



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní**

**Ústav technologie obrábění a metrologie**

**Analýza technologických rozdílů mezi laserovým řezacím a vysekávacím strojem**

**Technological differences analysis between laser cutting and punching machine**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Pavel Novák, Ph.D.

**Marek Babák**

---

Praha 2016

prázdný list pro zadání

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Analýza technologických rozdílů mezi laserovým řezacím a vysekávacím strojem** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Marek Babák

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Novákovi, Ph.D. a také zaměstnancům podniku DIOSS Nýřany a.s., za užitečné informace, cenné rady a připomínky poskytované během konzultací.

# Abstrakt

Tato práce se zabývá metodami dělení materiálu. Její hlavní část je o metodách řezání laserovým paprskem a vysekávání. Tyto dvě metody patří k nejprogresivnějším metodám ve svých oborech, tedy nekonvenční technologie a konvenční technologie. Cílem této práce je porovnat tyto dvě technologie z hlediska nákladovosti a jakosti řezné plochy. Z důvodu porovnání nákladovosti je v této práci metodika vypočtení hodinové nákladové sazby. Výroba vzorků pro tuto práci probíhala ve firmě DIOSS NÝŘANY a.s. Po porovnání byly určeny výhody a nevýhody těchto dvou metod dělení materiálu.

Konec práce je věnován dalším možnostem dělení materiálu, a to řezání plazmou a řezání vodním paprskem. Obě tyto metody jsou nekonvenční a v této práci jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody.

## Klíčová slova

laser, strojírenství, vysekávání, hodinová nákladová sazba, nekonvenční technologie, plazma, vodní paprsek, drsnost povrchu, řezání

# Abstract

This work deals with the methods of cutting. Its main part is about the methods of laser cutting and punching. These two methods are among the most progressive methods in their field, thus unconventional technologies and conventional technologies. The aim of this study is to compare the two technologies in terms of cost and quality of the cutting surface. For the sake of comparison, cost in this work is the methodology of calculating the hourly cost rates. Production samples for this work were carried out in the company DIOSS NÝŘANY a.s. After comparison, we identified the advantages and disadvantages of these two methods of cutting.

I conclude my work by pointing out further possibilities of material cutting, namely plasma cutting and water jet cutting. Both of these methods are unconventional and in this work I will outline their advantages and disadvantages.

## Keywords

laser, mechanical engineering, punching, hourly cost rate, unconventional technologies, plasma, waterjet, surface roughness, cutting

## **Bibliografická citace**

Babák, Marek. *Analýza technologických rozdílů mezi laserovým řezacím a vysekávacím strojem*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2016. 75 s., 10 příloh, CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novák, Ph.D.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	12
1 Úvod.....	14
2 Princip a rozdělení laseru.....	15
2.1 Princip laseru.....	15
2.2 Rozdělení laserů.....	15
2.2.1 Pevnolátkové lasery .....	16
2.2.2 Kapalinové lasery .....	17
2.2.3 Polovodičové lasery .....	17
2.2.4 Plynové lasery .....	18
3 Použití laseru ve strojírenství.....	21
3.1 Řezání laserem .....	21
3.1.1 Plyny využívané při řezání laserem .....	22
3.2 Svařování laserem .....	23
3.3 Gravírování a značení laserem .....	24
3.4 Vrtání laserem .....	25
3.5 Tepelné zpracování laserem .....	26
3.6 Leštění povrchu laserem .....	27
3.7 Nanášení ochranných a otěruvzdorných materiálů laserem.....	27



4	Princip a rozdělení vysekávání .....	28
4.1	Princip vysekávání .....	29
4.2	Rozdělení vysekávání.....	30
4.2.1	Ruční.....	30
4.2.2	Strojní.....	31
5	Náklady.....	32
5.1	Fixní náklady.....	32
5.1.1	Pořízení stroje z vlastních zdrojů.....	33
5.1.2	Pořízení stroje na úvěr .....	36
5.1.3	Pořízení stroje na leasing .....	36
5.2	Variabilní náklady .....	37
5.2.1	Náklady na nástroje .....	37
5.2.2	Náklady na elektrickou energii .....	39
5.2.3	Náklady na procesní kapaliny.....	39
5.2.4	Náklady na procesní plyny .....	39
5.3	Alokované náklady.....	39
5.3.1	Princip alokace.....	40
5.3.2	Volba rozvrhové základny .....	40
5.4	Mzdové náklady .....	41

6	Stanovení hodinové sazby laseru .....	41
6.1	Fixní náklady.....	41
6.2	Variabilní náklady .....	42
6.3	Náklady na operátora stroje .....	45
6.4	Alokační náklady .....	46
6.5	Souhrn jednotlivých nákladů.....	48
7	Stanovení hod. sazby vysekávacího stroje.....	49
7.1	Fixní náklady.....	49
7.2	Variabilní náklady .....	50
7.3	Náklady na operátora stroje .....	52
7.4	Alokační náklady .....	53
7.5	Souhrn jednotlivých nákladů.....	55
8	Porovnání vybraných metod .....	56
8.1	Řezání laserem .....	56
8.1.1	Výpočet nákladovosti dílů řezaných na laseru, typ 1 .....	56
8.1.2	Výpočet nákladovosti dílů řezaných na laseru typ 2 .....	58
8.1.3	Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 1 .....	59
8.1.4	Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 2 .....	62
8.2	Vysekávání.....	63

8.2.1	Výpočet nákladovosti vysekávaných dílů, typ 1 .....	63
8.2.2	Výpočet nákladovosti vysekávaných dílů, typ 2 .....	65
8.2.3	Měření drsnosti řezné plochy vytvořené vysekáváním, typ 1 .....	66
8.2.4	Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 2 .....	68
8.3	Určení výhodnosti jednotlivých metod .....	69
9	Alternativní technologie dělení materiálu.....	71
9.1	Výhody a nevýhody řezání plazmou.....	71
9.2	Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem.....	72
10	Závěr .....	73
	Seznam použité literatury .....	74
	Seznam příloh .....	76

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka / Symbol	Jednotka	Popis
$E_2$	[J]	Energie atomové hladiny
$E_1$	[J]	Energie atomové hladiny
$h$	[J.s]	Planckova konstanta
$\nu$	[Hz]	Frekvence záření
Nd		Neodym dopovaný
YAG		Ytrium-Alumin Granát
Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	Drsnost povrchu
$N_{\text{odp}}$	[Kč]	Odpis stroje
$N_{\text{por}}$	[Kč]	Pořizovací cena stroje
$Q_z$	[ks]	Celková výroba za dobu životnosti
$Q_t$	[ks]	Celková výroba za dobu odpisu
$C_z$	[Kč]	Zbytková cena zařízení
$N_{\text{lik}}$	[Kč]	Náklady na likvidaci
$t_z$	[ks]	Ekonomická doba životnosti
$C_n$	[Kč]	Cena nástroje
$C_{zn}$	[Kč]	Zbytková cena nástroje
$M_{\text{os}}$	[Kč/hod]	Mzda ostříče včetně sociálního a zdravotního pojištění
$RNO_{\text{PL}}$	[%]	Režijní náklady ostřírny vyjádřené přírůžkou
$Z_o$	[ks]	Počet možných přestřehů nástroje
$t_{\text{os}}$	[ks]	Čas ostření nástroje
$HRP_{\text{os}}$	[ks]	Hodinový režijní paušál ostřírny
HZS	[Kč/hod]	Hodinová sazba stroje
$n$	[ks]	Počet dílů na tabuli plechu
$t_b$	[min]	Doba nastavení stroje
$t_a$	[min/ks]	Doba výroby 1 kusu zboží
$c_m$	[Kč/kg]	Cena materiálu
$m_v$	[kg]	Hmotnost polotovaru
$m_h$	[kg]	Hrubá hmotnost dílu

$N_m$	[Kč/ks]	Náklady na materiál
$N_p$	[Kč/ks]	Náklady na práci
$N_c$	[Kč/ks]	Celkové náklady výrobku
$d$	[m]	Délka
$s$	[m]	Šířka
$tl$	[m]	Tloušťka
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota
UV		Ultrafialové

Prvky periodické tabulky:

- Al – hliník
- O – kyslík
- C – uhlík
- Mg – hořčík

# 1 Úvod

Technický obor strojírenství je postaven na základech fyziky a nauky o materiálech. Strojírénství jako takové můžeme historicky datovat do starověku, kdy Archimédés sestrojil první šnekové čerpadlo.<sup>18</sup>

Následovala dlouhá cesta až do přítomnosti, kdy využíváme konvenčních i nekonvenčních metod tváření. Tváření se vyznačuje nutností překročit mez pružnosti materiálu, přičemž nesmí být překročena mez pevnosti. Tváření dělíme na plošné a objemové. Při objemovém tváření dochází ke změně tvaru dílu a do tváření patří především lisování, protlačování, válcování, kování, tažení, ražení apod. Plošné tváření je formování rovinných plechů do prostorových předmětů.<sup>20</sup>

Plošného tváření má mnoho odvětví, my se ale zaměříme na dělení materiálu, specificky na beztrískové dělení materiálu, kam spadají námi vybrané metody, vysekávání, řezání laserem, plazmou a vodním paprskem.

## 2 Princip a rozdělení laseru

### 2.1 Princip laseru

Laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního záření, které vzniká, pokud mají všechny fotony stejnou vlnovou délku a nízkou rozbíhavost svazku. Pouze záření generované laserem má tyto vlastnosti.<sup>3,4</sup>

Každý laser se skládá ze 3 základních částí. Aktivní prostředí, kde dochází k zesilování záření, zdroj čerpání, ve kterém se excituje aktivní prostředí a rezonátor, který vytváří zpětnou vazbu mezi zářením a aktivním prostředím.

Laserové světlo tedy vzniká v prostředí stimulujícího záření potlačením spontánní emise na úkor vynucení emise záření. Spontánní emise záření vzniká, když atomy s energetickou hladinou  $E_2$  mají tendenci zaujmout energetickou hladinu s nižší energií  $E_1$ , a přitom emitují kvantum záření s frekvencí  $\nu$ , která se určí z rovnice [1]:

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

kde  $h$  je Planckova konstanta.<sup>1,2</sup>

Vlivem vnějších podnětů se vybuzený atom vrací zpět do základního stavu, přičemž emituje nový foton se stejnou frekvencí, jako měl předcházející foton. Tento způsob se nazývá stimulovaná emise záření. Stimulovaná emise je základ pro vznik laserového světla. Je zapotřebí, aby se nejprve co nejvíce elektronů udrželo na vyšší energetické hladině a posléze na této hladině vydrželo co nejdéle. To znamená, že atom musíme vybudit a dosáhnout tak populační inverze. Tím je vyšší energetická hladina obsazena více elektrony než nižší. Látky, díky kterým se takto děje, se nazývají výbojky nebo aktivní prostředí.<sup>1,2</sup>

### 2.2 Rozdělení laserů

Existuje mnoho druhů laserů, které všechny staví na stejném principu, ale liší se konstrukcí a realizací jednotlivých částí.<sup>4</sup>

## 2.2.1 Pevnolátkové lasery

Pevná opticky propustná látka je aktivním prostředím, jejich matrice je krystalická nebo amorfní.<sup>6</sup>

### **Rubínový laser**

Jedná se o jeden z nejstarších typů laserů, jehož aktivním prostředím je krystal rubínu –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pracuje v pulzním režimu, a díky tomu se využívá například pro vrtání tvrdých materiálů. V současné době je nahrazován především Nd: YAG lasery z důvodu velkého čerpacího výkonu.<sup>5,6</sup>

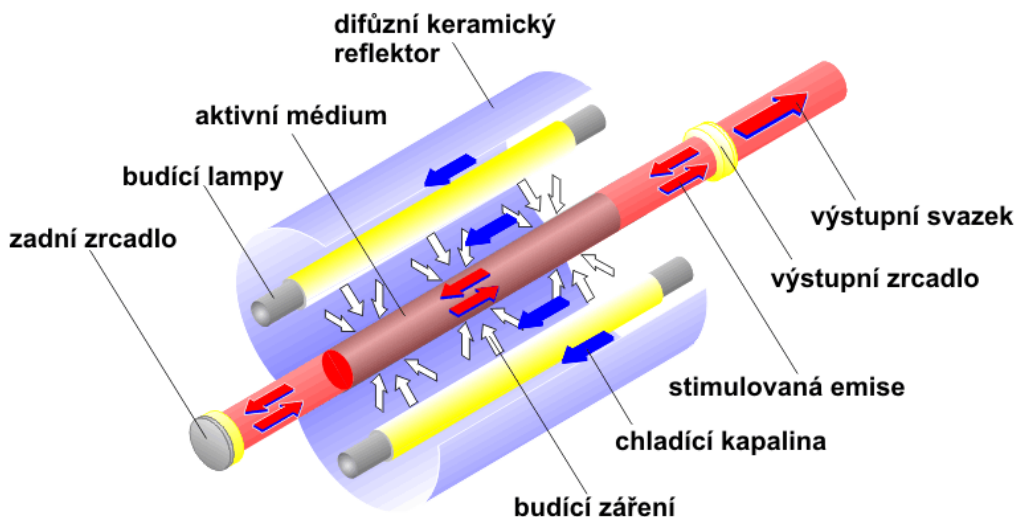
### **Nd: sklo laser**

Využívá se pro vysokoenergetické pulzní režimy práce s malou opakovací frekvencí, například pro velké termonukleární systémy.<sup>6</sup>

### **Nd: YAG laser**

Nejpoužívanější typ pevnolátkového laseru, jehož aktivním prostředím je neodým dopovaný Yttrium-Alumin Granát  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Využívají se především při vrtání děr, svařování a řezání. Nyní tyto lasery zažívají prudký rozvoj díky nahrazení výbojky laserovou diodou. Jejich výhodou je větší účinnost, delší trvanlivost, menší spotřeba elektrické energie a nižší pořizovací náklady.<sup>4,5,6</sup>





obr. 1 – Schéma pevnolátkového Nd:YAG laseru <sup>5</sup>

## Vláknové lasery

Aktivním prostředím jsou vzácné zeminy např. erbium a ytterbium. Buzení provádí diody. Tyto lasery nevyužívají zrcadel ani jiných mechanických prvků, a proto nedochází k dodatečným ztrátám výkonu. Další výhodou je vynikající jakost paprsku, účinnost až 40%, dlouhá životnost a malá náročnost na údržbu. <sup>19</sup>

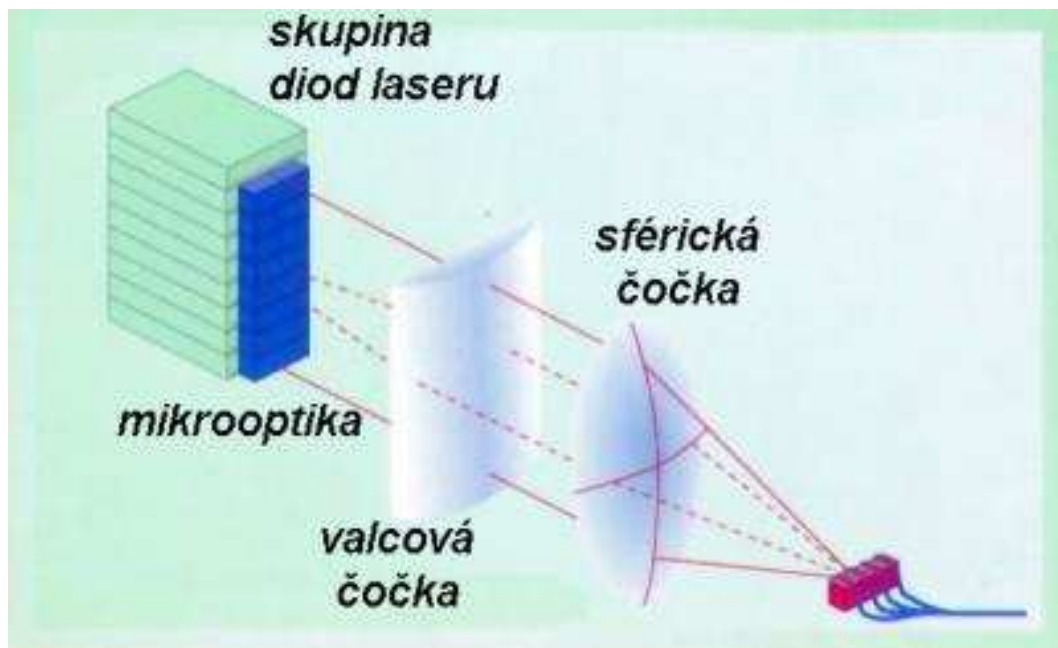
### 2.2.2 Kapalinové lasery

Aktivním prostředím jsou roztoky různých organických barviv. Díky barvivům a různým metodám míchání lze dosáhnout téměř všech vlnových délek. K jejich buzení se využívají jiné lasery nebo výbojky. Nevýhodou je krátká životnost aktivní látky, která se při používání rozkládá. Využívají se ve spektrometrii. <sup>2,21</sup>

### 2.2.3 Polovodičové lasery

Aktivním prostředím je materiál, ve kterém jsou nerovnovážné elektrony a volné nosiče náboje. Výhodou je velká účinnost a možnost přeladění v širokém pásmu. Nevýhodou je velká závislost na teplotě aktivního polovodičového materiálu a velká rozbíhavost

generovaného paprsku. Využívají se na popisování, řezání, svařování, atd. Do této kategorie patří např. diodový laser nebo injekční polovodičový laser.<sup>6</sup>



obr. 2 - Konstrukce diodového laseru<sup>6</sup>

## 2.2.4 Plynové lasery

Aktivní prostředí je plyn. Plynové lasery se dají využít k získání kontinuálního ale i pulzního paprsku.<sup>4,21</sup>

K vybuzení se nejčastěji využívají elektrické výboje v plynu, ale dá se použít vybuzení i pomocí chemické reakce, rychlou expanzí plynu, fotodisociací, průchodem svazku rychlých elektronů či opticky.<sup>4,6,21</sup>

Plynové lasery pracují na principu za nízkého tlaku stále proudícího plynu v trubici ze speciálního skla, a to buď axiálně, či příčně na osu vznikajícího paprsku. Trubice mají průměry v řádech milimetrů až centimetrů a délku od několika milimetrů až po několik metrů. Když vzniká laserový paprsek, tak se trubice zahřívá až ke 100°C, a z tohoto důvodu musí být chlazena nejčastěji vodou.<sup>4,6,21</sup>

K vytvoření kontinuální světelné vlny se využívají zrcadla, kdy na obou koncích trubice je zrcadlo nepropustné a polopropustné. Po vybuzení atomů v rezonátoru se vytvoří světelné vlny stimulované emise. Tyto vlny jsou mezi zrcadly odráženy tak dlouho, až se vytvoří právě kontinuální světelná vlna, která je následně polopropustným zrcadlem vypuštěna z rezonátoru.<sup>4,6,21</sup>

Výhodou je vysoká účinnost, nízká rozbíhavost a homogenita laserového svazku.<sup>4,6,21</sup>

### **Helium – Neonový laser**

Směs helia a neonu tvoří aktivní prostředí. Budí se pomocí výbojky, kdy jsou atomy helia vybuzeny do vyšších energetických stavů. Následně tuto energii při srážkách předávají atomům neonu. Tyto lasery nemají velký výkon, ale výhodou je malá divergence paprsku a jeho dobrá koherence.<sup>5,6</sup>

### **CO<sub>2</sub> lasery**

Lasery využívající plyn CO<sub>2</sub> jsou nejčastěji používané plynové lasery.<sup>4,6,21</sup>

Molekuly oxidu uhličitého tvoří aktivní prostředí. U těchto laserů je možné použít místo zrcadel čočky, ale pouze při výkonu do 4kW, jelikož vyšší energii paprsku by zaostřovací čočky nevydržely. CO<sub>2</sub> laser vytváří záření v infračervené části spektra, a proto není okem viditelné.<sup>4,6</sup>

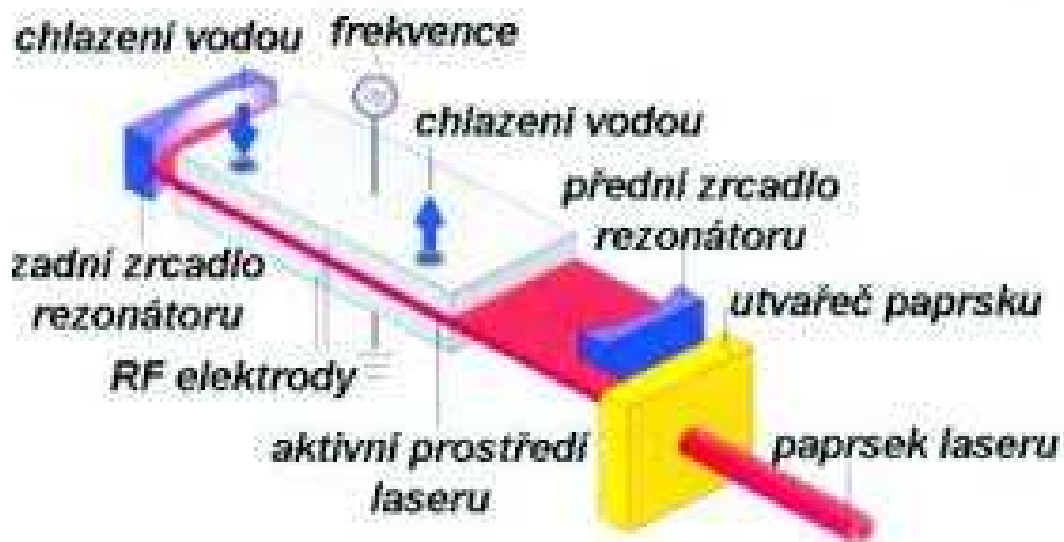
Pro vytvoření laserového paprsku se využívají plyny CO<sub>2</sub>, dusík a helium. Kvalita plynů je velmi důležitá a má největší vliv na kvalitu paprsku, proto jsou plyny dodávány v tlakových lahvích. Nečistoty mohou snížit výkon laseru, navýšit spotřebu plynů atd. Nejhoršími nečistotami jsou uhlovodíky a vodní páry. Lahve se musí měnit, jelikož je plyn spotřebováván. Složení plynů ve směsi je:

- 60-85% helia,
- 13-55% dusíku,
- 1-9% oxidu uhličitého.<sup>17</sup>

Přesné složení se liší podle konkrétního typu laseru. Minimální čistota laserových plynů se udává podle počtu 9 z celkového množství v % a je:

- Helium 4.6 (99,996%),
- Dusík 5.0 (99,999%),
- Oxid uhličitý 4.0 (99,99%).<sup>17</sup>

U CO<sub>2</sub> laserů se využívá k vybuzení elektrický nebo vysokofrekvenční výboj. Po vybuzení dochází k uvolnění fotonu, čímž vznikne excitovaná molekula. Excitovaných molekul v CO<sub>2</sub> vzniká málo, a proto je nutné používat i jiné plyny jako dusík a helium. Molekuly dusíky a oxidu uhličitého vzájemně kolidují, a tím vzniká vyšší počet excitovaných molekul. Pokud použijeme molekuly helia, tak z molekul oxidu uhličitého odvedeme teplo, čímž se uvolní energie z první energetické hladiny, což napomáhá k opakované excitaci molekul oxidu uhličitého.<sup>4,6</sup>



obr. 3 - schéma plynového laseru<sup>6</sup>

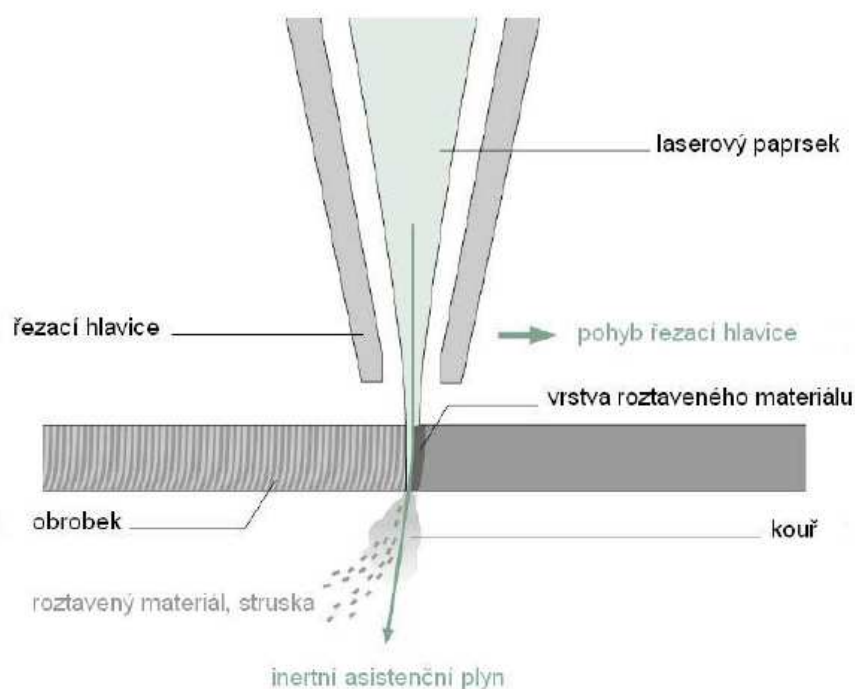
## 3 Použití laseru ve strojírenství

### 3.1 Řezání laserem

Řezání laserem patří mezi nejvíce využívanou metodu využití laseru ve strojírenství.

K tomu se využívají 3 základní principy:

- Laserové tavné řezání - metoda se zakládá na ohřevu materiálu na bod tání a následné vytlačení materiálu pomocí inertního plynu přivedeného do řezné hlavice. Tato metoda se vyznačuje vysokou rychlostí řezu, ale nižší kvalitou řezného povrchu.
- Laserové řezání s aktivním plynem – metoda se zakládá na ohřevu materiálu na teplotu hoření a následné přivedení aktivního plynu řezací hlavicí, standardně se využívá kyslík. Ten napomáhá k exotermické reakci, která spaluje základní materiál. Tato metoda se vyznačuje vysokou rychlostí řezu a kvalitní řeznou plochou.
- Laserové sublimační řezání – metoda se zakládá na ohřevu materiálu na teplotu odpaření a následné vytlačení vzniklého plynu inertním plynem, který je přiveden řezací hlavicí. Tato metoda se vyznačuje úzkým řezem a vysokou kvalitou řezné plochy.<sup>2,6,7</sup>



obr. 4 - schéma řezání laserem <sup>7</sup>

### 3.1.1 Plyny využívané při řezání laserem

Řezné plyny slouží k odstranění tekutého materiálu z místa řezu, k urychlení řezného procesu a zabraňují nežádoucím chemickým reakcím. <sup>17</sup>

#### Kyslík

Kyslík je nejpoužívanějším řezným plynem při řezání laserem nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Kyslík urychluje řezný proces vznikem exotermické reakce. Díky exotermické reakci je také možné řezat větší tloušťky než ostatními plyny. Abychom dosáhli kvalitních parametrů, musíme používat kyslík vysoké čistoty min. 3.5 (99,95%). Nevýhodou je vznik oxidační vrstvy na povrchu řezu, tato vrstva není vhodná pro svařování ani povrchové úpravy, a proto je nutné ji mechanicky odstranit. <sup>17</sup>

#### Dusík

Dusík nevytváří exotermickou reakci jako kyslík, a proto řezání není tak rychlé a není možné řezat tloušťky jako u kyslíku. Pro řezání dusíkem se využívá dusík vysoké

čistoty 5.0 (99,999%). Výhodou je, že nedochází k oxidaci materiálu, proto je vhodný pro řezání korozivzdorných ocelí, ale i ocelí, kde není možné nebo není výhodné dodatečné opracování po pálení kyslíkem. Dále se využívá pro řezání hliníku a jeho slitin. Nevýhodou je právě menší rychlost a nemožnost prořezu větších tloušťek.<sup>17</sup>

### **Argon**

Argon se využívá při řezání speciálních materiálů jako je titan či zirkon, a to z důvodu chemické nereaktivnosti s těmito materiály. Výhodou argonu je dobrá ochrana řezných ploch před účinky okolního vzduchu. Nevýhodou jsou vysoké náklady.<sup>17</sup>

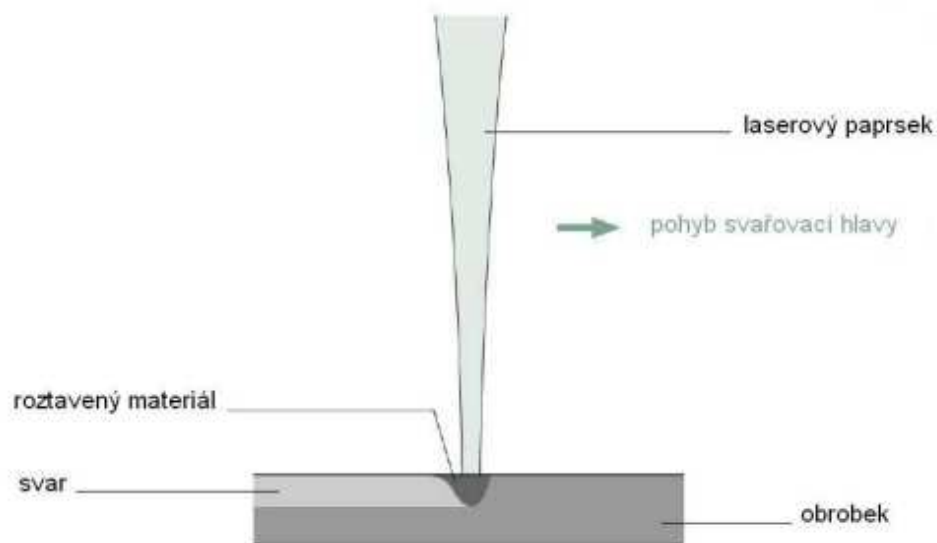
## **3.2 Svařování laserem**

Svařování laserem je výhodné tam, kde je nutné zmenšit plochu ovlivnění materiálu teplem, například u tenkých plechů. Velkou výhodou je rychlost a kvalita, ale je nutné svařovat velké série nebo hromadné výroby, není vhodné pro malosériovou výrobu.

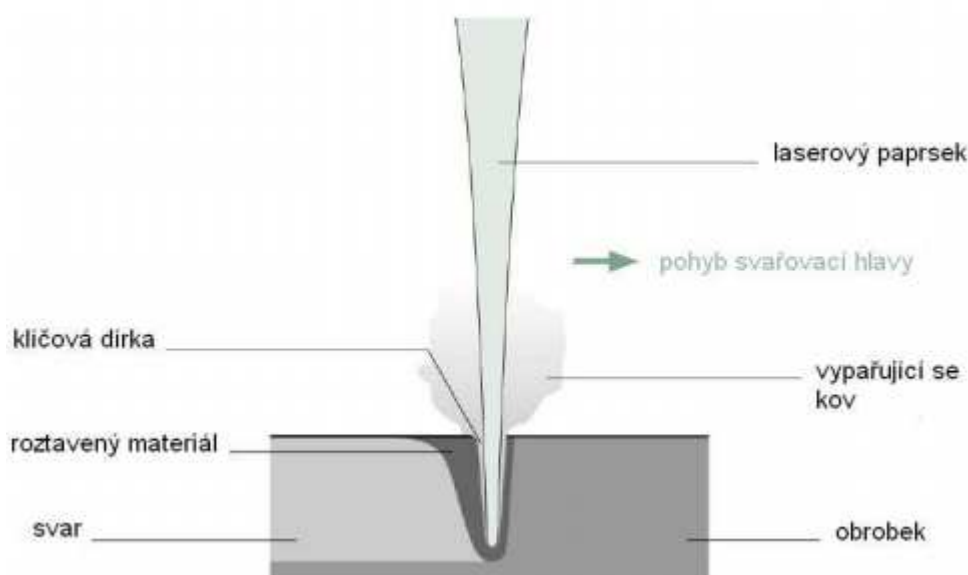
Pro svařování se spíše hodí pevnolátkové lasery, ale CO<sub>2</sub> lasery se dají také použít.

Ke svařování se používají 2 základní principy:

- Kondukční svařování (obr. 5) – kondukční svařování se používá pouze u pevnolátkových laserů při použití krátkých impulsů. Tato technologie provaří materiál pouze v několika málo milimetrech, a proto je výhodná v lékařském a elektrotechnickém průmyslu.
- Hluboké svařování „KEY HOLE“ (obr. 6) – při této technologii využíváme CO<sub>2</sub> lasery v kontinuálním režimu. Při vhodné kombinaci rychlosti laseru a parametrů svařování, dochází k efektu tzv. klíčové dírky. Materiál je okamžitě odpařen a vyfouknut čímž vznikne úzká dutina. Tato dutina je tvořena vrstvou taveniny, která se pohybem laseru uzavírá, a tím vzniká úzký, ale hluboký svar. Díky tomuto efektu je možné dělat svary i u tlustších materiálů. Přiváděný plyn do místa svaru zabraňuje oxidaci a pórovitosti v oblasti svaru. Svary takto vytvořené jsou kvalitní a celistvé.<sup>2,6,8,9</sup>



obr. 5 - Kondukční laserové svařování<sup>8</sup>



obr. 6 - Hluboké laserové svařování (KEY HOLE)<sup>9</sup>

### 3.3 Gravírování a značení laserem

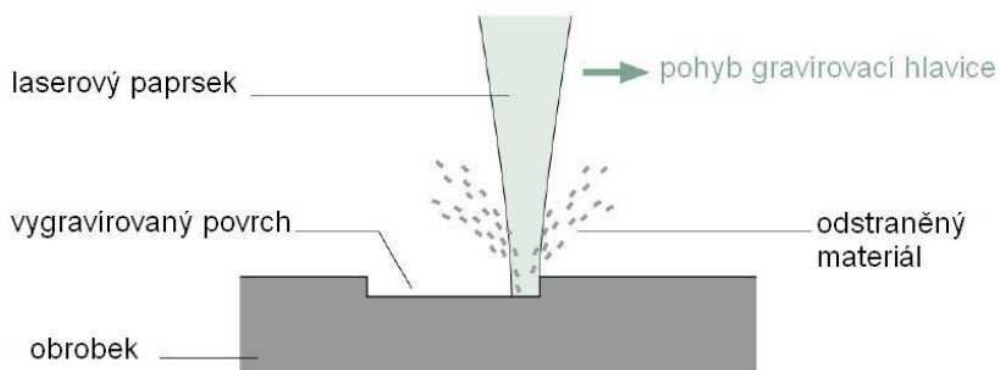
Gravírování a značení výrobků díky laserovým technologiím dostalo úplně nové možnosti použití. Výhodou je rychlost a flexibilita změny označení, díky ovládní z PC. Touto technologií můžeme značit, jak kovové, tak nekovové materiály. CO<sub>2</sub> lasery jsou



vhodné pro gravírování malých tloušťek nebo nekovových materiálů. Pokud je potřeba značení hlubší, je nutné operaci nechat opakovat.

Ke gravírování se používají 2 principy:

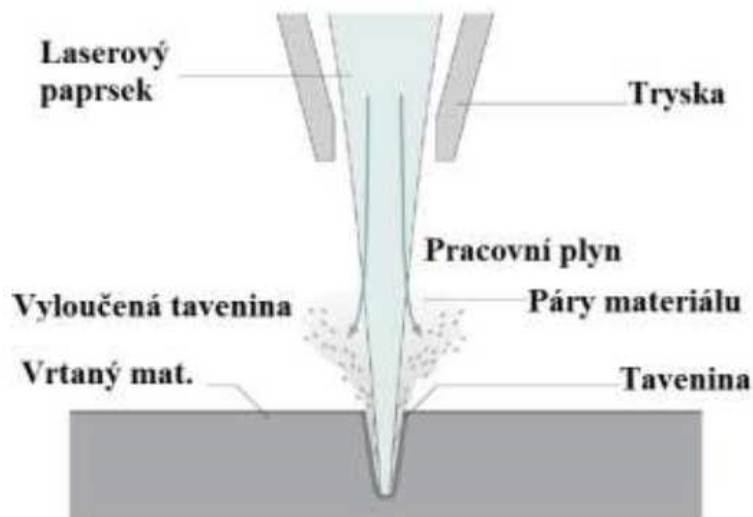
- Tavení a odpařování materiálu – tato metoda se používá při popisování a gravírování kovů.
- Zuhelnatění povrchu – tato metoda se nejčastěji používá při popisování plastů, kde změnou parametrů můžeme změnit sytost i zabarvení materiálu.<sup>2,6,10</sup>



obr. 7 - Gravírování laserem<sup>10</sup>

### 3.4 Vrtání laserem

Vrtání laserem probíhá při pulzním režimu, kdy dochází k odpařování materiálu. Délka pulsu musí být méně než 1 ms. Nezáleží jen na délce pulsu, ale je také důležité správně zvolit typ vrtání, buďto jednotlivé pulzy, opakované pulzy, vyřezávání díry nebo další metody. Výhodou vrtání laserem je vrtání velmi malých otvorů i v obtížně dostupných místech. Vrtat můžeme kovy, dřevo, plasty, sklo a další materiály. K vrtání laserem se nejčastěji používají Nd: YAG lasery s výkonem od 100 do 500 W. Vrtání laserem je v některých případech nemožné nahradit jinou metodou obrábění.<sup>2,6,11</sup>



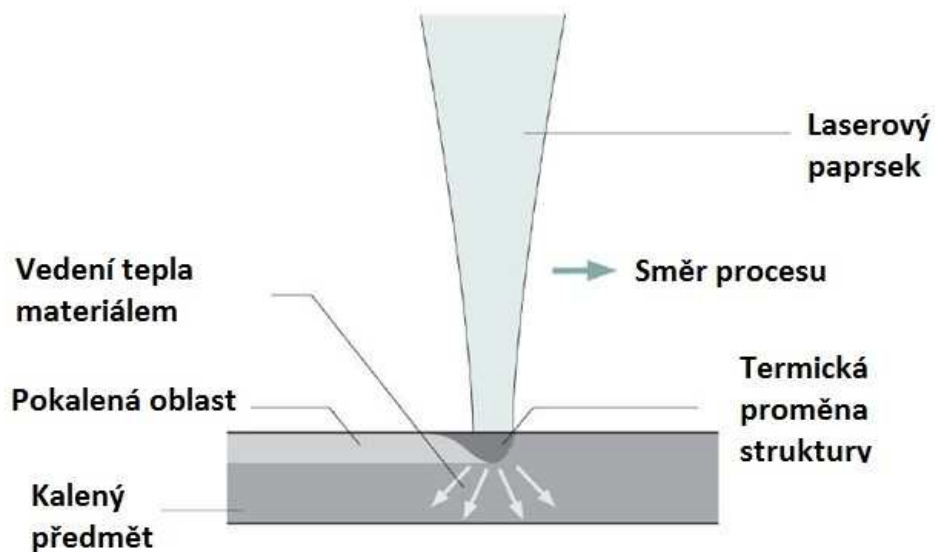
obr. 8 - Vrtání laserem <sup>11</sup>

### 3.5 Tepelné zpracování laserem

Možnosti tepelného zpracování laserem jsou:

- ohřev materiálu – žíhání, kalení, popouštění,
- tavení materiálu – tepelné zpevnění,
- odpařování materiálu – rázové zpevnění.

Charakteristické pro tepelné zpracování laserem je malá ovlivněná oblast a krátká doba ohřevu. Výhodou je, že je možné tepelně zpracovat materiál i na místech kam se jiné metody nedostanou, např. místní kalení drážek. <sup>2,6,12</sup>



obr. 9 - Tepelné zpracování laserem (kalení) <sup>12</sup>

### 3.6 Leštění povrchu laserem

K leštění a čištění se využívá pulzních laserů. Tyto lasery musí mít mikrosekundové trvání paprsku, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění materiálu. Standardně se využívají Nd: YAG lasery, které dovedou povrch vyleštit na drsnost Ra 0,1 až 0,2  $\mu\text{m}$ , a přitom nedojde k defektům na povrchu. Využívá se pro leštění tvářecích strojů a forem. <sup>2,6</sup>

### 3.7 Nanášení ochranných a otěruvzdorných materiálů laserem

Můžeme využít všechny typy laserů, pracuje na principu roztavení nanášené vrstvy v pásu, kde se jednotlivé pásy překrývají. Můžeme nanášet pomocí drátu přiváděného do pracovní hlavy laseru nebo může být materiál již na díle nanesen a laserem pouze natavován. Výhodou je, že nanesený povrch je celistvý bez trhlin, má dobrou přilnavost, může mít tloušťku až 1 mm a lze nanášet i na složité tvarové součásti. <sup>2,6</sup>

## 4 Princip a rozdělení vysekávání

Vysekávání slouží k beztržskému dělení plochých materiálů. Jedná se o jednu z neproduktivnějších a nejmodernějších technologií konvenčního beztržského dělení plechů. Vysekávání se používá k vytvoření složitých tvarů, které nejdou zhotovit stříháním. Dále se vysekávání používá v případech, kdy použití laseru je příliš nákladné nebo nevýhodné, např. pokud je nutné, aby řez nebyl tepelně ovlivněn. Dalšími výhodami je přesnost otvorů, která je vyšší než u laserů, vhodnost jak pro kusovou, tak sériovou výrobu, vysoká produktivita, vysoká přesnost, u děr tvořených jednou ranou levnost a přesnost oproti laseru, využití multitoolových nástrojů, (obr. 10) ke snížení počtu výměn nástrojů. Vysekává se z materiálů:

- ocelový plech,
- měděný plech,
- hliníkový plech,
- guma,
- klingerit,
- některé měkké plasty.<sup>13,14,23</sup>

Nevýhodou vysekávání je značná omezenost tloušťky sekaného materiálu, při výrobě velkých poloměrů na dílech značné prodloužení doby vysekávání z důvodu menších přesahů niblování, při niblování viditelné pozůstatky jednotlivých střížných zdvihů na střížné hraně, navyšování času množstvím výměn nástrojů, opotřebení vysekávacích nástrojů.



obr. 10 - Příklad multitoolových nástrojů <sup>13</sup>

## 4.1 Princip vysekávání

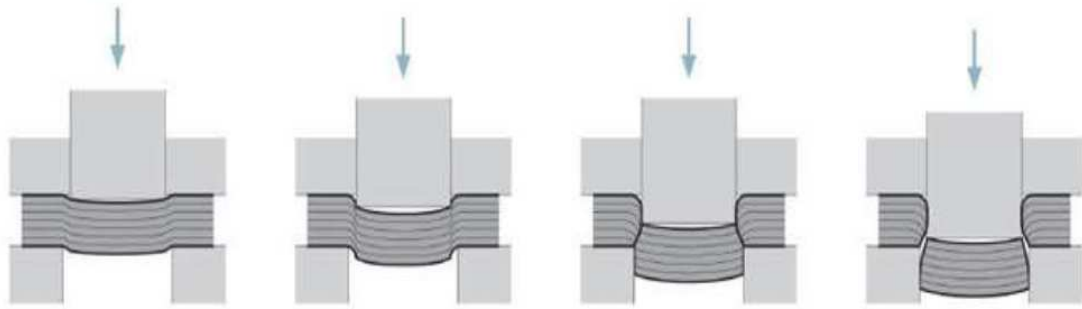
Je to proces, kdy oddělujeme materiál vnesením smykového napětí do řezné roviny materiálu. Napětí vzniká působením dvou protilehlých řezných hran. Jednou z řezných hran je matrice, druhou je razník. Mezi ně je vložen materiál. Pohyb razníku proti matrici musí být přesně vycentrovaný, jinak by došlo k nenávratné škodě na stroji. Vysekávání se dělí na 4 fáze (obr. 11), první tři fáze patří do pásma stříhu. (obr. 12) <sup>14</sup>

V první fázi dochází k pružné deformaci. Ta startuje hned po dotyku razníku s materiálem. Materiál je ohýbán a vtlačován do matrice. <sup>14</sup>

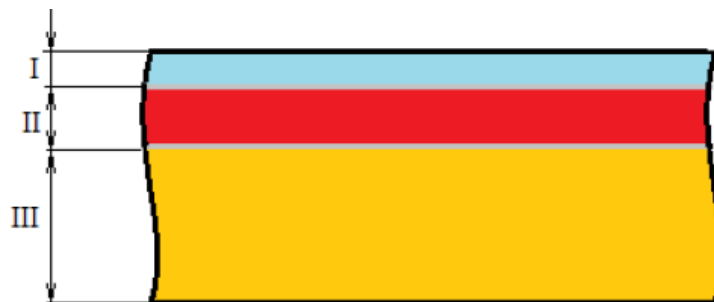
Druhá fáze je v oblasti deformace plastické. Razník je zatlačován do materiálu a do otvoru v matrici. Vzniká přitom napětí, které přesahuje mez kluzu a přibližuje se mezi pevnosti. <sup>14</sup>

V třetí fázi dochází k odstřížení materiálu, které probíhá tak, že se na střížné hraně začínají tvořit trhlinky, které se zvětšují, až do chvíle kdy, dojde k utržení materiálu. <sup>14</sup>

Čtvrtá fáze je protlačení materiálu razníkem skrz celou tloušťku materiálu a matrici. <sup>14</sup>



obr. 11 - Jednotlivé kroky při přesném vysekávání <sup>14</sup>



obr. 12 - Pásma stříhu <sup>14</sup>

Část materiálu je tedy odseknuta a část materiálu odtržena. Vzhledem k tomuto faktu je drsnost na řezné ploše ve dvou drsnostech, které se výrazně liší. Část materiálu vyseknutá má drsnost výrazně lepší než část materiálu odtržená. Pokud chceme získat lepší drsnost v celém průřezu řezné plochy, provedeme vyseknutí dvakrát. Poprvé na rozměr o něco menší než je výsledná díra, podruhé vysekáváme díru v přesném rozměru. Tímto způsobem je možné dosáhnout až stoprocentního podílu řezu ve střížné ploše.

## 4.2 Rozdělení vysekávání

### 4.2.1 Ruční

Při ručním vysekávání používáme výsečník. Výsečník je jednobřítý nástroj, který je broušen pod úhlem  $16^\circ$  až  $20^\circ$ . Používá se k vysekávání otvorů a k výrobě instalatérských těsnění. Výsečník se přikládá k materiálu, přičemž materiál je na

dřevené či silonové podložce. Do výsečnicku udeříme kladivem a zarytím výsečnicku do materiálu vytvoříme příslušný otvor. <sup>14,15</sup>



obr. 13 – Výsečnický 15

## 4.2.2 Strojní

Strojní vysekávání se provádí na vysekávacích lisech. Provádí se dle popisu výše.



obr. 14 - Vysekávací lis (Trumpf TruPunch 1000) <sup>16</sup>

## 5 Náklady

Pro stanovení hodinové sazby stroje je vhodné rozdělit jednotlivé náklady s tímto spojené do jednotlivých kategorií. Položky rozdělujeme do kategorií podle jejich společných vlastností.<sup>24,28</sup>

První kategorií jsou fixní náklady, kam patří náklady na pořízení stroje a prostorové náklady. Jejich společnou vlastností je klesající podíl v hodinové sazbě stroje s rostoucím časovým fondem.<sup>24,28</sup>

Druhá kategorie jsou náklady variabilní, kam patří spotřeba elektrické energie, spotřeba provozních kapalin a náklady na nástroje. Jejich společnou vlastností je nezávislost na časovém fondu tudíž stále stejná výše v hodinové sazbě stroje.<sup>24,28</sup>

Třetí kategorie jsou mzdové náklady na operátora a s tím spojené další náklady na pracovníky. Tyto náklady jsou často milně zařazeny do variabilních nákladů. To ale není přesné, jelikož pracovníci jsou často přijímáni na plný úvazek, a proto při změně časového fondu stroje je nezbytné pracovníkovi zařídit jiný druh práce. Při dlouhodobější změně pak lze přistoupit ke snížení stavu operátorů, ale i při této variantě je nutné počítat s dalšími náklady.<sup>24,28</sup>

Čtvrtá kategorie jsou náklady, které nejsou se strojem přímo spojené. Tyto náklady jsou určovány na základě alokačních klíčů či rozvrhových základů.<sup>24,28</sup>

Samostatnou skupinou jsou náklady na údržbu a opravy stroje, jelikož není možné určit, na kolik jsou ovlivněny řezným procesem, a proto je zapotřebí přistupovat k nim individuálně.<sup>24,28</sup>

### 5.1 Fixní náklady

Tyto nákladové položky souvisí přímo se strojem a mají fixní charakter. Tyto náklady v hodinové sazbě stroje přímo závisí na efektivním časovém fondu.<sup>24,25</sup>



První položku, kterou započteme do hodinové sazby stroje je odpis stroje nebo leasing. Nejdříve musíme dle možností firmy rozhodnout, jakým způsobem si stroj zafinancujeme. Existují dvě možnosti, nákup stroje z vlastních zdrojů nebo cizích zdrojů. Cizí zdroje jsou většinou bankovní úvěry nebo leasing.<sup>24,25</sup>

### 5.1.1 Pořízení stroje z vlastních zdrojů

Do této možnosti se řadí tyto zdroje financování:

- vklady vlastníků nebo společníků,
- nerozdělený zisk,
- odpisy,
- výnosy z prodeje a z likvidace hmotného majetku a zásob.<sup>24,25</sup>

Hlavní výhodou této varianty je nezadlužování podniku. Díky tomu, že se podnik stává okamžitým vlastníkem, tak i celkové náklady jsou nižší, jelikož není třeba platit úroky. Je ale potřeba vzít v úvahu jiné využití těchto finančních prostředků, které by mohly být pro firmu výhodnější.<sup>24,25</sup>

#### Odpisy

Odpisy jsou shromažďovány v odpisovém fondu. Odpisy mají vystihnout vliv opotřebení a vyjádřit skutečnost, že část hodnoty zařízení přechází i do hodnoty výrobku. Možnosti odpisu jsou založené buďto na základě času nebo na základě výkonu. Častěji se využívá odepisování na základě času.<sup>24,25</sup>

- Odpisy jako funkce výkonu – zde se provádí odpis podle opotřebení v závislosti na výkonu stroje. K výpočtu tohoto odpisu slouží vzorec [2], ve kterém se zohledňuje pořizovací cena zařízení, celkový počet výrobků za dobu životnosti a výroba za období, ve kterém je odpis počítán.

$$N_{odp} = \frac{N_{por}}{Q_z} Q_t \quad [2]$$

Kde:

$N_{odp}$ [Kč]	-	odpis,
$N_{por}$ [Kč]	-	pořizovací cena zařízení,
$Q_z$ [ks]	-	celková výroba za dobu životnosti,
$Q_t$ [ks]	-	celková výroba za dobu odpisu.

Tato metoda je výhodná v případě, kdy dochází k nerovnoměrnému opotřebení stroje a také v případech, kdy je potřeba přesně vyjádřit stupeň opotřebení v nákladech.

Její nevýhodou je, že opomíjí vliv technického vývoje a ekonomickou životnost stroje. <sup>24,25</sup>

- Odpisy jako funkce času – lineární metoda odpisování je nejpoužívanější, jelikož se odpisy rovnoměrně přenášejí do nákladů během ekonomické životnosti stroje. Přestože v praxi nedochází k rovnoměrnému opotřebení, tak je tato metoda přesnější než různé progresivní metody založené na hypotetickém průběhu opotřebení. Tato metoda odpisů se vypočte pomocí vzorce [3], kde pracujeme s pořizovací cenou a ekonomickou dobou životnosti. Je také možné, že po odepsání bude stroj stále v provozu schopném stavu, a proto k zachycení této skutečnosti slouží vzorec [4], kdy je navíc počítáno s prodejní cenou a demontáží.

$$N_{odp} = \frac{N_{por}}{t_z^E} \quad [3]$$

$$N_{odp} = \frac{N_{por} - C_z + N_{lik}}{t_z^E} \quad [4]$$

kde:

- $N_{odp}$  [Kč] - odpis,
- $N_{por}$  [Kč] - pořizovací cena zařízení,
- $C_z$  [Kč] - zbytková cena zařízení,
- $N_{lik}$  [Kč] - náklady na likvidaci,
- $t_z$  [ks] - ekonomická doba životnosti.

Dále je možné stroj odepisovat progresivně. Tato metoda se využívá v případech, kdy je opotřebení stroje rostoucí. Odpisy se tedy časem zvyšují. Můžeme odepisovat buďto pomocí aritmetické řady nebo pomocí geometrické řady. Při využití aritmetické posloupnosti využíváme rozdíl nazývaný diference. Pokud využijeme geometrickou řadu, používáme progresy. Progrese má své opodstatnění, pokud chceme spojit odpisy s úroky či náklady podobného charakteru.<sup>24,25</sup>

Poslední možností je degresivní metoda odpisování. Při využití této metody se odpis snižuje. Výhoda této metody je neměnná hodinová sazba, jelikož s časem se zvyšují náklady na údržbu a opravy. Stroj také v prvních letech mnohem více ztrácí tržní hodnotu. Opět zde můžeme využít aritmetické řady a geometrické řady. Využití odpisu geometrickou řadou je výhodné, pokud uvažujeme s prodejem stroje po ukončení odpisování, např. po 5 letech. Při využívání degrese je nutné mít na paměti, že čím vyšší degresi zvolíme, tím vyšší budou počáteční odpisy, což zapříčiní nereálné navýšení cen výrobků.<sup>24,25</sup>

### 5.1.2 Pořízení stroje na úvěr

Jedná se o možnost financování stroje z cizích zdrojů. Tyto zdroje může dle doby splácení rozdělit:

- krátkodobé – splatnost do 1 roku,
- střednědobé – splatnost od 1 do 5 let,
- dlouhodobé splatnost nad 5 let. <sup>24,26,27</sup>

Dále dělíme úvěr dle poskytovatele:

- Bankovní úvěr – zde je poskytovatel banka, která standardně vyžaduje uvést účel použití finančních prostředků a projekt.
- Obchodní úvěr – zde se jedná o odklad splatnosti prodejní ceny.
- Úvěr uvnitř společnosti – zde nám úvěr poskytuje sesterská či mateřská společnost. <sup>24,26,27</sup>

Výhodou této metody je nižší zatížení finančních prostředků, přičemž se firma stává okamžitým majitelem stroje. <sup>24</sup>

Nevýhodou je zadlužení firmy a vyšší celková cena stroje o úroky. <sup>24</sup>

### 5.1.3 Pořízení stroje na leasing

Leasing je určitý druh pronájmu stroje. Existují dva typy leasingu a to buď se vstupem dvou stran, kdy se jedná o přímý leasing nebo se vstupem tří stran, kdy se jedná o nepřímý leasing. Přímý leasing je vztah mezi pronajímatelem a nájemcem. Nepřímý leasing je pronájem stroje od leasingové společnosti, která po domluvě s nájemcem stroj zakoupí u výrobce. <sup>24,26,27</sup>

Existují tyto možnosti leasingu:

- Operativní (provozní) leasing – jedná se o krátkodobý charakter pronájmu, kdy firma využívá stroj pouze po dobu potřeby, a poté je stroj vrácen pronajímateli. Náklady na údržbu a opravy hradí pronajímatel.
- Finanční (kapitálový) leasing – jedná se o dlouhodobý pronájem, kdy je stroj pronajat na celou dobu životnosti stroje nebo na dobu více let (minimálně tři roky). Náklady na údržbu a opravy hradí nájemce. Po skončení doby pronájmu stroj zůstává nájemci.
- Prodej a zpětný pronájem – jedná se o prodej stroje leasingové společnosti, která stroj zpětně pronajímá firmě. Provádí se v případě nutnosti získání volných finančních prostředků.<sup>24,26,27</sup>

## 5.2 Variabilní náklady

Jak bylo řečeno, do variabilních nákladů se počítají náklady na nástroje, elektrickou energii spotřebovanou strojem a náklady na řezné kapaliny. Do variabilních nákladů můžeme započítat i další náklady jako opravu a údržbu.<sup>24,25,28</sup>

### 5.2.1 Náklady na nástroje

Náklady na nástroje patří k nemalé části hodinové sazby, ovšem u laseru a vysekávací stroje tomu tak není. Přesto tyto malé náklady musíme započítat. Odvíjí se od trvanlivosti a životnosti nástroje pro daný materiál. U vysekávacího stroje a laseru se nástroje kupují jako celek. Uvažujeme tedy náklady na nástroj na jednu trvanlivost dle vztahu [5]. Nástroje pro vysekávací stroj je možné ostřit, a poté využijeme vzorec [6].

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zns}}{T} + t_{os} \cdot k_c \cdot \frac{M_{os}}{60} \left( 1 + \frac{RNO_{PL}}{100} \right) \cdot \left( \frac{z_o}{z_o + 1} \right) \quad [5]$$

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zns}}{T} + t_{os} \cdot k_c \cdot \left( \frac{M_{os}}{60} + \frac{HRP_{os}}{60} \right) \cdot \left( \frac{z_o}{z_o + 1} \right) \quad [6]$$

kde:

- $C_n$  [Kč] - cena nástroje,
- $C_{zn}$  [Kč] - zbytková cena nástroje,
- $M_{os}$  [Kč/hod] - mzda ostříče včetně sociálního a zdravotního pojištění,
- $RNO_{PL}$  [%] - režijní náklady ostřírny vyjádřené přírážkou,
- $Z_o$  [ks] - počet možných přeastření nástroje,
- $t_{os}$  [ks] - čas ostření nástroje,
- $HRP_{os}$  [ks] - hodinový režijní paušál ostřírny.<sup>24,25,28</sup>

Trvanlivost – je to čistý čas všech seků od začátku obrábění až do jeho opotřebením na hodnotu, která je předem stanovená. Toto opotřebením musí být stanovené tak, aby měl výrobek požadovaný tvar, rozměr a kvalitu.<sup>24,25,28</sup>

Životnost – je to součet všech trvanlivostí, neboli také celková doba funkčnosti nástroje od jeho uvedení do činnosti, až do jeho vyřazení.<sup>24,25,28</sup>

Opotřebením nástroje závisí na následujících faktorech:

- metoda obrábění,
- vlastnosti obráběného materiálu,
- vlastnosti nástrojového materiálu,
- řezné podmínky (řezná rychlost a prostředí, šířka záběru ostří, rychlost posuvu).<sup>24,25,28</sup>

## **5.2.2 Náklady na elektrickou energii**

Stanovit spotřebu elektrické energie je možné pouze zaznamenávacím zařízením, proto nejčastějším způsobem stanovení nákladů na energii je přiřazení části celkových nákladů na elektřinu. Při tomto způsobu se vychází z předepsané spotřeby elektrické energie strojem v technickém listu stroje. Údaje v technickém listu o spotřebě elektrické energie sice nejsou přesné, protože CNC stroje mají více elektromotorů a ne všechny pracují ve stejný moment, ale pro stanovení množství elektrické energie spotřebované z celku jsou tyto data dostačující.<sup>24,28</sup>

## **5.2.3 Náklady na procesní kapaliny**

Standardně se využívá procesních kapalin k chlazení a mazání místa řezu. U vysekávacích strojů se k chlazení používá demineralizovaná voda. Oleje se používají k mazání nástrojů a pohonů. Spotřebu těchto kapalin zjistíme v technickém listu. U laserů se chladí vodou laserová trubice. Zde se doplňuje malé množství, a tak ji do kalkulace nezahrnujeme. Některé typy laserů mají možnost chlazení řezného prostoru. Chladicí kapalina je zahřátá a ve většině případů se stříká přímo na trysku a materiál. Ve firmě DIOSS Nýřany a.s. toto chlazení nepoužíváme, a proto tyto procesní kapaliny také do kalkulace započítány nebudou.<sup>24,28</sup>

## **5.2.4 Náklady na procesní plyny**

Spotřeba procesních plynů je stanovena v technickém listu stroje. V technickém listu je uvedeno, které plyny jsou k onomu stroji zapotřebí, a také jaká minimální čistota těchto plynů musí být. Procesní plyny se využívají u laserů k přeměně elektrické energie na laserové záření, a proto s nimi musím v této práci počítat.<sup>24,28</sup>

## **5.3 Alokované náklady**

Tyto náklady nemusí souviset přímo s daným výrobkem, ale je nutné zahrnout je do ceny výrobku.<sup>26,27</sup>

### 5.3.1 Princip alokace

Základní principy alokování nákladů jsou:

- Princip průměrování – rozkládá náklady průměrně mezi všechny výrobky.
- Princip příčinné souvislosti vzniku nákladů – k nákladům na díl se přiřazují pouze náklady, které s ním souvisí.
- Princip únosnosti nákladů – u tohoto principu se neřeší souvislosti, ale k ceně dílu se přiřazují pouze tak velké náklady, které díl dokáže unést<sup>26,27</sup>

### 5.3.2 Volba rozvrhové základny

Alokované náklady, které jsou přiděleny kalkulační jednotce, je výrazně ovlivněna volbou rozvrhové základny. Díky této jednotce jsou náklady přiřazovány na jednotku výkonu.

Rozvrhová základna by měla splňovat tyto požadavky:

- Rozvrhová základna by měla být jednoduše zjištělná, kontrolovatelná a celkově jednoduchá.
- Její velikost by měla být dostatečně velká, aby změny v rozsahu výrazně nezměnily celkovou výši nákladů.
- Měla by to být veličina, která má největší vliv na rozvrhované náklady v celkové výši.
- Rozvrhová základna a rozvrhované náklady by měly být relativně ve stejném poměru.<sup>26,27</sup>

V praxi je velmi těžké tyto požadavky splnit, a proto i s jistou mírou nepřesnosti se využívá rozdělení do těchto skupin.

- Výrobní režie – do této rozvrhové základny patří přímá práce a materiál, strojní čas a podobné. V této režii se vyskytují položky, které jde přiřadit k jednotlivým výkonům.



- Zásobovací režie – do této rozvrhové základny patří hlavně spotřebovaný materiál, jelikož je na spotřebě přímo závislá.
- Správní režie – do této rozvrhové základny spadají náklady, které jsou vesměs fixního charakteru. Tyto položky nemají žádnou příčinnou souvislost, a proto je většinou rozvrhujeme podle principu únosnosti nebo průměrování nákladů.
- Odbytová režie – tyto položky také nemají žádnou příčinnou souvislost, a proto je rozvrhujeme také podle principu únosnosti nebo průměrování nákladů.<sup>26,27</sup>

## 5.4 Mzdové náklady

Když budeme uvažovat, že časový fond operátora se shoduje s časovým fondem stroje, tak do výpočtu přímo vložíme mzdu operátora navýšenou o veškeré náklady vztahující se k němu. Další možnost jak zakomponovat operátory do hodinové sazby, je rozpočítat celkové roční mzdy operátorů s přídavky a tuto částku podělit ročním fondem stroje.  
24,26,27

# 6 Stanovení hodinové sazby laseru

Výpočty jednotlivých položek jsem provedl v programu MS Excel. Jednotlivé položky suplují rozdělení v teoretické části. Uvažuji 3 směnný provoz firmy.

## 6.1 Fixní náklady

Do fixních nákladů jsem zařadil odpis stroje a prostorové náklady.

tab. 1 - Odpis stroje <sup>24,26,27</sup>

<b>ODPIS STROJE</b>		
Pořizovací cena stroje	21 000 000	Kč
Náklady na přepravu a instalaci stroje	50 000	Kč
Náklady spojené s pořízením stroje	150 000	Kč
Doba odepisování stroje	5	let
<b>Roční odpis stroje</b>	<b>4 240 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinový odpis stroje</b>	<b>701</b>	<b>Kč/hod</b>

V tabulce 1 jsou zobrazeny náklady na odpis stroje. Zvolil jsem lineární způsob odepisování stroje. Předpoklad je odepsání stroje za 5 let. Po 5 letech bude odepisování pokračovat a získané odpisy se budou shromažďovat v odpisovém fondu. <sup>24,26,27</sup>

tab. 2 - Prostorové náklady <sup>24,26,27</sup>

<b>PROSTOROVÉ NÁKLADY</b>		
Pořizovací cena haly	20 000 000	Kč
Plocha výrobní haly	2200	m <sup>2</sup>
Plocha vyhrazená pro stroj	91	m <sup>2</sup>
Doba odepisování haly	10	let
<b>Roční prostorové náklady</b>	<b>82 727</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové prostorové náklady</b>	<b>13,7</b>	<b>Kč/hod</b>

Při výpočtu prostorových nákladů (tab. 2) jsem vycházel z celkové plochy haly a plochy obsazené strojem v této hale. Hala je odepisována po dobu 10 let lineárním způsobem. Prostorové náklady jsou tedy procentuální část ročního odpisu budovy. <sup>24,26,27</sup>

## 6.2 Variabilní náklady

Do variabilních nákladů jsem zařadil náklady na nástroje, elektrickou energii, stlačený vzduch, procesní plyny, řezný plyn a opravy a údržbu. <sup>24,26,27</sup>

tab. 3 - Náklady na nástroje<sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA NÁSTROJE</b>		
Náklady na nástroje	30 000	Kč
Náklady na ostřířnu	0	Kč
<b>Roční náklady na nástroje</b>	<b>30 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na nástroje</b>	<b>5</b>	<b>Kč/hod</b>

Vycházíme ze spotřeby za minulé období, kdy u laseru měníme trysky a rošt. Z 90% jsou to náklady na rošty. Trysky nelze přeastřovat, proto jsou náklady na ostřířnu nulové. Výpočet nákladů na nástroje je v tabulce 3.<sup>24,26,27</sup>

tab. 4 - Náklady na elektrickou energii stroje<sup>22,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA ELEKTRICKOU ENERGIÍ STROJE</b>		
Cena elektrické energie	3,5	Kč/kWh
Příkon stroje	100	kWh
Koeficient využití	70	%
<b>Roční náklady na elektrickou energii</b>	<b>1 500 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na elektrickou energii</b>	<b>245</b>	<b>Kč/hod</b>

Při výpočtu nákladů na elektrickou energii (tab. 4) vycházíme z ceny elektrické energie a teoretického příkonu stroje získaného v příručce ke stroji. Jelikož stroj nepracuje stále na 100 % výkonu a všechny elektromotory také nejsou neustále v chodu, tak zavádíme koeficient využití, který stanovujeme dle předchozího období na 70 % celkové spotřeby.

tab. 5 - Náklady na stlačený vzduch<sup>22,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA STLAČENÝ VZDUCH</b>		
Cena stlačeného vzduchu	3	Kč/m <sup>3</sup>
Spotřeba stlačeného vzduchu haly za rok	250 000	m <sup>3</sup>
Podíl spotřeby na daný stroj	2	%
<b>Roční náklady na stlačený vzduch</b>	<b>1 500 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na stlačený vzduch</b>	<b>2,5</b>	<b>Kč/hod</b>

Ke každému stroji je přiveden stlačený vzduch, jelikož u laseru je jeho využití minimální, počítáme náklady 2 % z celkové spotřeby stlačeného vzduchu celé firmy. Výpočet nákladů na spotřebu stlačeného vzduchu je v tabulce 5.

tab. 6 - Náklady na procesní plyny<sup>22,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA PROCESNÍ PLYNY</b>		
Cena helia	12 000	Kč/9,1m <sup>3</sup>
Spotřeba helia	0,00658	m <sup>3</sup> /h
Cena dusíku	3 500	Kč/9,6m <sup>3</sup>
Spotřeba dusíku	0,00291	m <sup>3</sup> /h
Cena oxidu uhličitého	2 300	Kč/9,5m <sup>3</sup>
Spotřeba oxidu uhličitého	0,00051	m <sup>3</sup> /h
Koeficient využití	80	%
<b>Roční náklady na procesní plyny</b>	<b>47 779</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na procesní plyny</b>	<b>7,9</b>	<b>Kč/hod</b>

Procesní plyny přetvářejí elektrickou energii na laserový paprsek. Výpočet nákladů je v tabulce 6. Teoretickou spotřebu známe z příručky ke stroji. U stroje ale neprobíhá přeměna elektrické energie na laserový paprsek neustále, a proto dle zkušeností z předchozích období stanovuje koeficient využití na 80 %.

tab. 7 - Náklady na řezný plyn<sup>22,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA ŘEZNÝ PLYN</b>		
Cena kyslíku	2 500	Kč/50l
Spotřeba kyslíku	10	l/h
Koeficient využití	75	%
<b>Roční náklady na řezný plyn</b>	<b>2 300 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na řezný plyn</b>	<b>375</b>	<b>Kč/hod</b>

Obdobně jako u procesních plynů stanovujeme náklady na řezné plyny. (tab. 7) Koeficient využití jsme dle zkušeností z předchozího období stanovily na 75 %.

tab. 8 - Náklady na opravy a údržbu <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA OPRAVY A ÚDRŽBU</b>		
Plánované roční náklady na opravy a údržbu	400 000	Kč
Roční odpis na velké opravy	400 000	Kč
<b>Roční náklady na opravy a údržbu</b>	<b>800 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na opravy a údržbu</b>	<b>132,3</b>	<b>Kč/hod</b>

Náklady na opravy a údržbu je možné zahrnout do variabilních nákladů nebo do speciální skupiny. Při výpočtu ale jejich specifikace nemá vliv. Výpočet je lineární rozložení součtu těchto dvou položek do celého roku. (tab. 8)

### 6.3 Náklady na operátora stroje

tab. 9 - Náklady na operátora stroje <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA OPERÁTORA STROJE</b>		
Hrubá měsíční mzda operátora	22 000	Kč
Odvody ze mzdy (soc. + zdrav.)	34 %	
Úrazové pojištění	0,4 %	
Roční náklady na stravování	8 000	Kč
Roční náklady na benefity	3 600	Kč
Roční náklady na ochranné pomůcky	2 000	Kč
Roční náklady na školení	5 000	Kč
Počet operátorů stroje	3	
<b>Roční náklady na operátora stroje</b>	<b>1 120 248</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na operátora stroje</b>	<b>185,2</b>	<b>Kč/hod</b>

Do nákladů na operátora stroje je započtena jeho mzda rozšířená o odvody. Dále do těchto nákladů zahrnujeme úrazové pojištění operátora a náklady na stravování, benefity, ochranné pomůcky a školení. V tabulce 9 můžeme vidět výdaje za operátory laseru. Počet operátorů je dán množstvím směn.

## 6.4 Alokační náklady

Do alokačních nákladů spadají položky, které přímo nesouvisí s prací stroje. Více o tomto tématu je v kapitole 4.3. V prvním kroku si musíme vypočítat alokační klíče přes rozvrhové základny. (tab. 10) Následně využijeme těchto alokačních klíčů při výpočtu nákladů přiřazených k tomuto stroji. Výpočty těchto nákladů jsou v tabulkách 11, 12, 13. Tabulky jsou rozdělené dle společných znaků jednotlivých položek.<sup>24,26,27</sup>

tab. 10 - Alokační klíče<sup>24,26,27</sup>

ALOKAČNÍ KLÍČE				
	Rozvrhová základna	Množství stroje		Klíč
Zaměstnanci	640	3		0,004688
Strojní hodiny	560 000	6 048	hod	0,0108
Náklady na stroj (bez alokací)	47 050	1 848	Kč	0,039277
Plocha	2 200	91	m <sup>2</sup>	0,041364
Únosnost	100	10		0,1

tab. 11 - Náklady na provoz budovy<sup>24,26,27</sup>

NÁKLADY NA PROVOZ BUDOVY				
	Vytápění	Elektrina	Vodné, stočné	Úklid
Náklady k přiřazení [Kč]	3 900 000	1 050 000	190 000	750 000
Váha klíče zaměstnanci			75%	
Váha klíče strojní hodiny	25%	25%		
Váha klíče náklady na stroj			25%	
Váha klíče plocha	75%	75%		100%
Váha klíče únosnost				
Náklady dle klíče zaměstnanci			668	
Náklady dle klíče strojní hodiny	10530	2835		
Náklady dle klíče náklady na stroj			1866	
Náklady dle klíče plocha	120989	32574		31023
Náklady dle klíče únosnost				
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>131519</b>	<b>35409</b>	<b>2534</b>	<b>31023</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>3,37</b>	<b>3,37</b>	<b>1,33</b>	<b>4,14</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>21,7</b>	<b>5,9</b>	<b>0,4</b>	<b>5,1</b>

tab. 12 - Náklady na externí služby a nevýrobní středisko <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA EXTERNÍ SLUŽBY A NEVÝROBNÍ STŘEDISKA</b>				
	<b>Personální oddělení</b>	<b>Požární ochrana</b>	<b>Jidelna</b>	<b>Ostraha</b>
Náklady k přiřazení [Kč]	840 000	50 000	400 000	370 000
Váha klíče zaměstnanci	100%	50%	100%	
Váha klíče strojní hodiny				
Váha klíče náklady na stroj				
Váha klíče plocha		50%		100%
Váha klíče únosnost				
Náklady dle klíče zaměstnanci	3938	117	1875	
Náklady dle klíče strojní hodiny				
Náklady dle klíče náklady na stroj				
Náklady dle klíče plocha		1034		15305
Náklady dle klíče únosnost				
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>3938</b>	<b>1151</b>	<b>1875</b>	<b>15305</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>0,47</b>	<b>2,30</b>	<b>0,47</b>	<b>4,14</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>2,5</b>

tab. 13 - Náklady nevýrobních úseků, správní režie a skladů <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NEVÝROBNÍCH STŘEDISEK, SPRÁVNÍ REŽIE A SKLADŮ</b>				
	<b>Vedení výroby</b>	<b>Správní režie</b>	<b>Sklady</b>	<b>Lidské zdroje</b>
Náklady k přiřazení [Kč]	9 400 000	4 200 000	4 900 000	1 740 000
Váha klíče zaměstnanci	20%	20%	10%	50%
Váha klíče strojní hodiny		20%		
Váha klíče náklady na stroj	30%	20%	60%	
Váha klíče plocha	20%	20%	30%	50%
Váha klíče únosnost	30%	20%		
Náklady dle klíče zaměstnanci	8813	3938	2297	4078
Náklady dle klíče strojní hodiny		9072		
Náklady dle klíče náklady na stroj	110762	32993	115475	
Náklady dle klíče plocha	77764	34745	60805	35986
Náklady dle klíče únosnost	282000	84000		
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>479339</b>	<b>164748</b>	<b>178577</b>	<b>40064</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>5,10</b>	<b>3,92</b>	<b>3,64</b>	<b>2,30</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>79,3</b>	<b>27,2</b>	<b>29,5</b>	<b>6,6</b>

## 6.5 Souhrn jednotlivých nákladů

V tabulce 14 máme souhrn jednotlivých nákladů, ze kterých dostaneme výslednou hodinovou sazbu laseru.

tab. 14 - Souhrn jednotlivých nákladů

SOUHRN JEDNOTLIVÝCH NÁKLADŮ		
Odpis stroje	701	Kč/hod
Prostorové náklady	13,7	Kč/hod
Náklady na nástroje	5	Kč/hod
Náklady na elektrickou energii	245	Kč/hod
Náklady na stlačený vzduch	2,5	Kč/hod
Náklady na procesní plyny	7,9	Kč/hod
Náklady na řezný plyn	375	Kč/hod
Náklady na opravy a údržbu	132,3	Kč/hod
Náklady na operátora stroje	185,2	Kč/hod
Náklady na vytápění	21,7	Kč/hod
Náklady na elektřinu	5,9	Kč/hod
Náklady na vodné a stočné	0,4	Kč/hod
Náklady na úklid	5,1	Kč/hod
Náklady na personální oddělení	0,7	Kč/hod
Náklady na požární ochranu	0,2	Kč/hod
Náklady na jídelnu	0,3	Kč/hod
Náklady na ostrahu	2,5	Kč/hod
Náklady na vedení výroby	79,3	Kč/hod
Náklady na správní režii	27,2	Kč/hod
Náklady na sklady	29,5	Kč/hod
Náklady na lidské zdroje	6,6	Kč/hod
<b>Hodinová sazba bez alokovaných nákladů</b>	<b>1667,6</b>	<b>Kč/hod</b>
<b>Hodinová sazba alokovaných nákladů</b>	<b>179,4</b>	<b>Kč/hod</b>
<b>Celková hodinová sazba laseru</b>	<b>1847</b>	<b>Kč/hod</b>

Hodinová sazba bez alokovaných nákladů je 1667,6 Kč/hod a sazba alokovaných nákladů je 179,4 Kč/hod. Výsledná hodinová sazba laseru je součet těchto dvou položek. Její hodnota je 1847 Kč/hod.



## 7 Stanovení hod. sazby vysekávacího stroje

Výpočty jednotlivých položek jsem provedl jako u laseru v programu MS Excel.

### 7.1 Fixní náklady

Do fixních nákladů jsem zařadil odpis stroje a prostorové náklady.

tab. 15 - Odpis stroje <sup>24,26,27</sup>

ODPIS STROJE		
Pořizovací cena stroje	11 000 000	Kč
Náklady na přepravu a instalaci stroje	50 000	Kč
Náklady spojené s pořízením stroje	150 000	Kč
Doba odepisování stroje	5	let
<b>Roční odpis stroje</b>	<b>2 240 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinový odpis stroje</b>	<b>370</b>	<b>Kč/hod</b>

V tabulce 15 jsou zobrazeny náklady na odpis stroje. Zvolil jsem lineární způsob odepisování stroje. Předpoklad je odepsání stroje za 5 let. Po 5 letech bude odepisování pokračovat a získané odpisy se budou shromažďovat v odpisovém fondu. <sup>24,26,27</sup>

tab. 16 - Prostorové náklady <sup>24,26,27</sup>

PROSTOROVÉ NÁKLADY		
Pořizovací cena haly	20 000 000	Kč
Plocha výrobní haly	2200	m <sup>2</sup>
Plocha vyhrazená pro stroj	42	m <sup>2</sup>
Doba odepisování haly	10	let
<b>Roční prostorové náklady</b>	<b>38 182</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové prostorové náklady</b>	<b>6,3</b>	<b>Kč/hod</b>

Při výpočtu prostorových nákladů (tab. 16) jsem vycházel z celkové plochy haly a plochy obsazené strojem v této hale. Hala je odepisována po dobu 10 let lineárním způsobem. Prostorové náklady jsou tedy procentuální část ročního odpisu budovy. <sup>24,26,27</sup>

## 7.2 Variabilní náklady

Do variabilních nákladů jsem zařadil náklady na nástroje, elektrickou energii, stlačený vzduch, procesní kapaliny, opravy a údržbu. <sup>24,26,27</sup>

tab. 17 - Náklady na nástroje <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA NÁSTROJE</b>		
Náklady na nástroje	400 000	Kč
Náklady na ostřírnu	100 000	Kč
<b>Roční náklady na nástroje</b>	<b>500 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na nástroje</b>	<b>82,7</b>	<b>Kč/hod</b>

Vycházíme ze spotřeby za minulé období. Je počítáno s nákupem několika nových razníků, a také s ostřením razníků, které již nesplňují požadavky. Jedná se součet těchto dvou položek, které vytvoří roční náklady na nástroje. (tab. 17)

tab. 18 - Náklady na elektrickou energii stroje <sup>23,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA ELEKTRICKOU ENERGIÍ STROJE</b>		
Cena elektrické energie	3,5	Kč/kWh
Příkon stroje	13	kWh
Koeficient využití	40	%
<b>Roční náklady na elektrickou energii</b>	<b>1 500 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na elektrickou energii</b>	<b>18,2</b>	<b>Kč/hod</b>

Při výpočtu nákladů na elektrickou energii (tab. 18) vycházíme z ceny elektrické energie a teoretického příkonu stroje získaného v příručce ke stroji. Jelikož stroj nepracuje stále na 100 % výkonu a všechny elektromotory také nejsou neustále v chodu, tak zavádíme koeficient využití, který stanovujeme dle předchozího období na 40 % celkové spotřeby.

tab. 19 - Náklady na stlačený vzduch <sup>23,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA STLAČENÝ VZDUCH</b>		
Cena stlačeného vzduchu	3	Kč/m <sup>3</sup>
Spotřeba stlačeného vzduchu haly za rok	250 000	m <sup>3</sup>
Podíl spotřeby na daný stroj	8	%
<b>Roční náklady na stlačený vzduch</b>	<b>6 000 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na stlačený vzduch</b>	<b>9,9</b>	<b>Kč/hod</b>

Vysekávací stroj využívá stlačený vzduch k práci. Stlačený vzduch je také přiveden ke stroji k očištění dílů. Dle zkušeností z minulých let víme, že podíl spotřeby je 8 % z celkové spotřeby stlačeného vzduchu celé firmy. Výpočet nákladů na spotřebu stlačeného vzduchu je v tabulce 19.

tab. 20 - Náklady na procesní kapaliny <sup>23,24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA PROCESNÍ KAPALINY</b>		
Cena hydraulického oleje	100	Kč/l
Množství doplňovaného hydraulického oleje za rok	10	l
Cena rozprašovaného oleje	300	Kč/l
Množství doplňovaného rozprašovaného oleje za rok	20	l
Cena demineralizované vody	2	Kč/l
Množství doplňované demineralizované vody za rok	50	l
<b>Roční náklady na procesní plyny</b>	<b>7 100</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na procesní plyny</b>	<b>1,2</b>	<b>Kč/hod</b>

Procesní kapaliny jsou nutné pro správnou funkci stroje. Potřebujeme hydraulický olej, olej určený k rozprašování na mazání nástrojů a demineralizovanou vodu do chladicího systému. Náklady jsou dány množstvím doplněné kapaliny za rok. (tab. 20) Množství doplňované kapaliny je dáno zkušenostmi z předchozích let.

tab. 21 - Náklady na opravy a údržbu <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA OPRAVY A ÚDRŽBU</b>		
Plánované roční náklady na opravy a údržbu	400 000	Kč
Roční odpis na velké opravy	400 000	Kč
<b>Roční náklady na opravy a údržbu</b>	<b>800 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na opravy a údržbu</b>	<b>132,3</b>	<b>Kč/hod</b>

Náklady na opravy a údržbu je možné zahrnout do variabilních nákladů nebo do speciální skupiny. Při výpočtu ale jejich specifikace nemá vliv. Výpočet je lineární rozložení součtu těchto dvou položek do celého roku. (tab. 21)

### 7.3 Náklady na operátora stroje

tab. 22 - Náklady na operátora stroje <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA OPERÁTORA STROJE</b>		
Hrubá měsíční mzda operátora	20 000	Kč
Odvody ze mzdy (soc. + zdrav.)	34	%
Úrazové pojištění	0,4	%
Roční náklady na stravování	8 000	Kč
Roční náklady na benefity	3 600	Kč
Roční náklady na ochranné pomůcky	2 000	Kč
Roční náklady na školení	5 000	Kč
Počet operátorů stroje	3	
<b>Roční náklady na operátora stroje</b>	<b>1 023 480</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Hodinové náklady na operátora stroje</b>	<b>169,2</b>	<b>Kč/hod</b>

Do nákladů na operátora stroje je započtena jeho mzda rozšířená o odvody. Dále do těchto nákladů zahrnujeme úrazové pojištění operátora a náklady na stravování, benefity, ochranné pomůcky a školení. V tabulce 22 můžeme vidět výdaje za operátory laseru. Počet operátorů je dán množstvím směn.

## 7.4 Alokační náklady

Do alokačních nákladů spadají položky, které přímo nesouvisí s prací stroje. Více o tomto tématu je v kapitole 4.3. V prvním kroku si musíme vypočítat alokační klíče přes rozvrhové základny. (tab. 23) Následně využijeme těchto alokačních klíčů při výpočtu nákladů přiřazených k tomuto stroji. Výpočty těchto nákladů jsou v tabulkách 24, 25, 26. Tabulky jsou rozdělené dle společných znaků jednotlivých položek.<sup>24,26,27</sup>

tab. 23 - Alokační klíče<sup>24,26,27</sup>

ALOKAČNÍ KLÍČE				
	Rozvrhová základna	Množství stroje		Klíč
Zaměstnanci	640	3		0,004688
Strojní hodiny	560 000	6 048	hod	0,0108
Náklady na stroj (bez alokaci)	47 050	1 848	Kč	0,039277
Plocha	2 200	42	m <sup>2</sup>	0,019091
Únosnost	100	10		0,1

tab. 24 - Náklady na provoz budovy<sup>24,26,27</sup>

NÁKLADY NA PROVOZ BUDOVY				
	Vytápění	Elektřina	Vodné, stočné	Úklid
Náklady k přiřazení [Kč]	3 900 000	1 050 000	190 000	750 000
Váha klíče zaměstnanci			75%	
Váha klíče strojní hodiny	25%	25%		
Váha klíče náklady na stroj			25%	
Váha klíče plocha	75%	75%		100%
Váha klíče únosnost				
Náklady dle klíče zaměstnanci			668	
Náklady dle klíče strojní hodiny	10530	2835		
Náklady dle klíče náklady na stroj			1866	
Náklady dle klíče plocha	55841	15034		14318
Náklady dle klíče únosnost				
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>66371</b>	<b>17869</b>	<b>2534</b>	<b>14318</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>1,70</b>	<b>1,70</b>	<b>1,33</b>	<b>1,91</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>0,4</b>	<b>2,4</b>

tab. 25 - Náklady na externí služby a nevýrobní středisko <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NA EXTERNÍ SLUŽBY A NEVÝROBNÍ STŘEDISKA</b>				
	<b>Personální oddělení</b>	<b>Požární ochrana</b>	<b>Jídlna</b>	<b>Ostraha</b>
Náklady k přiřazení [Kč]	840 000	50 000	400 000	370 000
Váha klíče zaměstnanci	100%	50%	100%	
Váha klíče strojní hodiny				
Váha klíče náklady na stroj				
Váha klíče plocha		50%		100%
Váha klíče únosnost				
Náklady dle klíče zaměstnanci	3938	117	1875	
Náklady dle klíče strojní hodiny				
Náklady dle klíče náklady na stroj				
Náklady dle klíče plocha		477		7064
Náklady dle klíče únosnost				
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>3938</b>	<b>594</b>	<b>1875</b>	<b>7064</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>0,47</b>	<b>1,19</b>	<b>0,47</b>	<b>1,91</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>

tab. 26 - Náklady nevýrobních úseků, správní režie a skladů <sup>24,26,27</sup>

<b>NÁKLADY NEVÝROBNÍCH STŘEDISEK, SPRÁVNÍ REŽIE A SKLADŮ</b>				
	<b>Vedení výroby</b>	<b>Správní režie</b>	<b>Sklady</b>	<b>Lidské zdroje</b>
Náklady k přiřazení [Kč]	9 400 000	4 200 000	4 900 000	1 740 000
Váha klíče zaměstnanci	20%	20%	10%	50%
Váha klíče strojní hodiny		20%		
Váha klíče náklady na stroj	30%	20%	60%	
Váha klíče plocha	20%	20%	30%	50%
Váha klíče únosnost	30%	20%		
Náklady dle klíče zaměstnanci	8813	3938	2297	4078
Náklady dle klíče strojní hodiny		9072		
Náklady dle klíče náklady na stroj	110762	32993	115475	
Náklady dle klíče plocha	35891	16036	28064	16609
Náklady dle klíče únosnost	282000	84000		
<b>Roční náklady stroje [Kč/rok]</b>	<b>437466</b>	<b>146039</b>	<b>145836</b>	<b>20687</b>
<b>Náklady stroje [%]</b>	<b>4,65</b>	<b>3,48</b>	<b>2,98</b>	<b>1,19</b>
<b>Hodinové nákl. stroje [Kč/hod]</b>	<b>72,3</b>	<b>24,1</b>	<b>24,1</b>	<b>3,4</b>

## 7.5 Souhrn jednotlivých nákladů

V tabulce 27 máme souhrn jednotlivých nákladů, ze kterých dostaneme výslednou hodinovou sazbu vysekávacího stroje.

tab. 27 - Souhrn jednotlivých nákladů

SOUHRN JEDNOTLIVÝCH NÁKLADŮ		
Odpis stroje	370	Kč/hod
Prostorové náklady	6,3	Kč/hod
Náklady na nástroje	82,7	Kč/hod
Náklady na elektrickou energii	18,2	Kč/hod
Náklady na stlačený vzduch	9,9	Kč/hod
Náklady na procesní plyny	1,2	Kč/hod
Náklady na opravy a údržbu	132,3	Kč/hod
Náklady na operátora stroje	169,2	Kč/hod
Náklady na vytápění	11	Kč/hod
Náklady na elektřinu	3	Kč/hod
Náklady na vodné a stočné	0,4	Kč/hod
Náklady na úklid	2,4	Kč/hod
Náklady na personální oddělení	0,7	Kč/hod
Náklady na požární ochranu	0,1	Kč/hod
Náklady na jídelnu	0,3	Kč/hod
Náklady na ostrahu	1,2	Kč/hod
Náklady na vedení výroby	72,3	Kč/hod
Náklady na správní režii	24,1	Kč/hod
Náklady na sklady	24,1	Kč/hod
Náklady na lidské zdroje	3,4	Kč/hod
<b>Hodinová sazba bez alokovaných nákladů</b>	<b>789,8</b>	<b>Kč/hod</b>
<b>Hodinová sazba alokovaných nákladů</b>	<b>143</b>	<b>Kč/hod</b>
<b>Celková hodinová sazba vysekávacího stroje</b>	<b>932,8</b>	<b>Kč/hod</b>

Hodinová sazba bez alokovaných nákladů je 789,8 Kč/hod a sazba alokovaných nákladů je 143 Kč/hod. Výsledná hodinová sazba vysekávacího stroje je součet těchto dvou položek. Její hodnota je 932,8 Kč/hod.

## 8 Porovnání vybraných metod

Každou z metod jsem nechal vyrobit 2 typy dílů. Aby bylo možné porovnání a stanovení procesní změny ve výrobě, byly vyrobeny dva díly typ 1 (příloha 2) dle výkresu (příloha 1) z materiálu DC01 tloušťky 1 a 2 mm, S235JR tloušťky 3 mm, AlMg3-H111 tloušťky 1, 2 a 3 mm a nakonec AISI 304 tloušťky 1 a 2 mm. Druhý typ dílu (příloha 4) jsme vyrobily dle výkresu (příloha 3) z materiálu DC01 + ZE tloušťky 1 mm. Tyto díly jsem porovnával z ekonomického a jakostního hlediska. Pro ekonomické porovnání jsem využil vypočtené hodinové sazby z předchozí kapitoly 5 a 6. Jakost jsem porovnával pomocí drsnosti řezné/střížné plochy.

### 8.1 Řezání laserem

Pro řezání dílů laserem jsem využil stroj Trumpf Laser 3040 (L32) ve firmě DIOSS NÝŘANY a.s. (příloha 5). Tento laser má možnost řezání do tloušťky 25mm, má minimální vedlejší časy díky automatické výměně trysek, díky technice lineárních posunů je rychlý, rychlou výměnu tabulí plechu díky integrovanému výměníku palet a velké možnosti automatizace. Tento stroj je vybaven TruFlow 6000, což je nejvyšší možný výkon laseru L32. K řezání využívá kyslík. Ve firmě jsou dva stejné lasery L32, kdy jeden je určen pro konstrukční ocel a druhý pro hliník a ušlechtilou ocel. Laser určený pro ocel je navíc osazen rozšířením LoadMaster, které slouží k automatizovanému nakládání tabulí plechu na rošt stroje.<sup>22</sup>

Stroj má pracovní rozsah 4000x2000x115. Jeho možnosti při řezání jsou 25 mm u konstrukční oceli, 25 mm u ušlechtilé oceli a 15 mm u hliníku.<sup>22</sup>

#### 8.1.1 Výpočet nákladovosti dílů řezaných na laseru, typ 1

Náklady na jeden díl vypočteme pomocí hodinové sazby laseru, času řezání a hrubé spotřeby materiálu. Hodinovou sazbu laseru jsem vypočetl v kapitole 5. Čas řezání a hrubá spotřeba se vypočte za pomoci programu pro pálení. (příloha 6)



Společná vstupní data pro všechny materiály.

- formát plechu 2000x1000 mm
- hodinová sazba laseru (HZS) – 1847 Kč/hod
- maximální počet dílů na tabuli plechu (n) – 54 ks
- doba nastavení stroje ( $t_b$ ) – 3 min

Vstupní data pro jednotlivé materiály a výpočet nákladů na výrobu jednoho dílu, typ 1.

tab. 28 - Náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z konstrukční oceli

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z KONSTRUKČNÍ OCELI</b>			
	<b>DC01 tl. 1</b>	<b>DC01 tl. 2</b>	<b>S235JR tl. 3</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	15,2	15	15,1
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,7	31,4	47,1
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,28	0,56	0,84
Doba výroby ( $t_v$ ) [min/ks]	0,33	0,5	0,54
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>4,26</b>	<b>8,4</b>	<b>12,68</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>11,81</b>	<b>17,04</b>	<b>18,27</b>
<b>Celkové náklady (<math>N_{\Sigma}</math>) [Kč/ks]</b>	<b>16,07</b>	<b>25,44</b>	<b>30,95</b>

Hmotnost polotovaru:

$$m_v = d \cdot s \cdot t_l \cdot \rho = 2 \cdot 1 \cdot 0,001 \cdot 7850 = 15,7 \text{ kg} \quad [7]$$

Hrubá hmotnost dílu:

$$m_h = m_v / n = 15,7 / 56 = 0,28 \text{ kg / ks} \quad [8]$$

Náklady materiálu:

$$N_m = c_m \cdot m_v = 15,2 \cdot 0,28 = 4,26 \text{ Kč / ks} \quad [9]$$

Náklady práce:

$$N_p = (t_a + t_b / n) \cdot (HZS / 60) = (0,33 + 3 / 56) \cdot (1847 / 60) = 11,81 Kc / ks \quad [10]$$

Celkové náklady:

$$N_c = N_m + N_p = 4,26 + 11,81 = 16,07 Kc / ks \quad [11]$$

tab. 29 - Náklady na výrobu jednoho dílu z hliníku

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z HLINÍKU</b>			
	<b>AlMg3 H111 tl. 1</b>	<b>AlMg3 H111 tl. 2</b>	<b>AlMg3 H111 tl. 3</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	70	68,5	68,5
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	5,5	11	16,5
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,1	0,2	0,29
Doba výroby ( $t_d$ ) [min/ks]	0,16	0,27	0,4
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>7</b>	<b>13,7</b>	<b>19,87</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>6,57</b>	<b>9,96</b>	<b>13,96</b>
<b>Celkové náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>13,57</b>	<b>23,66</b>	<b>33,83</b>

tab. 30 - Náklady na výrobu jednoho dílu z nerezové oceli

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z NEREZOVÉ OCELI</b>		
	<b>AISI 304 tl. 1</b>	<b>AISI 304 tl. 2</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	60,5	58,8
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,8	31,6
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,28	0,56
Doba výroby ( $t_d$ ) [min/ks]	0,23	0,36
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>16,94</b>	<b>32,93</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>8,73</b>	<b>12,73</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>25,67</b>	<b>45,66</b>

### 8.1.2 Výpočet nákladovosti dílů řezaných na laseru typ 2

Náklady vypočteme stejným způsobem jako u typu 1. Program pro řezání tohoto typu laserem je v příloze 7.

Společná vstupní data pro všechny materiály.

- formát plechu 2000x1000 mm
- hodinová sazba laseru (HZS) – 1847 Kč/hod
- maximální počet dílů na tabuli plechu (n) – 32 ks
- doba nastavení stroje ( $t_b$ ) – 3 min

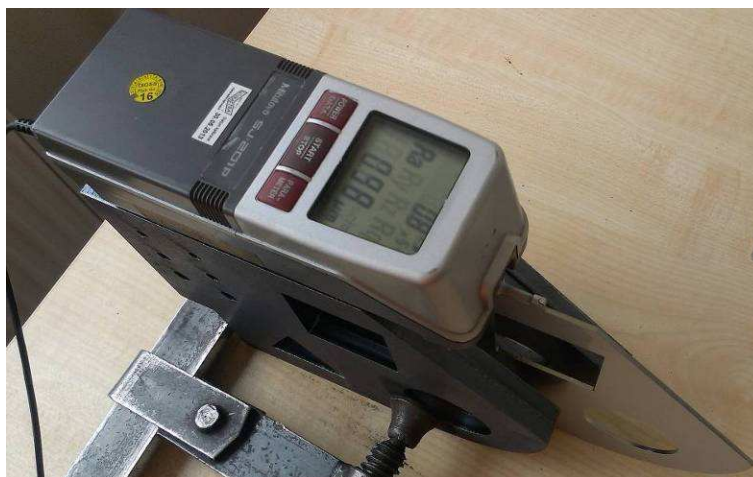
Vstupní data pro jednotlivé materiály a výpočet nákladů na výrobu jednoho dílu, typ 2.

tab. 31 - Náklady na výrobu jednoho dílu typ 2 z konstrukční oceli

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 2 Z KONSTRUKČNÍ OCELI S POVRCHOVOU ÚPRAVOU ZINCOR</b>	
	<b>DC01 + ZE</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	21,9
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,7
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,49
Doba výroby ( $t_s$ ) [min/ks]	2,64
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>10,73</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>84,15</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>94,88</b>

### 8.1.3 Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 1

Vzorky jsem měřil na 8 místech, vždy 4 krát na opačných stranách dílu. (obr. 15, 16)  
Měření od sebe byly vzdálené 5 mm. Délku posuvu sondy jsem měl nastavenou na 0,8 mm.

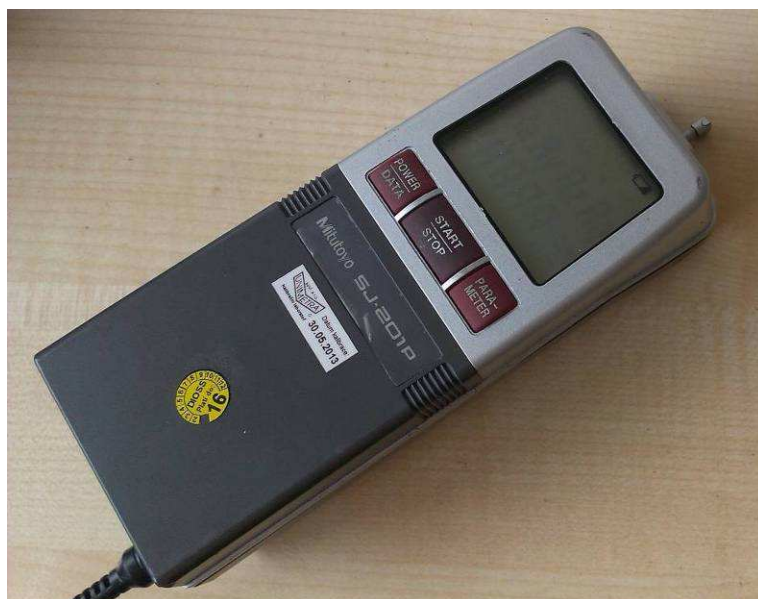


**obr. 15 – Měření na jedné straně dílu**



**obr. 16 - Měření na druhé straně dílu**

Měření probíhalo přístrojem „Mitutoyo SJ 201P“ (obr. 17). Příklad je vhodný pro měření ploch, a proto jsem si pro měření vytvořil improvizovaný přípravek, (obr. 18) abych byl schopen změřit plochu o tloušťce 1 až 3 mm.



**obr. 17 - Přístroj na měření drsnosti Mitutoyo SJ 201P**



**obr. 18 - Improvizovaný přípravek pro měření drsnosti**

Jako příklad je zde uveden tabulkou naměřených drsností  $R_a$  u vzorku z konstrukční oceli tloušťky 1 mm. (tab. 32)

tab. 32 - Měření vzorku konstrukční ocel, tloušťka 1 mm

Měření drsnosti Ra vzorku konstrukční ocel, tloušťka 1 mm					
strana 1 měření 1	0,77	μm	strana 2 měření 1	0,89	μm
strana 1 měření 2	0,86	μm	strana 2 měření 2	0,88	μm
strana 1 měření 3	0,79	μm	strana 2 měření 3	0,62	μm
strana 1 měření 4	0,87	μm	strana 2 měření 4	0,81	μm
strana 1 průměr	0,82	μm	strana 2 průměr	0,8	μm
průměr celého měření	0,81 μm				

U každého dílu jsem stejným způsobem zprůměroval všech 8 měření drsnosti Ra. V další tabulce mám již vypočtené hodnoty drsnosti Ra dílů řezaných laserem. (tab. 33)

tab. 33 - Drsnost Ra dílů typ 1 po řezání laserem

Drsnost Ra dílů typ 1 po řezání laserem (μm)				
		vzorek 1	vzorek 2	
DC01	tl. 1 mm	0,81	0,82	
DC01	tl. 2 mm	0,63	0,54	
S235JR	tl. 3 mm	0,47	0,57	
AlMg3 H111	tl. 1 mm	2,14	2,06	
AlMg3 H111	tl. 2 mm	2,51	2,75	
AlMg3 H111	tl. 3 mm	1,67	1,49	
AISI 304	tl. 1 mm	1,1	0,97	
AISI 304	tl. 2 mm	1,07	1,08	

#### 8.1.4 Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 2

U druhého typu výrobku jsem drsnost Ra vypočetl stejným způsobem jako v prvním případě. Uvedeme si pouze výslednou drsnost. (tab. 34)

tab. 34 - Drsnost Ra dílu typ 2 po řezání laserem

Drsnost Ra dílu typ 2 po řezání laserem (μm)				
		vzorek 1	vzorek 2	
DC01 + ZE	tl. 1 mm	0,8	0,79	

## 8.2 Vysekávání

Vysekávání bylo prováděno na stroji Trumpf Trumatic 5000R. (příloha 8) Tento stroj má 13 kazet pro nástroje, automatickou výměnu nástrojů, 3 sklápěcí terminály pro odvod drobných dílů nebo šrotu, pneumatický válcový posun a snímač drobných dílů. Navíc je tento stroj osazen automatizačními prvky SheetMaster a ToolMaster. SheetMaster slouží k automatizovanému nakládání polotovarů a skládání hotových dílů. ToolMaster slouží k rozšíření kazet pro nástroje o dalších 21 slotů. ToolMaster má i automatizovanou výměnu jednotlivých nástrojů z kazet do slotů a naopak.

Stroj má pracovní prostor 3085 x 1280 mm. Maximální hmotnost obrobku je 150 kg. Vysekávací síla tohoto stroje je 22 tun. Maximální rychlost stroje je 100 m/min.<sup>23</sup>

Trumatic 5000R může vysekávat z materiálů tloušťky 3 mm u konstrukční oceli, hliníku, mědi a titanu, 2 mm u ušlechtilé oceli. Je možné vysekávat i z větších tlouštěk, ale bude docházet k rychlejšímu opotřebenosti a ničení nástrojů.

### 8.2.1 Výpočet nákladovosti vysekávaných dílů, typ 1

Náklady na jeden díl vypočteme pomocí hodinové sazby vysekávacího stroje, času řezání a hrubé spotřeby materiálu. Hodinovou sazbu vysekávacího stroje jsem si vypočetl v kapitole 6. Čas řezání se vypočte za pomoci programu pro vysekávání. (příloha 9) Hrubou spotřebu materiálu vypočteme vydělením hmotnosti tabule plechu počtem kusů.

Společná vstupní data pro všechny materiály.

- formát plechu 2000x1000 mm
- hodinová sazba laseru (HZS) 932,8 Kč/hod
- maximální počet dílů na tabuli plechu (n) – 45 ks
- doba nastavení stroje ( $t_b$ ) 10 min

Vstupní data pro jednotlivé materiály a výpočet nákladů na výrobu jednoho dílu, typ 1. (tab. 35,36,37)

tab. 35 - Náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z konstrukční oceli

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z KONSTRUKČNÍ OCELI</b>			
	<b>DC01 tl. 1</b>	<b>DC01 tl. 2</b>	<b>S235JR tl. 3</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	15,2	15	15,1
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,7	31,4	47,1
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,35	0,7	1,05
Doba výroby ( $t_s$ ) [min/ks]	0,42	0,43	0,45
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>5,32</b>	<b>10,5</b>	<b>15,86</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>9,98</b>	<b>10,14</b>	<b>10,45</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>15,3</b>	<b>20,64</b>	<b>26,31</b>

Hmotnost polotovaru:

$$m_v = d \cdot s \cdot tl \cdot \rho = 2 \cdot 1 \cdot 0,001 \cdot 7850 = 15,7 \text{ kg} \quad [12]$$

Hrubá hmotnost:

$$m_h = m_v / n = 15,7 / 45 = 0,35 \text{ kg / ks} \quad [13]$$

Náklady materiálu:

$$N_m = c_m \cdot m_v = 15,2 \cdot 0,35 = 5,32 \text{ Kč / ks} \quad [14]$$

Náklady práce:

$$N_p = (t_a + t_b / n) \cdot (HZS / 60) = (0,42 + 10 / 45) \cdot (932,8 / 60) = 9,98 \text{ Kč / ks} \quad [15]$$

Celkové náklady:

$$N_c = N_m + N_p = 5,32 + 9,98 = 15,3 \text{ Kč / ks} \quad [16]$$



tab. 36 - Náklady na výrobu jednoho dílu z hliníku

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z HLINÍKU</b>			
	<b>AlMg3 H111 tl. 1</b>	<b>AlMg3 H111 tl. 2</b>	<b>AlMg3 H111 tl. 3</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	70	68,5	68,5
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	5,5	11	16,5
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,12	0,24	0,37
Doba výroby ( $t_a$ ) [min/ks]	0,48	0,49	0,5
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>8,4</b>	<b>16,44</b>	<b>25,35</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>10,92</b>	<b>11,07</b>	<b>11,23</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>19,32</b>	<b>27,51</b>	<b>36,58</b>

tab. 37 - Náklady na výrobu jednoho dílu z nerezové oceli

<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 1 Z NEREZOVÉ OCELI</b>		
	<b>AISI 304 tl. 1</b>	<b>AISI 304 tl. 2</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	60,5	58,8
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,8	31,6
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,35	0,7
Doba výroby ( $t_a$ ) [min/ks]	0,47	0,47
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>21,18</b>	<b>41,16</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>10,76</b>	<b>10,76</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>31,94</b>	<b>51,92</b>

## 8.2.2 Výpočet nákladovosti vysekávaných dílů, typ 2

Náklady vypočteme stejným způsobem jako u typu 1. Program pro vysekání dílu typ 2 je v příloze 10.

Společná vstupní data pro všechny materiály.

- formát plechu 2000x1000 mm
- hodinová sazba laseru (HZS) 932,8 Kč/hod
- maximální počet dílů na tabuli plechu ( $n$ ) – 30 ks
- doba nastavení stroje ( $t_b$ ) 15 min

Vstupní data pro jednotlivé materiály a výpočet nákladů na výrobu jednoho dílu, typ 2.  
(tab. 38)

tab. 38 - Náklady na výrobu jednoho dílu typ 2 z konstrukční oceli

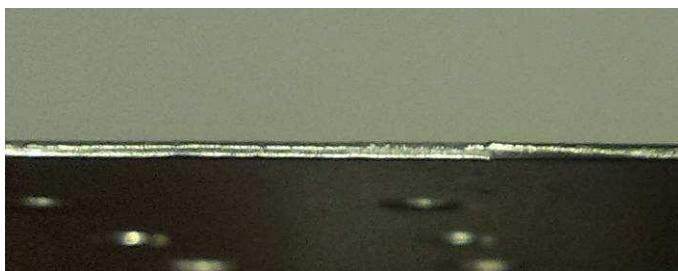
<b>NÁKLADY NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU TYP 2 Z KONSTRUKČNÍ OCELI S POVRCHOVOU ÚPRAVOU ZINCOR</b>	
	<b>DC01 + ZE</b>
Cena materiálu ( $c_m$ ) [Kč/kg]	21,9
Hmotnost polotovaru ( $m_v$ ) [kg]	15,7
Hrubá hmotnost ( $m_h$ ) [kg/ks]	0,52
Doba výroby ( $t_s$ ) [min/ks]	0,68
<b>Náklady materiálu (<math>N_m</math>) [Kč/ks]</b>	<b>11,39</b>
<b>Náklady práce (<math>N_p</math>) [Kč/ks]</b>	<b>36,32</b>
<b>Celková náklady (<math>N_c</math>) [Kč/ks]</b>	<b>47,71</b>

### 8.2.3 Měření drsnosti řezné plochy vytvořené vysekáváním, typ 1

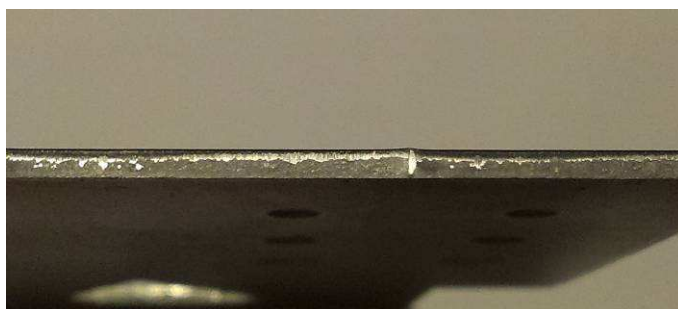
Vzorky jsem měřil na 8 místech. Měřeno bylo 8 různých řezných ploch. Délku posuvu sondy jsem měl nastavenou na 0,8 mm. Při měření jsem si potvrdil, že část plochy je odseknutá a část odtržená. Nejlépe je to vidět na obrázku 19, kde můžeme vidět vzorek z konstrukční oceli tloušťky 2. U tloušťky 1 (obr. 20) dochází k téměř 100 % odseknutí, zatímco u tloušťky 3 (obr. 21) dochází k 80 % odtržení. Tato situace u hliníku a ušlechtilé oceli nenastává. U těchto materiálů dochází při všech tloušťkách k téměř 100 % odtržení.



obr. 19 - Vzorek z konstrukční oceli tloušťky 2 mm



**obr. 20 - Vzorek z konstrukční oceli tloušťky 1 mm**



**obr. 21 - Vzorek z konstrukční oceli tloušťky 3 mm**

U každého dílu jsem zprůměroval všech 8 měření drsnosti Ra. V tabulce máme již vypočtené hodnoty drsnosti Ra vysekaných dílů. (tab. 39) Konstrukční ocel tloušťky 2 má v tabulce dva údaje, kdy první je pro odseknutou část dílu a druhý pro odtrženou část.

tab. 39 - Drsnost Ra dílů typ 1 po vysekávání

Drsnost Ra dílů typ 1 po vysekávání (μm)				
			vzorek 1	vzorek 2
DC01	tl. 1	mm	0,46	0,43
DC01	tl. 2	mm	0,47/4,6	0,44/3,96
S235JR	tl. 3	mm	4,13	4,29
AlMg3 H111	tl. 1	mm	3,52	3,17
AlMg3 H111	tl. 2	mm	4,95	5,27
AlMg3 H111	tl. 3	mm	5,52	6,11
AISI 304	tl. 1	mm	3,97	3,69
AISI 304	tl. 2	mm	3,48	3,34

#### 8.2.4 Měření drsnosti řezné plochy vytvořené laserem, typ 2

U druhého typu výrobku jsem drsnost Ra vypočetl stejným způsobem jako v prvním případě. Uvedu pouze výslednou drsnost. (tab. 40)

tab. 40 - Drsnost Ra dílů typ 2 po vysekávání

Drsnost Ra dílu typ 2 po vysekávání (μm)				
			vzorek 1	vzorek 2
DC01 + ZE	tl. 1	mm	0,45	0,44

### 8.3 Určení výhodnosti jednotlivých metod

Pokud budeme brát v potaz striktně cenu dílů, tak u vzorku typ 1 z oceli DC01 je výhodnější vysekávání. U hliníku AlMg3-H111 a nerezové oceli AISI 304 typ 1 je výhodnější metoda pálení. Rozdíl v cenách u vzorků typ 1 není výrazný. U typu 2 je výrazně výhodnější metoda vysekávání. Cena pálení typu 2 je téměř dvojnásobná. (tab. 41)

tab. 41 - Souhrn celkových nákladů na výrobu jednoho dílu

SOUHRN CELKOVÝCH NÁKLADŮ NA VÝROBU JEDNOHO DÍLU		
	LASEROVÉ ŘEZÁNÍ	VYSEKÁVÁNÍ
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z oceli DC01 tl. 1 [Kč/ks]	16,07	15,3
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z oceli DC01 tl. 2 [Kč/ks]	25,44	20,64
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z oceli S235JR tl. 3 [Kč/ks]	30,95	26,31
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z hliníku AlMg3 H111 tl. 1 [Kč/ks]	13,57	19,32
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z hliníku AlMg3 H111 tl. 2 [Kč/ks]	23,66	27,51
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z hliníku AlMg3 H111 tl. 3 [Kč/ks]	33,83	36,58
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z nerezové oceli AISI 304 tl. 1 [Kč/ks]	25,67	31,94
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z nerezové oceli AISI 304 tl. 2 [Kč/ks]	45,66	51,92
Celkové náklady na výrobu jednoho dílu typ 1 z oceli DC01 + ZE tl. 1 [Kč/ks]	94,88	47,71

Pokud budeme brát v potaz čistě drsnost Ra, při vysekávání bez předchozího hrubování, tak vysekávané díly s lepší drsností jsou vzorky ocel DC01 a DC01 + ZE tloušťky 1 mm. U ostatních materiálů a tlouštěk je minimálně 50 % plochy řezu odtrženo, tudíž s drsností Ra vyšší než 3 μm. Když použijeme napřed vysekání nahrubo a následně vysekávání na čisto, můžeme docílit až 100 % podílu odseknuté části v ploše řezu, což bude mít za následek drsnost pod 0,5 μm. Tato drsnost u oceli DC01 může konkurovat

drsnosti pálených dílů a u AlMg3 H111 a AISI 304 bude drsnost výrazně lepší, jak můžeme vidět v tabulce 42.

tab. 42 - Souhrn drsností jednotlivých dílů

<b>SOUHRN DRSNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ</b>				
	<b>LASEROVÉ ŘEZÁNÍ</b>		<b>VYSEKÁVÁNÍ</b>	
	<b>vzorek 1</b>	<b>vzorek 2</b>	<b>vzorek 1</b>	<b>vzorek 2</b>
Drsnost Ra dílu typ 1 DC01 tl. 1 [μm]	0,81	0,82	0,46	0,43
Drsnost Ra dílu typ 1 DC01 tl. 2 [μm]	0,63	0,54	0,47/4,6	0,44/3,96
Drsnost Ra dílu typ 1 S235JR tl. 3 [μm]	0,47	0,57	4,13	4,29
Drsnost Ra dílu typ 1 AlMg3 H111 tl. 1 [μm]	2,14	2,06	3,52	3,17
Drsnost Ra dílu typ 1 AlMg3 H111 tl. 2 [μm]	2,51	2,75	4,95	5,27
Drsnost Ra dílu typ 1 AlMg3 H111 tl. 3 [μm]	1,67	1,49	5,52	6,11
Drsnost Ra dílu typ 1 AISI 304 tl. 1 [μm]	1,1	0,97	3,97	3,69
Drsnost Ra dílu typ 1 AISI 304 tl. 2 [μm]	1,07	1,08	3,48	3,34
Drsnost Ra dílu typ 1 DC01 + ZE tl. 1 [μm]	0,8	0,79	0,45	0,44

Při kombinaci ceny a kvality povrchu je nejdůležitější další zpracování dílu. Pokud bude další operací svařování, je vhodnější operace vysekávání z důvodu oxidační vrstvy po pálení. Pokud je další operací povrchová úprava povrchu, tak záleží na požadavcích zákazníka ohledně drsnosti povrchu, ale po pálení je opět nutné mechanicky odstranit oxidační vrstvu. Pokud je další operací lepení či montáž opět závisí na požadavcích zákazníka na drsnost povrchu, ale při lepení je opět nutné mechanicky odstranit oxidační vrstvu. Odstranění oxidační vrstvy je další navýšení ceny dílu.

Výhody řezání laserem oproti vysekávání:

- řez bez otřepů i u rádiusových ploch
- konstantní drsnost plochy řezu
- u tvarově rozličných dílů výrazně rychlejší
- menší spotřeba materiálu z důvodu menších můstků
- schopnost řezání až do tloušťky 25 mm
- schopnost řezat materiál pod úhlem
- schopnost řezání různých tvarů bez speciálních nástrojů

Výhoda vysekávání oproti řezání laserem:

- schopnost prolisovaných otvorů
- schopnost lisování
- schopnost tvoření závitů
- při vysekávání nahrubo a načisto lepší drsnost
- u dílů s velkým množstvím stejných otvorů výrazně rychlejší
- plocha řezu bez oxidační vrstvy

## **9 Alternativní technologie dělení materiálu**

### **9.1 Výhody a nevýhody řezání plazmou**

Výhody:

- schopnost řezat kterýkoliv vodivý materiál
- schopnost řezání pod vodou – snížení hluku a zamezení dýmu v okolí pracoviště, zmenšení tepelně ovlivněné oblasti
- schopnost řezání materiálu tloušťky až 200 mm
- vysoké rychlosti řezání – až 10 krát větší než u laseru

Nevýhody:

- hlučnost – až 100 dB
- vznik dýmu, oxidů dusíku a par kovů při řezání
- velká tepelně ovlivněná oblast řezu
- široká rezná spára
- velké UV záření
- oblast horní rezné hrany

## 9.2 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem

Výhody:

- schopnost řezat jakýkoliv materiál
- schopnost řezání materiálu tloušťky až 200 mm
- úzká řezná spára
- řez bez tepelně ovlivněné oblasti
- bez vzniku zplodin
- kvalitní řezné plochy
- schopnost využití více řezných hlav
- málo odpadu po řezání

Nevýhody:

- nutné sušení dílů a možná koroze při kontaktu s vodou
- hlučnost – až 105 dB
- malá rychlost řezání
- vysoké pořizovací a provozní náklady



## 10 Závěr

Cílem práce bylo určit výhodnost vysekávání či řezání laserem u 2 typů dílů z různých materiálů a různých tloušťek. Vhodnost se posuzovala podle dvou parametrů, cena a kvalita řezné plochy (drsnost Ra). Abych mohl technologicky porovnat jednotlivé metody, musel jsem si napřed vypočítat hodinové nákladové sazby obou strojů. K výrobě byly využity stroje Trumpf, přesněji Trumpf Laser 3040 (L32) a Trumpf Trumatik 5000R. Výpočtem jsem docílil výsledku 1847 Kč/hod u laseru a 932,8 Kč/hod u vysekávacího stroje.

Vypočetl jsem cenu dílů za pomoci hodinové nákladové sazby, ceny materiálu, hrubé váhy dílu vypočtené z celkové váhy tabule plechu a množství dílů na připadajících na jednu tabuli, čistého času řezání vypočteného z programu pálení a času přípravy stroje, která u laseru činí 3 minuty, u vysekávacího stroje tento čas musíme dopočítat, jelikož není jednotný a závisí na počtu nástrojů použitých při vysekávání.

Nyní jsem díly posoudil podle cen a zjistil jsem, že při výrobě dílu typ 1 je laser výhodnější u materiálů hliník a nerez. Výrobek z konstrukční oceli je levnější vysekat. Vyrobění dílu typ 2 je výhodnější na vysekávacím stroji, a to výrazně.

Pokud tedy budeme porovnávat díly dle ceny, tak dle těchto výsledků můžeme usoudit, že pokud je na dílu velké množství stejných otvorů, na které máme tvarový nástroj, tak je vysekávání výrazně levnější než použití laseru. Laser je výhodný především u dílů s rozličnými tvary a u dílů s velkými rádiusy, pokud se budeme bavit o tloušťce do 3 mm.

Při porovnávání dle druhého kritéria, jsem zjistil, že pokud je díl odsekut, má výrazně lepší řeznou plochu než díl vypálený. Ovšem odseknutí 100 % průřezu řezné plochy je velmi náročné na technologii a cenu dílu, proto bych zde volil plochu uříznutou laserem. Ta má, ale nevýhodu v oxidační vrstvě po řezání.

Výsledkem je, že díly pomocí drsnosti Ra řezné plochy je možné posuzovat, ale vždy záleží na požadavku zákazníka a hlavně na další operaci, která bude s dílem prováděna.

## Seznam použité literatury

1. MAŇKOVÁ, I. Progresívne technológie, 1. vyd. Košice: Vienaľa, 2000.
2. BARCAL, J. Nekonenční metody obrábění, FSI ČVUT. Praha, 1989.
3. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění, 1. vyd. CERM. Brno, 2001.
4. ŠULC, Jan. Úvod do laserové techniky [online]. 29. října 2012. Dostupné na WWW: <[http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjan1/ult/ult\\_sl\\_06.pdf](http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjan1/ult/ult_sl_06.pdf)>.
5. NOVÁK, M. Seriál na téma lasery [online]. 15. března 2011. Dostupné na WWW: <<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>>
6. ŘASA, J. a KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění – 4. díl [online]. 19. března 2008. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-4-dil.html>>
7. TRUMPF. Řezání laserem [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-rezani.html>>
8. TRUMPF. Kondukční svařování [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-svareni/kondukcní-svarovani.html>>
9. TRUMPF. Hluboké svařování [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-svareni/hluboke-svarovani.html>>
10. TRUMPF. Gravírování a úběř [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/popisovani-laserem/gravirovani.html>>
11. TRUMPF. Vrtání [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-rezani/vrtani.html>>

12. TRUMPF. Laserová kalení [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/obrabeni-povrchu/laserove-kaleni.html>>
13. TRUMPF. Vysekávací nástroje [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/sluzby/vysekavaci-nastroje-a-prislusenstvi/vysekavaci-nastroje.html>>
14. TUL. Technologie plošného tváření [online]. 13. června 2008. Dostupné na WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)>
15. BRUFUS. Výsečníky [online]. 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.brufus.cz/derovace-kuze-2-22mm-sada-15ks-ean24691-skup910881.php>>
16. TRUMPF. TruPunch 1000 [online]. 1. ledna 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/vysekavani/vysekavaci-stroje/trupunch-1000.html>>
17. LINDE. Technické plyny [online]. 2016. Dostupné na WWW: <<http://www.linde-gas.cz/cs/index.html>>
18. WIKI. Strojírenství [online]. 13. dubna 2015. Dostupné na WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Stroj%C3%ADrenstv%C3%AD>>
19. HONZÁTKO, P. Vlákňové lasery a nelineární optika [online]. 2013. Dostupné na WWW: <<http://www.ufe.cz/cs/tym/vlaknove-lasery-nelinearni-optika>>
20. WIKI. Tváření [online]. 8. července 2015. Dostupné na WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD>>
21. Štěpán, V. Lasery [online]. 5. prosince 2012. Dostupné na WWW: <<http://tc-pipa.wz.cz/lasery.html>>
22. TRUMPF TRULASER, Podmínky instalace. 2010.
23. TRUMPF TRUMATIK 5000, Návod k provozu. 2006.
24. ZRALÝ, M. Řízení nákladů: sbírka úloh. 1. vyd. ČVUT Praha, 2009.
25. FIBÍROVÁ, J. Nákladové a manažerské účetnictví. 1. vyd. Praha, 2007.
26. Hradecký, M. Manažerské účetnictví. 1. vyd. GRADA Praha, 2008
27. KRÁL, B. Manažerské účetnictví 2., rouš. vyd. MP Praha, 2006.
28. LANDA, M. Ekonomické řízení podniku. 1. vyd. CP Brno, 2008.

# Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres vzorku typ 1

Příloha 2 – Vzorky typ 1

Příloha 3 – Výkres vzorku typ 2

Příloha 4 – Vzorek typ 2

Příloha 5 – Stroj Trumpf Laser 3040 (L32)

Příloha 6 – Program na pálení dílu, typ 1

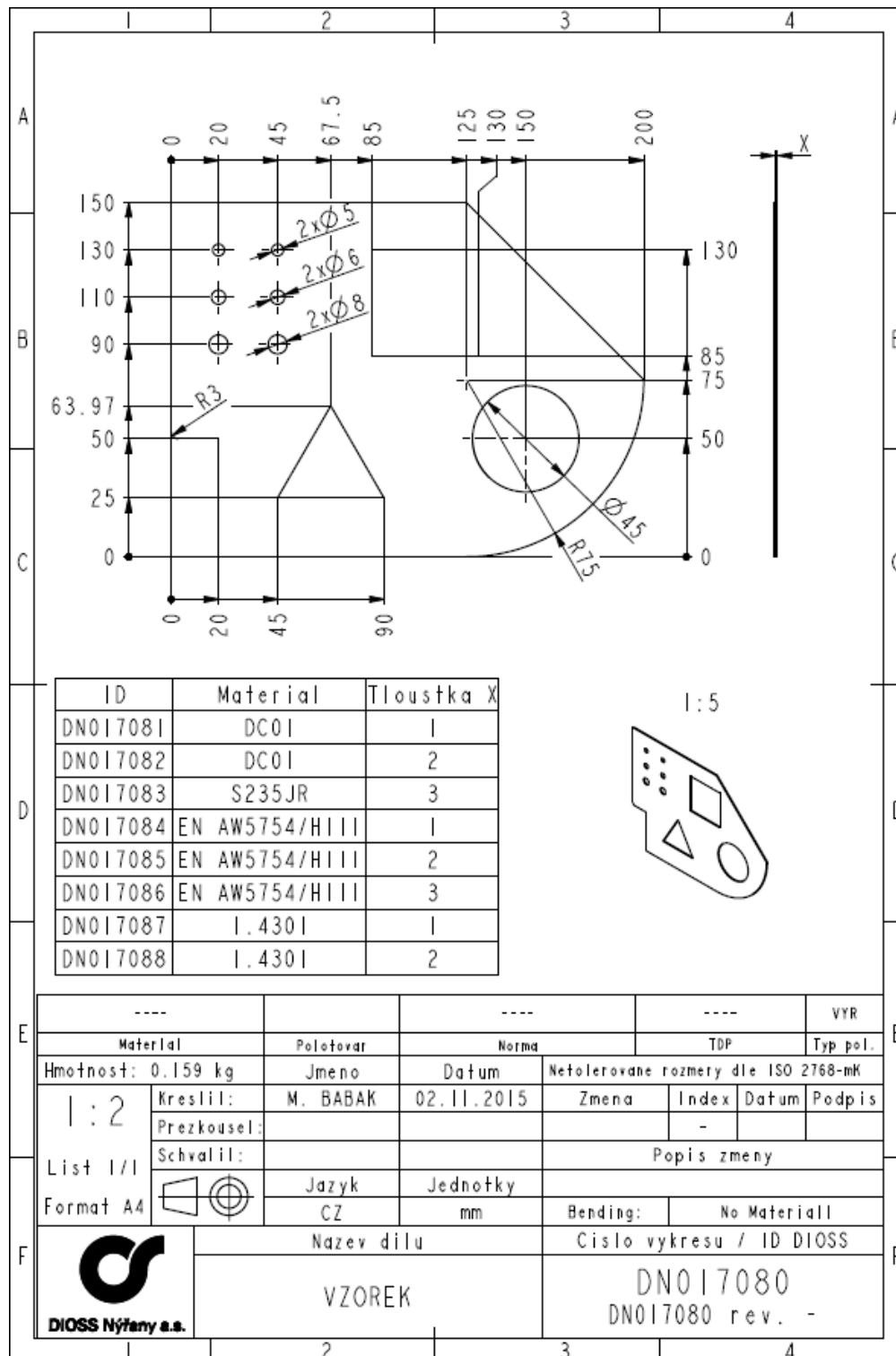
Příloha 7 – Program na pálení dílu, typ 2

Příloha 8 – Stroj Trumpf Trumatic 5000R

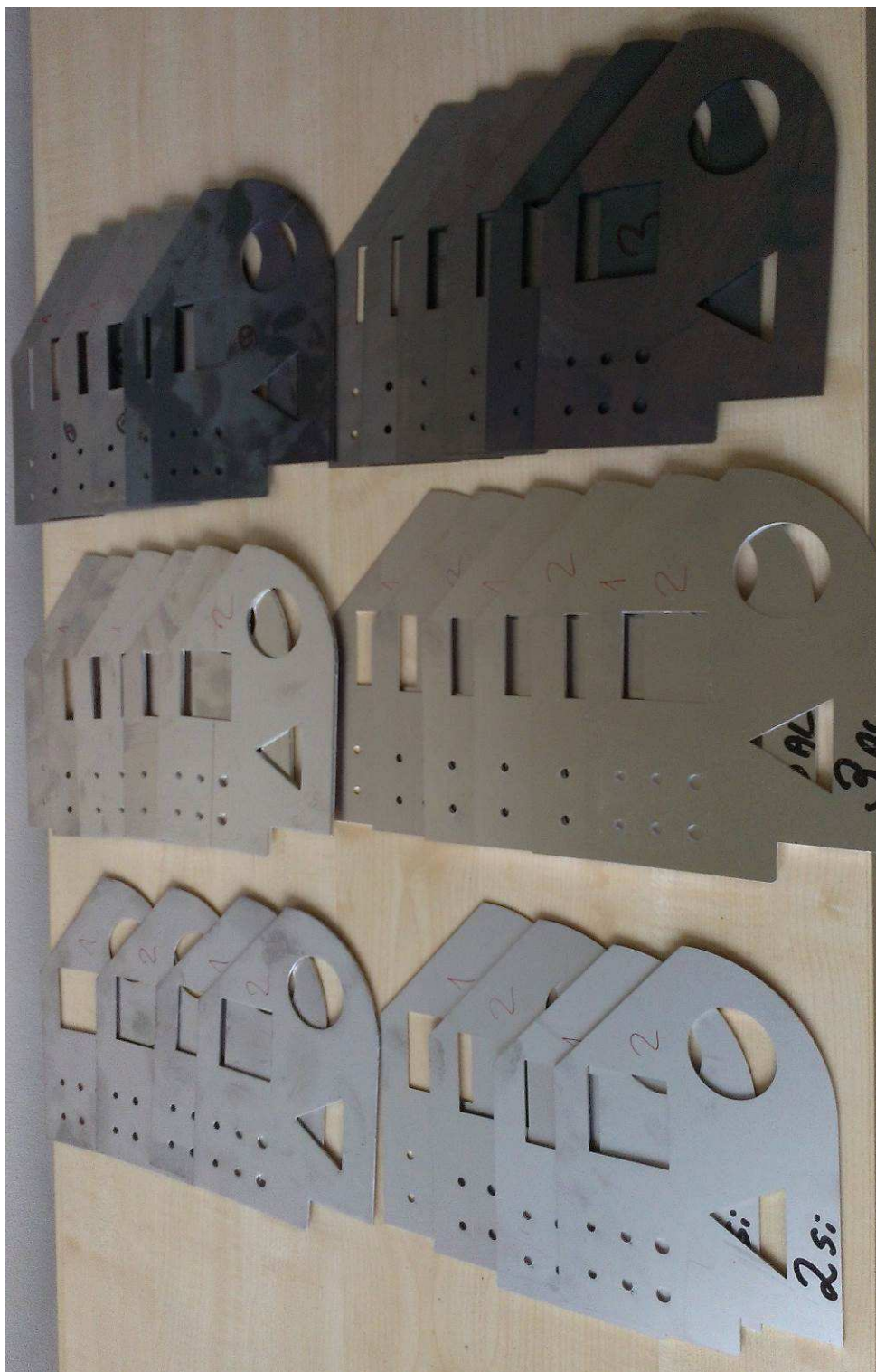
Příloha 9 – Program na vysekávání dílu, typ 1

Příloha 10 – Program na vysekávání dílu, typ 2

Příloha 1 – Výkres vzorku typ 1

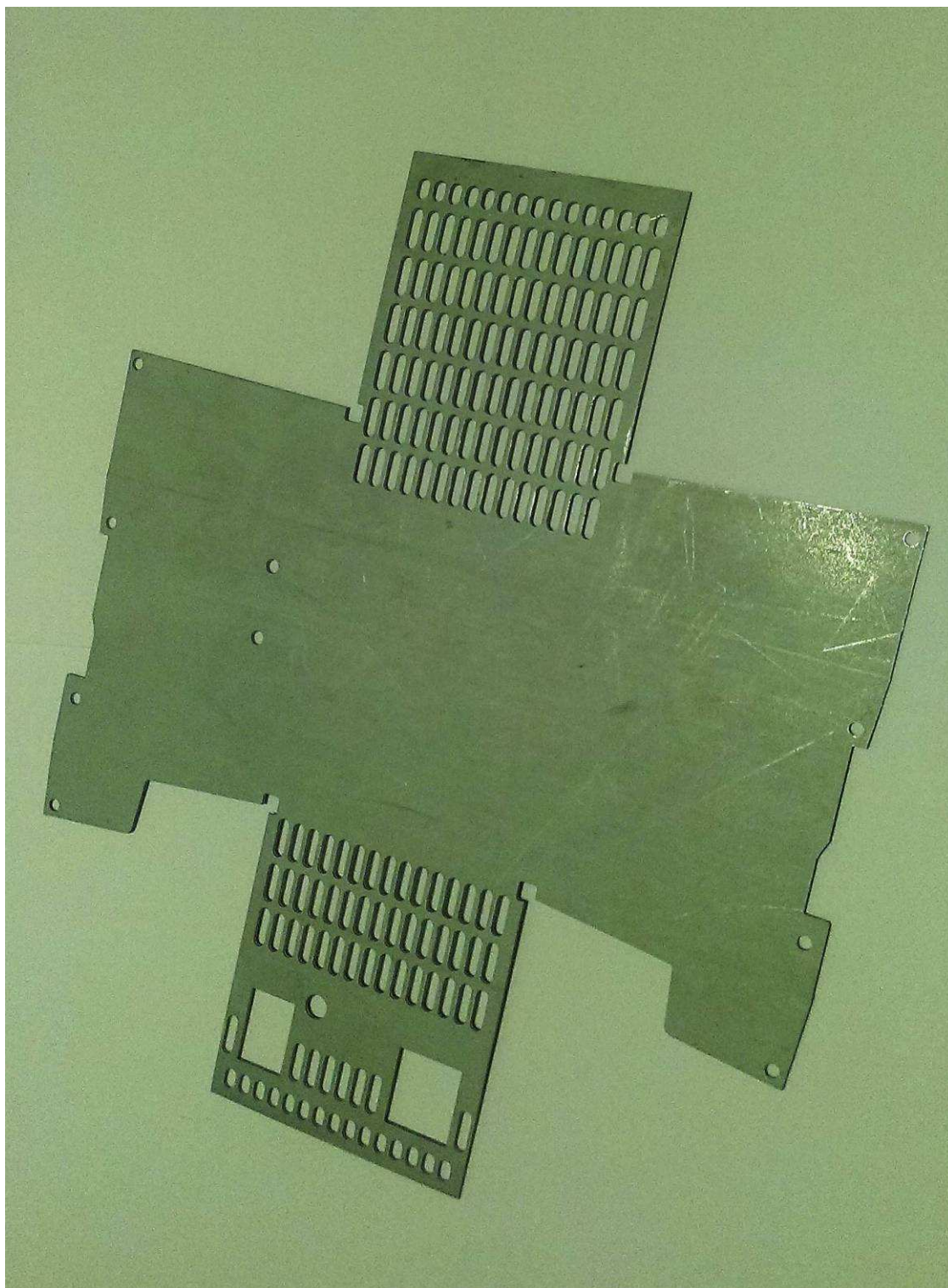


Příloha 2 – Vzoroky typ 1





Příloha 4 – Vzorek typ 2





Příloha 5 – Stroj Trumpf Laser 3040 (L32)



**NASTAVOVACÍ PLAN**  
**OBECNÉ ÚDAJE**

STROJ:	TruLaser 3040 (L32) (MAX.VYKON LASERU 5000 WATT)
SYSTEM RIZENI:	Sim 840D
IMPR:	DIOS
NAZEV ZAKAZKY:	/_laser511DIOS/ICOSTAdno17081-MF.LST
CESTA PROGRAMU NC:	dno17081_MF (dno17081-MF)
NAZEV PROGRAMU:	DC01_AM-10 (DC01_AM)
ID MATERIÁLU (TABULE):	892740 (S137)
MATERIAL (TT):	DC01_AM-10-2000x1000
ID ZROSTI NA SKLADĚ:	
SKLADOVACÍ MÍSTO:	
PŘÍREZ:	2000.00 x 1000.00 x 1.00 mm
SMĚR VÁLCE:	1967.00 x 1000.00 mm
MINIMÁLNÍ PŘÍREZ:	
SMĚR VÁLCE:	
HNOTNOST:	15.70 kg
STROJNÍ ČAS:	0:15:27 (h:min:s)
POTŘEBA FÁMETI:	13388 ZNAK
CELKOVÁ DELKA REZU:	99261.7 mm
POČET PROGRAMOVÝCH CYKLŮ:	1
PŘÍREZ:	43.19 %

**VYROBNÍ INSTRUKCE**

PLECHOVÝ DOPRAZ	nenastaveno
MIKRONÓSTKY, ZMĚNITELNĚ NA	
STROJ:	Standardní stroj, každý druhý nastaven
NAZEV OSAZENÍ OPĚRNÝCH LÍŠŤ:	88 mm
VZDALENOST OPĚRNÝCH BODŮ NA OPĚRNÉ LÍŠTĚ	
VZDALENOST OPĚRNÝCH LÍŠŤ:	87 mm
UPŘEDNOSTNIT ZPRACOVÁNÍ:	bez
Obrysy naprogramovány s dráhovou korekcí	
POZNÁMKY:	

**LASER-TECHNOLOGICKE TABULKY**

CÍSLO TABULKY	MEZERA REZU	OHNSKOVÁ VZDALENOST COCKY	PRUMER TRYSKY LASERU	MAX VYKON LASERU	SERIZOVACÍ PLYN	ROZMER ROZMER
ST010MDD-0250-30-2	0.30	9.80	EAA08	5000		2.00

Druh plynu: 1 = kyslík, 2 = dusík, 3 = zářezník, 4 = stlačený vzduch

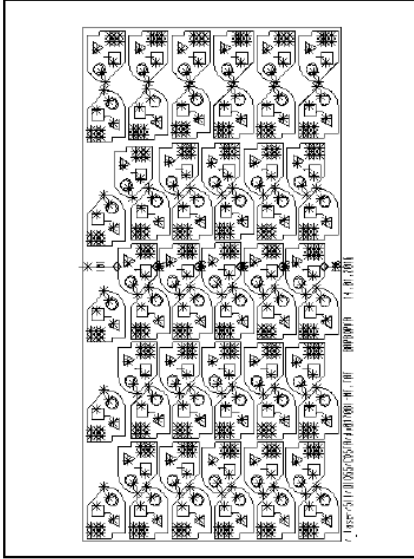
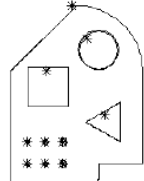
**TECHNOLOGICKE TABULKY**

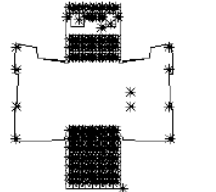
CÍSLO	DRUH REZANI	DRUH VYPICHOVANI	DRUH REZANI	DRUH OBRYSU
ST010MDD-0250-30-2	KOMPLETNĚ	NORMALNĚ	NORMALNĚ	VELKÝ

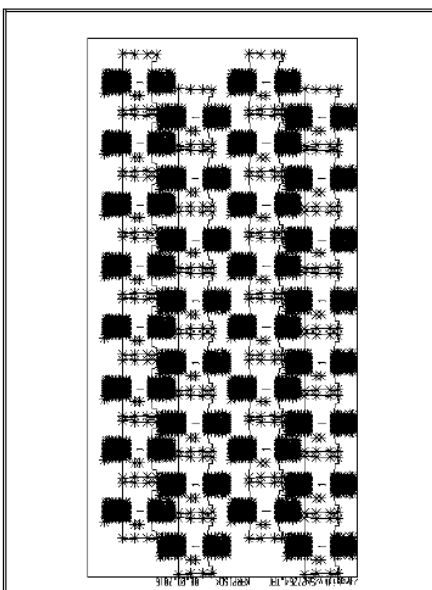
**INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH**

CÍSLO DÍLU:	1
-------------	---

CÍSLO VYKRESU:	DNO17081
NAZEV VYKRESU:	
JMENO ZAKAZNIKA:	DIOS
POČET:	58
ROZMĚRY:	200.000 x 150.000 mm
PLOCHA:	20289.80 mm <sup>2</sup>
NAZEV PRACOVNÍHO PŘEDPISU:	5P
CÍSLO PODPROGRAMU:	SP1dno17081_MF
ČAS PRAČOVÁNÍ:	0.27 min
REZNA DELKA:	1231.88 mm
HNOTNOST:	0.159 kg
POČET VYPICHOVACÍCH BOBŮ:	10
ČAS VYPICHOVÁNÍ:	0.00 s
NAZEV SEOM.SOUBORU	_laser511DIOS/ICOSTAdno17081.GEO



	ČÍSLO VÝKRESU: SW27264 NÁZEV VÝKRESU: Jméno ZAKÁZNIKA: POČET: 33 ROZMĚRY: 248,800 x 214,120 mm PLOCHA: 53123,22 mm <sup>2</sup> NÁZEV PRÁCOVNÍHO PŘEDPISU: SP ČÍSLO PODPROGRAMU: SP/SW27264 DOBA ZPRACOVÁNÍ: 2:48 min REZNÍ DELKA: 5936,66 mm HMOTNOST: 0,229 kg POČET VPICHOVACÍCH BODŮ: 187 DOBA ZA PICHOVÁNÍ: 3,12 s NÁZEV GEOM.SOUBORU: L_punch-SW1_etapa/SW27264.GEO
---	--



**NASTAVOVACÍ PLAN**  
**DIOSS: OBECNÉ ÚDAJE**

STROJ:	TruLaser 3040 (L32) (MAX.VÝKON LASERU 6000 WATT)
SYSTEM ŘÍZENÍ:	Sin 8400
Firma:	DIOSS
NÁZEV ZÁKÁZKY:	#tabulky/SW27264.LST
CESTA PROGRAMU INC:	SW27264 ()
NÁZEV PROGRAMU:	S137-08-ZE (S137)
ID MATERIÁLU (TABULE):	S137-10 (S137)
MATERIÁL (TT):	S137-08-ZE-2000x1000
ID zboží na skladě:	ZINKOR-08
SKLADOVACÍ MÍSTO:	2000.00 x 1000.00 x 1.00 mm
PŘÍREZ:	1945.02 x 936.78 mm
MINIMÁLNÍ PŘÍREZ:	0,1 mm
SMĚR VÁLCE:	X
HMOTNOST:	12,56 kg
STROJNÍ ČAS:	1 : 19 : 51 [h:min:s]
POTŘEBA PAMĚTI:	70403 ZNAK
CELKOVÁ DELKA REZU:	188973 mm
POČET PROGRAMOVÝCH CYKLŮ:	1
PROREZ:	53,40 %

**VYROBNÍ INSTRUKCE**

PLĚCHOVÝ DORAZ	neraštalavito
MIKROMĚSTKY, ZMĚNITELNĚ NA STROJ:	
NÁZEV OSÁZENÍ OPĚRNÝCH LÍSTŮ:	Standardní stroj, každý druhý nastaven
VZDALENOST OPĚRNÝCH BODŮ NA OPĚRNÉ LÍSTE	88 mm
VZDALENOST OPĚRNÝCH LÍSTŮ:	67 mm
PŘEDNOSTNIT ZPRACOVÁNÍ:	bez
Poznámky:	Obrysy naprogramovány s dráhovou korekcí

**LASER-TECHNOLOGICKE TABULKY**

ČÍSLO TABULKY	MEZERA REZU	CHRŮSKOVÁ ČOČKY	PRŮMĚR MAX. VÝKON LASERU	SERVOVACÍ PLYN
ES010MDD-1250-30-2	0,32	9,80	E-A4-14 8000	1,50
Druh plynu: 1 = kyslík, 2 = dusík, 3 = zákalník, 4 = stlačený vzduch				

**TECHNOLOGICKE TABULKY**

ČÍSLO	DRUH VPICHOVÁNÍ	DRUH REZÁNÍ	DRUH OBRYSU
ES010MDD-1250-30-2	KOMPLETNÍ	NORMALNÍ	VELKÝ

**INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH**

ČÍSLO DÍLU:	1
-------------	---

Příloha 8 – Stroj Trumpf Trumatic 5000R





