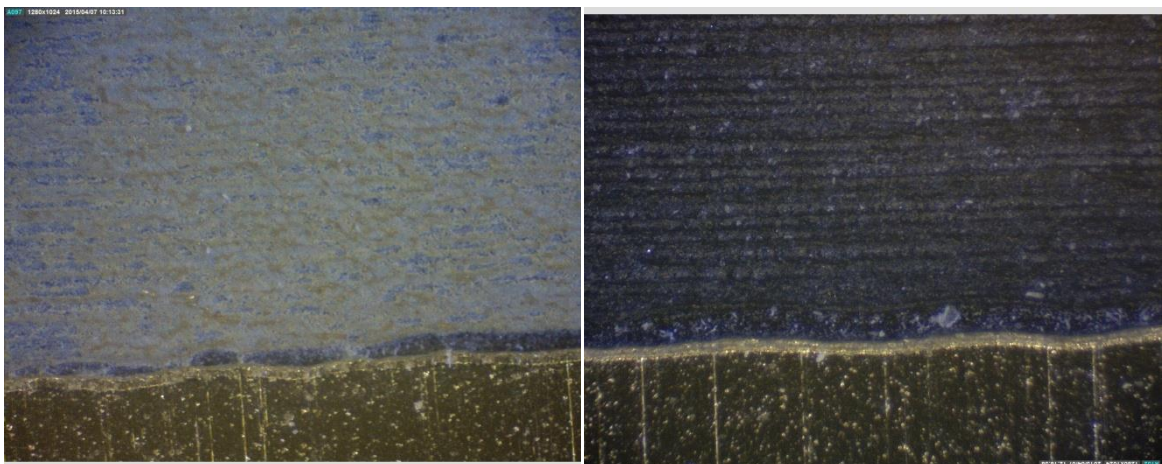
Další barevná varianta produktu Laserables o tloušťce 1,6mm. Povrchová vrstva je imitací broušeného kovu - katalogový list viz příloha P VII.



Obr. 67 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – zlatý

Optimální technologické podmínky použité pro logo (viz obr. 67) byly zvoleny: 15% výkon za rychlosti posuvu 100%, ale použitelné by byly také parametry: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%, jako u předchozích vzorků Laserables.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



výkon 15%, posuv 100%

výkon 20%, posuv 100%

Obr. 68 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)

#### 6.2.14 LaserablesPlus – měděný, broušený s černým popisem

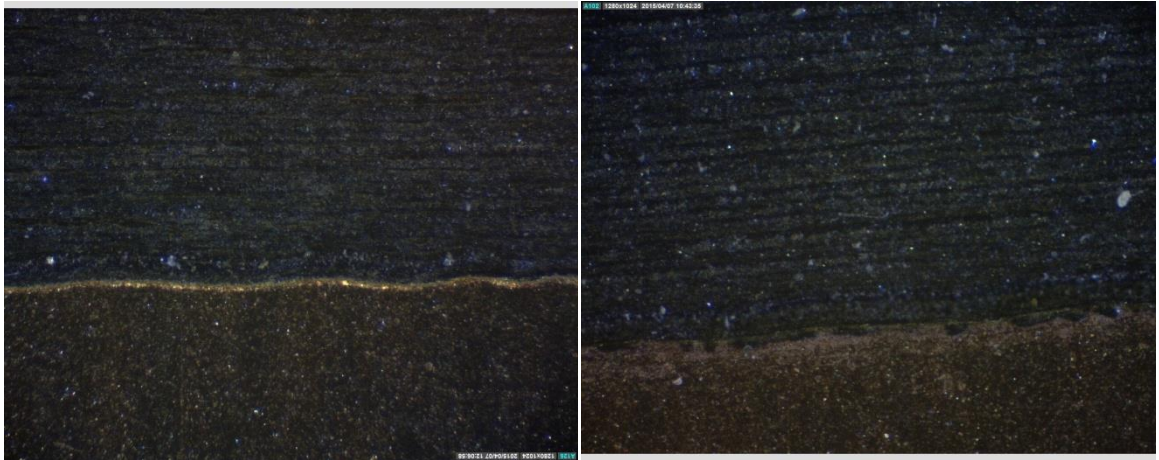
Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 1,6mm. Po odgravírování vrchní vrstvy vynikne podkladový materiál. Produkt je dodáván v různých barvách a s lesklým broušeným povrchem - katalogový list viz příloha P VIII.



*Obr. 69 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserablesPlus - měděný*

U vzorku produktu LaserablesPlus bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 69, byly zvoleny: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%. Použitelný by byl také 10% výkon za rychlosti posuvu 50%. U vyšších výkonů laseru (30%, 40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 20%, pouze se zvětšovala odgravírovaná prohlubeň, naopak u nižších výkonů (5%, 15%) ještě nebyla zcela odpálena barevná vrstva.



**Mikroskopické snímky obrobených ploch:**

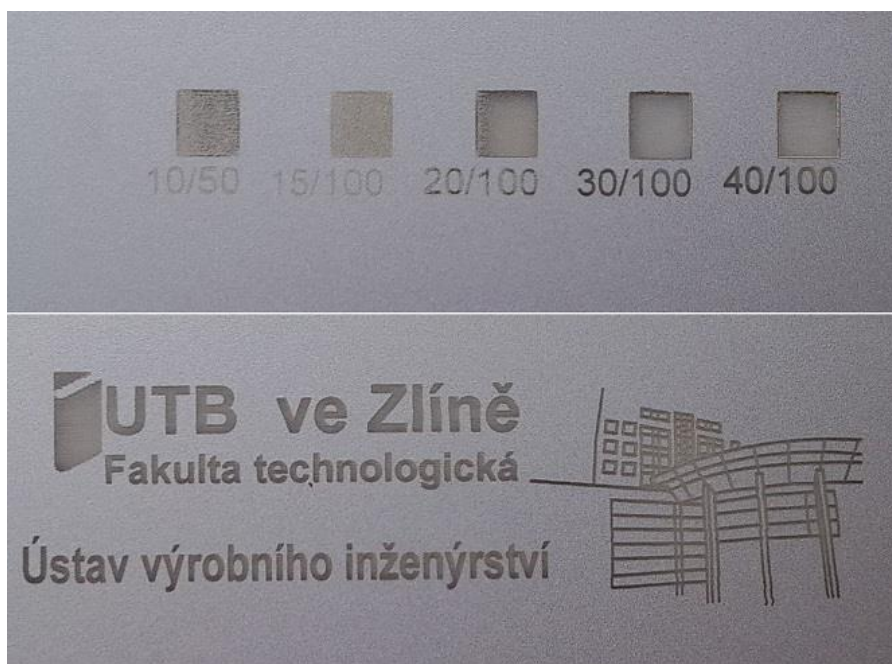
*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 70 Obrobené plochy vzorku produktu LaserablesPlus (zvětšení 15x)*

**6.2.15 Laserables Reverse – stříbrný, lesklý**

Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 1,6mm. Tenká vrchní vrstva má širokou škálu barev a může být lesklá nebo matná, podkladový materiál je čirý akryl. Čirý podkladový materiál má tu výhodu, že je možnost jej podsvítit. Katalogový list viz příloha P IX.

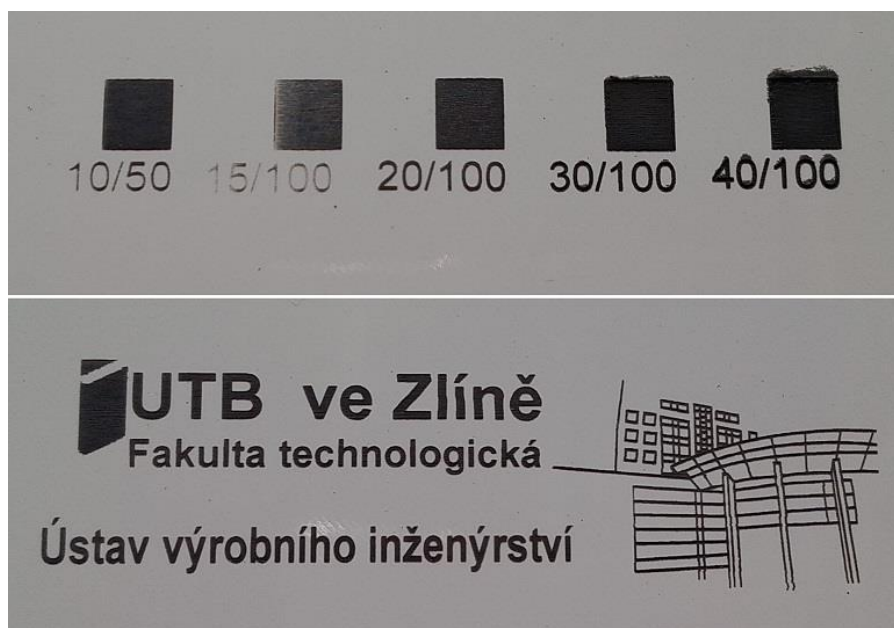


*Obr. 71 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables Reverse - stříbrný*

U vzorku produktu Laserables Reverse bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 71, byly zvoleny: 30% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyššího výkonu laseru (40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 30%, naopak u nižších výkonů (5%, 10%, 15%, 20%) ještě nebyla zcela odpálena barevná vrstva. Jelikož je podkladový materiál čirý, tak jsme neprováděli mikroskopické snímky.

#### 6.2.16 Fólie – bílá, matná s černým popisem

Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 0,2mm se samolepící spodní stranou. Po odgravírování vrchní vrstvy o síle 0,025mm vynikne podkladový materiál. Produkt je dodáván v různých barvách a s lesklým nebo matným povrchem - katalogový list viz příloha P X.

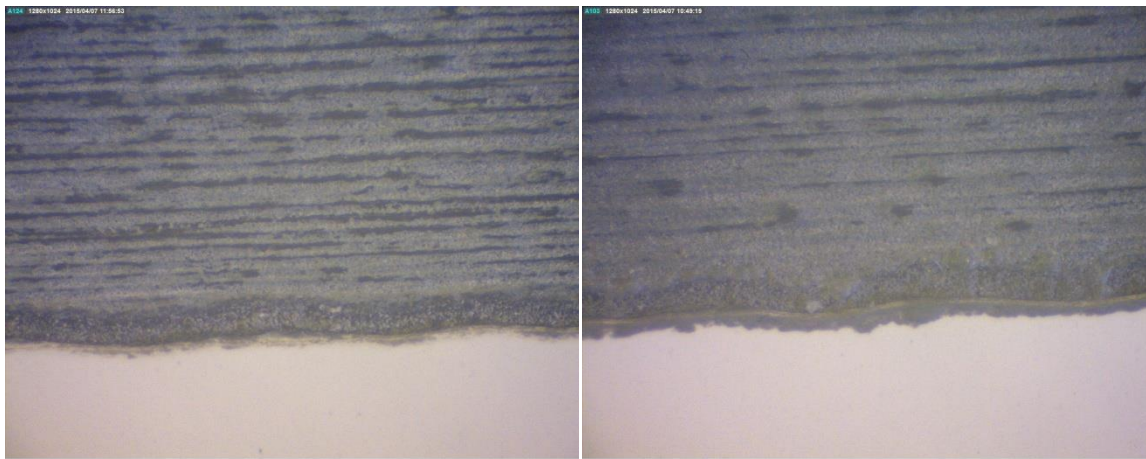


Obr. 72 Experimentální obrábění vzorku Fólie - bílá

U vzorku fólie bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 72, byly zvoleny: 20% výkon za rychlosti posuvu 100%. Použitelný by byl také 10% výkon za rychlosti posuvu 50%. U vyšších výkonů laseru (30%, 40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 20%, pouze se zvětšovala odgraví-

rovaná prohlubeň a docházelo už k velkému opálení materiálu. Naopak u nižších výkonů (5%, 15%) ještě nebyla zcela odpálena barevná vrstva, nebo se obrábění vůbec neprojevalo.

### Mikroskopické snímky obrobenejch ploch:



*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 73 Obrobené plochy vzorku Fólie (zvětšení 15x)*

### 6.2.17 Fólie – stříbrná, lesklá s černým popisem

Dvouvrstvý akrylový vzorek o tloušťce 0,2mm se samolepící spodní stranou. Po odgravírování tenké vrchní vrstvy (s imitací broušeného kovu a o síle 0,025mm) vynikne podkladový materiál. Katalogový list viz příloha P X.

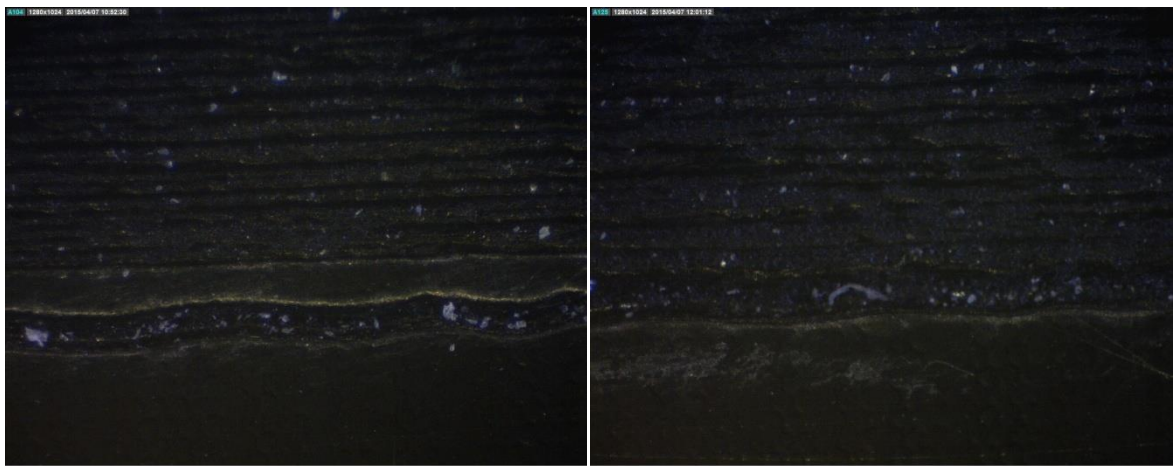


*Obr. 74 Experimentální obrábění vzorku Fólie – stříbrná*



U vzorku fólie bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru: 15%, 20%, 30%, 40% za rychlosti posuvu 100% a výkon laseru: 5%, 10% za rychlosti posuvu 50%. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 74, byly zvoleny: 10% výkon za rychlosti posuvu 50%. Použitelný by byl také 20% výkon za rychlosti posuvu 100%. U vyšších výkonů laseru (30%, 40%) nebyl značný rozdíl oproti povrchu po gravírování při výkonu 20%, pouze se zvětšovala odgravírovaná prohlubeň a docházelo už k velkému opálení materiálu. Naopak u nižších výkonů (5%, 15%) ještě nebyla zcela odpálena barevná vrstva.

#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



*výkon 10%, posuv 50%*

*výkon 20%, posuv 100%*

*Obr. 75 Obrobené plochy vzorku Fólie (zvětšení 15x)*

#### 6.2.18 CerMark – sprej na kovy

Přípravek na vodní bázi k černému značení kovů. Vzhledem k tomu, že kovy odráží paprsky CO<sub>2</sub> laseru, je tento sprej vhodným řešením. Výrobce ho přímo doporučuje k použití na nerez. Katalogový list viz příloha P XI.

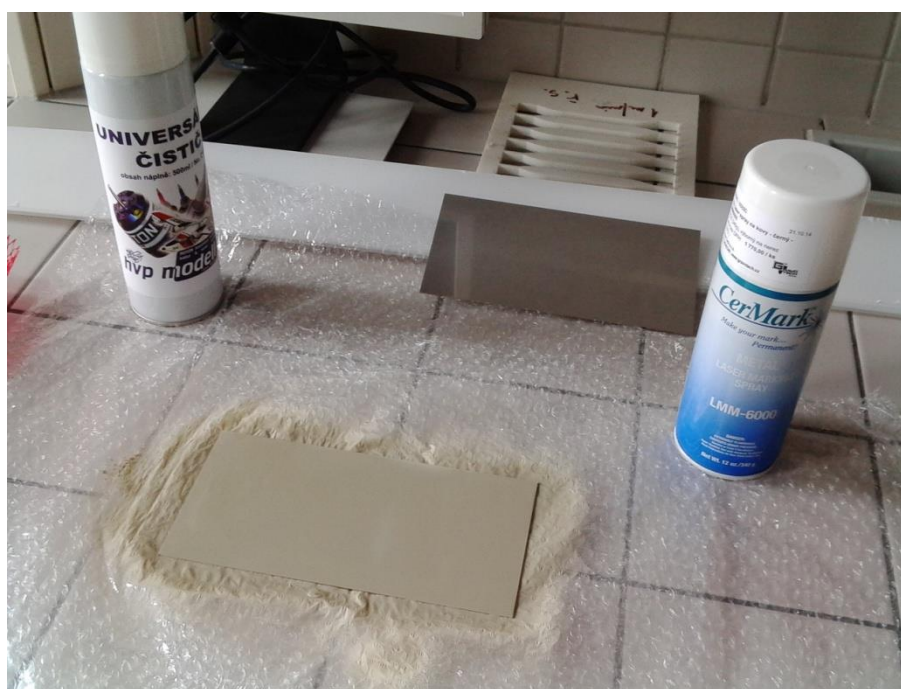
Pracovní postup:

- 1) Nerezový plech jsme očistili a odmastili univerzálním čističem, přípravek také dodávaný firmou Gravotech.



*Obr. 76 Pracovní postup s produktem CerMark - očištění*

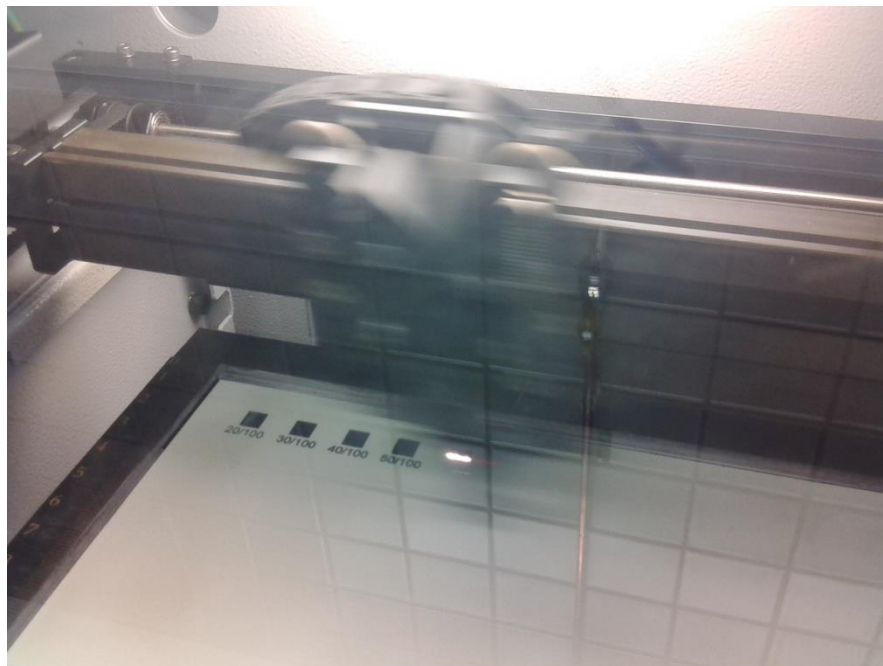
- 2) V další fázi jsme na nerez rovnoměrně nastříkali sprej CerMark, výrobce v návodu udává, že stačí nechat zaschnout po dobu 2 minut, raději jsme nechali schnout déle.



*Obr. 77 Pracovní postup s produktem CerMark – nastříkání spreje*



- 3) Na zaschlý povrch jsme provedli experimentální obrábění. Po předchozích pokusech jsme volili technologické podmínky následovně: výkon laseru: 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% za rychlosti posuvu 100%.



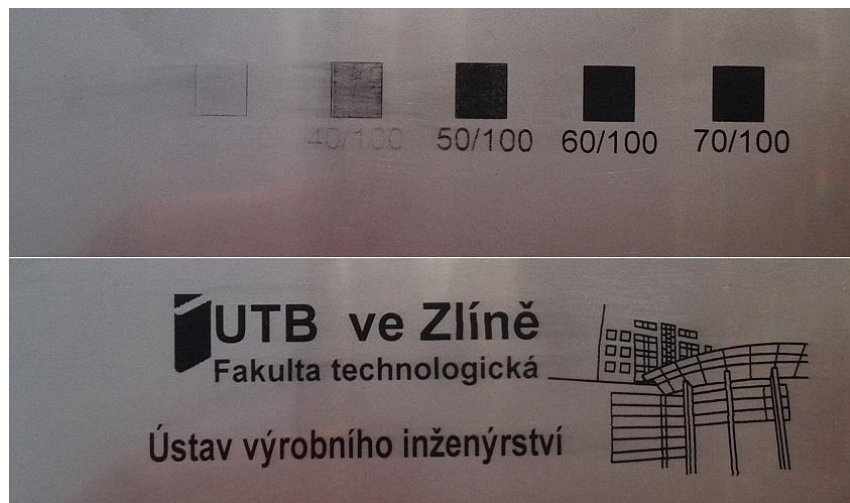
Obr. 78 Pracovní postup s produktem CerMark – obrábění



Obr. 79 Pracovní postup s produktem CerMark – výsledek obrábění

- 4) Konečnou fází je umytí nanesené vrstvy produktu CerMark pod vodou. Jak je patrné na obr. 80, tak stopy po obrábění nižšími výkony se umyjí společně s nanesenou vrstvou. Optimální technologické podmínky použité pro logo viz obr. 80, byly zvoleny: 60% výkon za rychlosti posuvu 100%. Nicméně i při tomto poměrně vysokém výkonu je značení celkem choulostivé na ořez a tím ztrácí jednu z hlavních výhod značení lase-

rem, pokud ale máme k dispozici pouze CO<sub>2</sub> laser a potřebujeme značit nerez, či jiný kov, může být tento způsob velmi užitečný.



*Obr. 80 Pracovní postup s produktem CerMark – očištění*

#### **Mikroskopické snímky obrobených ploch:**



*výkon 50%, posuv 100%*



*výkon 60%, posuv 100%*

*Obr. 81 Obrobené plochy nerezového plechu (zvětšení 15x)*

Tab. 7 Optimální technologické podmínky pro obrábění produktů od firmy Gravotech

Optimální technologické podmínky obrábění pro vybrané materiály							
	Produkt	Barva materiálu	Barva popisu	Výkon P [%]	Výkon P [W]	Posuv f [%]	Posuv f [mm/s]
Hliníkové plechy	Gravoxal	modrá/lesklá	bílá	50	50	100	1524
	AlumaAlu	bílá/lesklá	černá	40	40	100	1524
	LaserAlu	černá/lesklá	stříbrná	20	20	100	1524
		černá/lesklá	zlatá	20	20	100	1524
	AlumaSign	stříbrná/matná	černá	20	20	100	1524
	AlumaMark	zlatá/drátkovaná	černá	40	40	100	1524
stříbrná/drátkovaná		černá	40	40	100	1524	
Plasty	LaserThins	žlutá/matná	černá	20	20	100	1524
	Laserables	bílá/matná	černá	20	20	100	1524
		červená/matná	bílá	20	20	100	1524
		stříbrná/broušená	černá	20	20	100	1524
		zlatá/broušená	černá	20	20	100	1524
	LaserablesPlus	měděná/broušená	černá	20	20	100	1524
Laserables Reverse	stříbrná/lesklá	čirá	30	30	100	1524	
Fólie	bílá/matná	černá	20	20	100	1524	
	stříbrná/lesklá	černá	20	20	100	1524	
Sprej	CerMark		černá	60	60	100	1524

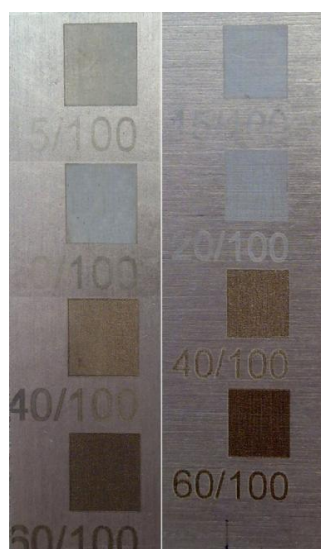
Ostatní eloxované vzorky:

### 6.2.19 Eloxovaný vzorek A

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou bezbarvou (konvenční) anodickou oxidací v kyselině sírové.

Tab. 8 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku A

Měření	Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
1	15,9
2	16,8
3	15
4	17,4
5	15,2
Průměr	<b>16,1</b>



a) b)

Obr. 82 Vzorek A experimentální obrábění

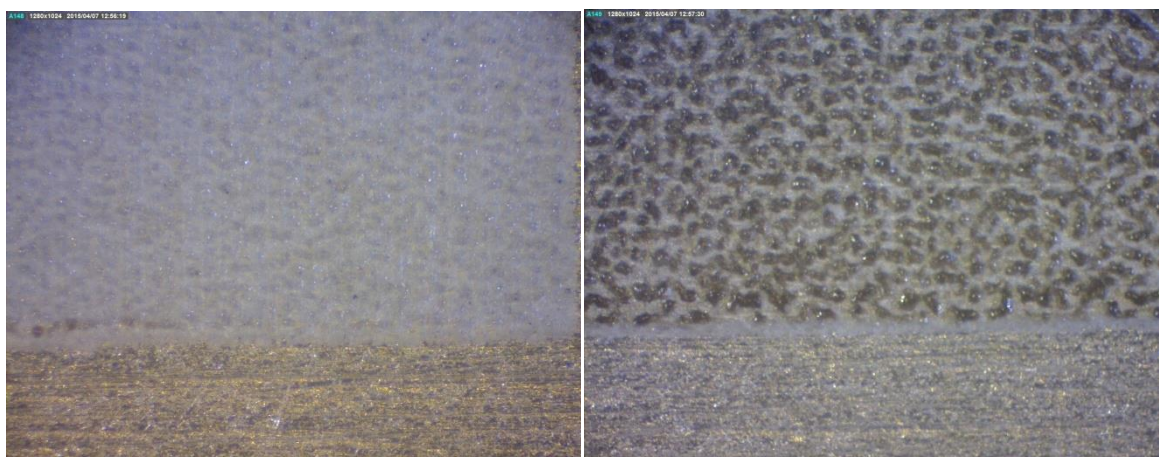


U vzorku A bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% za rychlosti posuvu 100%. Viz Obr. 82 a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu. Jak je na obrázcích patrné, tak rozdíly ve směru obrábění jsou zanedbatelné. Níže na mikroskopických snímcích jsou viditelné lepší výsledky při obrábění ve směru shodném se směrem textury povrchu. Optimální technologické podmínky byly zvoleny: výkon laseru v rozmezí 20% až 40% za rychlosti posuvu 100%. U vyšších hodnot výkonů laseru (80% a 100%) už nebyly znatelné rozdíly oproti povrchu po gravírování při výkonu 60%.



Obr. 83 Další ukázky obrábění vzorku A (vrchní obrázek - výkon/rychlost = 20/100%, spodní obrázek - 40/100%)

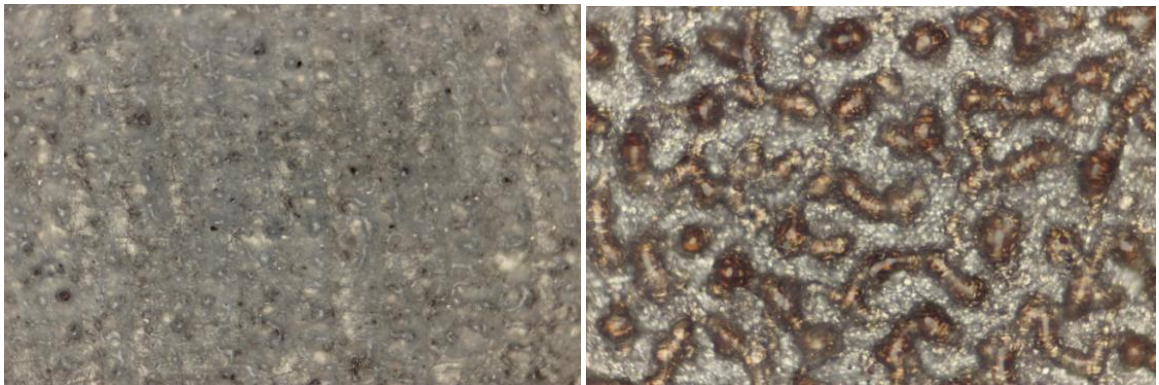
#### Mikroskopické snímky obrobených ploch:



výkon 20%, posuv 100%

výkon 40%, posuv 100%

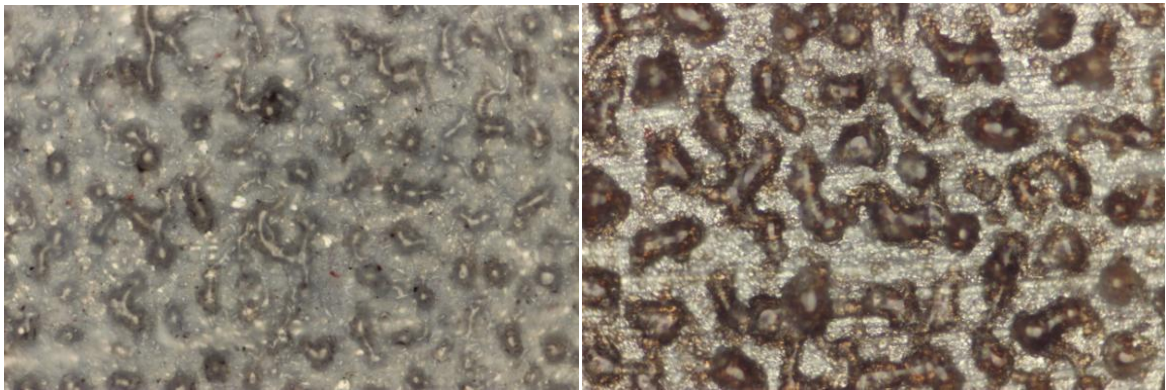
Obr. 84 Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 15x)



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 85 Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 200x), směr obrábění kolmý na texturu povrchu*



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

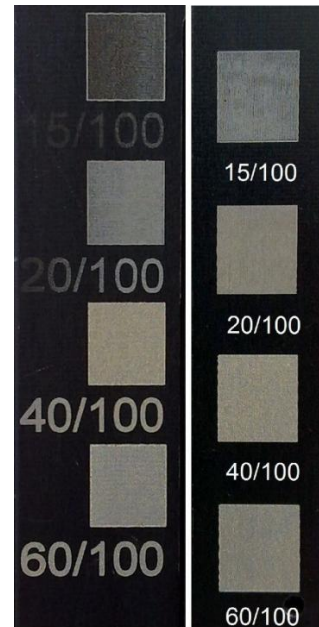
*Obr. 86 Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 200x), směr obrábění ve směru textury povrchu*

### 6.2.20 Eloxovaný vzorek B

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou černou, anodickou oxidací v kyselině sírové.

Tab. 9 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku B

Měření	Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
1	13,2
2	14
3	15,1
4	16,4
5	13,7
Průměr	<b>14,5</b>

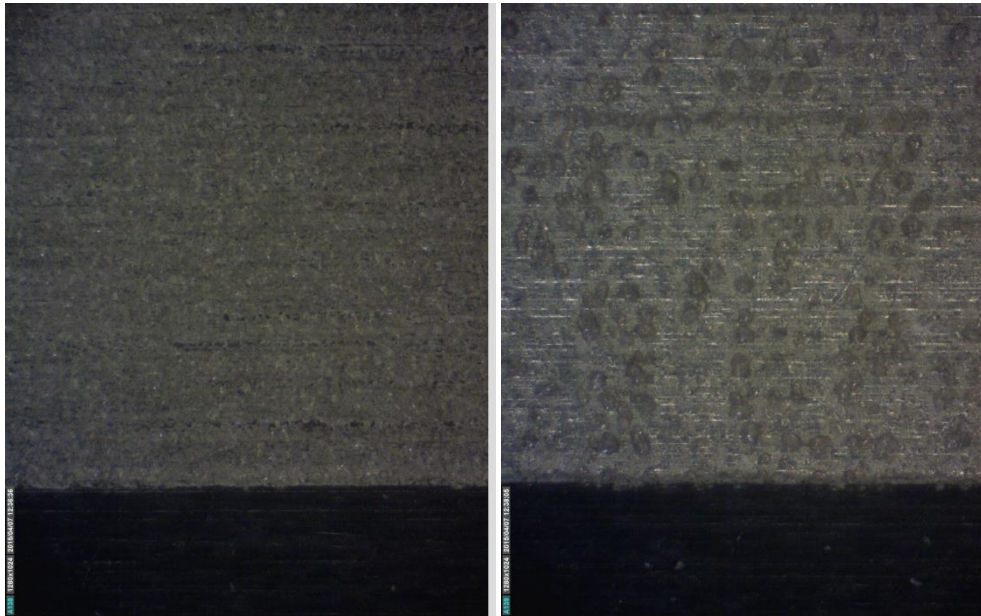


a) b)

Obr. 87 Vzorek B experimentální obrábění

U vzorku B bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% za rychlosti posuvu 100%. Viz Obr. 87 a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu. Jak je na obrázcích patrné, tak rozdíly ve směru obrábění jsou zanedbatelné. Optimální technologické podmínky byly zvoleny: výkon laseru v rozmezí 20% až 40% za rychlosti posuvu 100%. Gravírování do černého eloxu bylo lepší, ve srovnání s bezbarvým eloxem, vzhledem k většímu kontrastu mezi obrobenu a neobrobenu plochou povrchu vzorku.

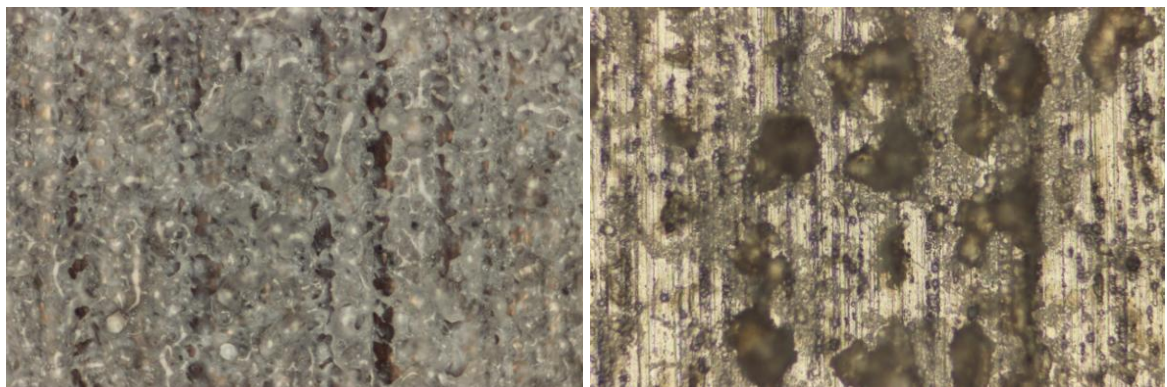


**Mikroskopické snímky obrobených ploch:**

*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

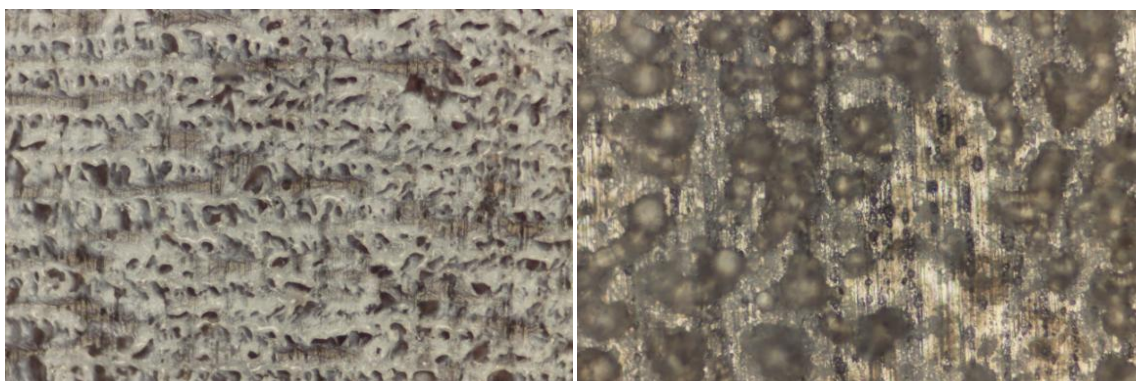
*Obr. 88 Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 15x)*



*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 89 Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 200x), směr obrábění kolmý na texturu povrchu*



výkon 20%, posuv 100%

výkon 40%, posuv 100%

Obr. 90 Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 200x), směr obrábění ve směru textury povrchu

### 6.2.21 Eloxovaný vzorek C

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou červenou, anodickou oxidací v kyselině sírové.

Tab. 10 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku C

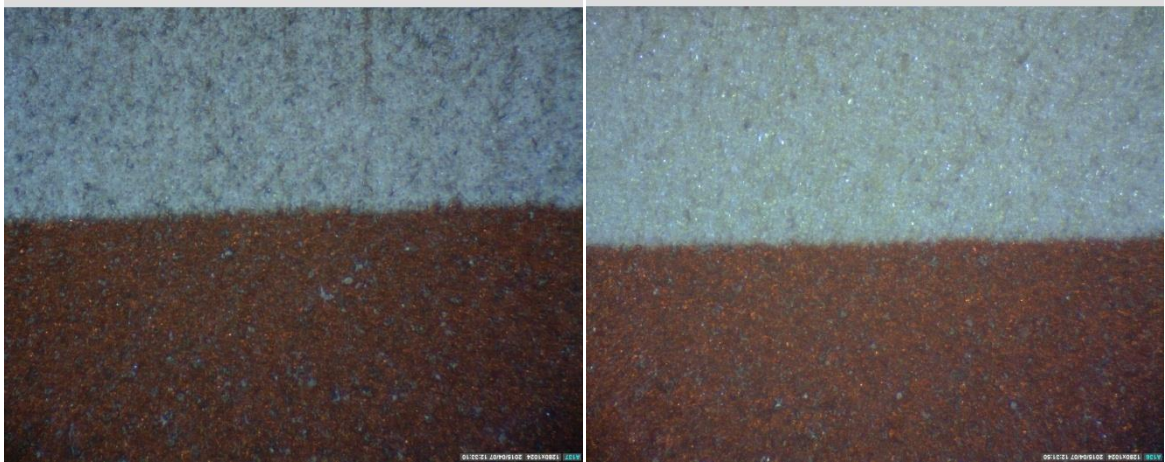
Měření	Tloušťka [μm]
1	22,6
2	19,8
3	21,9
4	21
5	22,5
Průměr	<b>21,56</b>



Obr. 91 Vzorek C experimentální obrábění

U vzorku C bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru 20%, 30% 40% za rychlosti posuvu 100%. Optimální technologické podmínky byly zvoleny: výkon laseru v rozmezí 30% za rychlosti posuvu 100%. U vyšší hodnoty výkonu 40% nebyl značný rozdíl oproti povrchu při obrábění výkonem 30% a naopak u nižší hodnoty výkonu 20% nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.



**Mikroskopické snímky obrobených ploch:**

*výkon 20%, posuv 100%*

*výkon 40%, posuv 100%*

*Obr. 92 Obrobené plochy eloxovaného vzorku C (zvětšení 15x)*

**6.2.22 Eloxovaný vzorek D**

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou černou, anodickou oxidací s přidavkem teflonu.

Tab. 11 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku D

Měření	Tloušťka [μm]
1	44,2
2	41
3	40,3
4	39,4
5	44,4
Průměr	<b>41,86</b>



*Obr. 93 Vzorek D experimentální obrábění*

U vzorku D bylo provedeno experimentální obrábění za následujících technologických podmínek: výkon laseru 20%, 30% za rychlosti posuvu 100%. Obrábění bylo problematické vzhledem ke tvaru dílce. Optimální technologické podmínky byly zvoleny: výkon laseru 30% za rychlosti posuvu 100%. U nižší hodnoty výkonu 20% nebyla ještě zcela odpálena barevná vrstva.

**Mikroskopické snímky obrobených ploch:**



*výkon 30%, posuv 100%*

*Obr. 94 Obrobená plocha eloxovaného vzorku D (zvětšení 15x)*

## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z ekonomického hlediska přináší laserový popis mnoho výhod oproti jiným způsobům popisování materiálů. Mezi hlavní výhody patří rychlá a uživatelsky nenáročná změna motivu, vysoká produktivita a především kvalita popisu. Naopak vysoká pořizovací cena stroje a náročné opravy při poškození jsou nevýhodami laserového popisování.

### 7.1 Náklady na jednu hodinu práce stroje s obsluhou

#### Vstupní hodnoty:

- pořizovací cena stroje: 800 000,- Kč (odpisová skupina 1)
- mzda pracovníka: 200,- Kč/h
- výrobní režie: 50,- Kč/h
- zisk: 5%
- pracovní dny za rok: 253
- dvousměnný provoz, tj. 16 hodin
- paušální částka za návrh: 500,- Kč
- použití rovnoměrného odpisování (sazba odpisování v prvním roce: 20%, sazba odpisování v dalších letech: 40%)

#### Výpočet:

Odpis v 1. roce  $(800\,000/100)20 = 160\,000,-$  Kč

Odpis v 2. roce  $(800\,000/100)40 = 320\,000,-$  Kč

Odpis v 3. roce  $(800\,000/100)40 = 320\,000,-$  Kč

#### Výpočet hodinové práce stroje s obsluhou v 1. roce:

Odpis v 1. roce/pracovní dny za rok =  $160\,000/253 = 633$  Kč/den

Hodinová práce stroje za den/hodiny ve dvousměnném provozu + hodinová mzda zaměstnance =  $633/16 + 200 = 240$  Kč/h

#### Výpočet hodinové práce stroje s obsluhou v 2. roce:

Odpis v 2. roce/pracovní dny za rok =  $320\,000/253 = 1265$  Kč/den

Hodinová práce stroje za den/hodiny ve dvousměnném provozu + hodinová mzda zaměstnance =  $1265/16 + 200 = 279$  Kč/h

**Výpočet hodinové práce stroje s obsluhou v 3. roce:**

Odpis v 3. roce/pracovní dny za rok =  $320\,000/253 = 1265$  Kč/den

Hodinová práce stroje za den/hodiny ve dvousměnném provozu + hodinová mzda zaměstnance =  $1265/16 + 200 = 279$  Kč/h

Průměrná hodnota hodinové práce stroje s obsluhou: 266 Kč/h

**Celková hodinová práce (průměrná hodinová práce stroje s obsluhou, výrobní režie, zisk)**

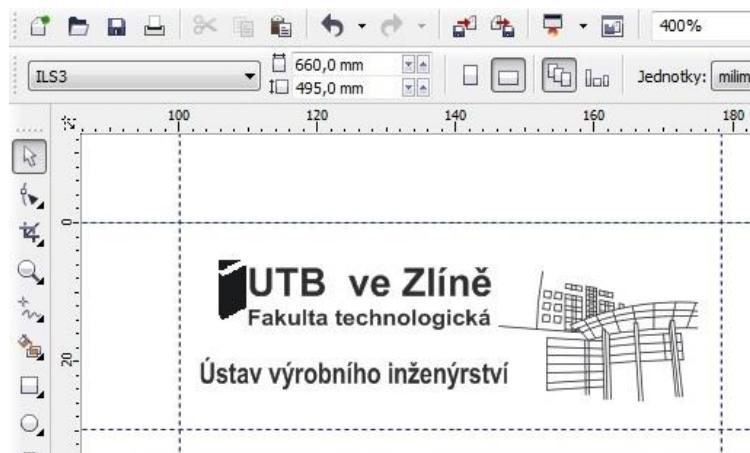
Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou + výrobní režie =  $266 + 50 = 316$  Kč/h

Zisk (5%) z hodnoty 316 = 16 Kč

Celková hodinová práce (bez materiálu) =  $316 + 16 = 332$  Kč

**7.2 Náklady na vygravírování loga včetně materiálu**

Vzorový příklad možného zpracování zákaznického zadání.



*Obr. 95 Návrh loga*

**Výpočet ceny strojního času na vygravírování loga při výkonu 20% a rychlosti posuvu 100%:**

Strojní čas: 5:03 min

Cena hodinové práce na laserovém zařízení: 332 Kč

Výpočet:  $(332/3600s) 303s = 28$  Kč

**1) Polymerní materiál Laserables**

Cena tabule o rozměru 1220mm x 610mm a tloušťce 1,6mm činí 940,- Kč.

Plocha tabule = 1220mm x 610mm = 744 200mm<sup>2</sup>

Rozměr potřebný pro logo je 80mm x 30mm.

Plocha pro logo = 80mm x 30mm = 2400mm<sup>2</sup>

Cena materiálu o rozměru 80mm x 30mm = (940/744 200) 2400 = 3 Kč

Celková cena vygravírování loga včetně materiálu: 28 + 3 = 31 Kč



*Obr. 96 Realizace loga na materiál Laserables*

**2) Povlakovaný hliníkový plech LaserAlu**

Cena tabule o rozměru 610mm x 305mm a tloušťce 0,51 činí 285,- Kč.

Plocha tabule = 610mm x 305mm = 186 050mm<sup>2</sup>

Rozměr potřebný pro logo je 80mm x 30mm.

Plocha pro logo = 80mm x 30mm = 2400mm<sup>2</sup>

Cena materiálu o rozměru 80mm x 30mm = (285/186 050) 2400 = 3,70 Kč

Celková cena vygravírování loga včetně materiálu: 28 + 3,70 = 32 Kč



*Obr. 97 Realizace loga na materiál LaserAlu*

## ZÁVĚR

Tato práce spadá do oblasti nekonvenčních technologií, konkrétní náplní je laserové popisování rozdílných typů materiálů na CO<sub>2</sub> laseru.

V praktické části této diplomové práce byl největší prostor věnován produktům firmy Gravotech. Ze vzorků na trhu dostupných jsme vybrali 7 barevných variací povlakovaných hliníkových plechů, 5 barevných variací dvouvrstevných polymerních desek, dále čirou akrylovou desku opatřenou povlakem a 2 tenké dvouvrstevné samolepicí fólie. Pro tyto vzorky jsme našli optimální technologické podmínky laseru. Téměř pro všechny z těchto materiálů byl optimální výkon laseru v rozmezí 20W až 40W při maximální posuvové rychlosti 1524mm/s. Výrobce udávaný doporučený výkon 6W – 10W k obrábění některých z těchto materiálů nebyl dostačující k odpálení barevné vrstvy ani při 50% posuvové rychlosti. Pořízené fotografie nemusí zcela odpovídat realitě, konkrétně u lesklých materiálů jsou patrné odrazy, které kazí celkový dojem.

Od firmy Gravotech jsme také zakoupili speciální sprej na kovy, jelikož kovy paprsek CO<sub>2</sub> laseru dost odráží, je tento sprej zajímavým řešením. Výrobce jej doporučuje přímo na nerez. Během nanášení spreje jsme se potýkali s problémem, že je obtížné ručně vytvořit rovnoměrnou vrstvu. Pro popisování bylo nutné použít vyšší výkon laseru (60W), poněvadž při finálním oplachování vrstvy spreje, se smylo také značení provedené nižšími výkony laseru. Nicméně i při tomto poměrně vysokém výkonu je výsledné značení celkem choulostivé na otěr a tím ztrácí jednu z hlavních výhod značení laserem.

Pro lepší posouzení obrobených ploch jsme pořídili mikroskopické snímky se zvětšením 15x a 200x. Při 200 násobném zvětšení jsou například patrné rozdíly ve směru obrábění vzhledem ke směru textury povrchu, přičemž směr obrábění shodný se směrem textury povrchu přinášel lepší výsledky. Tyto rozdíly jsme zkoumali na dalších hliníkových vzorcích, které byly opatřeny eloxovanou povrchovou úpravou.

Součástí praktické části bylo také ekonomické zhodnocení. Z výpočtů vyplývá, že celková hodinová práce, která se skládá z průměrné hodinové práce stroje s obsluhou, výrobních režii a zisku je 332 Kč. Návrh zpracování loga na polymerní materiál by vycházel na 31 Kč a na povlakovaný hliníkový plech na 32 Kč. Takové štítky mohou najít uplatnění např. v reklamní činnosti jako plakety, nebo ve strojírenství jako štítky motoru. Návrhy byly vypracovány při parametrech výkonu laseru 20W a maximální posuvové rychlosti 1524mm/s. Technologické parametry laseru stojí za zvážení, pokud je nám známo o jak

velkou výrobní sérii se jedná. Například při 50% posuvu je možné snížit výkon laseru a tím šetřit jeho opotřebení, ale obrábění trvá déle, takže rostou další režijní náklady, nebo mzda pracovníka obsluhy a produktivita adekvátně klesá.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HUBÍK, Petr. *Technologie laserového popisování* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z:<<http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/24662>>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [2] *The role of electrochemical machining ECM in industrial metallurgy* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z:<[http://www.themetallurgist.co.uk/articles/the\\_role\\_of\\_electrochemical\\_machining\\_eem\\_in\\_industrial\\_metallurgy.shtml](http://www.themetallurgist.co.uk/articles/the_role_of_electrochemical_machining_eem_in_industrial_metallurgy.shtml)>
- [3] ŽÍDEK, David. *Studium vlivu polymerního materiálu na výsledky laserového mikroobrábění při konstantních vstupních parametrech.* [online]. Zlín, 2007 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z:<<http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/3298>> Diplomová práce. UTB Zlín
- [4] *Lasery pro generaci repetičních ultrakrátkých pulsů a výkonech násobků petawattů* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.ei-beams.eu/cs/vyzkum/lasery/>>
- [5] BRIMUS, Jan. *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály* [online]. Zlín, 2007 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/4374>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [6] MAŇKOVÁ, Ildikó: *Progresívne technológie*, 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
- [7] SÝKOROVÁ, Libuše: *Nekonvenční technologie* (přednášky). Zlín, 2014 [cit. 2015-01-25].
- [8] *Principy laserů* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://www.printing.cz/art/ctp/ctp\\_principy\\_laseru.html](http://www.printing.cz/art/ctp/ctp_principy_laseru.html)>
- [9] LAPŠANSKÁ, Hana. *Lasery v praxi* [online]. Olomouc, 2010. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>>
- [10] Trumpf Praha, s.r.o.: *Popisování UV lasery* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z:<<http://www.cz.trumpf.com/produkty/lasery-technika/reseni/reseni-v-jednotlivych-odvetvich/obrabeni-plastu.html>>



- [11] LÁZNIČKA, Pavel. *Laserové mikroobrábění* [online]. Brno, 2014 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85839](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85839)>. Diplomová práce. VUT Brno.
- [12] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika*. Vyd. 1. Praha: Prometheus, 2000, xxiv, 1254s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [13] BUCHFINK, Gabriela. *Fascination of sheet metal: a material of limitless possibilities*. 1st ed. Würzburg, Germany: Vogel Buchverlag, 2007. ISBN 978-383-4330-710.
- [14] LUKOVICS, Imrich; SÝKOROVÁ, Libuše. *Laser technology and possibility of its applications*. In MTeM 2005. ISBN 9973-9087-83-3.
- [15] *Laserová technika* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://space.fjfi.cvut.cz/web/sulc/lt1/>><http://space.fjfi.cvut.cz/>
- [16] *Laserové pulsy* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.kovotrade.cz>>
- [17] KOÇ, Muammer; Tuğrul ÖZEL. *Micro-manufacturing: design and manufacturing of micro-products*. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2011, 388s, [4] leaves of color plates. ISBN 9781118010556.
- [18] TÁBORSKÝ, Vojtěch. *Výzkum vlivu laserového paprsku na vlastnosti výrobků* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.theses.cz/id/hs30ma>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [19] KAVAN, Petr. *Analýza a využití laseru při obrábění* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/11012/12336>>. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [20] *Průmyslové lasery: Hlavní typy laserů v průmyslové praxi*. [online]. 2012, č. 9 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi.html>>
- [21] *Lasery pro průmysl*. [online]. 2008, č. 7 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-pro-prumysl.html>>
- [22] *Lasery, laserové technologie a stroje s laserem*. [online]. 2006 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.html>>

- [23] MRŇA, Libor. *Základy laserové techniky* [online]. 2013 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/hsv\\_\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_\\_zaklady\\_laserove\\_techniky\\_2013\\_\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__zaklady_laserove_techniky_2013__mrna.pdf)>
- [24] *Slab, Innoslab, kotoučový, nebo vláknový laser?* [online]. 2007, č. 3 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/slab-innoslab-kotoucovy-nebo-vlaknovy-laser.html>>
- [25] *Nekonvenční metody obrábění.* [online]. 2008, č. 3 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>>
- [26] RP PhotonicsEncyclopedia. *Excimer Lasers.* [online]. 2008, č. 1 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://www.rp-photonics.com/excimer\\_lasers.html](http://www.rp-photonics.com/excimer_lasers.html)>
- [27] *Laserline Beam Source: Basics.* [online]. 2008 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.laserline.de/beam-source.html>>
- [28] *První boranový modrý laser.* [online]. 2015 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/prvni-boranovy-modry-laser/>>
- [29] Trumpf Praha, s.r.o.: *Řezání laserem a vrtání laserem: Oblasti použití.* [online]. 2014 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-rezani.html>>
- [30] MRŇA, Libor. *Řezání laserem. In: HSV* [online]. 2013 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/hsv\\_\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_\\_rezani\\_laserem\\_2013\\_\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__rezani_laserem_2013__mrna.pdf)>
- [31] *Průmyslové lasery: Laserové řezání.* [online]. 2012, č. 10 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-5-laserove-rezani.html>>
- [32] Trumpf Praha, s.r.o.: *Řezání plamenem: Laserové řezání.* [online]. 2014 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-rezani/rezani-plamenem.html>>
- [33] *Laser-assisted fabrication of materials.* New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2283-581.
- [34] *Průmyslové lasery: svařovací lasery.* [online]. 2012, č. 4 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-2-svarovaci-lasery.html>>

- [35] *Process principle: Cladding*. [online]. 2008 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.laserline.de/process-principles-cladding.html>>
- [36] *Nekonvenční metody obrábění*. [online]. 2008, č. 5 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonevncni-metody-obrabeni-5-dil.html>>
- [37] Trumpf Praha, s.r.o.: *Laserové kalení: Oblasti použití*. [online]. 2014 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/obrabeni-povrchu/laserove-kaleni.html>>
- [38] PIQUE Alberto, Douglas B. *Direct-write technologies for rapid prototyping applications sensors, electronics, and integrated power sources*. San Diego: Academic Press, 2002. ISBN 978-008-0504-643.
- [39] *Značení a gravírování laserem*. [online]. 2003, č. 5 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem.html>>
- [40] *Engraving Of Aluminium Alloys With Pulsed Fiber Lasers*. [online]. 2009 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://www.spilasers.com/Applications/redENERGY/Engraving\\_of\\_aluminium\\_alloys\\_with\\_pulsed\\_fiber\\_lasers.aspx](http://www.spilasers.com/Applications/redENERGY/Engraving_of_aluminium_alloys_with_pulsed_fiber_lasers.aspx)>
- [41] *Plastic Marking With a Fiber Laser*. [online]. 2009 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://www.spilasers.com/Applications/redENERGY/Plastics\\_Marking\\_With\\_A\\_Fiber\\_Laser.aspx#](http://www.spilasers.com/Applications/redENERGY/Plastics_Marking_With_A_Fiber_Laser.aspx#)>
- [42] *Měření povlaků a nátěrů* [online]. 2013. 12 s. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://www.spssol.cz/~vyuka/tridy/4.a/KOM/>>
- [43] PLŠKOVÁ, Markéta. *Stanovení pracovních podmínek na laseru ILS 3NM* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/16351>>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [44] *Intelligent Laser System III-NM - Operation Manual*, version 1.6.: Laser Tools &Technics Corp., 2007. 53 s. [cit. 2015-01-25].
- [45] *DUALSCOPE MP20E-S*: Fischer [online]. 2004. 2 s. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <[http://www.helmut-fischer.com/globalfiles/DE\\_Dual\\_MP20E-S\\_EN.pdf](http://www.helmut-fischer.com/globalfiles/DE_Dual_MP20E-S_EN.pdf)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

W	Watt
J	Joule
%	Procento
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
E	Energie pulsu
E <sub>0</sub>	Energie na energetické hladině 1
YAG	Ytrito-hlinitý granát
He	Helium
Ne	Neon
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
N <sub>2</sub>	Dusík
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	Iso-propyl-alkohol
Si	Křemík
P	Fosfor
λ	Vlnová délka
ILS	Inteligent laser system
USB	Universal Serial Bus
LAN	Local Area Network
PPI	Puls na palec
TEM <sub>00</sub>	Transverse Electromagnetic Mode (laserový operační mód)
UV	Ultrafialové záření

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Fotografie a schéma prvního (rubínového) laseru zkonstruovaného T. H. ....</i>	13
<i>Obr. 2 Skokové změny hodnot energie [7] .....</i>	14
<i>Obr. 3 Absorpce, spontánní a stimulovaná emise [7] .....</i>	15
<i>Obr. 4 Vlnové délky pro různé typy laserů [7] .....</i>	16
<i>Obr. 5 Rozdíl mezi koherentním a nekoherentním zářením [11] .....</i>	17
<i>Obr. 6 Zaostrění laserového paprsku [10] .....</i>	17
<i>Obr. 7 Polarizace [13].....</i>	17
<i>Obr. 8 Vybrané módy s jejich označením a vhodným použitím [7] .....</i>	18
<i>Obr. 9 Příklady osově symetrických módů - válcovité módy [7] .....</i>	19
<i>Obr. 10 Příklady středově symetrických módů - obdélníkových módů [7] .....</i>	19
<i>Obr. 11 Módové struktury ve 3D [14] .....</i>	20
<i>Obr. 12 Porovnání délky pulsu a výsledku kvality obrábění [17] .....</i>	20
<i>Obr. 13 Účinek laserového paprsku při dopadu na obráběný materiál [7] .....</i>	21
<i>Obr. 14 Působení laseru na materiál při řezání [18] .....</i>	22
<i>Obr. 15 Schéma zařízení pro obrábění laserem [19] .....</i>	23
<i>Obr. 16 Uspořádání zrcadel optického rezonátoru [19] .....</i>	24
<i>Obr. 17 Schéma struktury laseru [8] .....</i>	24
<i>Obr. 18 Možnosti fokusace laserového paprsku[7] .....</i>	26
<i>Obr. 19 Přehled laserových pulsů [7] .....</i>	27
<i>Obr. 20 Konstrukční provedení laserového zařízení [7] .....</i>	28
<i>Obr. 21 Nd:YAG buzený výbojkami [20] .....</i>	29
<i>Obr. 22 Schéma diskového kotouče [20] .....</i>	30
<i>Obr. 23 Vláknový laser [20] .....</i>	31
<i>Obr. 24 Základní části CO<sub>2</sub> laseru [7] .....</i>	32
<i>Obr. 25 princip DC RF CO<sub>2</sub> laseru [20] .....</i>	33
<i>Obr. 26 Vznik paprsku diodového laseru [27] .....</i>	34
<i>Obr. 27 Princip metody řezání laserem [33] .....</i>	36
<i>Obr. 28 Režim svařování [11] .....</i>	38
<i>Obr. 29 Princip navařování [35] .....</i>	39
<i>Obr. 30 Laserové obrábění [11] .....</i>	41
<i>Obr. 31 Schéma laserové optiky u maskovací metody [7] .....</i>	42
<i>Obr. 32 Schéma laserové optiky u popisovací metody vychylováním svazku [7] .....</i>	43

<i>Obr. 33 Způsoby gravírování a značení [41]</i> .....	43
<i>Obr. 34 Laser ILS 3 NM [44]</i> .....	49
<i>Obr. 35 Popis laserového zařízení [44]</i> .....	51
<i>Obr. 36 Popis rotačního zařízení [44]</i> .....	52
<i>Obr. 37 Ovládací panel laseru ILS 3NM [44]</i> .....	53
<i>Obr. 38 Manuální fokusace laseru [44]</i> .....	54
<i>Obr. 39 Fischer DUALSCOPE MP 20ES</i> .....	55
<i>Obr. 40 Mikroskop oční digitální AM423B</i> .....	56
<i>Obr. 41 Nastavení velikosti pracovní plochy [43]</i> .....	57
<i>Obr. 42 Nastavení počátku pracovní plochy [43]</i> .....	58
<i>Obr. 43 Nastavení polohy a rozměrů obrázku [43]</i> .....	58
<i>Obr. 44 Návrh experimentálního obrábění v programu CorelDraw</i> .....	59
<i>Obr. 45 Experimentální obrábění vzorku produktu Gravoxal - modrý</i> .....	60
<i>Obr. 46 Obrobené plochy vzorku produktu Gravoxal (zvětšení 15x)</i> .....	61
<i>Obr. 47 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaAlu - bílý</i> .....	61
<i>Obr. 48 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaAlu (zvětšení 15x)</i> .....	62
<i>Obr. 49 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserAlu - černostříbrný</i> .....	63
<i>Obr. 50 Obrobené plochy vzorku produktu LaserAlu (zvětšení 15x)</i> .....	63
<i>Obr. 51 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserAlu - černožlatý</i> .....	64
<i>Obr. 52 Obrobené plochy vzorku produktu LaserAlu (zvětšení 15x)</i> .....	65
<i>Obr. 53 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaSign - stříbrný</i> .....	65
<i>Obr. 54 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaSign (zvětšení 15x)</i> .....	66
<i>Obr. 55 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaMark - zlatý</i> .....	66
<i>Obr. 56 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaMark (zvětšení 15x)</i> .....	67
<i>Obr. 57 Experimentální obrábění vzorku produktu AlumaMark - stříbrný</i> .....	68
<i>Obr. 58 Obrobené plochy vzorku produktu AlumaMark (zvětšení 15x)</i> .....	68
<i>Obr. 59 Experimentální obrábění vzorku produktu LaserThins – žlutý</i> .....	69
<i>Obr. 60 Obrobené plochy vzorku produktu LaserThins (zvětšení 15x)</i> .....	70
<i>Obr. 61 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – bílý</i> .....	70
<i>Obr. 62 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)</i> .....	71
<i>Obr. 63 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – červený</i> .....	72
<i>Obr. 64 Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)</i> .....	72
<i>Obr. 65 Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – stříbrný</i> .....	73

<i>Obr. 66</i>	<i>Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)</i> .....	73
<i>Obr. 67</i>	<i>Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables – zlatý</i> .....	74
<i>Obr. 68</i>	<i>Obrobené plochy vzorku produktu Laserables (zvětšení 15x)</i> .....	74
<i>Obr. 69</i>	<i>Experimentální obrábění vzorku produktu LaserablesPlus - měděný</i> .....	75
<i>Obr. 70</i>	<i>Obrobené plochy vzorku produktu LaserablesPlus (zvětšení 15x)</i> .....	76
<i>Obr. 71</i>	<i>Experimentální obrábění vzorku produktu Laserables Reverse - stříbrný</i> .....	76
<i>Obr. 72</i>	<i>Experimentální obrábění vzorku Fólie - bílá</i> .....	77
<i>Obr. 73</i>	<i>Obrobené plochy vzorku Fólie (zvětšení 15x)</i> .....	78
<i>Obr. 74</i>	<i>Experimentální obrábění vzorku Fólie – stříbrná</i> .....	78
<i>Obr. 75</i>	<i>Obrobené plochy vzorku Fólie (zvětšení 15x)</i> .....	79
<i>Obr. 76</i>	<i>Pracovní postup s produktem CerMark - očištění</i> .....	80
<i>Obr. 77</i>	<i>Pracovní postup s produktem CerMark – nastříkání spreje</i> .....	80
<i>Obr. 78</i>	<i>Pracovní postup s produktem CerMark – obrábění</i> .....	81
<i>Obr. 79</i>	<i>Pracovní postup s produktem CerMark – výsledek obrábění</i> .....	81
<i>Obr. 80</i>	<i>Pracovní postup s produktem CerMark – očištění</i> .....	82
<i>Obr. 81</i>	<i>Obrobené plochy nerezového plechu (zvětšení 15x)</i> .....	82
<i>Obr. 82</i>	<i>Vzorek A experimentální obrábění</i> .....	83
<i>Obr. 83</i>	<i>Další ukázky obrábění vzorku A (vrchní obrázek - výkon/rychlost = 20/100%, spodní obrázek - 40/100%)</i> .....	84
<i>Obr. 84</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 15x)</i> .....	84
<i>Obr. 85</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 200x), směr obrábění kolmý na texturu povrchu</i> .....	85
<i>Obr. 86</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku A (zvětšení 200x), směr obrábění ve směru textury povrchu</i> .....	85
<i>Obr. 87</i>	<i>Vzorek B experimentální obrábění</i> .....	86
<i>Obr. 88</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 15x)</i> .....	87
<i>Obr. 89</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 200x), směr obrábění kolmý na texturu povrchu</i> .....	87
<i>Obr. 90</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku B (zvětšení 200x), směr obrábění ve směru textury povrchu</i> .....	88
<i>Obr. 91</i>	<i>Vzorek C experimentální obrábění</i> .....	88
<i>Obr. 92</i>	<i>Obrobené plochy eloxovaného vzorku C (zvětšení 15x)</i> .....	89
<i>Obr. 93</i>	<i>Vzorek D experimentální obrábění</i> .....	90



---

<i>Obr. 94</i> Obrobená plocha eloxovaného vzorku D (zvětšení 15x) .....	90
<i>Obr. 95</i> Návrh loga .....	92
<i>Obr. 96</i> Realizace loga na materiál Laserables .....	93
<i>Obr. 97</i> Realizace loga na materiál LaserAlu .....	93

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Základní rozdělení nekonvenčních technologií [7] .....	12
Tab. 2 Srovnání odrazivosti materiálů při různé vlnové délce [6].....	22
Tab. 3 Hustoty výkonu energetických zdrojů [6] .....	26
Tab. 4 Klasifikace průmyslových aplikací laseru dle normy DIN 8580 [7].....	35
Tab. 5 Technické parametry laseru ILS 3NM [44].....	50
Tab. 6 Technická specifikace - Dino-Eye AM423B.....	56
Tab. 7 Optimální technologické podmínky pro obrábění produktů od firmy Gravotech .....	83
Tab. 8 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku A.....	83
Tab. 9 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku B .....	86
Tab. 10 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku C .....	88
Tab. 11 Tloušťka povrchové vrstvy vzorku D.....	89

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I:	Katalogový list produktu Gravaxal
Příloha P II:	Materiálový list produktu AlumaAlu
Příloha P III:	Katalogový list produktu LaserAlu
Příloha P IV:	Materiálový list produktu AlumaSign
Příloha P V:	Katalogový list produktu AlumaMark
Příloha P VI:	Katalogový list produktu LaserThins
Příloha P VII:	Katalogový list produktu Laserables
Příloha P VIII:	Katalogový list produktu Laserables Plus
Příloha P IX:	Katalogový list produktu Laserables Reverse
Příloha P X:	Katalogový list produktu Fólie
Příloha P XI:	Katalogový list produktu CerMark

# PŘÍLOHA P I: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU GRAVOXAL

PŘEMÍOVÉ  
MATERIÁLY  
PRO  
GRAVÍROVÁNÍ

GRAVOXAL™

Kovy  
Laser / Rotační

41



## Matt

Oboustranný		1,0 mm (0,04")	1,5 mm (1/16")	2,0 mm (1/12")
champagne		18360	18372	18383
červená		18354	18366	18377
zelená		30538	30540	30542
modrá		18356	18368	18379
stříbrná		18350	18362	18374
zlatá		18358	18370	18381
bronz		30532	30534	30536
dark bronz		64567	64569	64571
černá		18352	18364	22056

## Glossy

Oboustranný		1,0 mm (0,04")	1,5 mm (1/16")	2,0 mm (1/12")
champagne		18555	18558	18567
červená		18552	18558	18564
zelená		30521	30522	30523
modrá		18553	18559	18565
stříbrná		18550	18556	18562
zlatá		18554	18560	18566
bronz		30524	30526	30530
černá		18551	18557	18563

Všechny barevné odstíny jsou eloxovány z obou stran. Z obou stran je také ochranná fólie.  
\* Značit laserem lze pouze na barevné materiály. Kontrast se může lišit v závislosti na barevném odstínu.

## CHARAKTERISTIKA

- Oboustranný eloxovaný hliník
- Pro gravíruku i laser
- Na laseru lze značit i ty nejjemnější detaily

## POUŽITÍ

Ovládací panely, popisné štítky, pamětní plakety, interierová a exteriérová značení

## VLASTNOSTI

Konečná úprava	Matná, Lesklá
Složení	Hliník
Hloubka gravírování	0,1 mm (0,004")
Celá deska	1 000 mm x 500 mm (39" x 19")
Poloviční deska	-
Čtvrtinová deska	-
Jiné velikosti	2 000 mm x 1 000 mm (78" x 39")

## MOŽNOSTI

Interiér	■
Exteriér	■
Nůžky	■
Pila	■
Šířotisk	■
Termoražba	-
Ohyb za tepla	-
Odolnost proti otěru	■
Pružnost	-
Nárazuvzdornost	■
UV odolnost	■
Minimální teplota	-40°C (-40°F)
Maximální teplota	200°C (400°F)

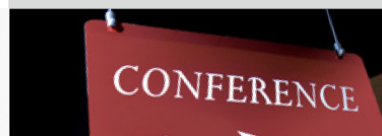
## TIPY

Kvalitní eloxovaný povrch chráněný z obou stran fólií.

Pro kontrastní značení mechanickou gravírkou lze pro začemění použít Aloxid.

Zobrazené barvy jsou pouze orientační. Nelze je použít jako náhradu skutečných vzorků.

GRAVOGRAPH



## PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PRODUKTU ALUMAALU

	MATERIÁLOVÝ LIST	Datum vydání: 23.10.2014 Datum revize:
	<b>ALUMAALU</b>	Strana 1 (celkem 1)

SLOŽENÍ:	Aluminium ( materiál neobsahuje sloučeniny halogenů)
BARVY:	stříbrná, zlatá, bílá s černým popisem černá s bílým popisem
SÍLA:	0,51 mm
ROZMĚR TABULE:	305 x 610 mm
PROVEDENÍ:	lesklý, lakovaný
OCHRANA:	1 strana
METODA RYTÍ:	laserem (gravírování), frézováním (řezání)
HLOUBKA RYTÍ:	
SKLADOVÁNÍ:	kryté místo, vodorovná poloha
FIXAČNÍ TECHNIKA:	mechanická fixace nebo podlepení
POUŽITÍ:	interiér - stříhání, řezání, vrtání, lisování
UV ODOLNOST:	ne
TEPLTNÍ TOLERANCE:	max. 80°C
PÉČE O MATERIÁL:	nepoužívat rozpouštědla, lze mechanicky poškrábat

# PŘÍLOHA P III: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU LASERALU

## LASERALU



### Výrobní štítky Štítky na poháry

- Hladký lesklý povrch
- U materiálů označených LS je laserovaná plocha bílá
- U materiálů LM je laserovaná plocha zlatá nebo stříbrná

### Popis

Povrch	Lesklý
Složení	Hliník
Hloubka gravírování	
Celá deska	610 mm x 305 mm

### Vlastnosti

Interiér	■		Exteriér
Stříhání	■	■	Řezání
Sítotisk			Horká ražba
Odolnost proti poškrábání	■	■	Pružnost
Odolnost proti přelomení	■		UV odolnost
		80°C	Max. teplota

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	0.51 mm
Cena za 1 ks (LS)	24.42
Cena za 1 ks (LM)	10.38


### Samolepící fólie

Příplatek za samolepící fólii	3.69
-------------------------------	------

		tloušťka	0.51 mm
	barva vrchní vrstvy	barva spodní vrstvy	obj. číslo
■	černá	stříbrná	LM-5319 ✓
■	modrá	stříbrná	LM-5327 ✓
■	zelená	stříbrná	LM-5330 ✓
■	červená	stříbrná	LM-5331 ✓
■	černá	zlatá	LM-5318 ✓
■	modrá	zlatá	LM-5332 ✓
■	zelená	zlatá	LM-5333 ✓
■	červená	zlatá	LM-5334 ✓
■	zlatá	hliník	LS-525 ✓
■	stříbrná	hliník	LS-526 ✓
■	bronzová	hliník	LS-527 ✓
■	chromová	hliník	LS-528 ✓



## PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ LIST PRODUKTU ALUMASIGN

	MATERIÁLOVÝ LIST	Datum vydání: 23.10.2014 Datum revize:
	<b>ALUMASIGN</b>	Strana 1 (celkem 1)

SLOŽENÍ:	Aluminium ( materiál neobsahuje sloučeniny halogenů)
BARVY:	stříbrná s černým popisem
SÍLA:	0,5 mm
ROZMĚR TABULE:	1000 x 500 mm
PROVEDENÍ:	matný, polyesterový lak s matným leskem
OCHRANA:	1 strana
METODA RYTÍ:	laserem (gravírování), frézováním (řezání)
HLOUBKA RYTÍ:	0,03 mm
SKLADOVÁNÍ:	kryté místo, vodorovná poloha
FIXAČNÍ TECHNIKA:	mechanická fixace nebo podlepení
POUŽITÍ:	interiér  - stříhání, řezání, horká ražba, sítotisk, vrtání, lisování
UV ODOLNOST:	ne
TEPLOTNÍ TOLERANCE:	max. 80°C
PÉČE O MATERIÁL:	nepoužívat rozpouštědla, lze mechanicky poškrábat

# PŘÍLOHA P V: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU ALUMAMARK

46

Kovy  
Laser / Rotary

ALUMAMARK™

PRÉMIOVÉ  
MATERIÁLY  
PRO  
GRAVÍROVÁNÍ

## CHARAKTERISTIKA

- Speciální verze hliníkového materiálu ve zlaté a stříbrné barvě pro černé značení na CO<sub>2</sub> laseru
- Pro černé značení není potřeba žádná barva, nebo oxidační činidla
- Stačí výkon pouze 6-10 wattů.
- Saténová povrchová úprava.



## POUŽITÍ

ID štítky, čárové kódy, štítky, ovládací panely

## VLASTNOSTI

Konečná úprava	Satén
Složení	Hliník
Hloubka gravírování	0,025 mm (0,001")
Celá deska	610 x 508 mm (24" x 20")
Poloviční deska	-
Čtvrtinová deska	-
Jiné velikosti	305 x 254 mm (12" x 10") for 27414 610 x 305 mm (20" x 12") for 45879 & 45878

## MOŽNOSTI

Interiér	■
Exteriér	-
Nůžky	■
Píla	-
Sítotisk	■
Termoražba	-
Ohyb za tepla	-
Odolnost proti otěru	-
Pružnost	■
Nárazuvzdornost	■
UV odolnost	-
Minimální teplota	0°C (30°F)
Maximální teplota	100°C (220°F)

## TIPY

S tímto materiálem šetříte čas: není potřeba žádné barvení pro dosažení černého značení.

Materiál je citlivý na výkon laseru. Pokud je značení šedé, zvyšte výkon. Pokud je značení spálené, tak jej snižte.

Kvalita značení se zlepší, pokud použijete 50% rychlost.

Doporučený výkon laseru: 6 - 10 W

povrch /  
podkladová barva

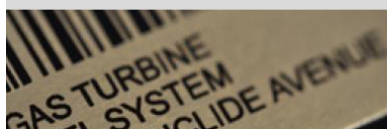
stříbrný satén / černá	27414	0,127 mm (0,005")
	27417	0,5 mm (0,020")
	27419	0,5 mm (0,020") *
zlatý satén / černá	27415	
	27416	
satén brass / černá	45879	
	45878	

\* Se samolepící zadní stranou.



GRAVOGRAPH

Zobrazené barvy jsou pouze orientační. Nelze je použít jako náhradu skutečných vzorků.



# PŘÍLOHA P VI: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU LASERTHINS

## LASERTHINS



### Štítky na poháry Výplně informačních systémů Strojní štítky

- Výborné výsledky s CO2 laserem
- Tenká vrstva pro detailní gravírování
- U matného vzhledu antireflexivní povrch
- Matný, broušený, nebo lesklý povrch
- Na CO2 laseru lze popisovat i vyřezávat

### Popis

Povrch	Matný, lesklý, broušený
Složení	Akryl
Hloubka gravírování	0.1 mm
Celá deska	1220 mm x 610 mm
1/2 desky	610 mm x 610 mm
1/4 desky	610 mm x 305 mm

	tloušťka	0.8 mm	
	barva vrchní vrstvy	barva spodní vrstvy	obj. číslo
■	bílá	černá	LZ-902 ✓
■	černá	bílá	LZ-901 ✓
■	červená	bílá	LZ-903 ✓
■	modrá	bílá	LZ-904 ✓
■	tmavě modrá	bílá	LZ-909 ✓
■	tmavě zelená	bílá	LZ-914 ✓
■	žlutá	černá	LZ-906 ✓
■	zlatá broušená	černá	LZ-990 ✓
■	zlaté zrcadlo	černá	LZ-999 ✓
■	stříbmozlatá broušená	černá	LZ-9372 ✗
■	stříbmá broušená	černá	LZ-991 ✓
■	stříbmé zrcadlo	černá	LZ-998 ✓
■	bronzová broušená	černá	LZ-9346 ✓
■	stříbmá metalíza	černá	LZ-907 ✓

### Podkladová deska

	tloušťka	0.8 mm
barva	obj. číslo	
bílá	LZ-000	✓
černá	LZ-001	✗
cena v € bez DPH	22.59	

### Vlastnosti

Interiér	■		Exteriér
Stříhání	■	■	Řezání
Sítotisk	■	■	Horká ražba
Odolnost proti poškrábání		■	Pružnost
Odolnost proti přelomení	■		UV odolnost
		60°C	Max. teplota

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	0.8 mm
Cena za 1 ks	28.00

### Samolepící fólie

Příplatek za samolepící fólii	11.21
-------------------------------	-------

### Magnetická fólie

Příplatek za magnetickou fólií (na objednávku)	36.05
--	-------

# PŘÍLOHA P VII: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU LASERABLES

## LASERABLES



Jmenovky  
Štítky na poháry  
Plakety  
Identifikační štítky  
Průmyslové štítky

- Metalický povrch
- Tenká vrchní vrstva 0.025 mm pro detailní gravírování
- Lze značit a vyřezávat na gravírce i CO2 laseru

### Popis

Povrch	Matný, lesklý, broušený
Složení	Akryl
Hloubka gravírování	0.1 mm
Celá deska	1220 mm x 610 mm
1/2 desky	610 mm x 610 mm
1/4 desky	610 mm x 305 mm

### Vlastnosti

Interiér	■	■*	Exteriér
Stříhání	■	■	Řezání
Síťotisk	■	■	Horká ražba
Odolnost proti poškrábání		■	Pružnost
Odolnost proti přelomení	■	■	UV odolnost
		80°C	Max. teplota

\* kromě zlatých povrchů

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	1.6 mm	3.0 mm
Cena za 1 ks	34.34	56.00
Cena za 1 ks oboustranné (na objednávku)	41.59	

### Samolepící fólie

Příplatek za samolepící fólii	11.21
-------------------------------	-------

### Magnetická fólie

Příplatek za magnetickou fólii (na objednávku)	36.05
--	-------

			tloušťka	1.6 mm	3.0 mm
	barva vrchní vrstvy	barva spodní vrstvy	obj. číslo	obj. číslo	obj. číslo
■	bílá	černá	LZ-902	✓	LZ-902
■	černá	bílá	LZ-901	✓	LZ-901
■	červená	bílá	LZ-903	✓	LZ-903
■	modrá	bílá	LZ-904	✓	LZ-904
■	tmavě modrá	bílá	LZ-909	✓	
■	světle zelená	bílá	LZ-905	✓	LZ-904
■	tmavě zelená	bílá	LZ-914	✓	
■	tyrkysová	bílá	LZ-942	✓	
■	žlutá	černá	LZ-906	✓	
■	vínová	bílá	LZ-912	✓	
■	bílá	červená	LZ-916	✓	
■	bílá	modrá	LZ-917	✓	
■	bílá	zelená	LZ-919	✓	
■	šedá	bílá	LZ-933	✓	
■	rustikal	bílá	LZ-9218	✓	
■	tm. modrý mramor	bílá, zlatý efekt	LZ-9202FX	✓	
■	zelený mramor	bílá, zlatý efekt	LZ-9204FX	✓	
■	tm. vínový mramor	bílá, lesk	LZ-9213	✓	
■	zlatá metalíza	černá	LZ-992	✓	
■	zlatá broušená	černá	LZ-990	✓	
■	zlatá broušená	matná černá	LZ-990M	✓	
■	stříbrná metalíza	matná černá	LZ-907	✓	LZ-907
■	červená	černá	LZ-908	✓	LZ-908
■	zlatostříbrná broušená	černá	LZ-9372	✓	
■	stříbrná metalíza	černá	LZ-993	✓	
■	stříbrná broušená	černá	LZ-991	✓	
■	stříbrná broušená	černá	LZ-991M	✓	
■	stříbrná broušená	modrá	LZ-9412	✓	
■	ocelová broušená	černá	LZ-9361	✓	
■	bronzová broušená	černá	LZ-9346	✓	
■	zlatá broušená	červená	LZ-9407	✓	
■	zlatá broušená	modrá	LZ-9413	✓	
■	zlatá broušená	zelená	LZ-9408	✓	

### Podkladová deska

	tloušťka	1.6 mm		tloušťka	1.6 mm
barva	obj. číslo	barva	obj. číslo	obj. číslo	obj. číslo
bílá	LZ-000	červená	LZ-003	✓	
černá	LZ-001	modrá	LZ-004	✓	
				cena v € bez DPH	22.42

# PŘÍLOHA P VIII: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU LASERABLES PLUS

## LASERABLES PLUS



Firemní cedule  
Informační systémy

	barva vrchní vrstvy		barva spodní vrstvy		tloušťka v mm	1.6	3.0
					obj. číslo		
■	zlatá broušená	černá			LZP-764	✓	✗
■	ocelová broušená	černá			LZP-314	✓	✗
■	měděná broušená	černá			LZP-864	✓	✗
■	niklová broušená	černá			LZP-364	✓	✗

- Hladký lesklý vzhled
- Výborné výsledky s CO2 laserem

### Popis

Povrch	Lesklý broušený
Složení	Akryl
Hloubka gravírování	0.1 mm
Celá deska	1220 mm x 610 mm
1/2 desky	610 mm x 610 mm
1/4 desky	610 mm x 305 mm

### Vlastnosti

Interiér	■	■	Exteriér
Střihání		■	Řezání
Sítotisk	■	■	Horká ražba
Odolnost proti poškrábání		■	Pružnost
Odolnost proti přelomení			UV odolnost
		80°C	Max. teplota

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	1.6 mm	3.0 mm
Cena za 1 ks	35.25	56.92

### Samolepící fólie

Příplatek za samolepící fólii	11.21
-------------------------------	-------

### Magnetická fólie

Příplatek za magnetickou fólií (na objednávku)	36.05
--	-------

# PŘÍLOHA P IX: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU LASERABLES REVERSE

## LASERABLES REVERSE



### Interiérové i exteriérové cedule

- Lesklý vzhled pouze u LZR-992R a LZR-993R
- Široká škála barev
- Vynikající výsledky při řezání na CO2 laseru
- Vhodné pro detailní značení na CO2 laseru

### Popis

Povrch	Matný, lesklý
Složení	Akryl
Hloubka gravírování	0.1 mm
Celá deska	1220 mm x 610 mm
1/2 desky	610 mm x 610 mm
1/4 desky	610 mm x 305 mm

### Vlastnosti

Interiér	■	■	Exteriér
Stříhání		■	Řezání
Sítotisk	■	■	Horká ražba
Odolnost proti poškrábání		■	Pružnost
Odolnost proti přelomení			UV odolnost
		80°C	Max. teplota

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	0.8 mm	1.6 mm
Cena za 1 ks	39.75	39.75

	tloušťka		0.8*/1.6 mm
	barva vrchní vrstvy	barva spodní vrstvy	obj. číslo
□	bílá	čirá	LZR-902 ✗
■	černá	čirá	LZR-901 ✗
■	červená	čirá	LZR-903 ✗
■	modrá	čirá	LZR-904 ✗
■	žlutá	čirá	LZR-906 ✗
■	hnědá	čirá	LZR-907 ✗
□	světle šedá	čirá	LZR-931 ✗
■	šedá	čirá	LZR-933 ✗
■	břidlicová	čirá	LZR-937 ✗
■	bledě modrá	čirá	LZR-936 ✗
■	bordeaux	čirá	LZR-947 ✗
□	běžová	čirá	LZR-930 ✗
■	zlatá, lesklá	čirá	LZR-992R ✗
■	zlatá, matná	čirá	LZR-992RM ✗
■	stříbrná, lesklá	čirá	LZR-993R ✗
■	stříbrná, matná	čirá	LZR-993RM ✗

\* V tloušťce 0.8 mm pouze LZR-901 a LZR-902



# PŘÍLOHA P X: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU FÓLIE

## FÓLIE



### Identifikační štítky

- Samolepící
- U matného vzhledu antireflexivní povrch
- Trvalé a odolné značení v exteriéru
- Vynikající výsledky s CO2 laserem

### Popis

Povrch	Matný, lesklý
Složení	Akryl
Hloubka gravírování	0.025 mm
Celá deska	1220 mm x 610 mm
1/2 desky	610 mm x 610 mm
1/4 desky	610 mm x 305 mm

	tloušťka		0.2 mm
	barva vrchní vrstvy	barva spodní vrstvy	obj. číslo
■	bílá	černá	F-62 ✓
■	černá	bílá	F-61 ✓
■	červená	bílá	F-66 ✓
■	modrá	bílá	F-67 ✓
■	zelená	bílá	F-69 ✓
■	žlutá	černá	F-68 ✓
■	černá	zlatá, lesk	F-65 ✓
■	zlatá	černá	F-64 ✓
■	stříbrná	černá	F-63 ✓
■	stříbrná	černá, lesk	F-75 ✓
■	zlatá	černá, lesk	F-76 ✓
■	bronzová broušená	černá	F-70 ✓

\* F-63 a F-64 jsou pouze interiérové materiály

### Vlastnosti

Interiér	■	■*	Exteriér
Stříhání	■		Řezání
Sítotisk	■	■	Horká ražba
Odolnost proti poškrábání	■	■	Pružnost
Odolnost proti přelomení	■	■*	UV odolnost
		80°C	Max. teplota

### Ceny v € bez DPH

Tloušťka	0.2 mm
Cena za 1 ks	12.21

# PŘÍLOHA P XI: KATALOGOVÝ LIST PRODUKTU CERMARK

62 Podpůrné prostředky

BARVENÍ

## Laserové značení kovů



### TherMark



TherMark je přípravek na vodní bázi pro černé značení kovů. Stačí jej nanést (nebo nastříkat) na materiál a nechat 2 minuty zaschnout. Po laserování stačí omýt vodou.

Popis	Objem nebo velikost	Obj. č.
Thermark LMM 14 Sprej	170 g (6 oz)	67120 (*)
Thermark LMM 14 Tekutý ikoust	50 g (1,76 oz)	67119
Thermark LMM 6018LF1 Páska	2,54 cm x 15 m (1" x 50')	71866
Thermark LMM 6018LF2 Páska	5 cm x 15 m – (2" x 50')	67121

### CerMark



CerMark je přípravek na bázi rozpouštědla. Tato sada obsahuje tužidlo umožňující snadnější manipulaci s přípravkem pro jeho nanesení na laserovaný materiál (vhodné pro velkoobjemové značení). Výsledkem je stejné trvalé černé značení.

Popis	Objem nebo velikost	Obj. č.
Cermark LMM 6000 Sprej	340 g (12 oz)	68880 (*)
Cermark LMM 6000 Pasta	50 g (1,76 oz)	68878 (*)
	250 g (8,82 oz)	68879 (*)
	500 g (17,64 oz)	69974 (*)

Upozornění: tyto produkty pro barevné značení kovů na laseru vyžadují zvláštní bezpečnostní opatření. Používejte je v dobře větraných prostorech a vždy používejte ochranný oděv a rukavice.

### Bezpečnostní sada



CerMark je přípravek na bázi rozpouštědla. Tato sada obsahuje tužidlo umožňující snadnější manipulaci s přípravkem pro jeho nanesení na laserovaný materiál (vhodné pro velkoobjemové značení). Výsledkem je stejné trvalé černé značení.

\* Tyto položky jsou dodávány pozemní přepravou. Pro jiný druh přepravy nás, prosím, kontaktujte.

Poznámka z CerMark: Všechny produkty lze použít na většinu povrchově neupravených kovů. Vynikající pro značení kovů CO2 laserem. Před použitím si důkladně přečtěte pokyny.