



## **Středoškolská technika 2019**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na  
ČVUT**

# **VOLBA A OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO GRAVÍROVÁNÍ**

**David Jursa**

Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy,  
Budějovická 421, Sezimovo Ústí 391 02

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 12: Tvorba učebních pomůcek, didaktické technologie



## Volba a optimalizace řezných podmínek pro gravírování

David Jursa  
Jihočeský kraj

Sezimovo Ústí, 2019

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 12: Tvorba učebních pomůcek, didaktické technologie**

## **Volba a optimalizace řezných podmínek pro gravírování**

### **Selection and optimization of cutting conditions for engraving**

**Autoři:** David Jursa

**Škola:** Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy,  
Budějovická 421 Sezimovo Ústí, 391 02

**Kraj:** Jihočeský kraj

**Konzultant:** Mgr. Daniel Kříž

Sezimovo Ústí, 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Sezimovo Ústí dne 8. dubna 2019

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu učiteli Mgr. Danielu Křížovi, který byl vedoucím mé práce a pomohl mi s problémy, které se týkaly teoretické a praktické části a za sehnání potřebných materiálů. Dále bych rád poděkoval spolužákovi Denisu Plochovi, který mi sehnal další materiály, které jsou využity v této práci. Zároveň děkuji vedení Vyšší odborné školy, Střední školy, Centra odborné přípravy a pedagogům této školy za umožnění využít ke zpracování projektu moderní zařízení odborných laboratoří.

## **Anotace**

Práce SOČ je zaměřena na porovnávání řezných podmínek různých technických materiálů pro gravírovací stroj Gravograph LS100ex Fiber.

Teoretická část popisuje jednotlivé způsoby gravírování, vývoj a používané technologie. Praktická část je zaměřena na sledování řezných podmínek (výkon a rychlost posuvu) při gravírování do různých technických materiálů. Součástí práce je vzorník řezných podmínek pro jednotlivé materiály.

## **Klíčová slova**

Gravírování; řezné podmínky; kovové materiály; obrábění; plech; laser; nástroj; stroj; rytí

## **Annotation**

SOČ's work is focused on comparing the cutting conditions of various technical materials for the Gravograph LS100ex Fiber engraving machine. The theoretical part describes individual ways of engraving, development and used technologies. The practical part is focused on cutting conditions (laser power and frequency) when engraving into various technical materials. The work includes a sample of cutting conditions for individual materials

## **Keywords**

Engraving; cutting conditions; materials; metals; working; sheet metal; laser; tool; machine; working;

## Obsah

1	Úvod.....	6
2	Technologie gravírování .....	7
2.1	Princip gravírování .....	7
2.2	Gravírovací stroj.....	9
2.2.1	Pantografy .....	9
2.2.2	Plottery .....	10
2.2.3	Malé gravírovací stroje .....	10
2.2.4	Laserové gravírovací stroje .....	11
2.3	Mechanické gravírování .....	12
2.3.1	Nástroje určené pro mechanické gravírování.....	13
2.4	Laserové gravírování .....	14
2.4.1	Laserový gravírovací stroj.....	15
2.4.2	Postup při laserovém gravírování.....	16
2.4.3	Laser .....	18
2.5	Rozdíl mezi laserovým a mechanickým gravírováním .....	30
2.6	Budoucnost gravírování a gravírovacích zařízení .....	30
3	Matetirály pro gravírování .....	31
3.1	Plasty .....	31
3.2	Dural – hliník.....	31
3.3	Dřevo .....	31
3.4	Mosaz .....	32
3.5	Nerez .....	32
3.6	Sklo.....	32
3.7	Kůže.....	32
3.8	Papír.....	32
4	Software .....	33
5	Řezné podmínky .....	34
6	Tvorba vzorníku pro gravírování .....	36
6.1	Výběr materiálů pro gravírování .....	36

6.1.1	Materiály pro gravírování .....	37
6.2	Příprava na gravírovacím stroji .....	39
6.2.1	Gravograph LS100ex Fiber .....	39
6.3	Stanovení řezných podmínek pro gravírování.....	41
6.4	Gravírování do ocelí .....	43
6.4.1	Zkouška na ocel 11 523.....	44
6.4.2	Zkouška na ocel 12 050.....	45
6.4.3	Zkouška na ocel 11 416.....	46
6.4.4	Zkouška na ocel 17 255 - nerez.....	47
6.4.5	Zkouška na ocel 17 240.....	49
6.4.6	Zkouška na ocel 17 251.....	50
6.4.7	Zkouška na ocel 11 321.....	51
6.4.8	Zkouška na ocel 11 375.....	52
6.4.9	Zkouška na ocel 11 503.....	53
6.4.10	Zkouška na pozinkovaný plech.....	54
6.5	Zhodnocení gravírování a tvorba vzorníku .....	55
7	Závěr .....	56
8	Seznam zdrojů.....	57
9	Seznam obrázků .....	59
10	Seznam tabulek .....	60
11	Seznam grafů.....	60
12	Seznam příloh.....	61



# ÚVOD

Práce SOČ se zabývá porovnáváním řezných podmínek laseru (výkon laseru a rychlost posuvu) u různých technických materiálů na gravírovacím stroji Gravograph LS100ex Fiber.

Gravírovací stroj je určen primárně pro gravírování kovových materiálů. Výchozím materiálem pro vzorky jsou plechy z různých konstrukčních ocelí. Nekomové materiály jsou použity jako zkušební vzorky pro seřízení stroje.

Teoretická část se zabývá technologií gravírování. Podrobně popisuje jednotlivé druhy gravírování, gravírovacích strojů, nástrojů a řezné podmínky pro jednotlivé druhy gravírování. Dále se tato část zabývá materiály, které jsou vhodné pro gravírování, využitím gravírování a speciálními softwary pro gravírování.

Praktická část je zaměřena na gravírování vybraných konstrukčních ocelí a stanovení řezných podmínek laseru na gravírovacím stroji Gravograph LS100ex Fiber. Výsledkem práce je vytvoření katalogu řezných podmínek, který bude sloužit jako pomůcka, díky které bude moci obsluha gravírovacího stroje vhodně zvolit nastavení laseru na daný materiál. Celý proces gravírování bude probíhat na školním gravírovacím stroji ve školních dílnách.

# TECHNOLOGIE GRAVÍROVÁNÍ

Asi každý člověk, který se pohybuje v oblasti reklamy nebo reklamních předmětů se setkal se slovem gravírování. Slovo pochází z francouzštiny a původně znamenalo rytí do povrchu tvrdých materiálů, jako jsou například kovy, kámen, sklo atd. Tato technologie se však časem vyvíjela a nepoužívá se jen na tvrdé materiály, ale i na plastické hmoty a dřevo. Nejvhodnější jsou však vícevrstvé materiály. Tím jsou myšleny například pokovené plasty, eloxovaný hliník nebo kombinace dvou plastů nebo kovu s plastem. (1)

## Princip gravírování

Technologie, která se provádí strojově a nahradila ruční rytí. Pomocí gravírování jsou vytvářeny nápisy, loga nebo jiné ornamenty odebráním materiálu. V minulosti rytci pracovali s rydly, která měla různý tvar. Vyryté nápisy byly zdobeny zlatem, cínem nebo stříbrem. Místo nápisů rytci zdobili například náhrobní kameny, erby a tvořili různé ornamenty. V dnešní době je ruční rytí nahrazeno moderním gravírováním. Princip gravírování je u všech druhů stejný. Jediné, co se liší je způsob rytí do materiálu. Můžeme rýt ručně nebo za pomoci nějakého stroje (gravírky). (2)



Obrázek 1: Ruční rydlo

Nejznámější druhy gravírování jsou mechanické a laserové, které se v dnešní době využívá nejčastěji. Mechanické gravírování se dělí na dvě podskupiny, které se liší způsobem zpracování. První způsob je gravírování frézováním a druhé je gravírování rytím nejčastěji za pomoci diamantového hrotu. Gravírování rytím se používá na odběr materiálu v menší ploše a v jedné rovině. Naopak u gravírování frézováním je možný odběr materiálu i v různých hloubkách. (1)

U mechanického gravírování je pracovní nástroj (diamantový hrot, kovový fréza) v přímém styku s povrchem předmětu, který gravírujeme. K mechanickému gravírování jsou použity buď manuální pantografy, nebo CNC plottery (plotry). Naopak u laserového gravírování nedochází k přímému dotyku nástroje s gravírovanou plochou. Tento kontakt je zjišťován pomocí laseru. U tohoto typu jsou použity laserové CNC plottery.

Při volbě druhu gravírování je nutné vždy vycházet z typu značeného předmětu, grafické předlohy (obrázek, logo). Pokud jsou na předloze nějaké ostré úhly, tak je výhodnější využít gravírování laserem, který dosáhne 100% přesnosti než mechanické. (2)



Obrázek 2: Příklad gravírování

## Gravírovací stroj

Hlavní rozdělení je stejné jako u obráběcích strojů. Stejně jako soustružení a frézování je gravírování rozděleno na manuální (tzv. pantografy) a počítačem řízené plottery (CNC). (3)

### Pantografy

Manuální stroje, které využívají šablony písmen. Mají různá uspořádání ramen, kde na jedné straně ramena je vodící kolík a na druhé straně gravírovací fréza. Tato soustava ramen umožňuje zmenšovat, zvětšovat převracet výsledek. Podmínkou je vždy, aby byla přítomna šablona s tvarem, podle které vedeme vodící kolík, a tak frézujeme. Pokud nemáme šablonu a nemůžeme si ji obstarat, tak si ji musíme vytvořit ručně, nebo pomocí gravírovacího plotteru.



Obrázek 3: Gravírovací pantograf

## Plottery

Jsou to počítačem řízení gravírovací stroje, kde je fréza řízena pomocí počítačového návrhu. Výhodou oproti pantografům je velká tuhost konstrukce a vedení frézy pomocí krokových motorů, tudíž přesnost. U strojů, kde jsou pohyblivé části poháněny krokovým motorem přes ozubení řemeny, je přesnost nižší z důvodu velkých sil, které vznikají ve všech osách (horizontální X, Y a vertikální Z). Přesnost obrobení povrchu závisí na velikosti posuvu frézovací hlavy na jeden krok motoru. Posun by tedy neměl přesáhnout 0,5 mm/krok. Kvalitní gravírovací plottery disponují posuvem i 0,1 mm/krok.

### Malé gravírovací stroje

Určeno pro tvorbu jednoduchých štítků. Návrh je vytvářen přímo v gravírovacím stroji (stroj má omezené možnosti zpracování). Výhodou je krátká doba pro zpracování.



Obrázek 4: Gravírovací plotter EGX-400/600

## **Laserové gravírovací stroje**

Jedny z nejmodernějších druhů gravírovacích strojů a dělí se na několik druhů podle použitého laseru. Jeden z nejpoužívanějších druhů laseru je CO<sub>2</sub>, díky kterému dokážeme gravírovat organické materiály jako dřevo, plast, sklo a kůže. Výhody laseru jsou přesnost, rychlost a flexibilita a neexistují žádná omezení, jako například otupení nástroje nebo jeho zničení. Výsledkem gravírování je přesný a trvalý popis, který lze odstranit jedině hrubou silou.

V dnešní době je popis laserem velmi oblíbený hlavně při výrobě reklamních předmětů. Tato technologie postupně vytlačuje ostatní druhy gravírování, kvůli přesnému popisování a dlouhou trvanlivostí. Jedno z největších využití je umístování loga na předměty ze dřeva, skla, platů, gumy, kůže i kovu (nože, dřevěná prkénka, přívěšky, zapalovače atd.)

Tento způsob technologie představuje dokonalé propracování vygravírovaného nápisu jak technicky, tak esteticky. Tato metoda je založena na odpařování materiálu nebo barvy do hloubky v řádů mikrometrů, kde hloubka gravírování je až do 1 mm. (3)

## Mechanické gravírování

Základní technika gravírování, která je na rozdíl od laserového gravírování jednodušší. Druh gravírování, při kterém dochází k rytí do materiálu pomocí gravírovacího hrotu. Gravírovat se dají různé materiály, převážně kovové, proto je nutné chlazení nástroje. Například u plastových materiálů je potřeba odsávání odpadu. Na trhu je dnes mnoho zařízení pro gravírování jak v České republice, tak v zahraničí. Stroje se liší například ve formátu, stupni automatizace, přesnosti, a hlavně pořizovací cenou. Můžeme sehnat malé gravírovací stroje s pracovní plochou maximálně 100 x 100 mm nebo naopak výkonné průmyslové stroje s pracovní plochou až 2000 x 3000 mm. (1)

Mechanické gravírování se dělí podle způsobu zpracování na gravírování frézováním a gravírování rytím pomocí hrotu. U gravírování frézováním je možné odebírat materiál v různých úrovních hloubky a u gravírování pomocí hrotu se používá pro odběr materiálu v malé ploše a v jedné rovině, a tudíž je možné vytvářet jemné texty a obrázky do jakéhokoliv předmětu. (1) (4)



Obrázek 5: Gravírovací plotr IS 400

## Nástroje určené pro mechanické gravírování

U laserových gravírovacích strojů se jako nástroj používá laserová hlava s laserovým paprskem, který se dotýká s povrchem gravírovaného předmětu. Ty se rozdělují podle druhu laseru. Bavíme-li se tedy o malých gravírovacích strojích, tak u nich se nástroje (frézy) liší tvrdostí, tvarem a složením. Podle těchto kritérií se potom určuje, na jakou práci se nástroje (frézy) použijí. Podle druhu nástroje se určuje výsledná jemnost gravírování. U 3D modelování není výjimkou, že se „obrábění“ materiálu provádí v několika krocích. V prvním kroku je provedeno hrubé odebrání materiálu, v dalších krocích pak dochází k začištění výsledného motivu. Pro hrubší odebrání materiálu je přitom možné použít jiné nástroje než pro jemné začištění a pro ostré a jemné kontury se pak nejčastěji používají diamantové řezné nástroje. Dále se používají i púlené frézy, spirálová ostří a korunky. (3) (1)

- **Diamantový hrot broušen do tvaru kužele** se při gravírování netočí, takže do materiálu pouze ryje. (zlato, stříbro, nerez). Používáme tam, kde chceme jenom velmi jemnou rytinu.
- **Diamantový hrot broušen do tvaru vyosenému jehlanu nebo kuželu** se při gravírování se může točit. Používá se na sklo, mramor a jiné tvrdé a křehké materiály.
- **Diamantové korunky** mají větší plochu gravírování a mají stejné použití jako diamantové hroty, akorát pro vytvoření velikých obrazců.
- **Púlené frézy** (nejčastěji ocelové) jsou univerzální a nejpoužívanější gravírovací nástroje.



Obrázek 6: příklad nástrojů pro mechanické gravírování



## Laserové gravírování

Nejrozšířenější druh gravírování v dnešní době. U této technologie nedochází k přímému kontaktu s materiálem. Tento kontakt zajišťuje laserový paprsek, takže pomocí laseru s odpařuje materiál. Tento jev se jmenuje ablace. Jedná se poměrně o mladou metodu gravírování a představuje dokonalé propracování vygravírovaného nápisu či jiné grafiky. Nejdůležitější součástí je zdroj laserového paprsku. I přesto že existuje několik druhů těchto zdrojů, pro gravírování jsou vhodné pouze některé. Nejčastěji se setkáme s využitím laseru s trubicí CO<sub>2</sub>. Tento způsob se používá jak na jednovrstvé materiály, tak na vícevrstvé. Lasery nemají velkou intenzitu, kvůli tomu se dají používat ke gravírování do velmi malé hloubky, což je nevýhoda. Chceme-li gravírovat do pokovených materiálů a do materiálu s větší tvrdostí, musíme použít laser, který má jako zdroj diodu LD10-C. Vygravírovaná textura vypadá skvěle jak po technické, tak po estetické stránce. (1) (5)

Tento způsob gravírování našel uplatnění např. v plastikářských, gumárenských, hutních průmyslech. Na obrázku vidíte vygravírovaný symbol, který se podobá QR kódu. Tyto tři textury se liší pouze hloubkou gravírování a velikostí. (6)



Obrázek 7: příklad laserově vygravírovaného QR kódu

## **Přednosti laserového gravírování:**

- nesmazatelnost
- trvalost
- přesnost
- odolnost
- bezkontaktní metoda
- originalita
- možnost zpracovat i tepelně upravené materiály

Laserové gravírovací stroje jsou stejně jako mechanické ovládány počítačem. Laserová hlava se pohybuje podle signálů z počítače. Hloubka gravírování je ovlivněna dvěma parametry. Intenzitou (sílu) paprsku a rychlostí posuvu. Při malé rychlosti a velké síle laseru dostáváme velkou hloubku. Je třeba dbát na to, aby při gravírování hořlavých materiálů nenastalo vznícení materiálu. U těchto materiálů je lepší snížit intenzitu laseru a opakovat laserové vypalování, dokud nebudeme v požadované hloubce. (1)

## **Laserový gravírovací stroj**

Nejdůležitější částí gravírování laserovým paprskem je zdroj tohoto paprsku, a právě těchto zdrojů existuje celá řada. Původně byly použity pro vojenský výzkum naváděcích systémů různých zbraní. Po vynalezení lepších systémů byly tyto zdroje komerčně využity. Ze všech různých zdrojů laserového paprsku jsou pro gravírování vhodné pouze dva. Lasery CO<sub>2</sub> a lasery Nd-YAG. Gravírovací stroje, které využívají laser CO<sub>2</sub> se používají jak na jednovrstvé materiály (dřevo, sklo, guma, desky z některých plastů a kůže), tak na dvouvrstvé materiály typu plast-plast, plast-kov, folie-kov nebo eloxovaný hliník. Laserovým zdrojem nové generace je diodový laser. Rozdíl mezi paprskem diodového laseru a laseru CO<sub>2</sub> je takový, že paprsek laseru CO<sub>2</sub> proniká do malé hloubky opracovávaného materiálu a gravíruje pouze povrchově, paprsek diodového laseru jsou schopné zastavit materiály s větší hustotou – například kovy. U materiálů s menší hustotou jsou tyto lasery schopny proniknout skrz. Proto se toto gravírování provádí v ochranné komoře, aby se nemohlo stát, že by se laserový paprsek odrazil a poranil obsluhujícího.



Obrázek 8: laserový gravírovací stroj Gravograph LS100

Tento typ gravírovacích strojů funguje na principu kreslicího nebo řezacího plotteru. Tyto plottery se od sebe liší pouze koncovou hlavou produkční hlavou. Ta je u laserových gravírovacích strojů tvořena zdrojem laserového paprsku, který je složitou soustavou optických skel veden nad gravírovací plochu do kolmé pozice nad gravírovaný předmět. Na tento předmět dopadá určitou intenzitou a pohybuje se určitou rychlostí. Poměr těchto dvou faktorů je ovlivňován druhem a hustotou povrchu gravírovaného předmětu. Tyto dva faktory zaručují účinnost gravírování. Při maximální intenzitě a minimálnímu posuvem se dosahuje největší hloubky gravírování. Je třeba dbát na to, aby teplota gravírování nezpůsobila vznícení nebo jiné poškození. Pohyb paprsku je řízen pomocí počítače stejně jako pohyb kreslicí hlavy nebo řezacího nože. (2)

### **Postup při laserovém gravírování**

Postup při laserovém gravírování je totožný s prací na kreslicím nebo řezacím plotteru. Podklady pro gravírování musí být dodány v běžných grafických formátech. Grafické formáty mohou být zpracovány ve vektoru nebo v bitmapě. Digitálně zpracovaná grafika je poté poslána na periferii stejně jako u tisku. Data převezme driver laserové gravírovací stroje a potom obsluha ovládá spouštění jednotlivých cyklů. Náklad a výklad předmětů probíhá ručně, takže po vyjmutí vygravírovaného předmětu se tam vloží další, uzavře se pracovní prostor a může být spuštěn další pracovní cyklus.

Výsledkem gravírování mohou být i polotónové obrázky rozložené autotypickou sítí. Gravírování těchto předloh je vhodné provádět na větší plochy, aby obrázek vynikl. Na malých plochách by totiž polotónový obrázek nevynikl.

Laserovým paprskem je možné gravírovat pouze rovné nebo mírně zaoblené povrchy, pokud nemáme přídatné zařízení. Na zakřivené povrchy, například válcové, musíme aplikovat adaptér na otáčení gravírovaného předmětu.



Obrázek 9: příklad gravírování válcového předmětu

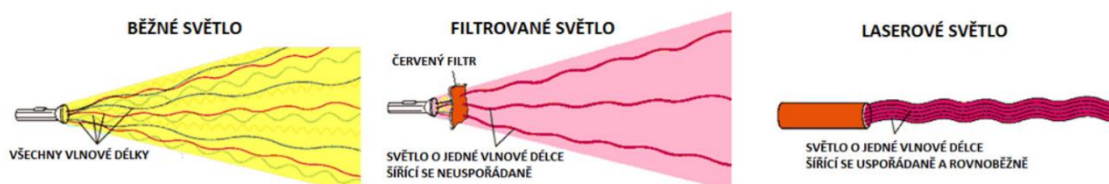
Tento adaptér vyřadí pohyb hlavy v ose Y, takže se paprsek pohybuje pouze v ose X. Pohyb v ose Y je nahrazen adaptérem, který otáčí gravírovaný předmět a musí být synchronizován s pohybem v ose X. Pohyb adaptéru je řízen ovládacím programem gravírovacího zařízení.

## Laser

*„Laser je optický zesilovač tedy přístroj, který dokáže zesílit světelné vlnění, a to díky stimulované emisi záření.“<sup>1</sup>*

*„Jde o kvantový generátor a zesilovač koherentního optického záření“<sup>2</sup>*

Laser, respektive laserový paprsek je tvořen takzvaným elektromagnetickým zářením. Paprsek se šíří přímočaře Laserový paprsek je koherentní, to znamená, že je vnitřně uspořádané a zřádkované. Světlo, které vydává, není jako ze žárovky. Tam se světlo šíří všemi směry, ale laserové světlo je soustředěno do úzkého paprsku. Laserový paprsek přenáší velké množství energie. Tato energie se při vzájemném působení s prostředím mění na teplo a laserový paprsek řeže, vrtá, sváří a kalí. Laserové záření je monochromatické, to znamená, že fotony mají stejnou barvu a paprsek má jednu barvu podle prostředí, ve kterém laser vznikl. (7) (8)



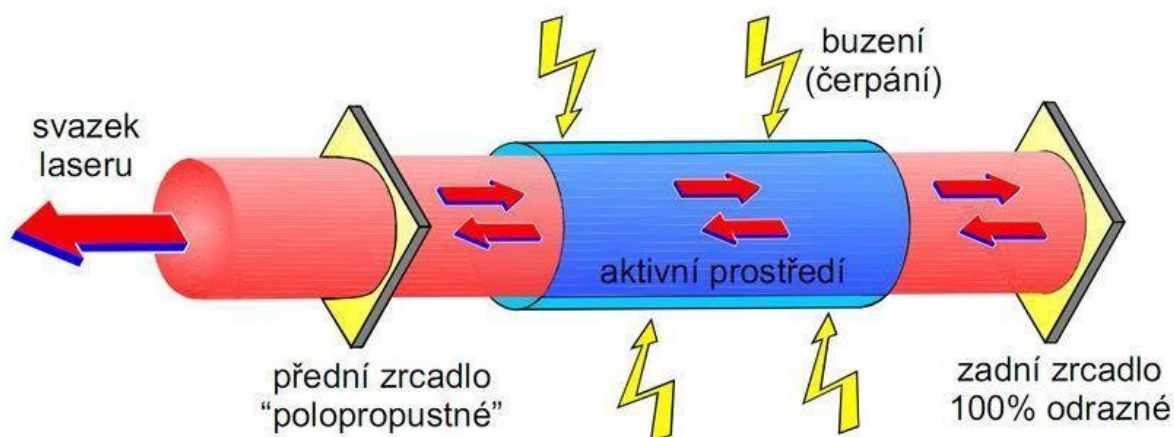
Obrázek 10: typy světla

V atomu jsou elektrony, které se nacházejí na různých menších energetických hladinách. Při zvýšení energie se elektron dostane do vyšší energetické hladiny, kde se potom vrací zpět na menší hladinu a přebytečnou energii ztrácí. Jeden ze způsobů, jak se elektron zbavuje nadbytečné energie je vyzáření fotonu, jehož energie se rovná rozdílu energií dotyčných energetických hladin. (7)

Základem laseru je aktivní prostředí, které je buzeno buď opticky, nebo elektricky. Tím dostáváme energii do laseru, která je pomocí procesu stimulované emise vyzávena v podobě laserového svazku, je nutné vytvořit ještě tzv. optický rezonátor tvořený odraznými zrcadly. (7)

<sup>1</sup> Co je vlastně laser. [Online] [Citace: 24. leden 2019.] <http://czechlasers.cz/co-je-vlastne-laser/>

<sup>2</sup> Co je vlastně laser. [Online] [Citace: 24. leden 2019.] <http://czechlasers.cz/co-je-vlastne-laser/>



Obrázek 11: laser

### Rezonátor:

Zajišťuje zpětnou vazbu aktivního prostředí, to znamená pouze fotony, které se šíří podél osy rezonátoru budou díky zrcadlům vráceny zpět do aktivního prostředí. Tam působí další stimulovanou emisi – kolimovaný výstup. Svazku podél osy rezonátoru.

### Chlazení:

Je k tomu, aby odvádělo přebytečné teplo z aktivního prostředí, bez něho by došlo k poškození a zničení celého zařízení.

### Aktivní prostředí:

Obsahuje atomy, které mají systém energetických hladin pro stimulovanou emisi záření. Toto prostředí může být kapalné, plynné, pevnolátkové nebo plazmatické.

### Buzení:

Aktivnímu prostředí dodává energii a tím zajišťuje inverzní populaci hladin. Buzení může být buď optické, elektrické, chemické nebo termomechanické. (7)

## **Lasery můžeme rozdělit na:**

### Plynové:

Aktivní prostředí je plyn. Buzení je vzniklé elektricky a opticky. Příkladem je například helium-neonový plyn nebo CO<sub>2</sub> laser. Nejčastěji se tento typ používá na řezání a gravírování.

### Excimer:

Je to speciální třída plynových laserů. Aktivním prostředím v tomto případě je element, který generuje záření a jmenuje se excimer. Je to speciální molekula, a jedna z jejích složek je v excitovaném stavu. Buzení vzniká elektrickým výbojem. Využívá se v polovodičovém průmyslu a jinde, kde je zapotřebí vlnové délky z UV oblasti a vysokých energií v pulsu.

### Pevnolátkové:

Aktivní prostředí je nejčastěji monokrystal (pevná látka). Tento typ je buzen výbojkami a laserovými diodami. Příkladem je třeba Nd: YAG laser (prostředím je monokrystal yttrium aluminium granátu dopovaného atomy neodymu). Tento typ se také používá na gravírování, řezání. K tomu také na svařování.

### Vláknové:

Je to speciální typ pevnolátkových laserů. Optické vlákno je dopováno atomy erbia nebo yterbia. K buzení dochází stejně jako u pevnolátkových pomocí laserových diod. Tento typ laseru neobsahuje žádná zrcadla.

### Polovodičové:

Zvané také diodové, mají za aktivní prostředí elektricky čerpanou polovodičovou diodu. Tyto lasery se pohybují od výkonu MW do kW a mají vysokou účinnost. Tento typ může být miniaturní a používá se třeba v CD/DVD přehrávačích nebo laserových tiskárnách. Tento typ se používá nejčastěji na svařování jak kovů, tak i platů. Dále se používá kalení.

### Chemické:

Tento typ se používá v armádě. Tento typ je buzen chemickou reakcí a jsou schopny dodat ohromné množství energie v krátké době. (7)

## Mezi hlavní typy laserů, které se používají v průmyslu patří:

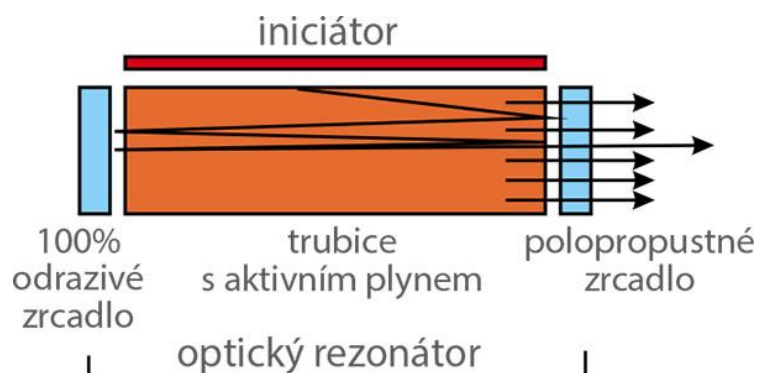
### Laser CO<sub>2</sub>

Nejstarší typ plynového laseru, primárně určený k řezání a gravírování nekovových materiálů. Díky vlnové délce řezného paprsku dokáže tento typ značit či řezat materiály jako například překližka, papír, polystyren, kůže, textil a guma. Vlnová délka je vyšší než u diodových laser a efektivně se vstřebává do těchto materiálů. Laser vzniká v prostředí, které je naplněno oxidem uhličitým (10-20%), dusíkem (10-20%), vodíkem, xenonem (pár procent) a heliem. Buzení aktivního plynu se provádí radio-frekvenčním vlněním mezi elektrodami.

Přednosti CO<sub>2</sub> laseru:

- Integrace do výrobních linek
- Nejvýhodnější typ laseru
- Snadná obsluha
- Kompaktnost
- Minimální požadavky na údržbu
- Rychlé značení

Tento typ laseru se dodává ve výkonech od 10 do 75W, ale dosahují výkonu až 20kW (9)

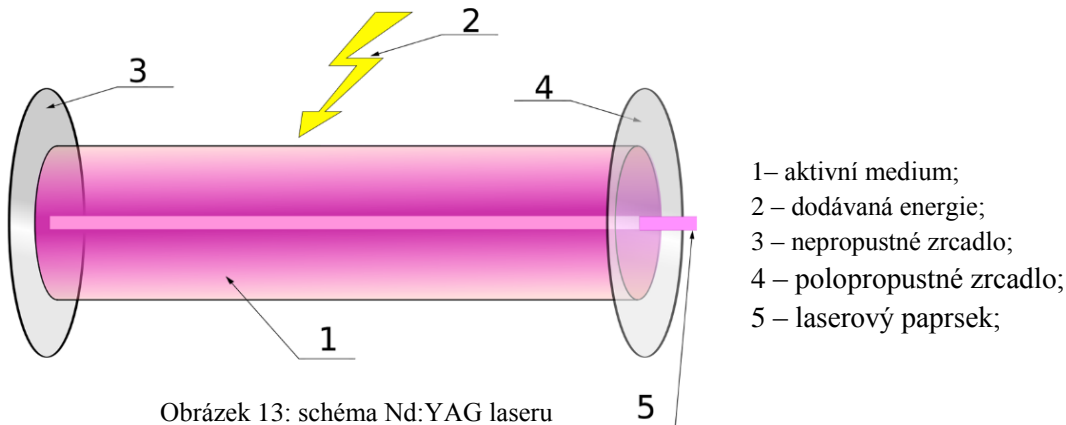


Obrázek 12: schéma CO<sub>2</sub> laseru



## Laser Nd:YAG

Historicky nejstarší typ laseru, který byl použit v průmyslu. Nejpoužívanější typ pevnolátkového laseru, kde aktivním materiálem je izotropní krystal (růžovo-fialové barvy) Yttrium Aluminium Granátu ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) dopovaný ionty neodymu ( $Nd^{+3}$ ). Tento krystal má délku 15 cm a průměr 1 mm. Vlnová délka záření je 1064,1nm. (10) (11) (12)



Tento typ je nejčastěji buzen xenonovou výbojkou nebo laserovou diodou. Díky vysokému výkonu a dobré vlnové délce se tento typ dá využít v různých technologiích např: vrtání, svařování, řezání, značkování. Dále ale i v medicíně, vědě, biologii. V medicíně se používá oftalmologii (zákrok k odstranění druhotného šedého zákalu). (10)

Tento typ může být buzen dvěma způsoby:

a) Lampami (LPSS – lamp pumped solid state)

tento typ má malou účinnost přeměny el. energie na světelnou, kvůli tomu, že většina energie výbojky se přemění na teplo, a proto je nutné chlazení. Dnes se tento typ používá pro svařování laserem. Výhodou je vysoká energie, naopak nevýhodou je nízká účinnost a velké nároky na chlazení. (12)

b) Laserovými diodami (DPSS – diode pumped solid state)

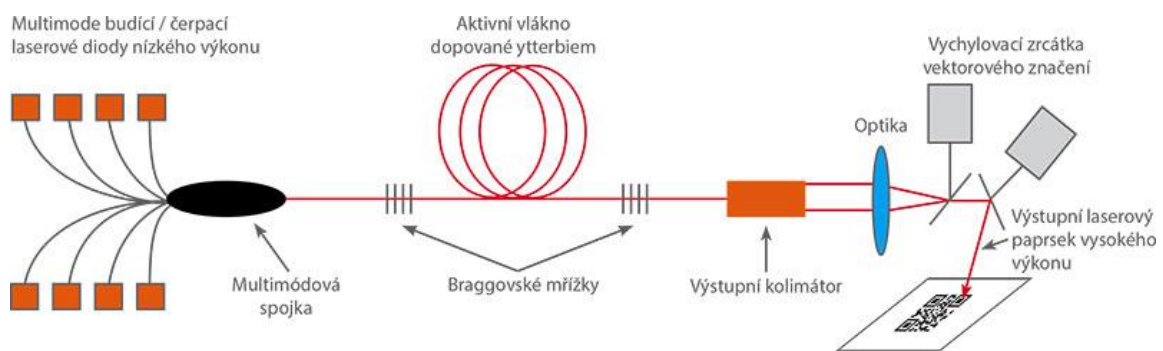
tento typ se rozděluje podle uspořádání rezonátoru na boční a zadní. U zadního buzení dosáhneme lepší kvality svazku, ale nižších výkonů. U bočního buzení zase naopak vyšších výkonů a nižší kvality svazku. Výkon těchto laserů se pohybuje kolem 100 W. Hlavní využití tohoto laseru je značení a gravírování kovů a plastů. V porovnání s LPSS má tento typ lepší účinnost, delší životnost a menší nároky na chlazení. Poslední dobou je tento typ nahrazován vláknovými pulzními lasery. (12)

### Diskový laser

Princip podobný jako u Nd:YAG, ale zde je místo krystalu použit jako aktivní prostředí malý disk. Výhoda u tohoto je teplotní profil po celém disku, který je stále stejný, a tak můžeme dosáhnout vysokých výkonů až 16 kW. Používá se zejména pro svařování a řezání kovů. Účinnost se pohybuje kolem 15-20%. (12)

### Fiber Laser – (vláknový laser)

Jedná se o technologicky nejmodernější druh pevnolátkového laseru, kde je jako aktivní medium použito optické vlákno, které je dopované lanthanoidy (prvky vzácných zemin – nejčastěji erbium nebo ytterbium). Buzení je vedeno z laserových diod přes optickou spojku do aktivního vlákna. Místo zrcadel jsou tady použity tzv. Braggovské mřížky, které jsou vytvořené přímo na optickém vlákně. (12)



Obrázek 14: princip vláknového laseru

Tento typ se dělá podle pracovního režimu na:

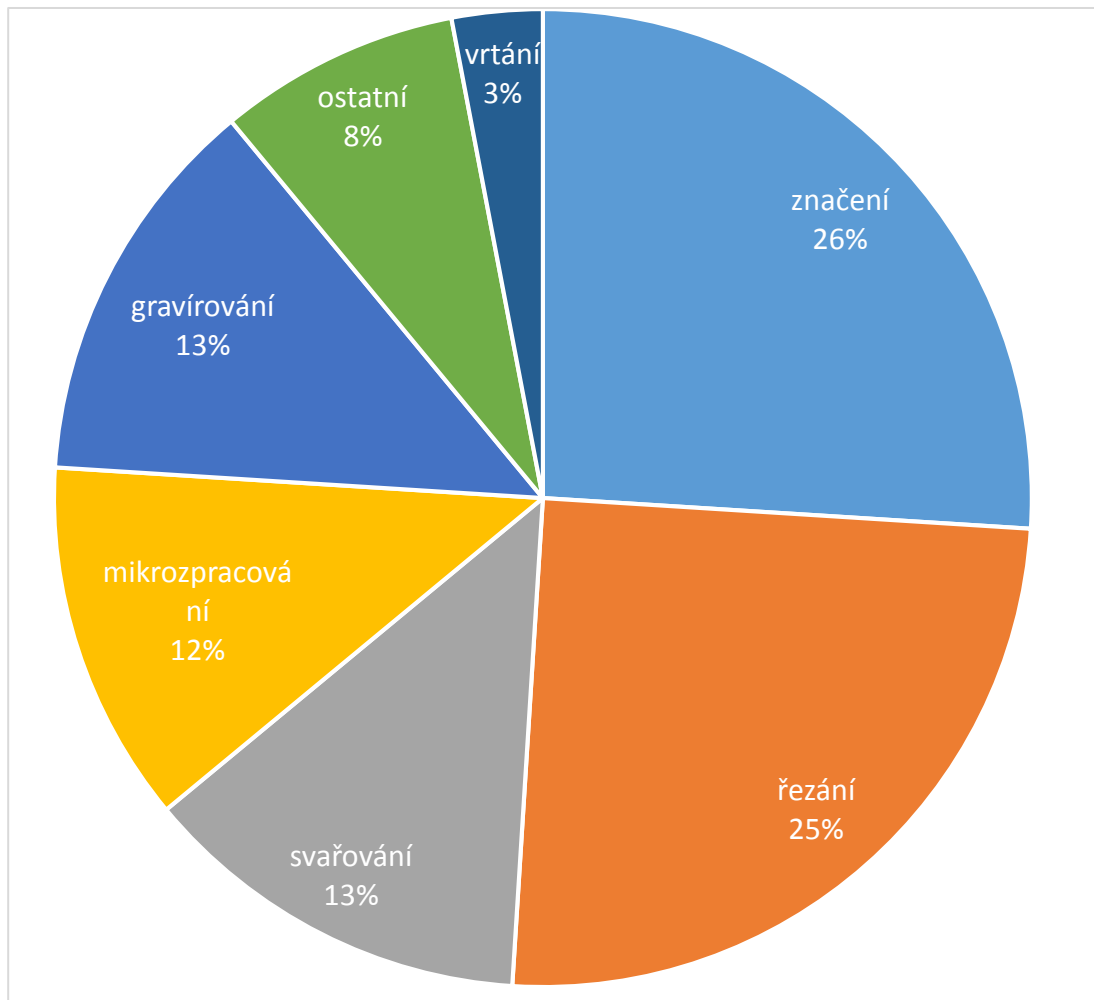
- a) Kontinuální
- b) Pulsní
- c) Kvazipulsní

Velká výhoda je jednoduchost laseru. Laser je tvořen laserovými moduly, které když spojíme, tak můžeme navyšovat výkon až 80kW. Další výhodou je účinnost 35% životnost až 100 000 hodin, malé pracovní nároky a vysoká kvalita. Dále nízké provozní náklady nulové nároky na údržbu. (12)

### Diodové lasery

Aktivním prostředím je elektricky čerpaná dioda. Tyto lasery se pohybují od výkonu v MW do kW. Vysoká účinnost, ale nízká kvalita výstupního svazku (laseru). Používají se například u CD/DVD, laserových tiskárnách atd. V průmyslu zejména svařování kovů i plastů. (12)

## VYUŽITÍ LASERU



Graf 1: Využití laseru v technologii

V grafu můžete vidět, procentuální zastoupení nejrozšířenější využití laseru. Jak vidíte největší procenta mají řezání a značením a za nimi je gravírování. Mezi gravírováním a značením je rozdíl.

Laserové značení je to, co se stane, když paprsek interaguje s povrchem materiálu a mírně mění jeho vlastnosti nebo vzhled naopak laserové gravírování je proces, při kterém laserový paprsek fyzicky odstraňuje povrch materiálu, aby odhalil dutinu, která odhaluje obraz v úrovni očí. (13)

## Řezání a vyřezávání

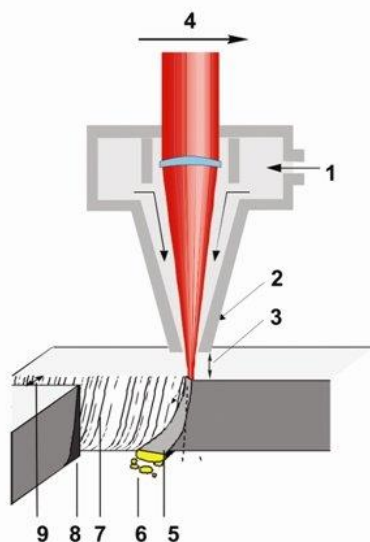
Laserový paprsek je přiváděn do místa řezu soustavou zrcadel a v pracovní hlavě je zaostřován čočkou.

V tabulce můžeme vidět, do jaké tloušťky lze řezat jednotlivé materiály za použití laserů CO2 a Nd:YAG.

Materiál	CO2 laser (600 – 2000W)	Nd:YAG laser (100-1000W)
Konstrukční ocel	20 mm	6 mm
Korozivzdorná ocel	10 mm	3 mm
Slitiny hliníku	5 mm	2 mm

Tabulka 1: hloubky tloušťky materiály při řezání CO2 a Nd:YAG lasery

Řezání může probíhat buď sublimačně, kde se při vysoké intenzitě laserového záření v místě řezu materiál odpařuje nebo tavně, kde je v místě řezu materiál taven a následně odfukován pomocným plynem



- 1 – technologický plyn,
- 2 – tryska,
- 3 – vzdálenost trysky,
- 4 – řezná rychlost,
- 5 – roztavený materiál,
- 6 – struska,
- 7 – drsnost,
- 8 – tepelně ovlivněná zóna (HAZ),
- 9 – šířka řezu

Obrázek 15: princip laserového řezání

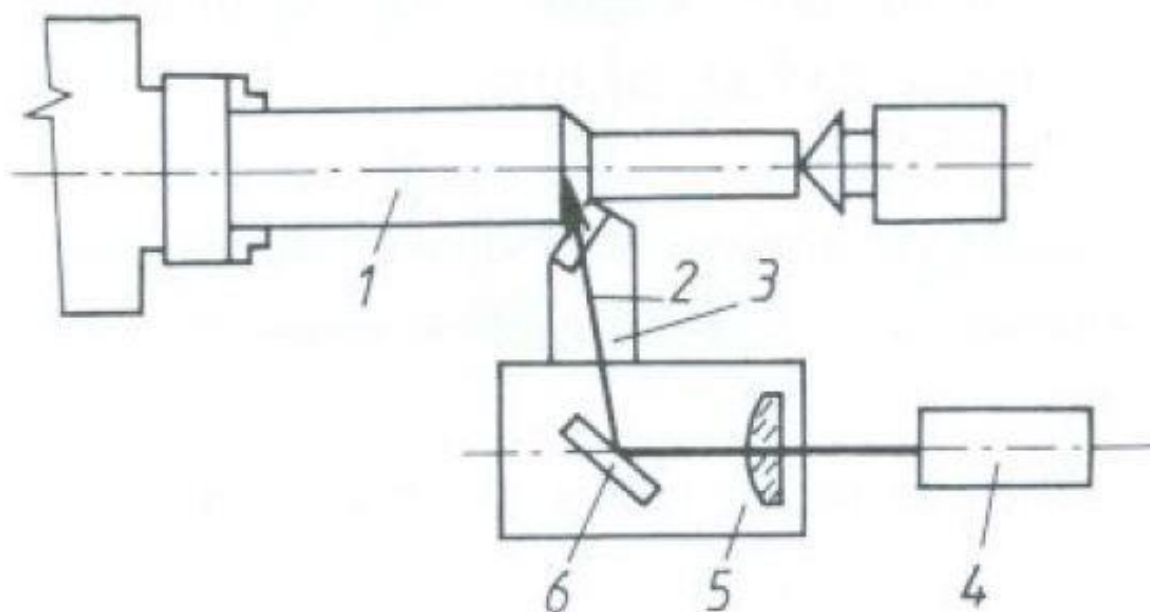
## Vrtání

Vrtání malých průměrů probíhá v pulzním režimu. Laser vysílá jednotlivé pulzy o vysoké intenzitě záření. Lze vrtat těžkoobrobitelné kovové i nekovové materiály, vrtané díry mohou být kruhové i tvarové a délka vrtané díry může být až 50 mm. Pro vyřezávání kruhových a tvarových otvorů se používají CO2 lasery, kde nejmenší průměr vyřezávaného otvoru je 5 mm, nejmenší průměr vrtané díry je 0,2 mm. Pro vrtání děj s nejmenším průměrem 0,025mm se používají Nd:YAG lasery. V průmyslové praxi se využívají Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 100–500 W, kde doba vrtání závisí na výstupním výkonu laseru a na tloušťce vrtaného materiálu.

## Soustružení

Pro soustružení se používají CO<sub>2</sub> i Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 500–2500 W. Soustružení laserem se dělí na

1. Obrábění s předehřevem: s rostoucí teplotou obráběného materiálu se mění jeho mechanické vlastnosti (snižuje se pevnost a tvrdost a tím se zlepšuje obrobiteľnosť). Nasměrujeme laserový paprsek na plochu obrobku bezprostředně před břit řezného nástroje. (14)

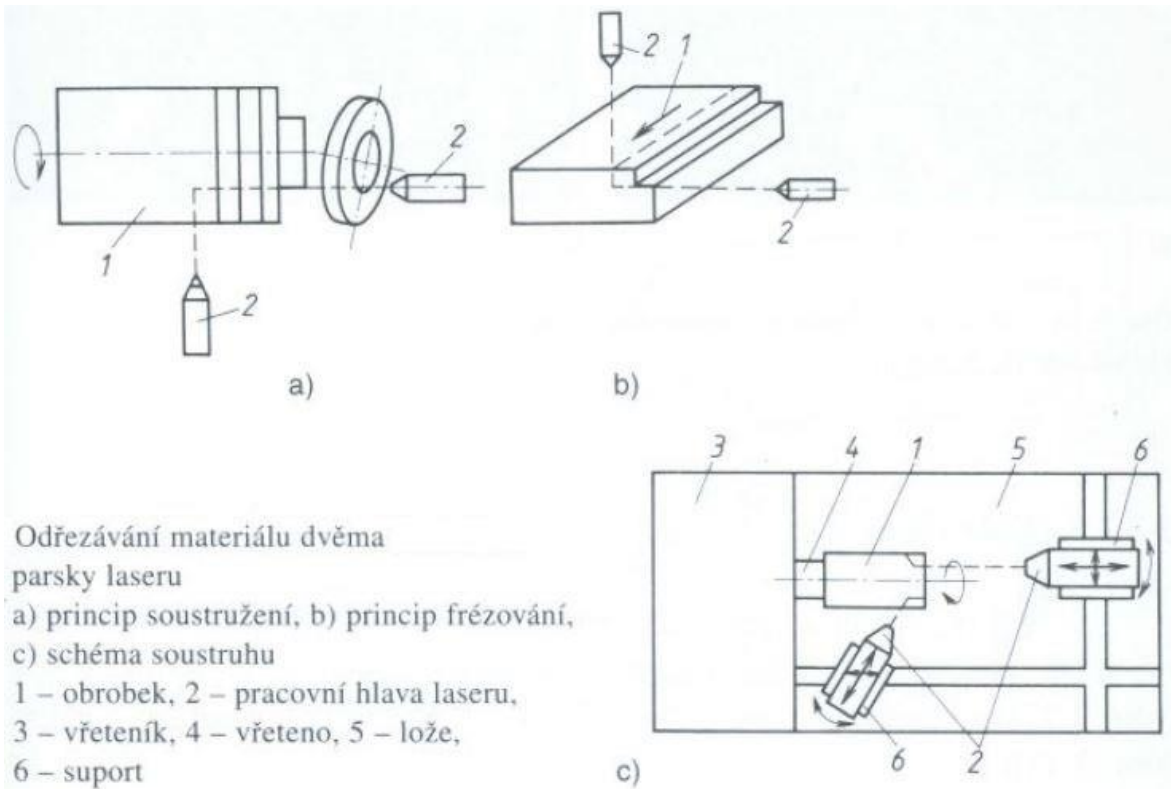


Obrázek 16: obrábění s předhřevem

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

2. Odtavování materiálu z povrchu obrobku: intenzivní přívod tepla na povrch obrobku, který se otáčí proti paprsku laseru. Působením tepla se materiál odtavuje a pomocí plynu je roztavený materiál odstraňován z místa obrábění. (14)

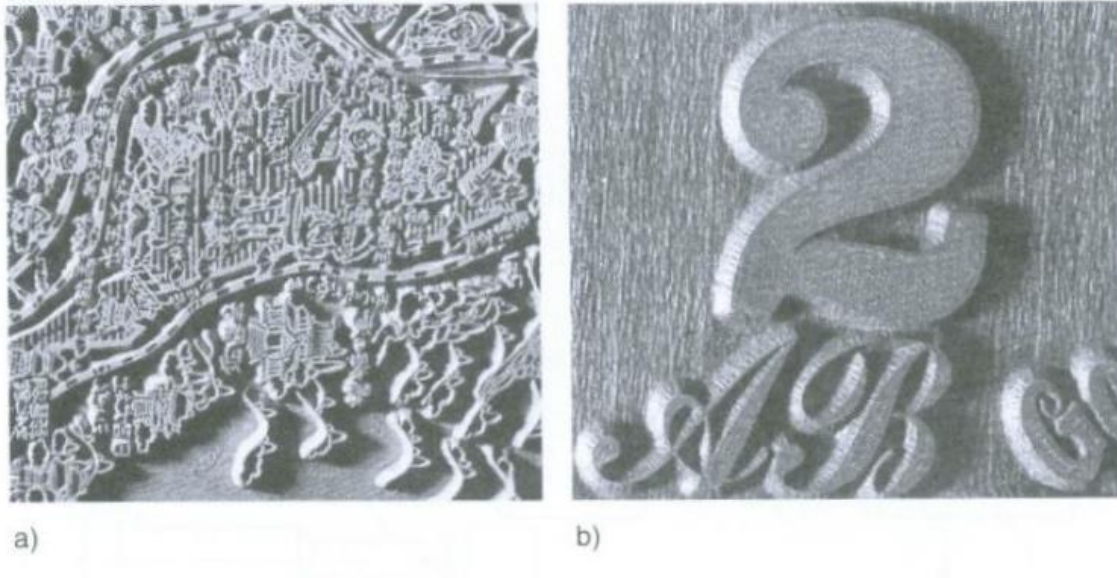
3. Odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru: dva nezávislé paprsky laseru, které jsou vzájemně skloněny pod určitým úhlem, odřezávají materiál. (14)



Obrázek 17: odřezávání materiálu dvěma paprsky laseru

### Gravírování – mikrofrézování

Používá se pro vytváření jednoduchých i velmi složitých reliéfů, především do kalených ocelí (např. do forem pro stříkání plastů, zápustek apod.), keramických materiálů, dřeva, gummy aj. Podstatou metody je odpařování materiálu v místě, kde působí paprsek laseru. Pro gravírování do kovových a keramických materiálů se používají především Nd:YAG lasery, pro gravírování do dřeva a gummy se používají CO<sub>2</sub> lasery. (14)



Obrázek 18: gravírování do gumového válce

obrázek a) část reliéfu

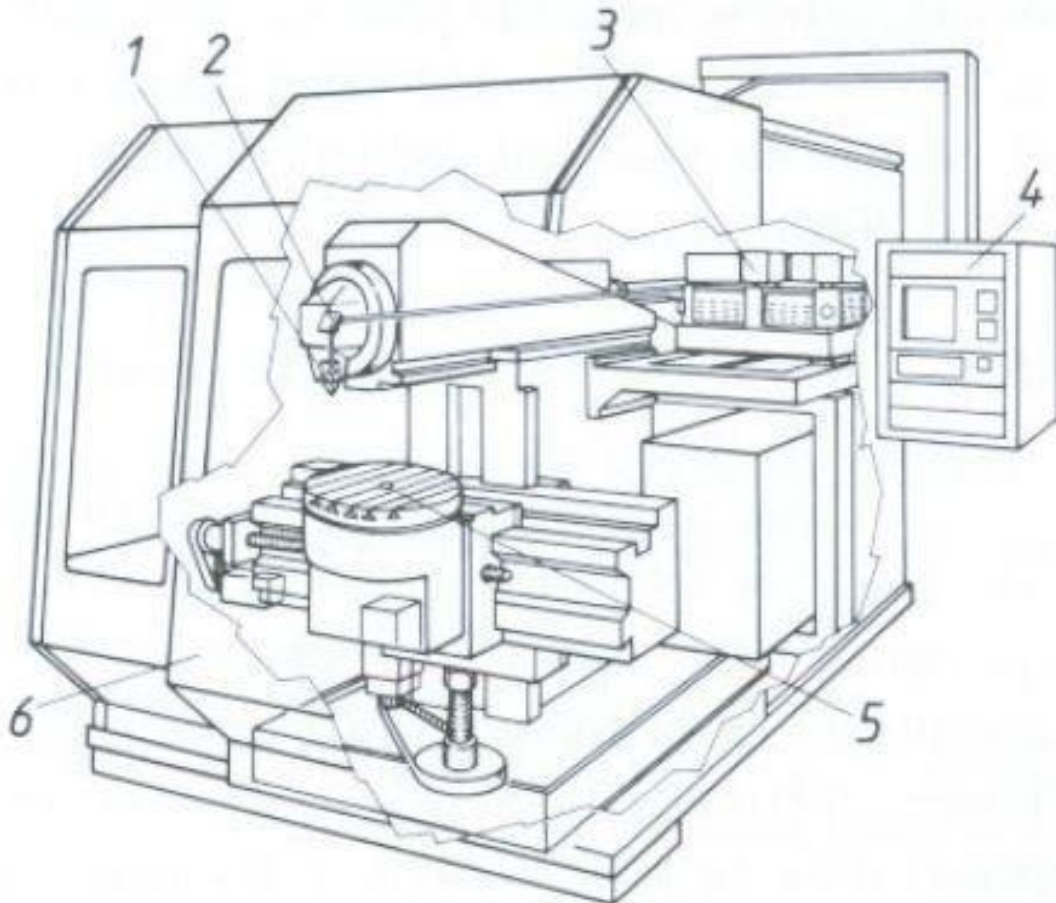
obrázek b) detail

## Frézování

Používají se dva principy stejné jako u soustružení:

1. odtavování materiálu z povrchu obrobku
2. odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru.

Používají se především lasery CO<sub>2</sub> a Nd:YAG o stejných výstupních výkonech stejně jako u soustružení. Pracovní parametry jsou při frézování stejné jako při řezání materiálu laserem. (14)



Obrázek 19: frézka s laserem jako obráběcím nástrojem

1- pracovní hlava laseru, 2 – zrcadlo, 3 – laser, 4 – CNC řídicí systém, 5 – pracovní stůl, 6 – kryt pracovního prostoru



## Rozdíl mezi laserovým a mechanickým gravírováním

Velké plus pro laserové gravírování je fakt, že při něm dochází k bezkontaktnímu opracování materiálu, to právě omezuje poškození opracovávaného materiálu. Dalším plusem pro laserové gravírování je, že je kontrastní. To znamená, že vygravírovaná plocha, vlivem zahřátí laseru, změní svou barvu na tmavě šedou až černou, takže s porovnáním se zbytkem povrchu ostře kontrastuje. To se u mechanického gravírování nestane, tam má vygravírovaná plocha stejnou barvu jako zbytek povrchu.

Nesmíme zapomenout, že laserové gravírování dosahuje velké jemnosti kresby. Nástroje na mechanickém gravírovacím nástroji mají určitou minimální mechanickou tloušťku, takže s laserovým paprskem nemůže soupeřit. (2)



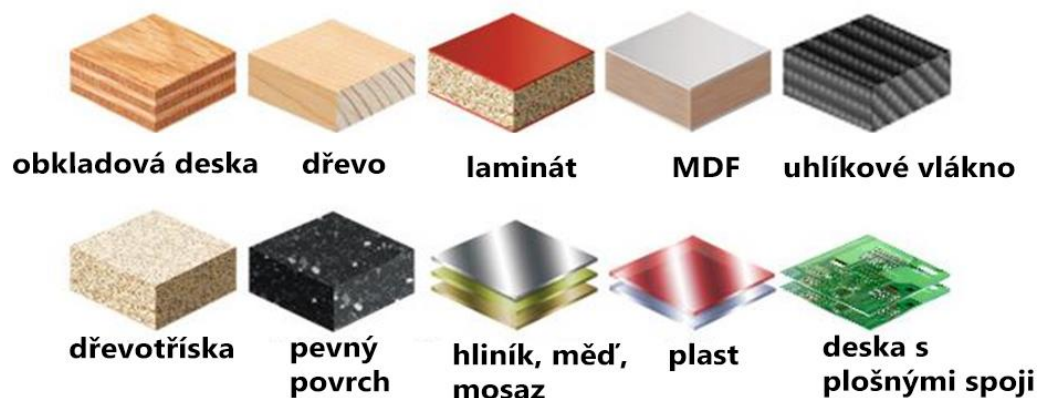
Obrázek 20: příklad laserového gravírování

## Budoucnost gravírování a gravírovacích zařízení

Jako u všech oborů, tak i do polygrafie pronikají nové technologie. Existují náznaky, že se za pár let přestanou používat mechanické gravírovací stroje a bude se všechno gravírovat pomocí laseru. Dnes se již často používají CO<sub>2</sub> lasery a Nd-YAG lasery. Ale i tyto lasery budou časem zaměněny za nějaké lepší a efektivnější. Laser, který by tyto typy mohl nahradit je vláknový laser (fiber laser), který už v dnešní době nahradil plynové CO<sub>2</sub> lasery a Nd:YAG lasery. Tento typ laseru totiž vyhovuje velikostí, výkonem i možností přeladění výstupní vlnové délky. Ovšem postupem času se vymyslí další druhy laserů, které budou lepší než fiber.

# MATÉRIÁLY PRO GRAVÍROVÁNÍ

Materiál, který budeme používat pro gravírování, musí být dobře obrobitelný. To znamená, že musí být dostatečně tvrdý, nesmí se napékat na frézu a aby nebyly vytahovány okraje. Dále nesmí být křehký, aby se okraje neštípaly. Můžeme tedy použít plasty (jednovrstvé i vrstvené), kovové materiály, nejčastěji mosaz (polotvrdá a tvrdá) a dural (hliník). Ve šperkařství se též gravíruje do zlata i do stříbra. Pokud ale dodržíme stejné řezné podmínky, tak lze gravírovat i do jiných materiálů (kůže, dřevo) atd. (3)



Obrázek 21: Příklad materiálů

## Plasty

Nejvíce používané materiály pro gravírování, hlavně dvouvrstvé. Když se odgravíruje vrchní vrstva, tak se odkryje další vrstva, která má jinou barvu, proto je vygravírovaný obraz kontrastní. (4)

## Dural – hliník

Převážně eloxovaný. Vygravírovaná místa mohou vybarvit jako jednovrstvý plast. Do duralu je možné rýt diamantem, čímž vznikají vlasové čáry, které se buď barví načerno, nebo zůstávají v přírodní barvě hliníku. Tak vznikají velmi jemné kresby. (4)

## Dřevo

Při gravírování do dřeva vzniká rytina s hnědou barvou. Světlost nebo tmavost hnědé barvi závisí na tvrdosti a povrchu dřeva. Rytinu lze vyplňovat barvou. (4)

## **Mosaz**

Vygravírovaná místa se dají vybarvit speciálními barvami. Při rytí vzniká velmi jemná kresba. Je-li často používaná, tak je nutná údržba, nebo je nutné po vygravírování opatřit ochranou vrstvou bezbarvého laku. (4)

## **Nerez ocel**

Nerez ocel je vhodná pro potravinářský průmysl, kde se klade vysoký nárok na stálost materiálu a jeho hygienickou nezávadnost. (4)

## **Sklo**

Je vhodné především pro laserové gravírování, kde lze označovat tenké i barevné sklo. Použitím pasty při laserování docílíme i barevnosti rytiny. (4)

## **Kůže**

Je také vhodná pouze na laserové gravírování. Dají se tak označovat předměty i s nerovnou plochou, oddělovat i různé tvary. (4)

## **Papír**

Při použití laseru k označování a vyřezávání papíru se dá využít této technologie ke grafické úpravě. Dají se popisovat kartonové krabice, vyřezávat ozdobná přání k různým příležitostem. (4)

## SOFTWARE

U gravírovacích strojů, které jsou ovládané pomocí počítače (CNC), je zapotřebí software, díky kterému můžeme vytvořit nápis nebo jiný ornament, který bude gravírován. Ten může být vytvořen díky HPGL jazyku, nebo v nějakém nesespecializovaném grafickém programu (Photoshop, Illustrator).

Obrázek nebo nápis si můžeme nakreslit v grafickém programu jako vektor. Grafiku lze také vytvořit přímo v programu a v jeho prostředí odeslat vytvořenou grafiku na gravírovací stroj. V těchto programech si můžeme nastavit sílu laseru, frekvenci i rychlost.

Každý výrobce gravírovacích strojů používá svůj program.

Podklady pro gravírování si můžeme navrhnout v různých programech. Nejlepší volbou jsou vektorové programy, jako jsou například Corel Draw nebo Adobe Illustrator. V těchto programech si můžeme nakreslit nebo napsat to, co budeme chtít

vygravírovat. Poté uložíme a otevřeme v programu, který obraz pošle na gravírovací stroj. Gravírování však není omezeno pouze na vektorovou grafiku. Pokud chceme, můžeme si na gravírovací stroj poslat i bitmapový obrázek. Ten si můžeme předtím ještě upravit ve Photoshopu nebo si obrázek můžeme rovnou otevřít v programu, pomocí kterého odešleme na gravírovací stroj.

Program, který nám obraz odešle na gravírovací stroj, je pro každého výrobce gravírovacího stroje jiný. Například firma Gravotech používá programy Gravostyle, Gravograph a Laser mode.



Obrázek 22: logo gravograph

## ŘEZNÉ PODMÍNKY

Řezné podmínky jsou důležitým faktorem každé obráběcí technologie. Ale ne pokaždé jsou stejné. Tyto podmínky se u každé technologie liší. Díky těmto podmínkám provádíme správně danou technologii, proto musíme tyto řezné podmínky dodržovat. Volba řezných podmínek závisí na vlastnosti nástroje a stroje (materiál nástroje, druh stroje atd.) a na vlastnostech obrobku (rozměry, drsnost, povrchové úpravy atd.). U soustružení, frézování a broušení nás nejčastěji zajímá hloubka záběru a řezná rychlost.

Je vhodné, abychom jsme se při volbě řezných podmínek řídili doporučením od výrobců nástroje. Ti většinou doporučené řezné podmínky uvádí v katalogu nebo v příručkách. (15).

U laserového gravírování je nástroj laserová hlava s laserovým paprsek, takže nás budou nejvíce zajímat vlastnosti laseru. Mezi řezné podmínky laserového gravírování patří hlavně síla laseru a řezná rychlost. Tyto dva parametry mají vliv na výsledek gravírování. U laseru je také důležité druh laseru a jeho ohnisková vzdálenost. Dalším důležitým faktorem je typ materiálu, který gravírujeme. Je jasné, že výsledek gravírování bude odlišný například u dřeva a oceli.

### **Parametry pro laserové gravírování:**

Výkon laseru;

Frekvence;

Řezná rychlost;

Druh laseru;

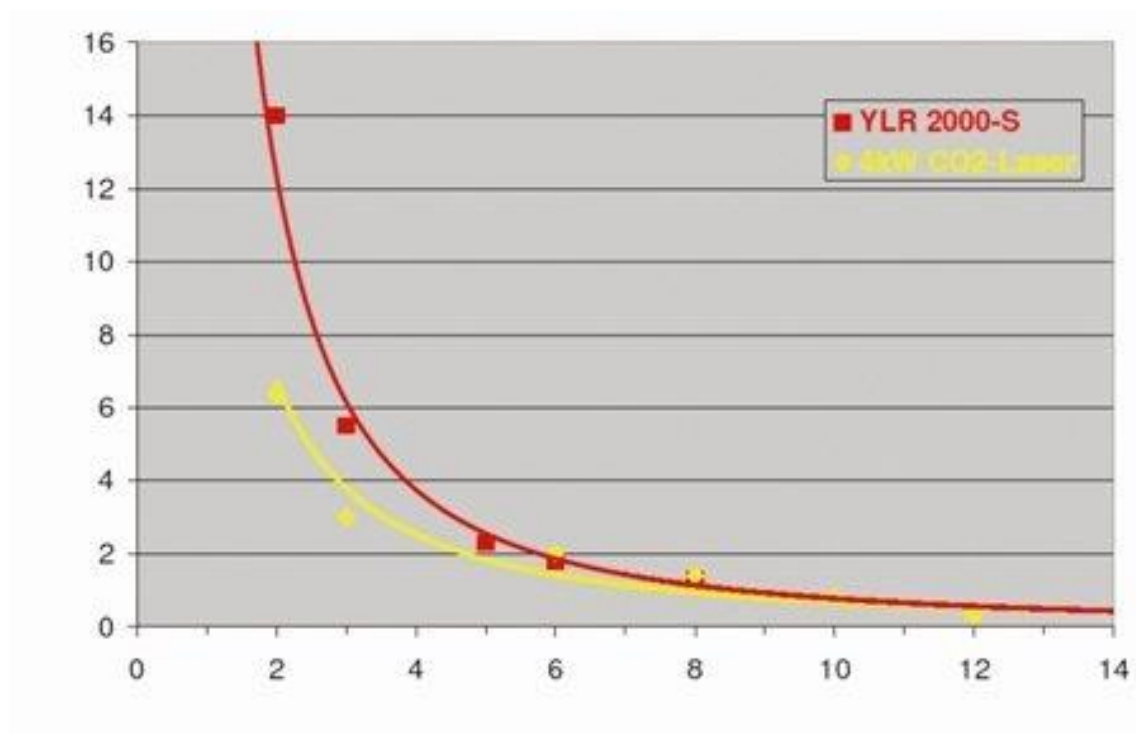
Ohnisková vzdálenost laseru;

Druh materiálu;

Povrchové úpravy materiálu;

Prostředí, ve kterém se gravíruje;

Na obrázku vidíme, že řezná rychlost vláknových laseru je lepší pro tenčí materiály, a to s polovičním výkonem laseru. (16)



Obrázek 23: porovnání řezných rychlostí pro vláknový a CO2 laser

Při posílání předlohy do gravírovacího stroje musíme nastavit parametry laseru. Mezi tyto parametry patří výkon laseru. Ten udáváme v hodnotách od 0-100 %. Výkon laseru se mění s daným materiálem. Dalším parametrem, který nastavujeme je rychlost. Opět udáváme v hodnotách od 0-100 %. S malou rychlostí a velkým výkonem máme kvalitnější gravírování. Dále nastavujeme kolikrát se gravírování bude opakovat.

# TVORBA VZORNÍKU PRO GRAVÍROVÁNÍ

V praktické části práce je řešen postup tvorby vzorníku. V této části jsou popsány a detailně rozebrány jednotlivé kroky vedoucí k vytvoření vzorníku řezných podmínek pro gravírování kovových materiálů na gravírovacím stroji Gravograph LS100ex Fiber.

## Stanovení postupu řešení

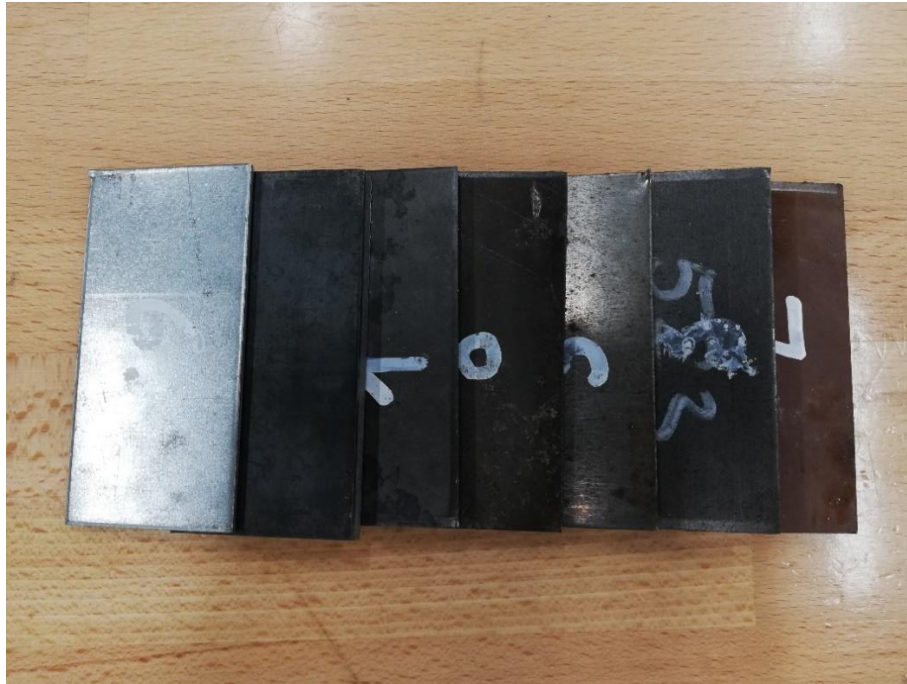
- 1) Volba materiálů pro gravírování
- 2) Příprava na gravírovacím stroji
- 3) Stanovení řezných podmínek pro gravírování
- 4) Gravírování do ocelí

## Výběr materiálů pro gravírování.

Prvním krokem byl výběr materiálů, na které se bude gravírovat. Tento typ gravírovacího stroje je určen přednostně pro kovové materiály. Hodnotícím kritériem pro výběr byly vlastnosti materiálu, dostupnost materiálu a využití materiálů v technické praxi. Po zhodnocení těchto kritérií bylo vybráno deset typů konstrukčních ocelí.



Obrázek 24: plechy pro gravírování.



Obrázek 25: plechy pro gravírování

## **Materiály pro gravírování**

U vybraných konstrukčních ocelí je nutné vybrat základní informace, které budou uvedeny ve vzorníku. V následujícím značení ocelí je použito značení dle ČSN.

### **Ocel 11 321**

Neušlechtilá konstrukční ocel vhodná pro součásti s menší tloušťkou a pro staticky i dynamicky namáhané součásti, pro pásy, ráfky u jízdnicích kol, výrobu profilů.

### **Ocel 11 503**

Nelegovaná konstrukční ocel vhodná pro svařování. Používá se pro mostní konstrukce a jiné svařované konstrukce. Dále pro součásti tlakových nádob a pro součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdnicích kol.

### **Ocel 11 523**

Konstrukční ocel, která má do tloušťky 25mm zaručenou svařitelnost. Používá se pro svařované konstrukce a pro součásti automobilů, motocyklů a jízdnicích kol (součásti staticky i dynamicky namáhané).

### **Ocel 11 416**

Také známá pod názvem kotlovina. Jedná se o žárovečnou nelegovanou konstrukční ocel, která snese vysoké teploty. Používá se pro součásti tlakových nádob a kotlů.



### **Ocel 12 050**

Konstrukční nelegovaná ocel. Používá se pro hřídele turbokompresorů, čerpadel a elektromotorů, pro větší ozubená kola, klikové hřídele v automobilech a závěsy pružin.

### **Ocel 17 240**

Nerezová, chrom-niklová ocel s chemickou stálostí. Používá se pro tlakové nádoby v chemickém, potravinářském a energetickém průmyslu. Dále se používá ve farmaceutickém průmyslu. Dále pro výrobu různých vybavení pro pivovarnictví a pro výrobu zařízení pro sterilizaci v chemickém průmyslu.

### **Ocel 17 251**

Žárovzdorná nerezová ocel. Používá se pro tepelně namáhané součásti, pro zařízení, která slouží k tepelnému zpracování, pro díle kotlů a pro sklářské pece.

### **Ocel 17 255 - nerez**

Žárovzdorná, legovaná ocel. Je vhodná pro vysoce tepelně namáhané součásti průmyslových pecí (komory, rošty, poklopy a nosné elementy).

### **Pozinkovaný plech**

Žárově pozinkované plechy jsou vrstveným materiálem, ve kterém se optimální vlastnosti oceli (viz fyzikální parametry) spojují s ochranným účinkem zinkové vrstvy proti korozi.

### **Ocel 11 375**

Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Používá se na součásti konstrukcí a strojů středních velikostí, namáhané staticky i dynamicky. Na součásti pro tepelná energetická zařízení a tlakové nádoby pracující s omezeným přetlakem a teplotou do 300 °C. Na vtokové objekty vodních turbín, spirální skříně vodních turbín, vrata plavidlových komor, klapky uzávěrů, svařované kulové uzávěry apod. Dále na spojky a podvozky vagónů.

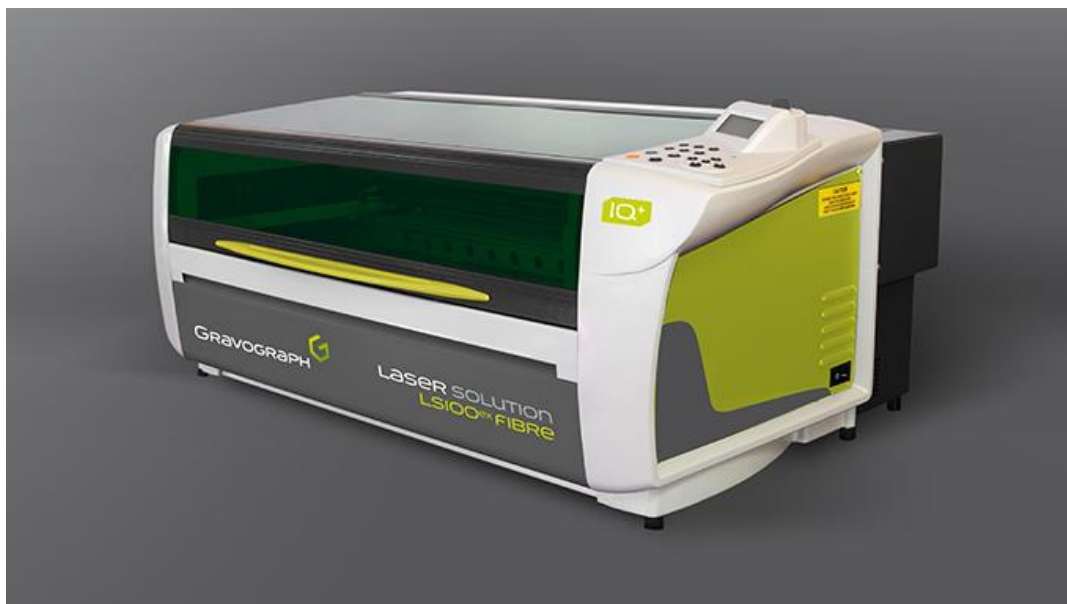
## Příprava na gravírovacím stroji

Základem této práce je gravírování, proto bylo nutné proškolit se s fungováním gravírovacího stroje a naučit se jeho ovládání. Projekt bude probíhat na gravírovacím stroji Gravograph LS100ex Fiber.

### Gravograph LS100ex Fiber

Gravograph LS100ex Fiber je laserový gravírovací stroj, který má vynikající výsledky při gravírování kovů, protože při gravírování je použit fiber laser. Na pracovní plochu se může umístit jeden velký díl, nebo více menších dílů. Stroj značí rychle a nesmazatelně ocel a jiné kovy bez ohledu na tvrdost materiálu. (17)

Ve srovnání s gravírovacím strojem LS100ex s CO2 laserem, který vypadá stejně a používá stejné mechanické díly, vyniká Fiber při gravírování kovů. U tohoto stroje odpadá nutnost použití speciálních sprejů a past. Na druhou stranu je problém gravírovat do některých nekovových materiálů. Proto se LS100ex Fiber doporučuje pro gravírování kovů v průmyslu. (17)



Obrázek 26: Gravograph LS100ex Fiber

## Technické údaje

- Rozměry stroje: **1025 x 725 x 450 mm**
- Pracovní plocha: **610 x 305 mm**
- Maximální výška značeného předmět: **145-147 mm**
- Výkon laseru: **20-30W**
- Rychlost značení: **až 1,5 m/s**
- Vlnová délka: **1,064 μm**
- Rozlišení čočky (univerzální): **2"**

## Ostatní údaje

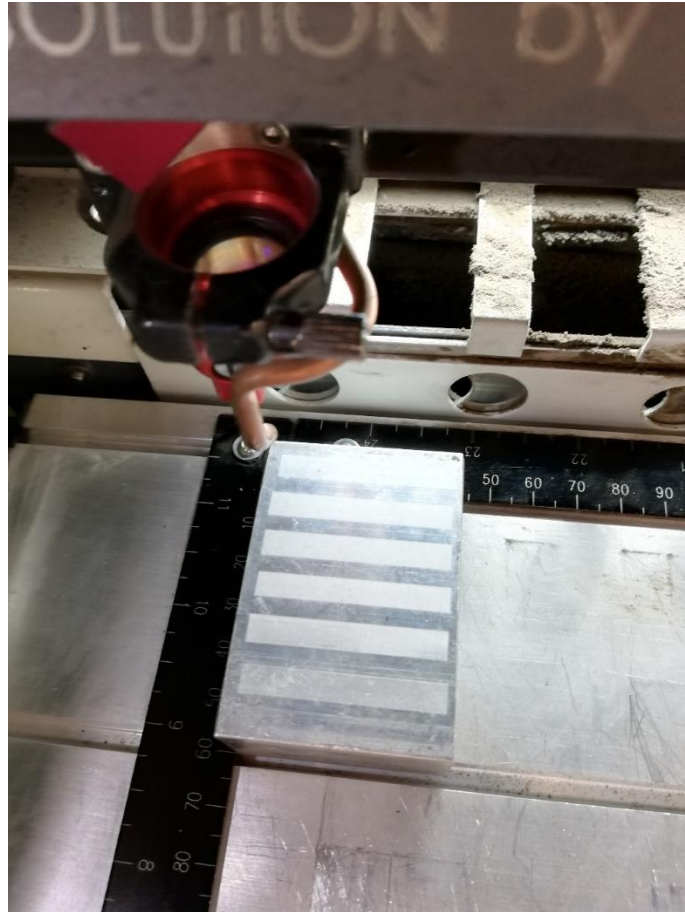
- Systém pro ofuk řezu
- Odsávání
- Automatické zaostření
- Lze položit na pracovní stůl
- Připojení k PC pomocí USB

## Volitelná příslušenství

- Stůl s trny
- Řezací stůl
- Vakuový stůl
- Válcový adaptér
- Automatický podavač štítků

## Stanovení řezných podmínek pro gravírování

Jako zkušební materiál na výběr používaných řezných podmínek byl použit hliník. Na tento materiál byly vygravírovány pruhy, které se lišily výkonem laseru. Pro gravírování laserem je lepší, aby byla síla laseru větší než rychlost. Kdyby byla rychlost větší než výkon, gravírovaný návrh nebude vidět.



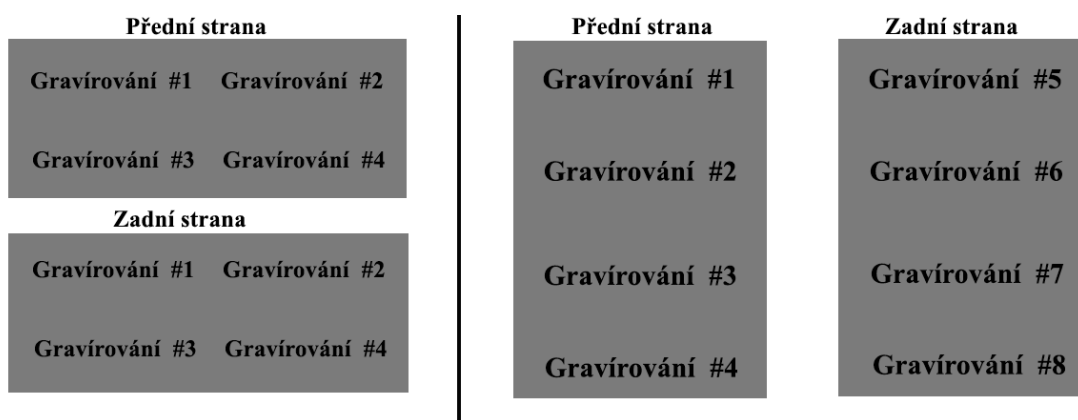
Obrázek 27: zkouška na hliníku

Na obrázku je vidět, jak se při zvyšujícím výkonu laseru zvětšuje viditelnost gravírovaného textu.

V následující tabulce je přehledně uvedeno nastavení laseru, které bude použito při gravírování na jednotlivé oceli.

	<b>Výkon laseru</b>	<b>Rychlost laseru</b>
<b>Gravírování #1</b>	20	10
<b>Gravírování #2</b>	40	10
<b>Gravírování #3</b>	60	10
<b>Gravírování #4</b>	80	10
<b>Gravírování #5</b>	20	25
<b>Gravírování #6</b>	40	25
<b>Gravírování #7</b>	60	25
<b>Gravírování #8</b>	80	25

Tabulka 2: vybrané nastavení laseru pro gravírování do ocelí



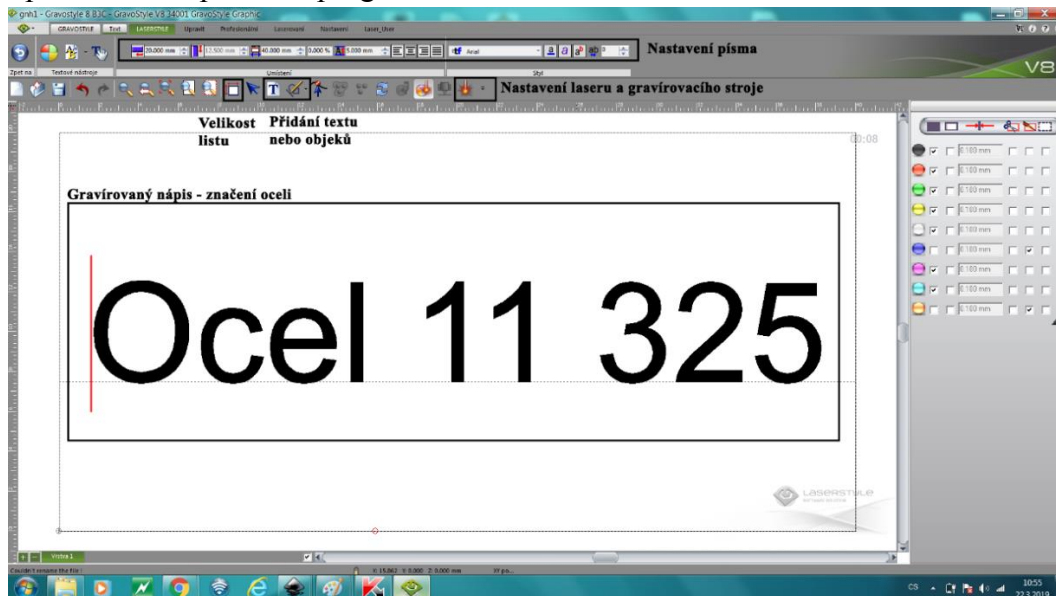
Obrázek 28: schéma zobrazující pozice gravírovaných nápisů

## Gravírování do ocelí

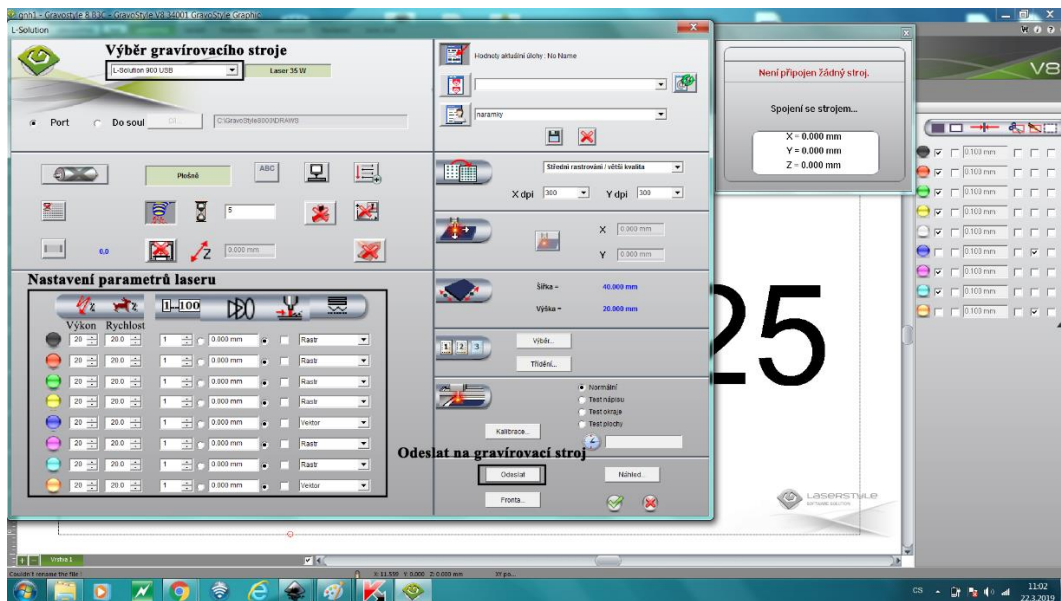
Gravírování na vzorky bylo omezeno jejich velikostí. Na gravírované vzorky se gravírovalo s nastavením, které jsme si stanovili na předchozí zkoušce na hliníku. Jako gravírovaný nápis bylo použito značení oceli dle ČSN.

### Postup při gravírování

1. Vložení vzorku na pracovní plochu gravírovacího stroje a uzavření bezpečnostního poklopu gravírovacího stroje.
2. Příprava předlohy v programu Laser Mode GS8. Předloha se připraví podle toho, co se bude gravírovat (vektorová či bitmapová grafika). Po nakreslení či napsání předlohy si nastavíme parametry laseru a poté se program odešle na gravírovací stroj.
3. Na gravírovacím stroji si zvolíme program. Po potvrzení programu si nastavíme nulový bod, odkud stroj začne gravírovat (osy X a Y). Dále si nastavíme výšku (osa Z), potvrdíme a spustíme program.



Obrázek 29: program pro gravírování č. 1



Obrázek 30: program pro gravování č.2

## Zkouška na ocel 11 523

Na ocelový plech s rozměry 80 x 40 x 5 mm byl gravírován nápis **Ocel 11 523**.



Obrázek 31: Zkouška na ocel 11 523 - rychlost 10%

Po provedení samotného gravírování s rychlostí 10% je vidět, že nad 40% výkonu je čitelnost vypáleného nápisu dobrá. Nejčitelnější je nápis při použití výkonu nad 80%.



Obrázek 32: Zkouška na ocel 11 523 - rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí na 25% nápis není vidět při 20 % výkonu laseru, při 40 % výkonu je nápis viditelný pouze při určitém úhlu pohledu pozorovatele. Od výkonu 60 % se čitelnost nápisu zvyšuje.

### **Zkouška na ocel 12 050**

Na tuto ocel s rozměry 80 x 40 x 1 mm byl gravírován nápis **Ocel 12 050**. Při první zkoušce nastala chyba, kdy gravírování bylo spuštěno později. Proto není nápis úplný.



Obrázek 33: Zkouška na ocel 12 050 - rychlost 10%

Po gravírování s rychlostí na 10% jsou vidět nápisy od výkonu 40% . Při výkonu 20% je nápis nečitelný, opět záleží na úhlu pohledu. Nejlépe čitelný však kolem 80-90% výkonu.





Obrázek 34: Zkouška na ocel 12 050 - rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí na 25 % jsou nápisy čitelně vidět od 80 % výkonu laseru. Na obrázku jsou vidět nápisy. Viditelnost je však ovlivněna korozí oceli.

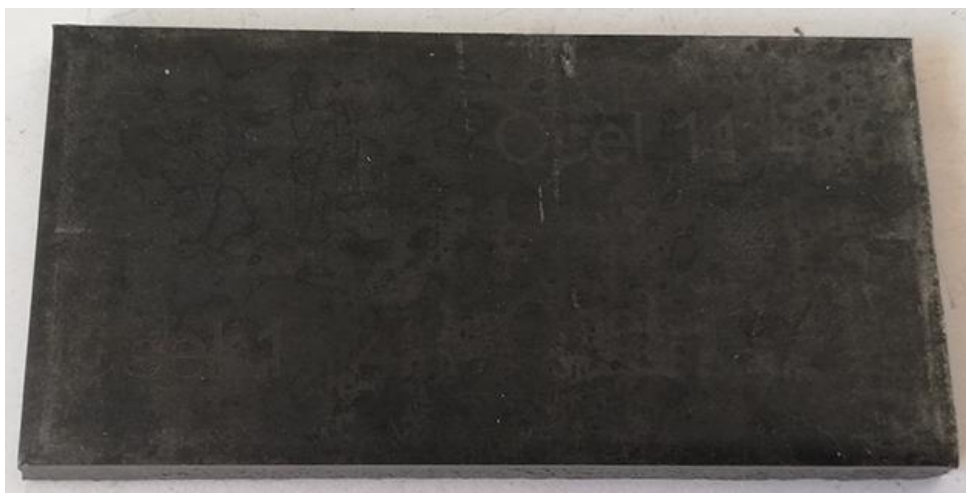
### **Zkouška na ocel 11 416**

Na tuto ocel s rozměry 80 x 40 x 5 mm byl gravírován nápis **Ocel 11 416**.



Obrázek 35: Zkouška na ocel 11 416 - rychlost 10%

Po gravírování s rychlostí 10 % je vidět, že od výkonu 40 % a více je nápis dobře vygravírován. Tudíž dobře viditelný.



Obrázek 36: Zkouška na ocel 11 416 - rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí 25 % můžeme vidět, že nápisy nejsou čitelně vidět, dokonce ani při výkonu laseru 80 %. Jsou vygravírované, ale nejsou vidět čitelně.

### **Zkouška na ocel 17 255 - nerez**

Na tuto ocel byl gravírován nápis **Ocel 17 255**. Bohužel během prvního gravírování bylo zjištěno, že se gravíruje špatný nápis (špatné značení). Proto bylo nutné obrousit čelo a gravírování začít znova.



Obrázek 37: Zkouška na ocel 17 255 - rychlost 10%

Po gravírování s rychlostí na 10% jsou vidět nápisy od 40% výkonu laseru. Nejlépe čitelný je nápis při 80% výkonu.



Obrázek 38: Zkouška na ocel 17 255 - rychlost 25%

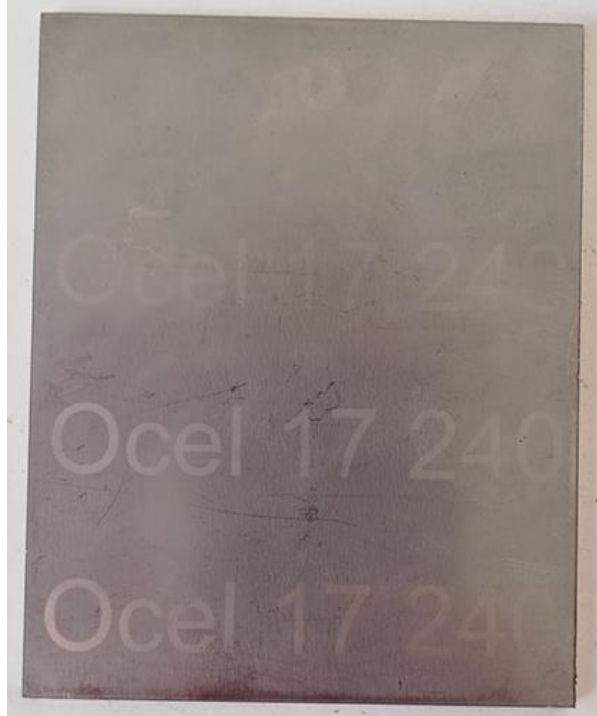
Po gravírování s rychlostí 25% můžeme vidět, že nápis není vidět pro výkon 20% a od výkonu 40% je nápis nečitelný.

## Zkouška na ocel 17 240

Na tento materiál byl gravírován nápis Ocel 17 240. Po očištění byl gravírován s rychlostí na 10%.



Obrázek 39: Zkouška na ocel 17 240 - rychlost 10%



Obrázek 40: Zkouška na ocel 17 240 - rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí na 10% je nápis při 20% výkonu nejméně čitelný. O trochu lépe na tom je nápis s 40% výkonem. Od 60% je nápis čitelný díky vypálení. Při výkonu 80% je nápis nejlépe čitelný.

Po gravírování s rychlostí 25% můžeme vidět, že při výkonu 20% nápis není vidět. Nápis při 40% je vidět pouze pod určitým úhlem pohledu. Nejlépe je nápis vidět při 80% výkonu.

## Zkouška na ocel 17 251

Po očištění plechu byl na tento plech s rozměry byl gravírován nápis **Ocel 17 251**.



Obrázek 41: Zkouška na ocel 17 251 - rychlost 10%



Obrázek 42: Zkouška na ocel 17 251 - rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí na 10% výkonu jsou vidět všechny nápisy. Od 20-40% výkonu nápisy jsou vidět pouze pod určitým úhlem. Od 60 a více procent je nápis čitelný, protože nápis je spálený.

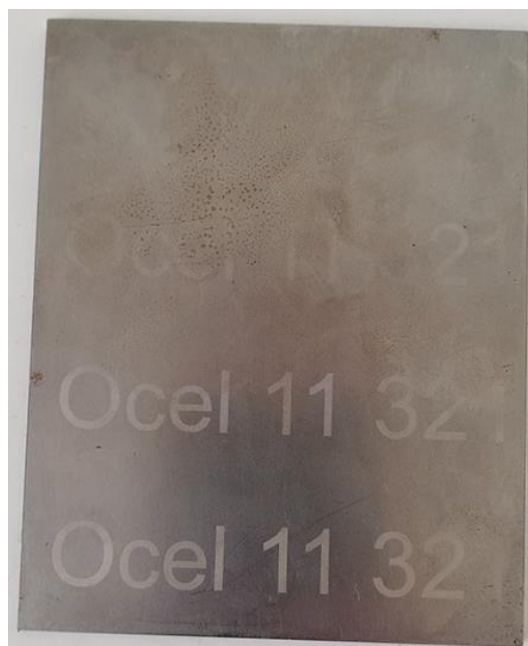
Po gravírování s rychlostí 25% můžeme vidět, že při výkonu 20% nápis není vidět. Při výkonu laseru kolem 40% je nápis čitelná pod určitým úhlem pohledu. Od 60-80% je nápis vidět, ale dokonale.

## Zkouška na ocel 11 321

Na plech s rozměry 100 x 80 x 1,9 mm byl gravírován nápis **Ocel 11 321**.



Obrázek 44: Zkouška na ocel 11 321 - rychlost 10%



Obrázek 43: Zkouška na ocel 11 321 - rychlost 25%

Po

gravírování s rychlostí na 10% jsou vidět všechny nápisy. Nejméně čitelný je při 20% výkonu. Dobře čitelný je nápis od 40 a více procent výkonu.

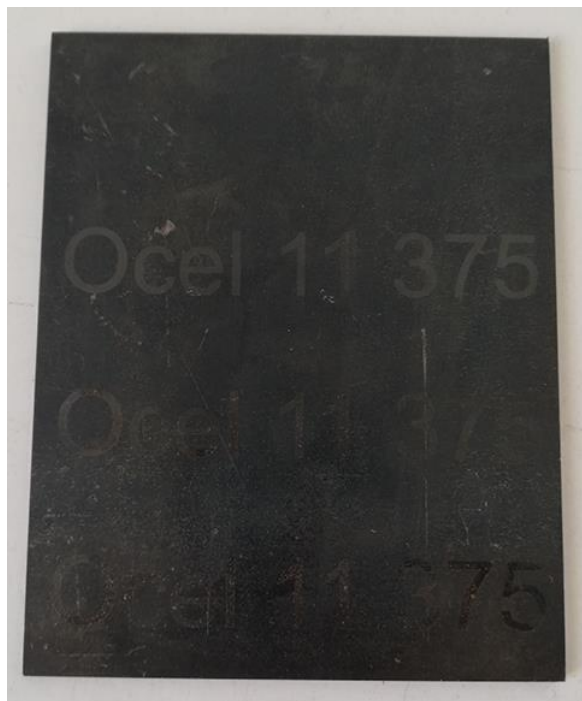
Po gravírování s rychlostí 25% můžeme vidět, že při výkonu 20% nápis není vidět. Nápis při výkonu 40% je těžší vidět, záleží na úhlu pohledu. Nejlépe čitelný je od 80% výkonu.

## Zkouška na ocel 11 375

Plech s rozměry 100 x 80 x 1,9 mm byl po očištění gravírován s rychlostí na 10%. gravírovaný nápis byl Ocel 11 375.



Obrázek 45: Zkouška na ocel 11 375 - rychlost 10%



Obrázek 46: Zkouška na ocel 11 375- rychlost 25%

Po gravírování je vidět, že gravírovaný nápis je málo čitelný. Od výkonu 60-80% má gravírovaný nápis hnědou barvu, kvůli spálení. Nejlépe čitelný je při 60% výkonu.

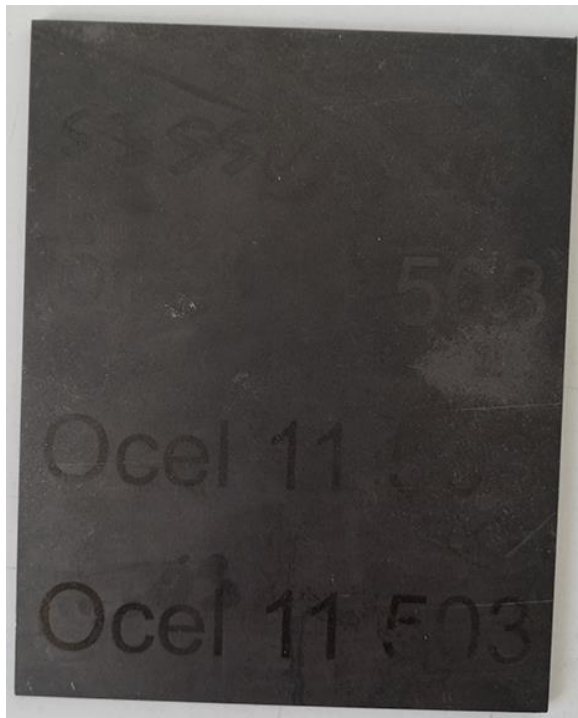
Po gravírování v 25% rychlosti je vidět, že nápis není čitelný. Vygravírovaný nápis je nečitelný kvůli spálenému nápisu.

## Zkouška na ocel 11 503

Plech s rozměry 100 x 80 x 2,05 mm byl očištěn od nápisu, který byl napsaný fixem. Potom byl plech gravírován s rychlostí na 10%. Gravírovaný nápis bude Ocel 11 503.



Obrázek 48: Zkouška na ocel 11 503 - rychlost 10%



Obrázek 47: Zkouška na ocel 11 503 - rychlost 25%

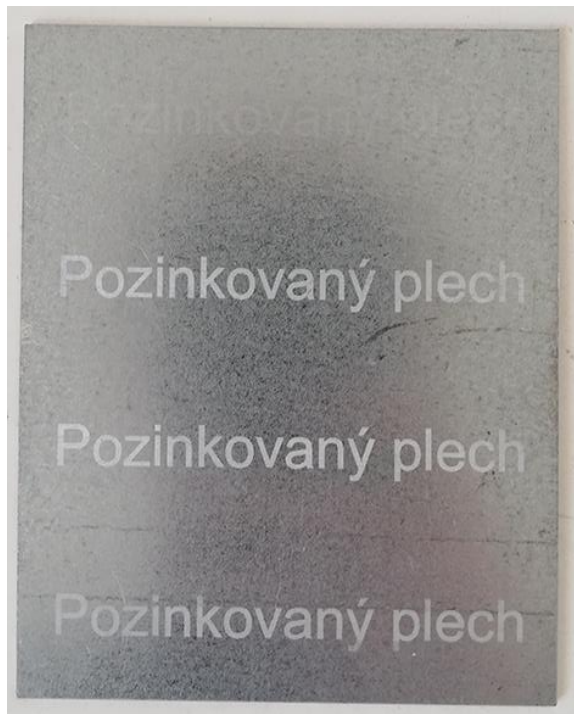
Po gravírování je vidět, že nápis je vidět při všech nastavní výkonu. Nejlépe je vidět při výkonu 40 a 80%. U tohoto případu je kvalita gravírovacího nápisu ovlivněna povrchovou úpravou.

Po gravírování s rychlostí 25% nápis při 20 % výkonu není vidět. Nejvíce čitelný je až kolem 80% výkonu. Při 40-60% je nápis vidět pod určitým úhlem pohledu.



## Zkouška na pozinkovaný plech

Plech s rozměry 100 x 80 x 1,2 mm byl po učištění gravírován s rychlostí na 10%. Gravírovaný nápis byl Pozinkovaný plech.



Obrázek 49: Zkouška na pozinku – rychlost 10 %



Obrázek 50: Zkouška na pozinku – rychlost 25%

Po gravírování s rychlostí 10% je vidět, že při výkonu nad 60% je nápis vidět čitelně. Pro druhé gravírování byla rychlost nastavena na 25%.

Po gravírování s rychlostí 25% je vidět, že nápis není vidět kolem 20-30% výkonu. Nejlépe je vidět při výkonu nad 80%.

## **Zhodnocení gravírování a tvorba vzorníku**

Při gravírování ocelí, jsme zjišťovali, při jakém nastavení gravírování je nápis vidět. Každý vzorek má však při stejných řezných podmínkách jiné výsledky gravírování. Každá ocel má tedy gravírovaný nápis vidět při odlišných poměrech výkonu laseru a rychlosti posuvu.

Ani na ocel tedy nelze použít univerzální pravidlo pro nastavení řezných podmínek, aby byla zaručená viditelnost gravírované grafiky. Každá třída a druh oceli má díky svým charakteristickým vlastnostem i charakteristické řezné podmínky pro gravírování.

Výsledky gravírování jednotlivých ocelí jsou sepsány ve vzorníku. Ve vzorníku je vždy uvedena ocel a doporučené řezné podmínky, které zaručují viditelnost gravírované grafiky. Součástí doporučených řezných podmínek je i obrázek, aby uživatel viděl, co může od daného nastavení očekávat.

Vzorník je koncipován jako katalog, kde na každé stránce je uveden název oceli se základními informacemi o oceli. Součástí je pak obrázek a vhodné nastavení výkonu laseru a rychlosti posuvu gravírování. Vzorník je přílohou této práce.

## ZÁVĚR

Hlavním cílem práce je stanovit optimální řezné podmínky pro vybrané železné kovové materiály na gravírovacím stroji Gravograph LS100ex Fiber. Pro tyto účely bylo vybráno deset druhů ocelí, které jsou nejběžněji používané ve strojírenství.

V teoretické části je v obecné rovině řešena problematika gravírování. Teoretická část se zaměřuje na jednotlivé způsoby gravírování, jednotlivé typy gravírovacích strojů, nástrojů a v neposlední řadě způsoby stanovení řezných podmínek na gravírovacích strojích.

Praktická část práce se zaměřuje na stanovení řezných podmínek pro gravírování na vybraných typech konstrukčních ocelí. Kritériem pro výběr jednotlivých ocelí bylo chemické složení, mechanické, technologické vlastnosti, použití ocelí v praxi a dostupnost jednotlivých vzorků. Praktická část je logicky uspořádána do jednotlivých kroků.

Jednou z nejdůležitějších a nejnáročnějších úloh bylo seznámení se s ovládním stroje a softwarem pro daný stroj. Následovalo testování stroje na různých kovových a nekovových materiálech. Po seznámení se s možnostmi a limity stroje následovalo samotné gravírování do jednotlivých materiálů. Problémem, se kterým jsem musel pracovat je koroze v povrchových vrstvách oceli. U jednotlivých typů tedy docházelo před samotným gravírováním k úpravě povrchu a odstranění koroze. Při samotném gravírování byly testovány na jednotlivých vzorcích řezné podmínky zaměřené na výkon a rychlost laseru.

Výstupem práce je vzorník řezných podmínek pro Gravograph LS100ex Fiber, který je součástí přílohou k této práci a bude sloužit jako pomůcka při gravírování na gravírovacím stroji v hodinách odborného výcviku a v předmětech zaměřených na tvorbu vektorové a bitmapové grafiky.

## SEZNAM ZDROJŮ

1. Thoma, Patrik. Gravírování - technologie úpravy materiálu. *Svět tisku*. [Online] 2005. [Citace: 19. Leden 2019.] [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=1564](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=1564).
2. Doležal, Ivan. Laserové gravírování reklamních předmětů . *Svět tisku*. [Online] 2009. [Citace: 18. Leden 2019.] [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=5096&buxus\\_svett](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=5096&buxus_svett).
3. Gravírování. *Wikipedie*. [Online] 2017. [Citace: 1. 12 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Grav%C3%ADrov%C3%A1n%C3%AD>.
4. Gravírování. *Kokardy.cz*. [Online] [Citace: 21. Březen 2019.] <https://www.kokardy.cz/cs/246-gravirovani/>.
5. Bičišťová, Radka. Gravírování laserem. *Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii*. [Online] [Citace: 24. leden 2019.] [http://www.rcmt.cvut.cz/file/?\\$redakce\\$download\\$cz\\$Technologick%C3%A9%20profily\\$LASERY\\_I\\_vlna\\_technologicky%20profil\\_final\\_m\\_gravirovani.pdf](http://www.rcmt.cvut.cz/file/?$redakce$download$cz$Technologick%C3%A9%20profily$LASERY_I_vlna_technologicky%20profil_final_m_gravirovani.pdf).
6. Gravírování . *Lintech*. [Online] [Citace: 19. leden 2019.] <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/laserove-gravirovani/>.
7. Co je vlastně laser. *czechlasers*. [Online] [Citace: 24. leden 2019.] <http://czechlasers.cz/co-je-vlastne-laser/>.
8. Plšková, Markéta. Stanovení pracovních podmínek. *Digitální knihovna UTB ve Zlíně*. [Online] 27. listopad 2011. [Citace: 23. leden 2019.] [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16351/pl%C5%A1kov%C3%A1\\_2011\\_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16351/pl%C5%A1kov%C3%A1_2011_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
9. Laser podle technologie. *Lintech*. [Online] [Citace: 9. únor 2019.] <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-technologie/co2-laser/>.
10. Kachtík, Lukáš. Nd:YAG laser. *lasery.wz.cz*. [Online] [Citace: 9. únor 2019.] [http://lasery.wz.cz/nd-yag\\_laser.html](http://lasery.wz.cz/nd-yag_laser.html).
11. Princip pevnolátkových Nd:YAG laserů - 1064nm Infra red. *Leonardo technology*. [Online] [Citace: 9. únor 2019.] <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-pevnolatkovych-nd-yag-laseru-1064-nm-infra-red>.
12. Hlavní typy laserů používaných v průmyslu. *MEGABLOG*. [Online] 2019. [Citace: 9. únor 2019.] <https://www.mega-blog.cz/lasery/hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu/>.
13. Grimes, Aaron. What Are the Differences Between Laser Marking, Laser Engraving and Laser Etching. *www.permanentmarking.com*. [Online] 17. Prosinec 2018. [Citace: 23. Březen 2019.] <https://www.permanentmarking.com/what-are-the-differences-between-laser-marking-laser-engraving-and-laser-etching/>.

14. Obrábění laserem. *Eluc*. [Online] [Citace: 26. leden 2019.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1423>.
15. Řezné podmínky při obrábění. *kom.tul.cz*. [Online] 2001. [Citace: 26. leden 2019.] [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_rp.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf).
16. Kořán, Pavel. Průmyslové lasery (5) - Laserové řezání. *mmspektrum*. [Online] 17. říjen 2012. [Citace: 26. leden 2019.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-5-laserove-rezani.html>.
17. Gravograph LS100ex Fibre. *gravograph.cz*. [Online] [Citace: 23. Březen 2019.] <https://www.gravograph.cz/produkt/ls100exfibre>.
18. Vektorová grafika. *Adaptic*. [Online] [Citace: 23. Leden 2019.] <http://www.adaptic.cz/znalosti/slovnicek/vektorova-grafika/>.
19. Bechyňová, Marta. Vektorová grafika. *Stránky k výuce informatiky*. [Online] 2019. [Citace: 23. leden 2019.] <http://www.ivt.mzf.cz/seminar/10-vektorova-grafika/>.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: RUČNÍ RYDLO.....	7
OBRÁZEK 2: PŘÍKLAD GRAVÍROVÁNÍ .....	8
OBRÁZEK 3: GRAVÍROVACÍ PANTOGRAF .....	9
OBRÁZEK 4: GRAVÍROVACÍ PLOTTER EGX-400/600.....	10
OBRÁZEK 5: GRAVÍROVACÍ PLOTTR IS 400.....	12
OBRÁZEK 6: PŘÍKLAD NÁSTROJŮ PRO MECHANICKÉ GRAVÍROVÁNÍ.....	13
OBRÁZEK 7: PŘÍKLAD LASEROVĚ VYGRAVÍROVANÉHO QR KÓDU .....	14
OBRÁZEK 8: LASEROVÝ GRAVÍROVACÍ STROJ GRAVOGRAPH LS100.....	16
OBRÁZEK 9: PŘÍKLAD GRAVÍROVÁNÍ VÁLCOVÉHO PŘEDMĚTU .....	17
OBRÁZEK 10: TYPY SVĚTEL .....	18
OBRÁZEK 11: LASER .....	19
OBRÁZEK 12: SCHÉMA CO2 LASERU .....	21
OBRÁZEK 13: SCHÉMA ND:YAG LASERU .....	22
OBRÁZEK 14: PRINCIP VLÁKNOVÉHO LASERU .....	23
OBRÁZEK 15: PRINCIP LASEROVÉHO ŘEZÁNÍ .....	25
OBRÁZEK 16: OBRÁBĚNÍ S PŘEDHŘEVEM .....	26
OBRÁZEK 17: ODŘEZÁVÁNÍ MATERIÁLU DVĚMA PAPRSKY LASERU .....	27
OBRÁZEK 18: GRAVÍROVÁNÍ DO GUMOVÉHO VÁLCE.....	28
OBRÁZEK 19: FRÉZKA S LASEREM JAKO OBRÁBĚCÍM NÁSTROJEM .....	29
OBRÁZEK 20: PŘÍKLAD LASEROVÉHO GRAVÍROVÁNÍ.....	30
OBRÁZEK 21: PŘÍKLAD MATERIÁLŮ .....	31
OBRÁZEK 22: LOGO GRAVOGRAPH .....	33
OBRÁZEK 23: POROVNÁNÍ ŘEZNÝCH RYCHLOSTÍ PRO VLÁKNOVÝ A CO2 LASER .....	35
OBRÁZEK 24: PLECHY PRO GRAVÍROVÁNÍ. ....	36
OBRÁZEK 25: PLECHY PRO GRAVÍROVÁNÍ .....	37
OBRÁZEK 26: GRAVOGRAPH LS100EX FIBER.....	39
OBRÁZEK 27: ZKOUŠKA NA HLINÍKU .....	41
OBRÁZEK 28: SCHÉMA ZOBRAZUJÍCÍ POZICE GRAVÍROVANÝCH NÁPISŮ .....	42
OBRÁZEK 29: PROGRAM PRO GRAVÍROVÁNÍ Č.1.....	43
OBRÁZEK 30: PROGRAM PRO GRAVÍROVÁNÍ Č.2.....	44
OBRÁZEK 31: ZKOUŠKA NA OCEL 11 523 - RYCHLOST 10% .....	44
OBRÁZEK 32: ZKOUŠKA NA OCEL 11 523 - RYCHLOST 25% .....	45
OBRÁZEK 33: ZKOUŠKA NA OCEL 12 050 - RYCHLOST 10% .....	45
OBRÁZEK 34: ZKOUŠKA NA OCEL 12 050 - RYCHLOST 25% .....	46
OBRÁZEK 35: ZKOUŠKA NA OCEL 11 416 - RYCHLOST 10% .....	46
OBRÁZEK 36: ZKOUŠKA NA OCEL 11 416 - RYCHLOST 25% .....	47
OBRÁZEK 37: ZKOUŠKA NA OCEL 17 255 - RYCHLOST 10% .....	47
OBRÁZEK 38: ZKOUŠKA NA OCEL 17 255 - RYCHLOST 25% .....	48
OBRÁZEK 39: ZKOUŠKA NA OCEL 17 240 - RYCHLOST 10% .....	49
OBRÁZEK 40: ZKOUŠKA NA OCEL 17 240 - RYCHLOST 25% .....	49
OBRÁZEK 41: ZKOUŠKA NA OCEL 17 251 - RYCHLOST 10% .....	50
OBRÁZEK 42: ZKOUŠKA NA OCEL 17 251 - RYCHLOST 25% .....	50
OBRÁZEK 43: ZKOUŠKA NA OCEL 11 321 - RYCHLOST 25% .....	51
OBRÁZEK 44: ZKOUŠKA NA OCEL 11 321 - RYCHLOST 10% .....	51
OBRÁZEK 45: ZKOUŠKA NA OCEL 11 375 - RYCHLOST 10% .....	52
OBRÁZEK 46: ZKOUŠKA NA OCEL 11 375 - RYCHLOST 25% .....	52
OBRÁZEK 47: ZKOUŠKA NA OCEL 11 503 - RYCHLOST 25% .....	53
OBRÁZEK 48: ZKOUŠKA NA OCEL 11 503 - RYCHLOST 10% .....	53
OBRÁZEK 49: ZKOUŠKA NA POZINKU – RYCHLOST 10 % .....	54

OBRÁZEK 50: ZKOUŠKA NA POZINKU – RYCHLOST 25% .....	54
---	----

## **SEZNAM TABULEK**

TABULKA 1: HLOUBKY TLOUŠŤKY MATERIÁLY PŘI ŘEZÁNÍ CO <sub>2</sub> A ND:YAG LASERY .....	25
TABULKA 2: VYBRANÉ NASTAVENÍ LASERU PRO GRAVÍROVÁNÍ DO OCELÍ .....	42

## **SEZNAM GRAFŮ**

GRAF 1: VYUŽITÍ LASERU V TECHNOLOGII .....	24
--	----

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- 1) Vzorník
  - 2) Vzorní v elektronické podobě
  - 3) Práce v elektronické podobě
  - 4) Poster
  - 5) Poster v elektronické podobě
- Přílohy jsou uloženy na přiloženém DVD.