

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

**Porovnání metod dělení materiálu**

**bakalářská práce**

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor: Miroslav Eichler

PRAHA 2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Miroslav Eichler

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

**Porovnání metod dělení materiálů**

Název anglicky

**Comparison of methods for cutting material**

---

### Cíle práce

shromáždit literární poznatky o vybraných technologiích dělení materiálů.

### Metodika

současný stav řešeného problému (literární rešerše,  
závěry a přínos práce.

## Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

## Klíčová slova

dělení materiálu, dělení laserem, laser

---

## Doporučené zdroje informací

AWAC, spol. s r. o., systémy dělení materiálu (2011) [online]. Dostupné z www: <http://www.awac.cz/>

Časopisy: MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojárstvo / Strojírnoství, Svět svaru, Technický týdeník, Zváranie / Svařování.

Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.

GRIGORJANC, A. G. – ŠIGANOV, I. N.: Lazernaja svarka metallov. Moskva, Vysšaja škola 1988. 206 s.

JIRKA, M. – BROŽEK, M. – CHMELÍK, V.: Řezání laserem. Strojírenská výroba. 43, 1995, č. 5 – 6.

MINAŘÍK, V.: Tepelné dělení materiálu. Praha, ČVUT 1993. 50 s.

POWELL, J.: CO2 laser cutting. London, Springer-Verlag 1993. 246 s.

STEEN, W. M.: Laser material processing. 3rd ed. London, Springer 2003. 408 s.

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

## Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

---

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2015

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2015

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2015

## **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce pojednává o technologiích dělení materiálu a zaměřuje se na technické porovnání třískového a laserového obrábění. Práce je rozdělena do tří částí. V první části pojednává o metodě třískového obrábění tedy frézování na pětiosé frézce, kde je rozepsán i postup obrábění konkrétních obrobků. Druhá část je věnována popisu stroje, který je schopen obrábět stejné obrobky ale CO<sub>2</sub> laserem. Třetí část je zaměřena na porovnání úspornější technologie obrábění. Jako kritéria výběru vhodného stroje byly stanoveny celkové výrobní časy a pořizovací náklady konkrétních strojů.

## **Klíčová slova**

Třískové obrábění, frézování, obráběcí centrum SHW. Obrábění laserem, laser CO<sub>2</sub>, laserový paprsek, TruLaser TUBE 7000.

## **Comparison of methods for cutting material**

### **Abstract:**

The bachelor work deals with material separation technologies and focuses on technical comparison of milling and laser cutting. The work is divided into three parts. The first part discusses the method of cutting operation, therefore five-axis milling machine, which is detailed and specific procedure machining workpieces. The second part describes a machine which is able to machine workpieces but using a CO<sub>2</sub> laser. The third part focuses on the comparison efficient machining technologies. As criteria for the selection of suitable machines were used fixed production time and cost of specific machines.

### **Key words**

Machining, milling, machining center SHW. Laser cutting, CO<sub>2</sub> laser, the laser beam, TruLaser TUBE 7000.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Porovnání metod dělení materiálu“ vypracoval samostatně pod vedením prof. M. Brožka a že jsem uvedl veškeré literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Oldřichově v Hájích dne 1. 4. 2015

Miroslav Eichler

## **Poděkování:**

Chtěl bych tímto vyjádřit velký dík za cenné rady panu prof. M. Brožkovi. Děkuji za připomínky a podklady, technologům společnosti Trumpf Liberec, kteří se zaměřují na třískové obrábění, zejména jednateli společnosti panu Týblovi, R. za podporu a poskytnuté materiály. Díky pak rovněž patří panu Hvězdovi, P. ze společnosti MRB – Sazovice, za poskytnuté podklady pro laserové dělení.

## Obsah

Úvod.....	1
1. Cíle práce.....	2
2. Literární rešerše .....	2
3. Základní pojmy procesu obrábění.....	3
3.1. Používaná terminologie.....	3
3.2. Druhy obrábění .....	3
4. Obrábění třískové.....	4
4.1. Frézování .....	4
4.1.1. Fyzikální princip.....	4
4.1.2. Řezné nástroje.....	6
4.1.3. Upnutí řezného nástroje .....	6
4.1.4. Rozměrové přesnosti a drsnost povrchu .....	8
4.1.5. Výpočet strojního času při frézování.....	9
4.2. Technický popis SHW Powerspeed 5 .....	9
4.2.1. Popis stroje.....	9
4.2.2. Základní osy stroje.....	10
4.2.3. Pracovní rozsah stroje .....	11
4.3. Postup obrábění daného dílu na SHW .....	11
4.3.1. První operace .....	11
4.3.2. Druhá operace.....	12
4.3.3. Třetí operace .....	12
4.3.4. Čtvrtá operace.....	13
4.3.5. Pátá operace .....	13
5. Obrábění CO <sub>2</sub> laserem.....	13
5.1. Laser .....	14
5.2. Laserová technologie .....	14
5.3. Klasifikace laserů.....	14
5.4. Vznik paprsku CO <sub>2</sub> laseru .....	15

5.5.	Struktura zdroje paprsku.....	16
5.5.1.	Generování laserového paprsku CO <sub>2</sub> .....	16
5.5.2.	Výkon laseru.....	17
5.5.3.	Kvalita paprsku.....	18
5.5.4.	Rozdělení intenzity v průřezu paprsku.....	18
5.6.	Princip laserového řezání.....	19
5.6.1.	Kvalita řezu.....	20
5.6.2.	Výpočet strojního času při obrábění CO <sub>2</sub> laserem.....	22
5.7.	Technický popis stroje TruLaser TUBE 7000.....	22
5.7.1.	Popis stroje.....	22
5.7.2.	Základní osy stroje.....	23
5.7.3.	Pracovní rozsah stroje.....	24
5.7.4.	Dosahovaná přesnost výroby.....	27
5.8.	Postup obrábění daného dílu na TruLaser TUBE 7000.....	27
5.8.1.	První operace.....	27
5.8.2.	Druhá operace.....	27
5.8.3.	Třetí operace.....	28
5.8.4.	Čtvrtá operace.....	28
5.8.5.	Pátá operace.....	29
6.	Porovnání jednotlivých technologií dělení materiálu.....	29
7.	Proces rozhodování výběru vhodné technologie.....	31
8.	Závěr.....	32
9.	Seznam použité literatury.....	33
10.	Přílohy	



## Úvod

Strojírenské společnosti zabývající se výrobou strojních součástí či celků jsou v případě zvýšení poptávky postaveny před úkol, jak navýšit výrobní kapacity. Tento problém lze řešit více způsoby, mezi které mimo jiné patří:

- Rozšíření plochy výroby, tj. například stavba další výrobní haly.
- Hledání kooperačních partnerů pro výrobu dílů nad rámec schopností firmy.
- Inovace stávajících technologií.

Ne vždy je však možné najít vhodné kooperační partnery pro požadovanou kvalitu výroby a ne každá společnost má možnost expandovat do prostoru. Jako nejschůdnější se tak může jevit inovace strojního vybavení a zavedení nových technologií s cílem zjednodušit postup výroby, a tím i zkrátit výrobní časy.

Jednou z výrobních operací, u které lze dosáhnout časové úspory, je strojní obrábění, což je také tématem bakalářské práce.

Při samotné operaci obrábění je vyžadována přesnost, strojní flexibilita a nižší náklady, zejména při menších vyráběných dávkách či přímo kusové výrobě. Také je kladen velký důraz na bezpečnost a ekologii provozu. Lze si tedy položit otázku, jaká technologie je pro časovou úsporu při dělení materiálu, resp. obrábění profilů, vhodnější s ohledem na uvedené požadavky.

Za klasickou technologií obrábění dutých profilů je považováno třískové obrábění – frézování. Dnes je mu však možné konkurovat strojem, jehož principu obrábění laserem CO<sub>2</sub> se dříve využívalo pouze k řezání dílů z tabule plechu. V nedávné době však firma TRUMPF uvedla na trh stroj na stejném principu, ale s celkově novým konstrukčním uspořádáním, a tak je možné dělit (obrábět) zmíněné profily i laserem CO<sub>2</sub>. V této práci je proto porovnávána právě metoda dělení laserem CO<sub>2</sub> s technologií třískového obrábění.

## 1. Cíle práce

Cílem této práce je porovnat, vzhledem k tvarové složitosti určitých dílů, dvě relevantní metody dělení materiálu, tj. třískové obrábění a dělení laserem CO<sub>2</sub>. Toto porovnávání bylo provedeno na příkladu obrábění dutých profilů (příloha č. 5). Dále je uveden nástin optimální technologie, kterou by mohl podnik zabývající se strojní výrobou zvolit při výrobě podobné skupiny obrobků.

Práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsána klasická metoda třískového obrábění a představeno konkrétní obráběcí centrum SHW Powerspeed 5. Druhá část je věnována obrábění laserem CO<sub>2</sub> a představen stroj Tru Laser TUBE 7000. Na konci každé ze zmíněných kapitol je časový plán obrobení určitého profilu. Třetí část je pak věnována porovnání obou zmíněných metod dělení materiálu při výrobě kontrétních obrobků, dále úvaha jakou technologii by měl výrobní podnik zvolit. Jako kritérium výběru vhodnější technologie jsou v závěru porovnány výrobní časy a ceny strojů.

## 2. Literární rešerše

První část práce je věnována obecnému popisu třískového obrábění. Teorie a výpočet strojního času byla čerpána z *Dílenské praxe* (1) od prof. Brožka M. Mnoho informací o způsobech obrábění je uvedeno v *Technické příručce obrábění Sandvik Coromant* (2), která je zpracována jako přehledný manuál popisující, jaké nástroje a technologie lze použít. Rovněž byly čerpány vědomosti z běžně nedostupného *Návodu k obsluze pro SHW - Powerspeed 5* (5), kterou zapůjčila společnost TRUMPF-Liberec. Dostupné časové náměry byly získány ve spolupráci s technologií zmíněné společnosti.

Druhá část je věnována dělení materiálu CO<sub>2</sub> laserem. Zde bylo prvořadým cílem dobrat se fyzikální podstaty dělení materiálu. Základní členění bylo čerpáno z příručky *Úvod do laserové technologie* (7). Pro pochopení samotného principu a historii laserů bylo naopak dobré přečtení první části knihy *Laser v mnoha podobách* (9). Samotné dělení materiálu a popis stroje Tru Laser TUBE 7000 pochází z *Technických příruček* společnosti TRUMPF Werkzeugmaschinen (7),

(8), (11), které nejsou pro běžného čtenáře nijak dostupné. Výrobní časy a fotky byly získány od společnosti MRB Sazovice, jelikož jako zatím jediná společnost v České Republice vlastní právě zmíněný stroj TruLaser TUBE 7000.

Samotné porovnání bylo prováděno na základě časových náměrů a získaných informací.

### 3. Základní pojmy procesu obrábění

Před výkladem samotného procesu obrábění je třeba stanovit základní pojmy a používanou terminologii.

#### 3.1. Používaná terminologie

Při obrábění se mění tvar *polotovaru* postupným odebíráním přebytečného materiálu. Jednotlivé kroky výroby se nazývají *operace*. Polotovar a nástroj jsou v takovém vzájemném pohybu, aby docházelo ať už fyzikálně, chemicky, nebo mechanicky k oddělování částic materiálu. Obráběný polotovar nazýváme *obrobkem* a použitý nástroj *obráběcím nástrojem*. Vzájemný pohyb nástroje a předmětu se označuje jako *řezný pohyb*, který se dále skládá z pohybu *hlavního* a *vedlejšího* (posuvu). Jeho velikost se udává řeznou rychlostí. Řezná rychlost se značí písmenem „ $v_c$ “ a udává se v [ m. min<sup>-1</sup>]. Hlavní pohyb souhlasí vždy s tím pohybem stroje, na který se spotřebovává převážná část jeho výkonu. Může jej vykonávat nástroj nebo obrobek. Může být *otáčivý* – plynulý nebo *přímočarý* – přerušovaný. (1)

#### 3.2. Druhy obrábění

Oddělování materiálu lze podle účinků metod obrábění dělit na fyzikální, mechanické a chemické.

- fyzikální účinek (tepelný)
  - pevnolátkové lasery (dielektrické krystaly skla)

- kapalinové lasery (kapaliny, organická barviva)
- plynové lasery (plyny, a plynové směsi)
- mechanický účinek
  - fréza
  - vrták
  - nůž
  - ultrazvuk
  - vodní paprsek
- chemický účinek
  - elektrochemická metoda
  - chemická metoda (2)

## 4. Obrábění třískové

Třískové obrábění, jako je vrtání, soustružení, frézování, patří mezi metody mechanické.

### 4.1. Frézování

Frézování je (po soustružení) druhý nejrozšířenější způsob obrábění a představuje více jak 30 % z celkové pracovního strojního obrábění. (1)

Jedná se v principu o obrábění prováděné rotujícím vícebřitým nástrojem, který se posouvá po naprogramované dráze kolem obrobku v téměř libovolném směru. Právě díky tomuto způsobu řezu je frézování tak efektivní a univerzální metodou obrábění. Vývoj nástrojů přispěl rovněž k novým možnostem zvýšení produktivity, spolehlivosti a konzistence kvality, což je umožněno technologiemi využívajícími *VBD (vyměnitelné břitové destičky, dále jen VBD)* a nástrojů ze slinutých karbidů. (3)

#### 4.1.1. Fyzikální princip

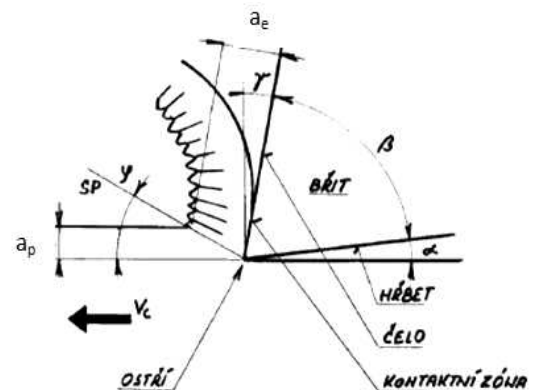
Při procesu obrábění dochází k oddělování částic materiálu z obrobku. Oddělená část materiálu tvoří třísku. Soudržnost jednotlivých elementů třísky

závisí na fyzikálních, chemických a dalších vlastnostech obrobku, na řezných podmínkách a na geometrii řezného nástroje.

Činná část každého řezného nástroje má tvar klínu (obr. 1), který vniká do obráběného materiálu. Dochází k porušení soudržnosti částic obráběného materiálu a postupně se odděluje určitá vrstva materiálu. Oddělované částice jsou na čele řezného nástroje pěchovány a deformují se v třísku. (4)

- SP – rovina stříhu, po které se posouvají jednotlivé vrstvy třísky při její deformaci (pěchování)
- $\varphi$  – úhel sklonu roviny stříhu
- $v_c$  – řezná rychlost
- $\alpha$  – úhel hřbetu
- $\beta$  – úhel břítu
- $\gamma$  – úhel čela
- $a_p$  – tloušťka odebíraného materiálu
- $a_e$  – tloušťka třísky po jejím pěchování
- 

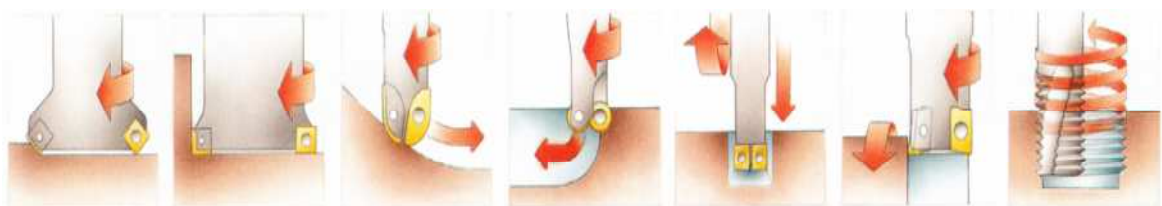
Obr.1 – Rovina stříhu

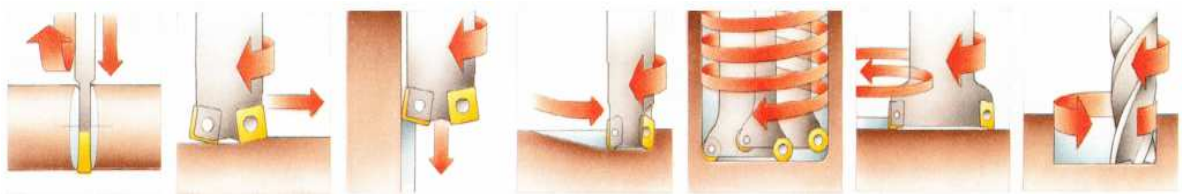


Řeznou rychlost lze spočítat ze vztahu 
$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Fréza využívá jeden nebo více z následujících typů řezů: radiální, obvodem, axiální. V celém rozsahu frézování můžeme vysledovat řez, například ve směrech uvedených na obr. 2, ve vztahu k ose rotace nástroje.

Obr. 2 – Možné pohyby fréz





Řezná rychlost se měří na největším průměru frézy. Volí se podle obrobiteľnosti materiálu, materiálu nástroje, způsobu práce (hrubování, na čisto), podle druhu použité procesní kapaliny, způsobu upnutí obrobku. (3)

#### 4.1.2. Řezné nástroje

Řezné nástroje jsou zpravidla monolitní ze slinutých karbidů, nebo jsou opatřeny VBD. Břity jsou ošetřeny PVD (*Physical Vapor Deposition*), nebo CVD (*Chemical Vapor Deposition*) povlakem. Při výběru vhodného nástroje záleží na složitosti operací, které s daným nástrojem chceme vykonávat.

Při obrábění dochází k opotřebení břitu, které je přirozeným důsledkem jeho namáhání. Opotřebení je možné zpomalit volbou vhodnějšího materiálu, povlakováním, případně změnou řezných podmínek. Rozeznáváme:

- Vrubové opotřebení – způsobeno především otěrem.
- Vydrolování na čele – lze najít u destiček bez utvářeče.
- Plastická deformace – vzniká přetížením břitu vyšší řeznou rychlostí.
- Hřbetové trhliny – vznikající tepelným zatížením při přerušovaném řezu. (3)

#### 4.1.3. Upnutí řezného nástroje

Jedním z velmi důležitých kritérií u třískového obrábění je volba upnutí řezného nástroje.

##### 4.1.3.1. Upínací pouzdra tepelná

Tepelná upínací pouzdra dosahují optimálního spojení mezi upínacím pouzdem a stopkou nástroje. V případě upnutí nástroje v tepelném upínacím pouzdru jsou jedinými rozhodujícími faktory pro bezpečné upnutí nástroje v držáku

ohřev a ochlazení tělesa pouzdra. Ohřevem se tepelné upínací pouzdro roztáhne tak, aby nástroj mohl být vložen, popř. vyjmut. Při ochlazení se pouzdro opět smrští a upne vložený nástroj maximální upínací silou.

- **Výhody tepelných upínačů:**

- maximální upínací síla pro přenos vysokého točivého momentu;
- precizní upnutí nástroje při radiálním házení maximálně 3  $\mu\text{m}$ ;
- v důsledku nízkého radiálního házení vynikající jakost a rozměrová přesnost obrobku;
- vynikající pro vysokorychlostní obrábění (HSC).

- **Nevýhody:**

- upnutí nástroje je velice tuhé, což způsobuje poměrně snadný přenos vibrací z obráběcího stroje přímo k nástroji;
- tepelné upínání vyžaduje stabilní, tuhé stroje s tuhým upnutím obrobků, jinak hrozí nebezpečí vylámaní ostří nástrojů, především u tvrdokovových;
- tepelné upínače nelze používat bez speciálního indukčního přístroje pro tepelné upínání nástrojů, což znamená poměrně vysoké pořizovací náklady na systém tepelného upínání. (5)

#### 4.1.3.2. Upínací pouzdra hydraulická

Hydraulické upínače nabízejí vynikající upnutí spojené s velice nízkým obvodovým házením. Zároveň také umožňují snadnou a rychlou výměnu nástroje s pomocí jednoduchého šestihranného „imbus“ klíče. Tato výměna nástroje může být provedena přímo ve vřetenu obráběcího stroje.

Základním principem je, že otáčením upínacího šroubu s vnitřním šestihranem vzniká v tlakové komoře před těsněným pístkem dostatečně vysoký tlak, který vede k elastické deformaci vnitřního tenkostěnného pouzdra, čímž dojde k silnému upnutí stopky nástroje. Při použití redukčních pouzder lze upínat do jednoho tělesa různé průměry stoppek nástrojů. (5)

- **Hydraulické upínače pak poskytují následující výhody:**
  - precizní upnutí nástroje při radiálním házení maximálně 3  $\mu\text{m}$ ;
  - v důsledku nízkého radiálního házení vynikající jakost a rozměrovou přesnost obrobku;
  - optimální trvanlivost nástrojů;
  - přenos vyšších točivých momentů díky optimalizovanému vnitřnímu pouzdru;
  - způsobilost pro vyšší otáčky;
  - tlumení vibrací u starších strojů a při nestabilních upnutích obrobků;
- **K nevýhodám patří:**
  - vyšší pořizovací náklady;
  - nejsou příliš vhodné pro frézování – hrubování nad průměr nástroje 12 mm. (5)

#### 4.1.4. Rozměrové přesnosti a drsnost povrchu

Přesnosti a drsnosti povrchu jsou uvedeny v tabulce 1 a 2.

Tabulka 1. Přesnost rozměrů a drsnost obrobeného povrchu při frézování válcovými frézami (1)

Druh práce		Přesnost rozměrů IT	Drsnosti obrobeného povrchu $R_a$
Hrubování	< 300mm	10 – 12	6,3 – 25
	<1 200mm	11 – 13	6,3 – 25
Na čisto	< 300mm	9 – 11	1,6 – 6,3
	<1 200mm	9 – 12	1,6 – 6,3

Tabulka 2. Přesnost rozměrů a drsnost obrobeného povrchu při frézování fréz. hlavami (1)

Druh práce		Přesnost rozměrů IT	Drsnosti obrobeného povrchu $R_a$
Hrubování	< 300mm	10 – 13	6,3 – 25
	<1 200mm	11 – 13	6,3 – 25
Na čisto	< 300mm	9 – 11	1,6 – 6,3
	<1 200mm	9 – 12	1,6 – 6,3
Jemné frézování		7 – 8	0,8 – 1,6



#### 4.1.5. Výpočet strojního času při frézování

Při frézování jsou obvykle známy dle obr. 3 řezná rychlost „ $v_c$ “ (resp. otáčky  $n$ ), posuv na zub  $s_z$ , hloubka řezu „ $a_p$ “, průměr frézy na obvodu „ $D$ “ a počet zubů frézy „ $z$ “. Z těchto údajů se podle níže uvedeného vztahu vypočítá posuv za minutu  $s_{min}$ .

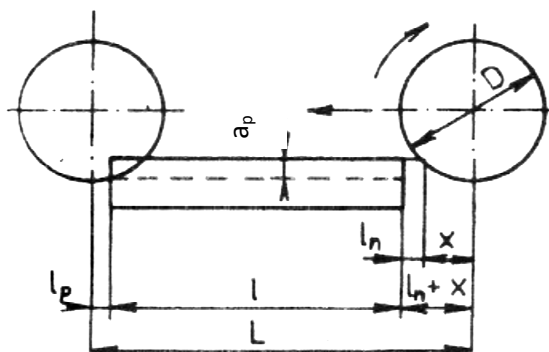
Při frézování válcovou frézou se strojní čas  $t_{As}$  vypočítá ze vztahu  $t_{As} = \frac{L}{s_{min}}$  [min] kde „ $L$ “ je dráha nástroje [mm].

Obr. 3 – Výpočet strojních časů při frézování

$$L = x + l_n + l + l_p$$

$$x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h\right)^2}$$

- $D$  - průměr frézy
- $l$  - délky frézované plochy
- $l_n, l_p$  - délka náběhu a přeběhu (volí se cca 5 mm)
- $a_p$  - hloubka řezu
- $l_n + x$  - vzdálenost obvodu nástroje od obrobku. (1)



## 4.2. Technický popis SHW Powerspeed 5

Pro pochopení funkčnosti a variability stroje je třeba uvést technický popis.

### 4.2.1. Popis stroje

Jedná se o pětiosou frézku s řídicím systémem Sinumerik 840D. Stroj disponuje otočným stolem, upínací deskou, dále přesuvným ovládacím panelem a plošinou

pro obsluhu s pevným ovládacím panelem. Pro odstraňování třísek je stroj vybaven příčným dopravníkem třísek.

Stroj je vybaven tool robotem (robotickou rukou) a vlastním zásobníkem nástrojů (obr. 4), který dokáže nést při maximální hmotnosti nástroje 25 kg, až 90 nástrojů o maximálním průměru 125 mm. Nástroj můžeme zatížit maximálním momentem až 40 Nm a při čase výměny nástroje cca 10 s dosahuje stroj vysoké efektivity.

Abychom předešli náhlým změnám velikosti řezné síly, je stroj vybaven opcí „Adaptive Control“, kdy se posuv automaticky přizpůsobí točivému momentu vřetena. Tím se má docílit konstantního objemu třísek (opracovaného materiálu) a optimálního využití nástroje, obzvláště u kolísavých přídavků a vlastností materiálu obrobků. (6)

Obr. 4 – Pohled na SHW ve směru osy X (6)

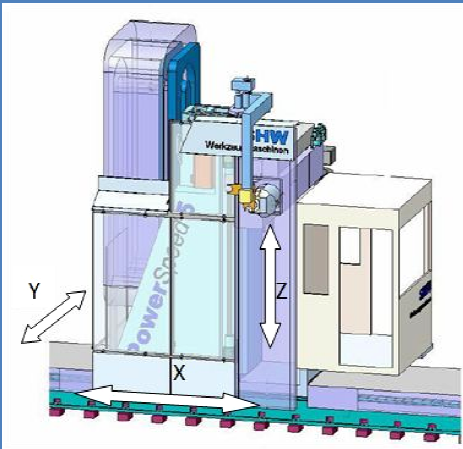
1. ovládací panel a vstup do kabiny stroje
2. zásobník nástrojů (řetěz)
3. upínací stůl
4. pojezd v ose X



#### 4.2.2. Základní osy stroje

Základní osy stroje je možné popsat v tabulce 3.

Tabulka 3 – Osy stroje SHW

<p><b>Základní osy stroje</b></p>	
<p><b>Osa X</b></p>	<p>horizontální pohybová osa stojanu</p>
<p><b>Osa Y</b></p>	<p>vertikální saně vřeteníku</p>
<p><b>Osa Z</b></p>	<p>horizontální osa vřeteníku</p>

#### 4.2.3. Pracovní rozsah stroje

Obráběcí stroj SHW (dále jen SHW) je určen pouze pro vrtání a frézování zejména kovových výrobků. Opracování provádíme otáčejícím se pracovním vřetenem a geometricky určenými řeznými nástroji. Polotovary lze obrábět v pracovním rozsahu stroje v ose  $X = 12\,000\text{ mm}$ , osa  $Y = 1\,600\text{ mm}$  a v ose  $Z = 1\,300\text{ mm}$ . (6)

### 4.3. Postup obrábění daného dílu na SHW

V níže uvedeném postupu jsou uvedeny jednotlivé výrobní operace dělení materiálu dutých profilů (příloha č. 5).

#### 4.3.1. První operace

V první operaci je třeba naložit pomocí mostového jeřábu jeden pár polotovarů (obr. 4) na pracovní stůl SHW (obr. 5). Polotovary jsou pak zarovnány na dorazy. Následně jsou pomocí upínek a rychlosvěrek (obr. 6) upnuty předepsanou silou na upínacím přípravku Spezirona. Strojní čas = 10 min.

Obr. 4 – Polotovary



Obr. 5 – Upnutí na Spezirone



Obr. 6 – Spezirona



### 4.3.2. Druhá operace

V druhé operaci se pomocí 3D sondy (obr. 7) určí nulový bod obrobků. Následuje softwarová kontrola nástrojů (obr. 8), kdy je životnost nástroje dána obrobenou vzdáleností v metrech. Po této kontrole následuje spuštění programu. Během jednotlivých operací obrábění jsou automaticky měněny nástroje pomocí tool robotu, který nese vždy dva nástroje. Tool robot má vždy v pohotovosti i nástroj na další krok obrábění a dojde jen k výměně nástroje do vřetene, čímž se snižuje čas výměny na < 10 s. Strojní čas = 2,2 min.

Obr. 7 – Kontrola sondou



Obr. 8 – Kontrola nástrojů

600809	Střikotka Katalba Vřeteno-STOP	Program proved.	600
KONTROLA NASTROJŮ			
IF 890-42000 G0T0F spet2	: Fréza D12	120 #	
IF 897-900 G0T0F spet3	: Vrták D25H7	119 #	
IF 896-1200 G0T0F spet4	: Vrták D5.35	70 #	
IF 895-2000 G0T0F spet5	: Závrták M6	75 #	
IF 894-3000 G0T0F spet6	: Vrták D7.4	71 #	
IF 893-5000 G0T0F spet7	: Závrták M8	74 #	
IF 892-8000 G0T0F spet8	: Vrták D3.7	710 #	
IF 891-4000 G0T0F spet9	: Závrták M4	77 #	
IF 890-3000 G0T0F spet10	: Vrták D11.1	717 #	
IF 889-25000 G0T0F spet11	: Štábec D10	730 #	
IF 888-5000 G0T0F spet12	: Fréza D10	722 #	
IF 887-50 G0T0F spet13	: Fréza D30 platková	747 #	
IF 886-100 G0T0F spet14	: Vrták D17.5	712 #	
IF 885-100 G0T0F spet15	: Vrták D20	713 #	
IF 884-500 G0T0F spet16	: Vrták D10.2	70 #	
IF 883-500 G0T0F spet17	: Závrták M12	715 #	
IF 882-500 G0T0F spet18	: Vrták D12	711 #	
IF 881-500 G0T0F spet19	: Vrták D13.5	723 #	

### 4.3.3. Třetí operace

Ve třetí operaci se dostáváme k samotnému procesu obrábění. V první řadě dojde k zarovnání polotovaru na požadovanou délku, následuje vrtání otvorů,

tváření závitů, vrtání děr  $\varnothing 25H8$ , které jsou kvůli požadované kruhovitosti otvorů vrtány speciálním korunkovým vrtákem Hydra-Drill. Strojní čas = 22 min.

#### 4.3.4. Čtvrtá operace

Po třetí operaci jsou obrobky otočeny o  $180^\circ$  a následně znovu osondovány. Dále probíhá vrtání otvorů, tváření závitů. Frézování kapes je prováděno nástrojem se zirkon-nitridovým povlakem pro lepší odvod tepla, který je kvůli eliminaci vibrací a vyhřívání nástroje upnutý do hydraulického upínače. Strojní čas = 37 min.

#### 4.3.5. Pátá operace

V páté operaci dojde k vyložení obrobků (obr. 9) ze stroje, vyfoukání od třísek a zbytků procesní kapaliny. Následuje umístění na podpěry mimo stroj. Během operace 1 – 4 u dalšího páru obrobků dochází k odjehlení (obr. 10) a finální kontrole rozměrů. Strojní čas = 15 min.

Obr. 9 – Vyložení obrobků



Obr. 10 – Odjehlení obrobku



## 5. Obrábění CO<sub>2</sub> laserem

Abychom měli možnost porovnat obě zmíněné technologie dělení materiálu, je třeba si představit konkurenci v podobě dělení materiálu laserem.

## 5.1. Laser

Laser (Light amplification by stimulated emission of radiation) je zesílení světla stimulovaným zářením. Laser je zdroj, který vyzařuje charakteristické elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu mezi ultrafialovým a infračerveným zářením. To znamená, že ne každé záření vycházející z laserů je viditelné lidským okem (viditelný rozsah: cca 400 – 750 nm). Přesto je laserové záření většinou označováno jako světlo. (7)

## 5.2. Laserová technologie

Laserovou technologií si můžeme definovat jako opracování materiálu, založené na využití schopnosti laseru koncentrovat optickou energii v prostoru, čase a spektrálním intervalu a na interakci optického záření s látkou.

Při interakci záření s pevnou látkou dochází nejprve k jejímu ohřevu a tavení a nakonec k jejímu odpaření. Základní předností laserových operací je možnost opracování bez mechanického kontaktu s výrobkem, možnost opracování obtížně přístupných částí materiálu a zpracování materiálů, které jsou mnohdy těžko opracovatelné klasickými metodami. (2)

## 5.3. Klasifikace laserů

Lasery mohou být klasifikovány dle různých hledisek, např. podle:

- aktivního prostředí
- vlnových délek optického záření
- typů kvantových přechodů
- typů buzení
- časového režimu provozu laseru

- dělení laserů podle aktivního prostředí
- pevnolátkové lasery YAG ( $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ ), YAP ( $YAlO_3:Nd^{3+}$ )
- polovodičové lasery
- plynové lasery (He, He-Ne, He-Cd, CO<sub>2</sub>)
- kapalinové lasery
- plazmatické lasery

- dělení podle vysílaných vlnových délek
- infračervené lasery
- lasery viditelného pásma
- ultrafialové lasery
- rentgenové lasery

- dělení dle časového režimu
- pulzní
- kontinuální

- podle generovaného impulzu
- dlouhé impulzy
- krátké impulzy
- velmi krátké impulzy

V dalším textu, vzhledem k technologiím, které budeme porovnávat, zaměříme pouze na lasery plynové a to konkrétně CO<sub>2</sub>. (2)

#### 5.4. Vznik paprsku CO<sub>2</sub> laseru

Aktivními molekulami jsou zde molekuly CO<sub>2</sub>, kdy ke stimulované emisi dochází při kvantových přechodech mezi různými podhladinami základního elektronického stavu molekuly (příloha č. 1). Excitace vibračních stavů molekul CO<sub>2</sub> bývá nejčastěji uskutečňována v doutnavém elektrickém výboji prostřednictvím nepružných srážek molekul CO<sub>2</sub>. Elektrický výboj je zapalován ve směsi plynů CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He. Při vhodném poměru intenzity elektrického pole působícího ve výbojovém prostoru a tlaku plynu mají elektrony takovou kinetickou energii, že

jsou přednostně buzeny horní laserové hladiny molekuly  $\text{CO}_2$  a vibrační hladina 1 molekuly  $\text{N}_2$ . Při srážkách molekul  $\text{N}_2$  a  $\text{CO}_2$  dochází k excitaci. Molekuly  $\text{N}_2$  tak mohou zvyšovat úroveň buzení horní laserové hladiny, jak je možné vidět na Diagramu energetických hladin (příloha č. 1).

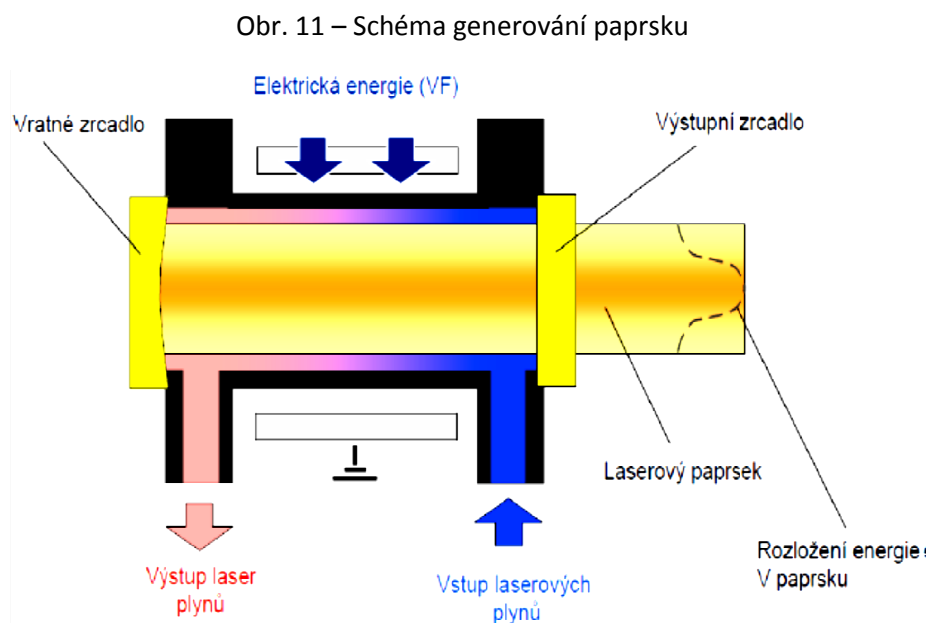
Úloha atomů He je pak v této směsi taková, že zabraňuje depopulaci (vyprazdňování) dolní laserové hladiny. (8)

## 5.5. Struktura zdroje paprsku

V následujícím textu je popsáno zařízení, ve kterém vzniká paprsek  $\text{CO}_2$ .

### 5.5.1. Generování laserového paprsku $\text{CO}_2$

Zařízení, ve kterém vzniká paprsek, se nazývá rezonátor. Schéma je možné vidět na obrázku 11.



Laserové plyny tvoří směs Helia, Dusíku a Oxidu uhličitého v určitém poměru.

- Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ): plyn ze kterého vzniká, za pomoci elektrické energie, laserové světlo.
- Dusík: plyn, který slouží pro přenos energie do molekul  $\text{CO}_2$ .
- Hélium: plyn, který slouží pro přenos tepelné energie.



- Čistota plynů: CO<sub>2</sub> – 99,995 %, N<sub>2</sub> – 99,999 %, He – 99,999 %, a poměr ve směsi: 13:6:1.
- Elektrická energie: vysokofrekvenční střídavý proud s frekvencí 13,54 MHz.
- Zpětné zrcadlo (RS): zrcadlo, které odrazí 99,5 % fotonů zpět do vyvíjecí trubice. Výstupní polopropustné zrcadlo: odráží část fotonů zpět do vyvíjecí trubice a propustí ven z rezonátoru. Poměr odražených a propuštěných fotonů závisí na výkonu samotného rezonátoru.
- Výstupní zrcadlo (AS): polopropustné zrcadlo, které odrazí část fotonů zpět do vyvíjecí trubice a část propustí ven z rezonátoru. Poměr odražených a propuštěných fotonů závisí na celkovém výkonu rezonátoru.

### 5.5.2. Výkon laseru

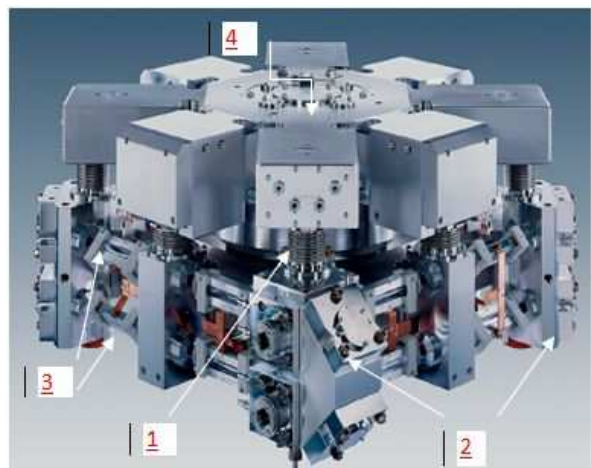
Často se také hovoří o různých výkonech laseru. Výkon laseru je definován jako množství vyzážené energie za určitý čas. Laser CO<sub>2</sub> pracuje v krátkých záblescích. Čím kratší je doba trvání záblesku, tím je větší špičková energie a výkon. (9)

Dle výkonu laseru musí být dráha vývojové trubice dlouhá i několik metrů. Proto, s přihlédnutím ke kompaktnosti rezonátoru, přistoupila firma Trumpf ke kvadratickému uspořádání (obr. 12). Kde jsou v každém rohu odrazná zrcátka, čímž se dráhy výbojů opticky spojují. Na začátku rezonátoru je zpětné zrcátko, na konci naopak výstupní polopropustné.

Při vysokofrekvenčním buzení dochází k zahřívání plynu v trubicích, a proto musí být plyn neustále chlazen. Toto je zajištěno magneticky uloženým radiálním turbodmychadlem. (7)

Obr. 12 – Rezonátor (11)

1. chlazení plynu
2. odrazná zrcátka
3. elektrody a výbojová trubice
4. radiální turbodmychadlo



### 5.5.3. Kvalita paprsku

Laserové paprsky jsou sice usměrněné, ale světelné vlny neprobíhají stoprocentně souběžně. Laserové paprsky mají tzv. pas (nejušší průřez paprsku) a za ním se stále rozšiřují. Chování laserového paprsku pak určuje právě průměr pasu a jeho divergence (rozbíhavost).

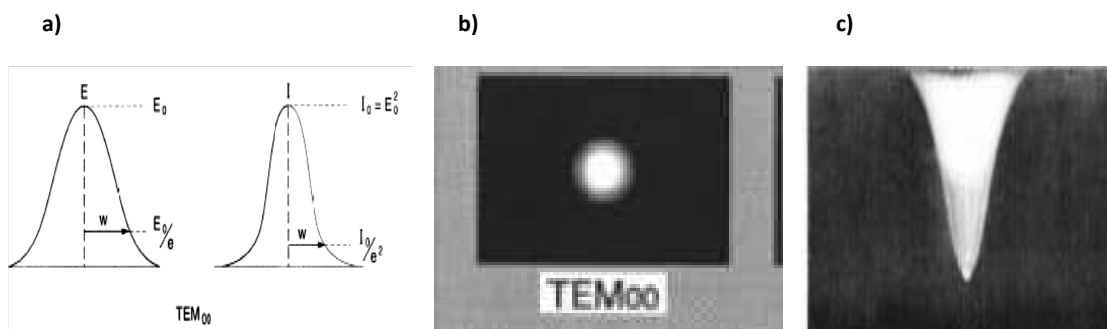
Běžně se lasery rozbíhají o méně než 1 mrad, tj. průměr paprsku se zvyšuje o méně než 1 mm/m. Paprsek s nízkou divergencí a úzkým pasem lze pomocí teleskopické optiky zaostřit na malé místo s vysokou hloubkou ostrosti. Díky tomu pak může být vzdálenost mezi obrobkem a čočkou relativně velká, což je vzhledem k relativně snadnému poškození čočky pro zákazníka žádoucí.

### 5.5.4. Rozdělení intenzity v průřezu paprsku

Paprskový: svazek o vlnové délce 10,6 mm. Jehož nesená energie má vzhledem k ose řezu určité charakteristické rozložení intenzity (obr. 13). Intenzitu v průřezu popisujeme jako mody (vidy).

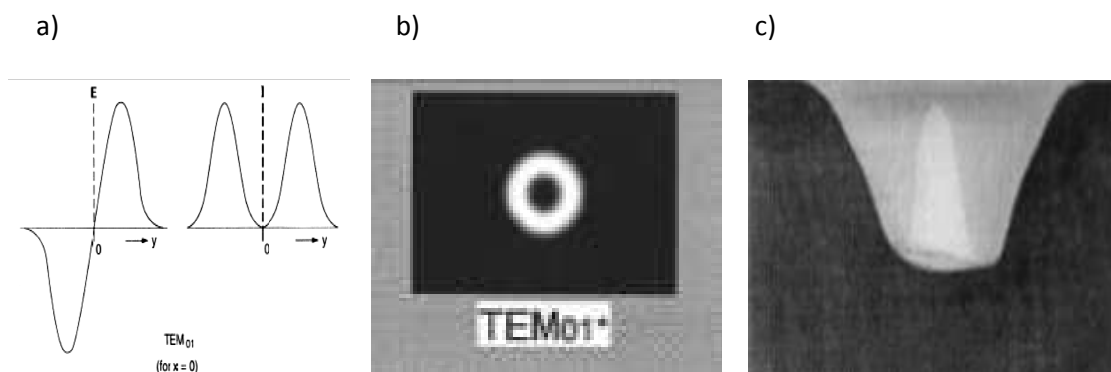
- o základní vid –  $TEM_{00}$  (transverzální elektromagnetický mod), který se nazývá Gaussův vid a u kterého je intenzita záření nejvyšší v ose paprsku a úměrně k vzdálenosti rovnoměrně klesá. Tuto formu vidu je možné vidět právě u  $CO_2$  laserů o výkonu v rozsahu 700 – 3 500 W.

Obr. 13 – zleva: a) rozložení intenzity  $TEM_{00}$  (10), b) intenzita v bodě (10), c) vidový nástřel v plexisklovém kvádru (8)



- o kruhový vid –  $TEM_{01}$ , u kterého je na ose paprsku naopak intenzita nulová (obr. 14), a se vzdáleností od osy nejprve dosahuje maxima a pak klesá. V praxi se však ukázalo, že intenzita odpovídá též Gaussovu normálnímu rozdělení, šířeném ve svém maximu. K šíření pak dochází překrýváním vidů  $TEM_{00}$  a  $TEM_{01}$ . Vid  $TEM_{01}$  nachází uplatnění při vrtání, či řezání materiálu u laserů  $CO_2$  v rozsahu výkonů 3 000 – 7 000 W (8)

Obr. 14 – zleva: a) rozložení intenzity  $TEM_{01}$  (10), b) intenzita v bodě (10), c) vidový nástřel v plexisklovém kvádru (8)



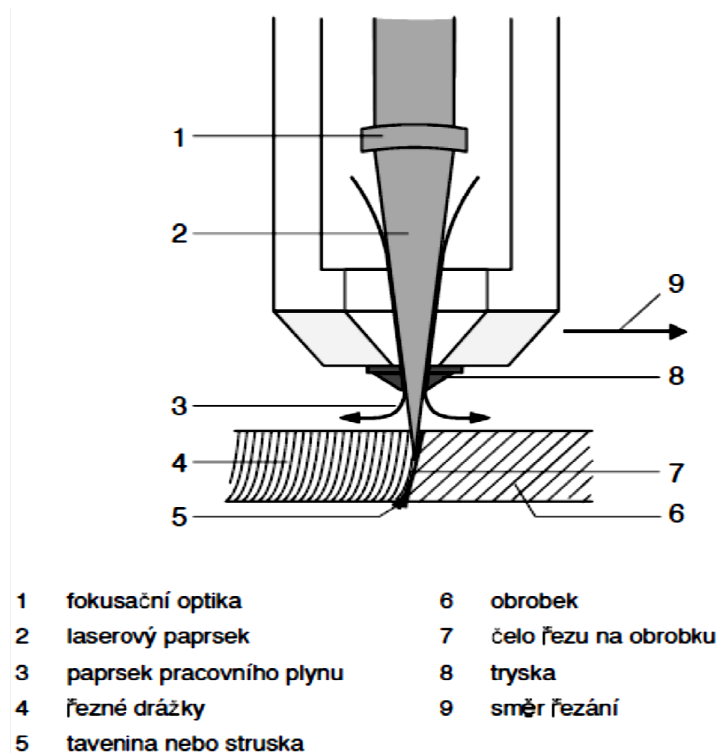
## 5.6. Princip laserového řezání

Při dopadu laserového paprsku na obrobek se jeho materiál tak silně zahřeje, že se roztaví nebo odpaří. Jakmile obrobkem zcela pronikne, začne proces řezání. Laserový paprsek se pohybuje podél kontury dílu a průběžně natavuje materiál (obr. 15). Materiál je následně pomocí proudu plynu vyfukován z řezné spáry (příloha 2). Mezi dílem a zbytkovou mřížkou vzniká úzká řezná spára. Proud řezacího plynu vychází z trysky spolu s laserovým paprskem. (8)

Aby mohl laserový paprsek řezat materiál je třeba materiál nejdříve propíchnout. Zapichování lze provádět rychle s plným výkonem laseru, nebo pomocí tzv. rampcyklu (rampového provozu), kdy při vytváření startovního otvoru

se výkon laseru pozvolna zvyšuje, a následně pak opět snižuje na konstantní výkon pro samotné řezání. Rampové cykly určují charakteristiku výkonu při zápichu, důlkování a mikrosvaru. V rámci jednoho rampocyklu lze až pětkrát měnit výkon v závislosti na čase. Příklad rampocyklu je možné vidět v příloze č. 3. (8)

Obr. 15 – Princip laserového řezání



### 5.6.1. Kvalita řezu

Kvalita řezu jako výmoly, otřepy nebo doběh rýh lze posoudit pouhým okem. Na hloubku drsnosti, pravoúhlost a šířku spáry jsou zapotřebí pomůcky. V praxi se musí stanovit, kdy jsou důležitá která kritéria. Také je třeba mít na paměti, že při řezání materiálu:

- vzniká na povrchu řezu oxidační vrstva, kterou je třeba následně mechanicky odstranit, pokud je díl v některé z dalších operací lakován.
- kolem místa řezu vznikne tepelně ovlivněná oblast, což je třeba zohlednit například, pokud v další operaci řežeme, nebo tváříme závity.

Při řezání kontur laserem CO<sub>2</sub> se na plochách řezu vytvářejí kolmo rýhy. Jejich hloubka určuje hloubku drsnosti. V zásadě platí, že hloubka drsnosti narůstá s přibývajícím tloušťkou materiálu.

Během řezání vzniká řezná spára, která od horní hrany řezu ke spodní hraně řezu zpravidla neprobíhá souběžně. Rovněž i šířka řezné spáry s přibývajícím tloušťkou materiálu narůstá. Závisí na následujících faktorech:

- průměr ohniska
- zaměření paprsku (fokus)
- materiál (složení)
- technologie řezání

Pohybuje se v rozmezích 0,15 mm (T materiálu 1 – 6 mm) až do 0,5 mm (T materiálu 20 – 30 mm). Šířka musí být v celém pracovním rozsahu stroje konstantní, protože jinak budou rozměry dílů a kontury nepřesné.

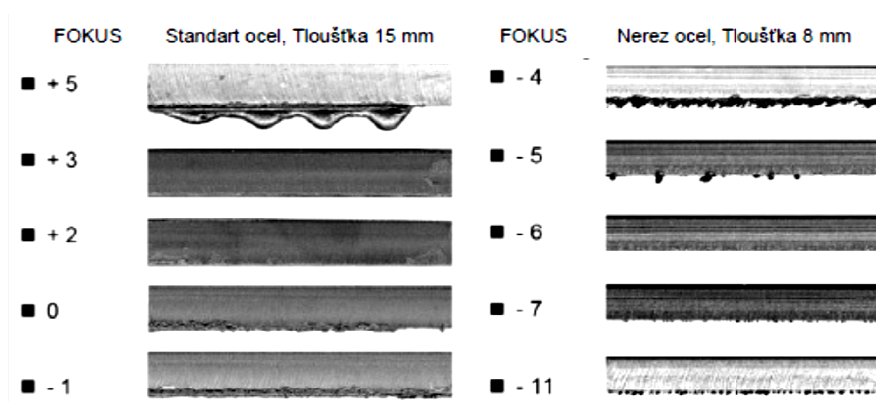
K nejdůležitějším kvalitativním kritériím laserových řezů patří:

- nepřítomnost otřepů: Vytvářet se mohou různé druhy otřepů, od drobkovitých, snadno odstranitelných zbytků strusky až po ostré kovové otřepy pevně spojené se spodní stranou hrany, které se objevují zejména u materiálů nerezových a hliníkových.(např. AlMg3, 1.4301, AISI-316). (8)
- drsnost povrchu (hloubka rýh),
- kolmost

Kvalitu řezu je možné ovlivnit různými způsoby:

- změnou tlaku řezného plynu
- rychlostí řezu
- spínací frekvencí
- změnou fokusu (obr. 16).

Obr. 16 – Vliv fokusu na kvalitu řezu – otřepy (7)



### 5.6.2. Výpočet strojního času při obrábění CO<sub>2</sub> laserem

Rychlost řezání se musí stejně jako laserový výkon přizpůsobovat druhu a tloušťce materiálu. Nesprávná rychlost řezání může vést k nepřipustně vysoké drsnosti, vytváření otřepů nebo zápalům na řezané kontuře („*chytání plazmy*“). Pokud se kontura řeže příliš rychle, může se stát, že se materiál již neoddělí. Zásadně platí, že čím více laserového výkonu je k dispozici, tím rychleji lze řezat. Při stejném laserovém výkonu klesá rychlost řezání s narůstající tloušťkou materiálu. Doba obrábění laserem je možná stanovit z grafu závislosti rychlosti řezání na tloušťce materiálu (příloha 3). (7)

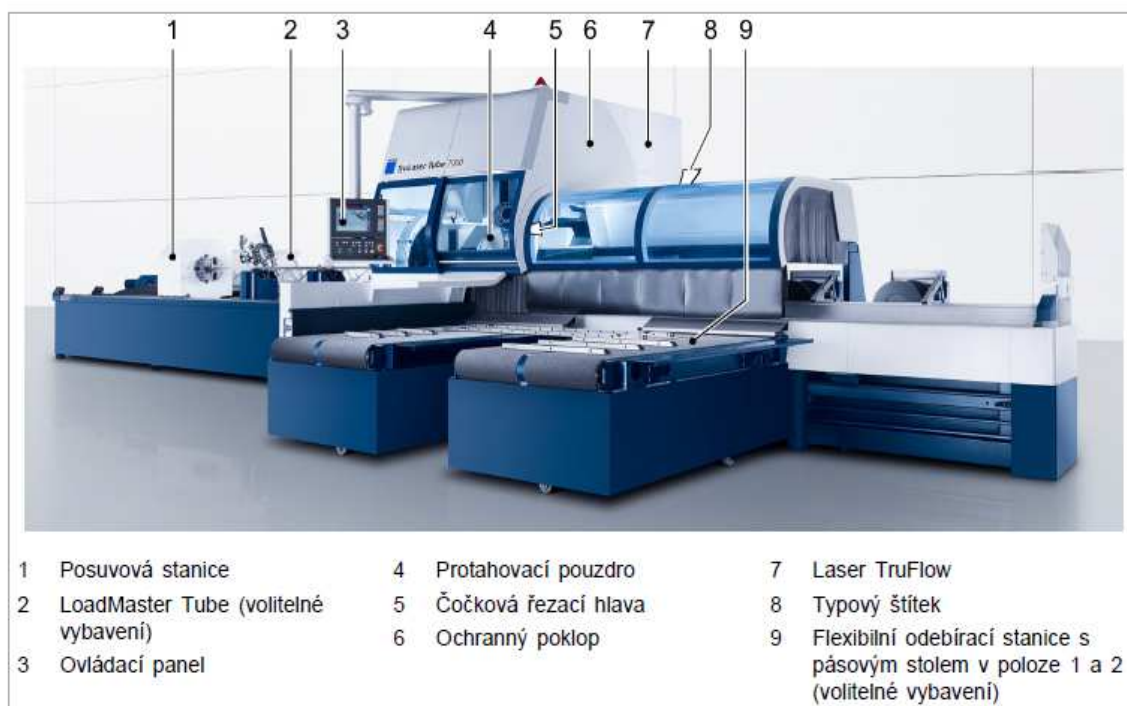
## 5.7. Technický popis stroje TruLaser TUBE 7000

Pro pochopení variability stroje je třeba uvést stručný technický popis.

### 5.7.1. Popis stroje

Na obrázku 17 jsou znázorněny jednotlivé části stroje.

Obr. 17 – TruLaser TUBE 7000



1. Posuvová stanice se sklíčidlem, která unáší obrobek. Zajišťuje posuv ve směru osy X obrobku do stroje a rotaci kolem osy X ve směru A, jak je uvedeno níže v tabulce „Orientace os základního stroje“.
2. LoadMaster je zařízení, které slouží k naložení polotovaru ke zpracování do stroje.
3. Pomocí ovládacího panelu je možné s uživatelsky přátelským softwarem ovládat samotný chod stroje.
4. Protahovacím pouzdrém je obrobek veden k samotnému obráběcímu nástroji (dále jen řezací hlava).
5. Pomocí flexibilní odebírací stanice s pružným nekončícím pásem je možné dopravovat hotové obrobky, např. do připravených přepravek. [3]

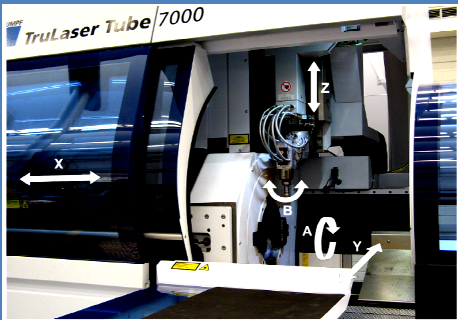
Strojní zařízení TruLaser TUBE 7000 je vybaveno laserem CO<sub>2</sub> firmy TRUMPF. K dispozici jsou tři různé typy laseru: TruFlow 2000, TruFlow 2700 a TruFlow 3600.

Lasery TruFlow se budí vysokofrekvenčním střídavým napětím, což vede k homogennímu výboji v plynu a velmi dobré kvalitě paprsku. Pro buzení laserového plynu je třeba menšího napětí než u stejnosměrného zdroje. V takovém případě je menší rozpad CO<sub>2</sub> a nižší spotřeba plynu. Jelikož zde nejsou elektrody v přímém spojení s médiem, nedochází k jejich opotřebení a k znečištění rezonátoru a zrcátek materiálem elektrod. V důsledku toho jsou redukovány náklady na údržbu. (11)

### **5.7.2. Základní osy stroje**

Laser TUBE 7000 je stejně jako obráběcí centrum SHW Powerspeed 5 víceosý stroj. V tabulce 4 a 5 jsou jednotlivé osy vyobrazeny.

Tabulka 4 – Základní osy stroje. (11)

<p>Osy základního stroje</p>	
<p>Osa X</p>	<p>Horizontální pohybová osa posuvné stanice</p>
<p>Osa Y</p>	<p>Horizontální pohybová osa řezací hlavy</p>
<p>Osa Z</p>	<p>Vertikální pohybová osa čočkové řezací hlavy</p>
<p>Osa A</p>	<p>Otočná osa kolem osy X</p>
<p>Osa B (volitelné vybavení)</p>	<p>Otočná osa čočky řezací hlavy pro šikmý řez</p>

Tabulka 5 – Osy vykládací stanice (11)

<p>osy flexibilní vykládací stanice</p>	 <p>1 Skluz na díly      2 Podpěry hotových dílů</p>
<p>Osa U1-6</p>	<p>Osy X opěr hotových dílů Při práci s pasivním catcherem (volitelné vybavení) odpovídá U1 ose X stěrače.</p>
<p>Osa U7</p>	<p>Osa X skluzavky dílů.</p>
<p>Osa W1-6</p>	<p>Osy Z opěr hotových dílů.</p>
<p>Osa W7</p>	<p>Osa Z skluzavky dílů.</p>

### 5.7.3. Pracovní rozsah stroje

Stroj je schopen obrábět surový materiál v maximálních délkách od 6 500 mm až do délky 9 200 mm (s volitelným vybavením), přičemž záleží především na hmotnosti materiálu 1 m délky (max. 25 kg/m). Opracovatelný profil při délce



hotového obrobku až maximálně 7 500 mm musí mít průřez od 15 mm do průměru opsané kružnice 250 mm.

S řezací hlavou pro šikmý řez (obr. 18) je možné obrábět polotovary i pod úhlem od 45° do 90°. Řezací hlava je chráněna proti poškození magnetickou spojkou, která má zmírnit následky při kolizi s rotujícím obrobkem. Hlava je při kolizi pouze odhozena, místo aby spadla, a tím se poškodila. (11)

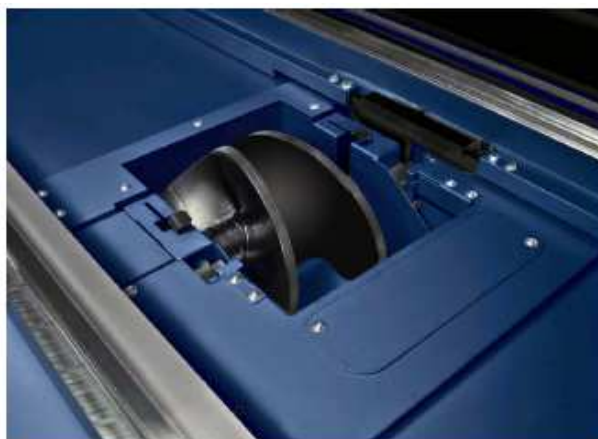
Obr. 18 – Obráběcí nástroj (řezná hlava) (11)



Díky automatickému přestavování pomocí FocusLine je poloha ohniska automaticky nastavena pro daný typ a tloušťku materiálu. Stroj je vybaven senzorikou pro kontrolu čochy, která během chodu stroje sleduje, zda nedochází k tepelnému rozkladu v důsledku usazenin a vyšší tepelné absorpce.

Systém podpěr trubek se díky šnekovému tvaru přizpůsobí jakémukoli polotovaru (obr. 19). Polotovar je v těchto podpěrách bezproblémově vystředěn. Při zasunutí polotovaru do sklíčidla je možné podpěry zasunout zpět do základní polohy, a tak je šetříme proti opotřebení rotujícím obrobkem. (11)

Obr. 19 – Podpěra polotovarů – snadno demontovatelná

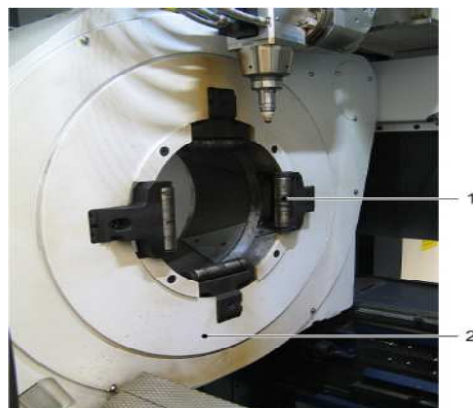


Posuvovou stanicí je možné vybavit různými druhy sklíčidel, a to dle potřeby zákazníka, resp. dle tvaru obráběných polotovarů. Během obrábění se polotovar posouvá ve směru osy X, kolem které též rotuje. Samostředící upínací čelisti (obr. 20) zajišťují přesnou polohu polotovarů a umožňují přesné obrobení.

Obr. 20 – Posuvová stanice upnutý profil



Obr. 21 – Protahovací pouzdro – flexi čelisti



Upínací pouzdro je vybaveno 4 čelistmi, přičemž je synchronní každý pár. V závislosti na tvaru obrobku se automaticky přizpůsobí upínací tlak, takže nejsou obrobky deformovány.

Pevné protahovací pouzdro (obr. 21) nemá posuvovou osu a obrobek je jím pouze veden. Díky konickým válcovým čelistem je možné dosáhnout:

- upnutí trubek v rozích (v 8 bodech)

- upnutí podle polohy
- vycentrování trubek (11)

#### **5.7.4. Dosahovaná přesnost výroby**

Přesnost řezu je v závislosti na drsnosti řezné hrany v rozmezí 0,15 – 0,5 mm. Mezi osami X, Y dosahujeme přesností 0,05 mm. (11)

### **5.8. Postup obrábění daného dílu na TruLaser TUBE 7000**

Nyní je možné popsat jednotlivé kroky obrábění, ze kterých může být patrná rychlost strojního obrábění.

#### **5.8.1. První operace**

V první operaci je potřeba naložit polotovaru do stroje (obr. 22). V případě Laser Tubu 7000 je toto řešeno zcela automatizovaně nakladačem profilů LoadMaster, který má dané profily jednotně připravené v zásobníku, který pojme až 4 t polotovaru. Strojní čas = 1 min.

Obr. 22 – Naložení polotovaru (pohled zepředu)



#### **5.8.2. Druhá operace**

V druhé operaci dojde k změření polotovaru pro případné zakrácení profilu na konci obrábění a pro případnou změnu orientace průřezu při nesprávném otočení.

Následuje přemístění polotovaru do posuvové stanice a dále protažení profilu skrz protahovací pouzdro. Strojní čas = 1 min.

### 5.8.3. Třetí operace

Před samotným obráběním je třeba zaměření profilu řezací hlavou s kapacitním senzorem (obr. 23). Následuje kontrola přítomnosti svaru (švu) pomocí SeemLine TUBE (kamera s vysokým rozlišením). Poté dojde k spuštění samotného procesu obrábění. Vzhledem k rychlosti řezání 2,7 m/min je obrábění poměrně rychlé. Strojní čas = 5,1 min.

Obr. 23 – Zaměření polotovaru a start programu



### 5.8.4. Čtvrtá operace

Ve čtvrté operaci dojde k vyložení profilů pomocí implementované vykládací stanice (obr. 24) a odebrání profilu obsluhou. Následuje složení na paletu. Strojní čas = 1 min.

Obr. 24 – Vyložení obrobku



### 5.8.5. Pátá operace

Odvezení palety pomocí vozíku, příprava obrobků pro kalibraci děr  $\varnothing 25H8$  a řezání všech potřebných závitů, které není na stroji technicky možné. Toto je nutné dodatečně řešit pomocí sloupové vrtačky Bernardo (obr. 25), která je opatřena kamerou s vysokým rozlišením pro přesnou výrobu. Strojní čas = 10 min.

Obr. 25 – Sloupová vrtačka Bernardo



## 6. Porovnání jednotlivých technologií dělení materiálu

Srovnávání jednotlivých metod dělení (tab. 6 a graf 1) proběhlo na základě časových náměrů a dostupných informací, resp. na základě porovnání výrobních časů při opracování určitých obrobků. Konkrétní obrobky jsou součástí přílohy č. 3.

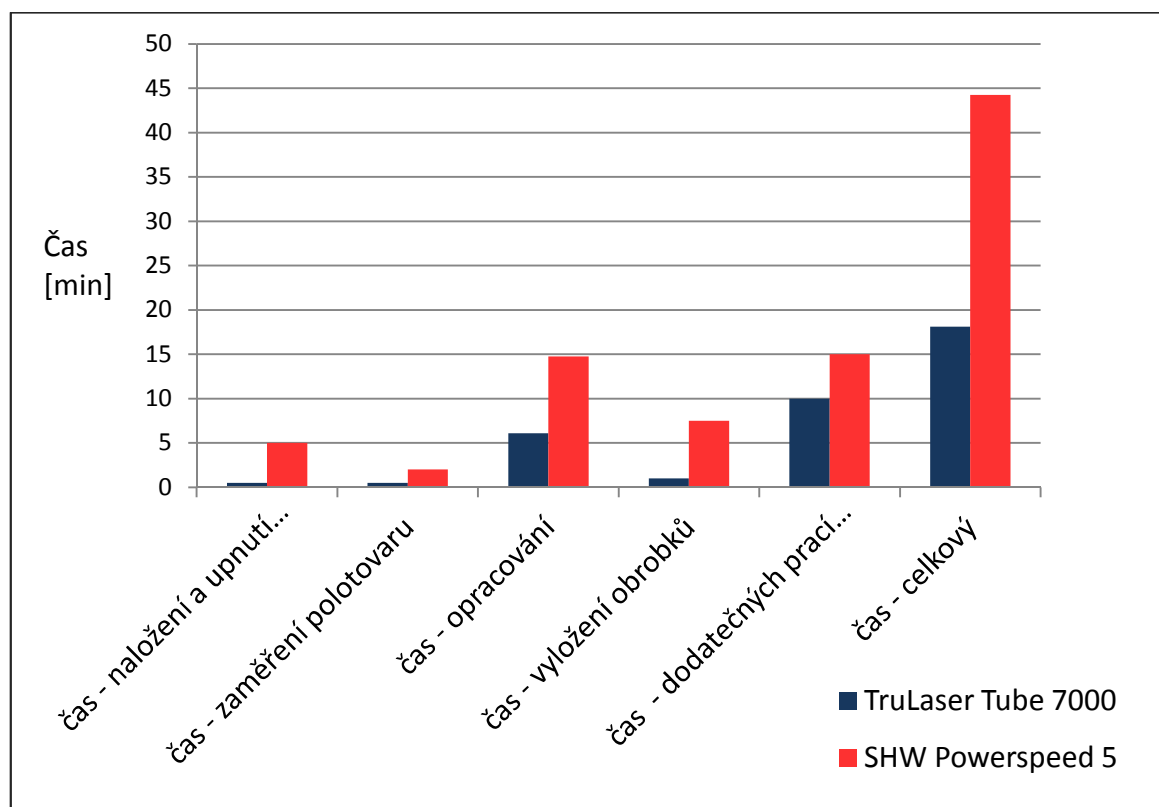
Jelikož je mnoho možností k dokoupení strojního vybavení podle různých požadavků daného výrobního podniku, není uvedena cena strojů konečná. Záleží jen na dohodě mezi uživatelem a prodejcem.

Tab. 6 – Porovnání parametrů jednotlivých metod

Tabulka porovnání	TruLaser TUBE 7000 čas [min]	SHW Powerspeed 5 čas [min]
Naložení a upnutí polotovaru	1	5
Zaměření polotovaru	1	2
Opracování	5,1	14,75
Vyložení obrobků	1	7,5
Dodatečné práce (odjehlení, závity, kalibrace)	10	15
Celkem	18,1	44,25 *
Náklady na pořízení stroje	26 600 000,00 Kč	37 500 000,00 Kč

\*hodnota, dle textu výše, je již uvedena jako ½ času, protože jsou obrobky vždy obráběny v páru.

Graf 1 – Porovnání výrobních časů



## 7. Proces rozhodování výběru vhodné technologie

Každý způsob dělení materiálu má svá specifika. Při třískovém obrábění na stroji SHW Powerspeed 5 bylo nutno zvládnout zejména problém s protilehlostí a kruhovitostí otvorů  $\varnothing$  25H8, a to pomocí speciálního vrtáku Hydra-Drill. Je totiž třeba vrtat obrobek skrz celý profil. Rovněž je třeba, i vzhledem k délce obrobků, dosáhnout dostatečně tuhého upnutí. Nejvíce výrobního času zabere dodatečné odjehlování, které je nutné provést po každém frézování, a manipulace při upínání polotovarů, které je řešeno na zakázku vyrobenou SPEZIRONOU.

U laserového CO<sub>2</sub> obrábění na stroji TruLaser TUBE 7000 byl však problém s protilehlostí otvorů  $\varnothing$  25H8 vyřešen velmi snadno. Zaměření nulového bodu je možné ošetřit v programu buď na střed polotovaru, nebo k hraně polotovaru. Protilehlost otvorů je tedy dána použitým softwarem a zaměřením nulového bodu. Zde je naopak „problém“ s přesností otvorů  $\varnothing$  25H8, kdy laserový paprsek je schopen řezat pouze s maximální přesností 0,1 mm, jelikož drsnost povrchu a podříznutí materiálu (kolmost řezu) jsou závislé na tloušťce a seřízení laserového paprsku. Přesnost otvoru  $\varnothing$  25H8 bylo nutné řešit výstružníkem dodatečnou operací na stroji Bernardo. Dále je třeba vzít v úvahu skutečnost, že stroj nemá možnost řezání závitů, což bylo nutné provést tvářecím závitníkem rovněž na stroji Bernardo. U dělení materiálu laserem CO<sub>2</sub>, pokud je paprsek správně seřízen, naopak odpadá jakýkoli problém s odjehlováním řezů. Upínání a manipulace s polotovary jsou plně automatické pomocí nakládací stanice Loadmaster a vykládací stanice. Tyto jsou však dodávány pouze jako volitelné vybavení stroje.

Při zvažování, jaké technologii dát přednost, je třeba vzít v úvahu převažující skladbu výroby daného podniku. Jedním z kritérií při úspoře nákladů je počet vyráběných kusů (sériovost). Zde je prostor si výrobu důkladně připravit a vyrábět díly například v určitém taktu. Jestliže jde o sériovost, bez možnosti řezání závitů a například frézování funkčních ploch, ale i kusovou výrobu, je zde nesporný přínos v laserovém CO<sub>2</sub> dělení, a je možné se přiklonit k variantě pořízení laserového stroje. Je-li nutné další složitě obrábění, případně se nejedná o kusovou výrobu, na kterou by patrně bylo nutné vyrobit upínací přípravek či experimentovat

s upnutím, což zpravidla znamená neproduktivní čas, je vhodnější volit obráběcí centrum.

## **8. Závěr**

Trvalý tlak na snížení cen strojů a konstrukcí nutí výrobní podniky hledat cesty, které vedou ke snížení nákladů potřebných ke zhotovení součástí. Možnosti snižování nákladů potřebných k výrobě spočívají například v hledání materiálových a časových úspor.

Na základě shromážděných a učiněných poznatků v rámci této práce, jejímž cílem bylo porovnat metody dělení materiálu, je možné poukázat na nesporný přínos CO<sub>2</sub> laserové technologie. Tento závěr vyplývá z provedených měření uvedených v tabulce 6 a grafu 1, kdy celkový čas výrobních operací při dělení materiálu na tomto obráběcím stroji je přibližně o polovinu kratší. Na základě porovnávaných parametrů je tak možné se rozhodnout, jakým směrem se může výrobní společnost při dělení materiálu (dutých profilů) ubírat a kde lze hledat úspory. Jednoduchost pro obsluhu a manipulaci, nepřítomnost nákladných břitových nástrojů je u CO<sub>2</sub> laseru jen další velkou výhodou.



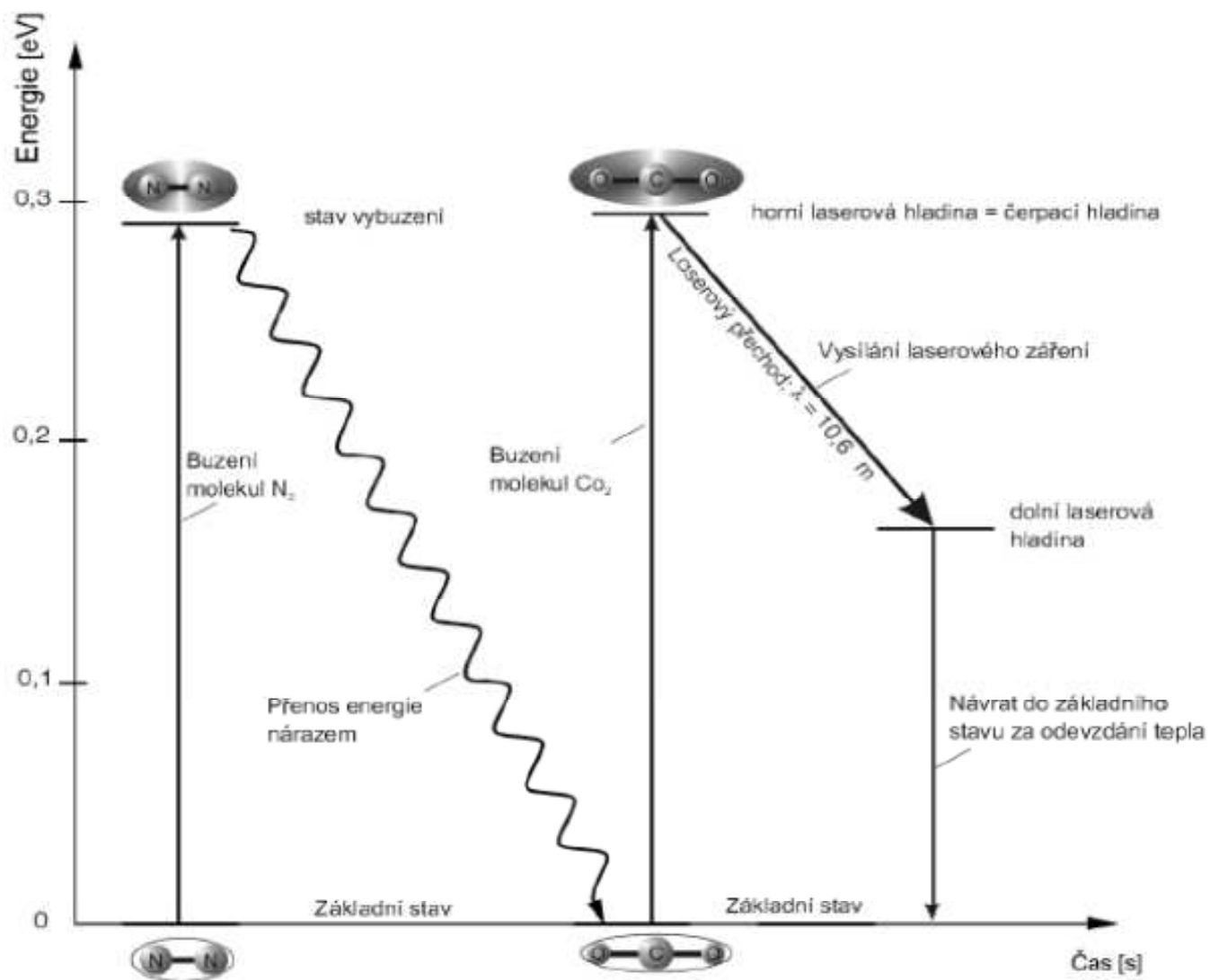
## 9. Seznam použité literatury

1. BROŽEK, M. *Dílenská praxe*. Praha: ČZU, 2001. ISBN 80-213-0742-0.
  2. VRBOVÁ, M., H. JENÍKOVÁ a P. GAVRILOV. *Úvod do laserové techniky*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01108-9.
  3. AB SANDVIK COROMANT, Sandviken, Švédsko. *Technická příručka obrábění*. Elanders Švédsko, 2005. 601 s.C-2900:3CZE/01.
  4. STŘEDNÍ ŠKOLA TECHNICKÁ ŽDĀR NAD SÁZAVOU. *Základy teorie třískového obrábění*. *Sstzr.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrabení.pdf>.
  5. PLÁNIČKA, F. *Precizní nástroje vyžadují precizní upínače*. *Mmspektrum: mm průmyslové spektrum*[online]. 2014 [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/precizni-nastroje-vyzaduji-precizni-upinace.html>.
  6. SHW WERKZEUGMASCHINEN. *Návod k obsluze SHW-Powerspeed 5*. [s.l.]: SHW, Aalen ©2001.
  7. TRUMPF. *Technologie pálení laserem*. [s.l.]: TRUMPF, Ditzingen, ©2011.
  8. TRUMPF. *Technická informace - Obrábění CO<sub>2</sub> laserem*. [s.l.]: TRUMPF, Ditzingen, ©2009.
  9. SEDLÁČEK, K. *Laser v mnoha podobách*. Praha: NAŠE VOJSKO, 1982.
  10. SILFVANST, W, T. *Laser Fundamentals*. Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2004. ISBN 978-0-0521-83345-5.
  11. TRUMPF. *Tru Laser TUBE 7000*. [s.l.]: TRUMPF, Ditzingen, ©2013.
- ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 01 0197.

## 10. Přílohy

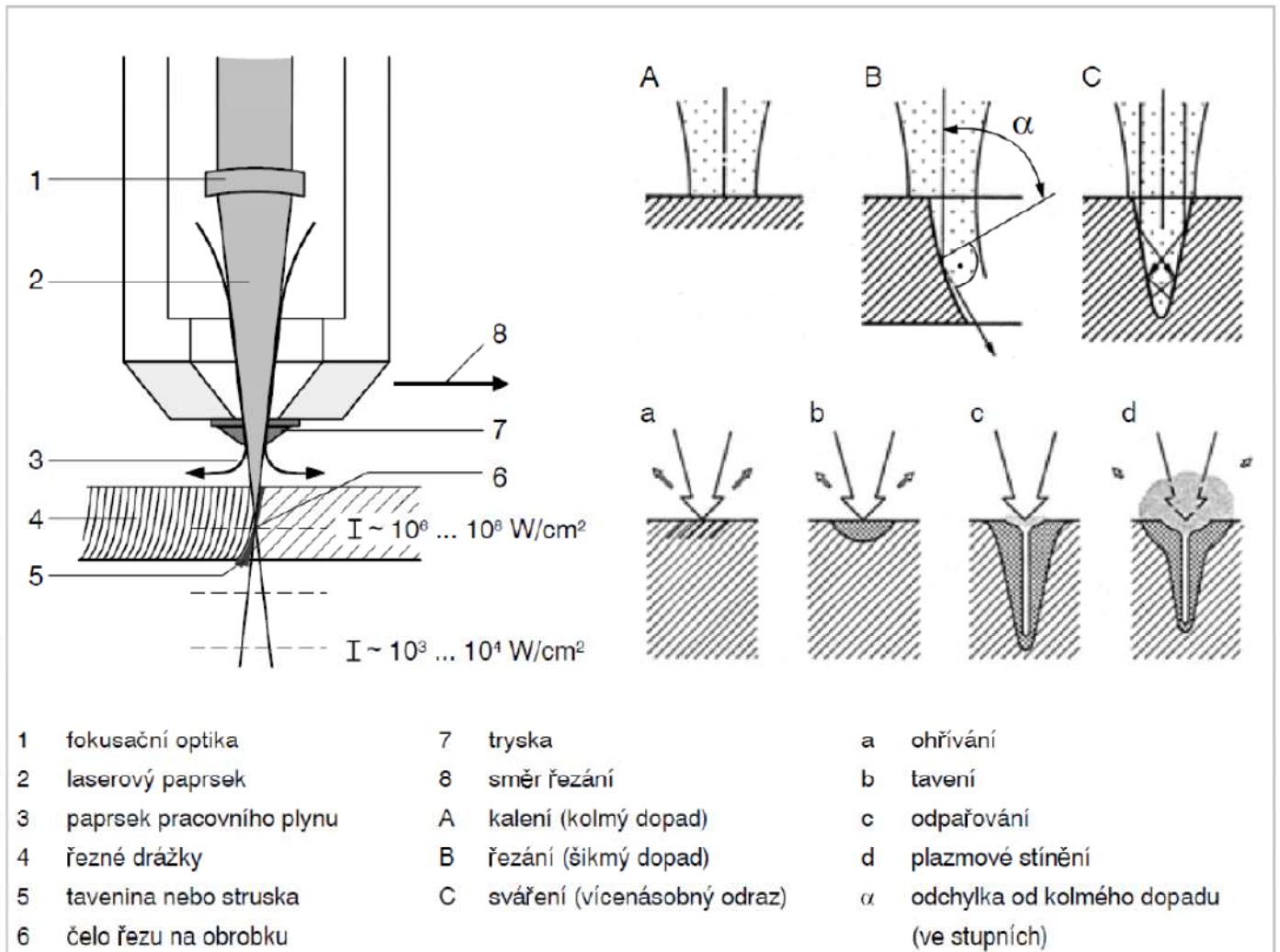
### Příloha č. 1

Diagram energetických hladin



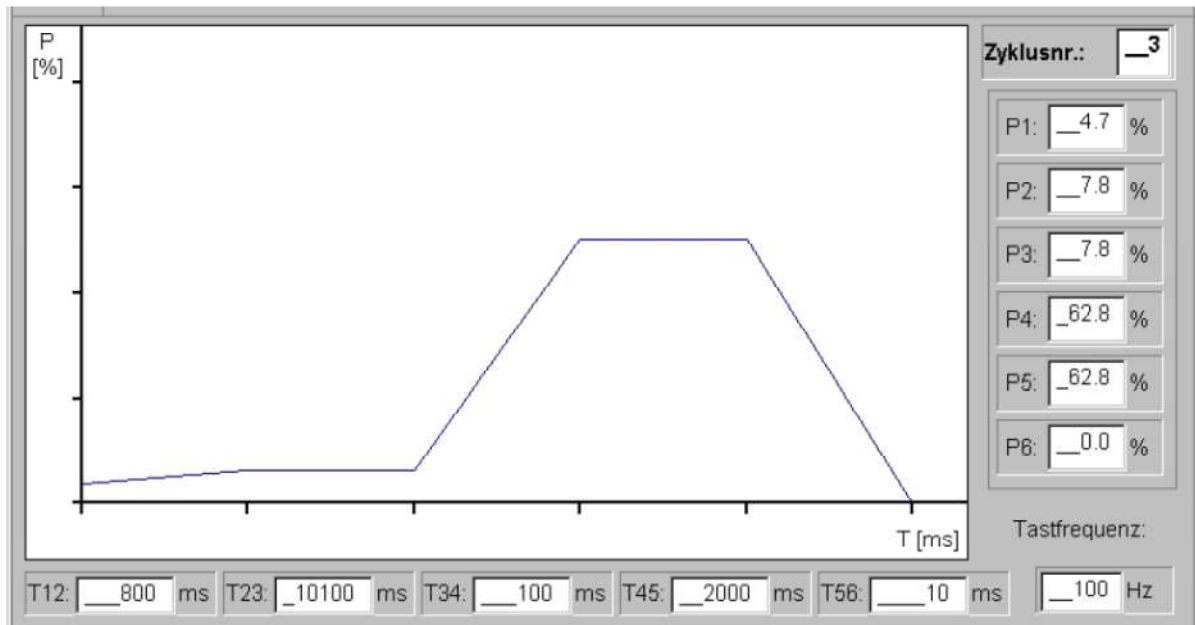
## Příloha č. 2

Hustoty výkonu v závislosti na vzdálenosti od ohniska laserového paprsku a jejich použití.



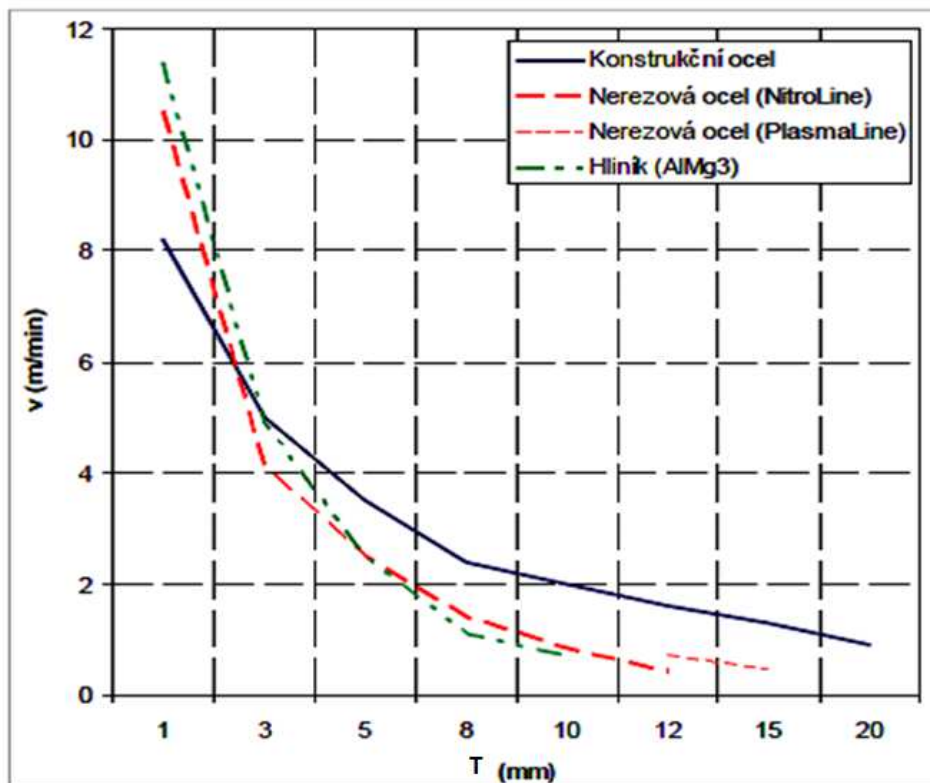
### Příloha č. 3

Příklad rampového cyklu pro jemný zápich. Výkon v čase.

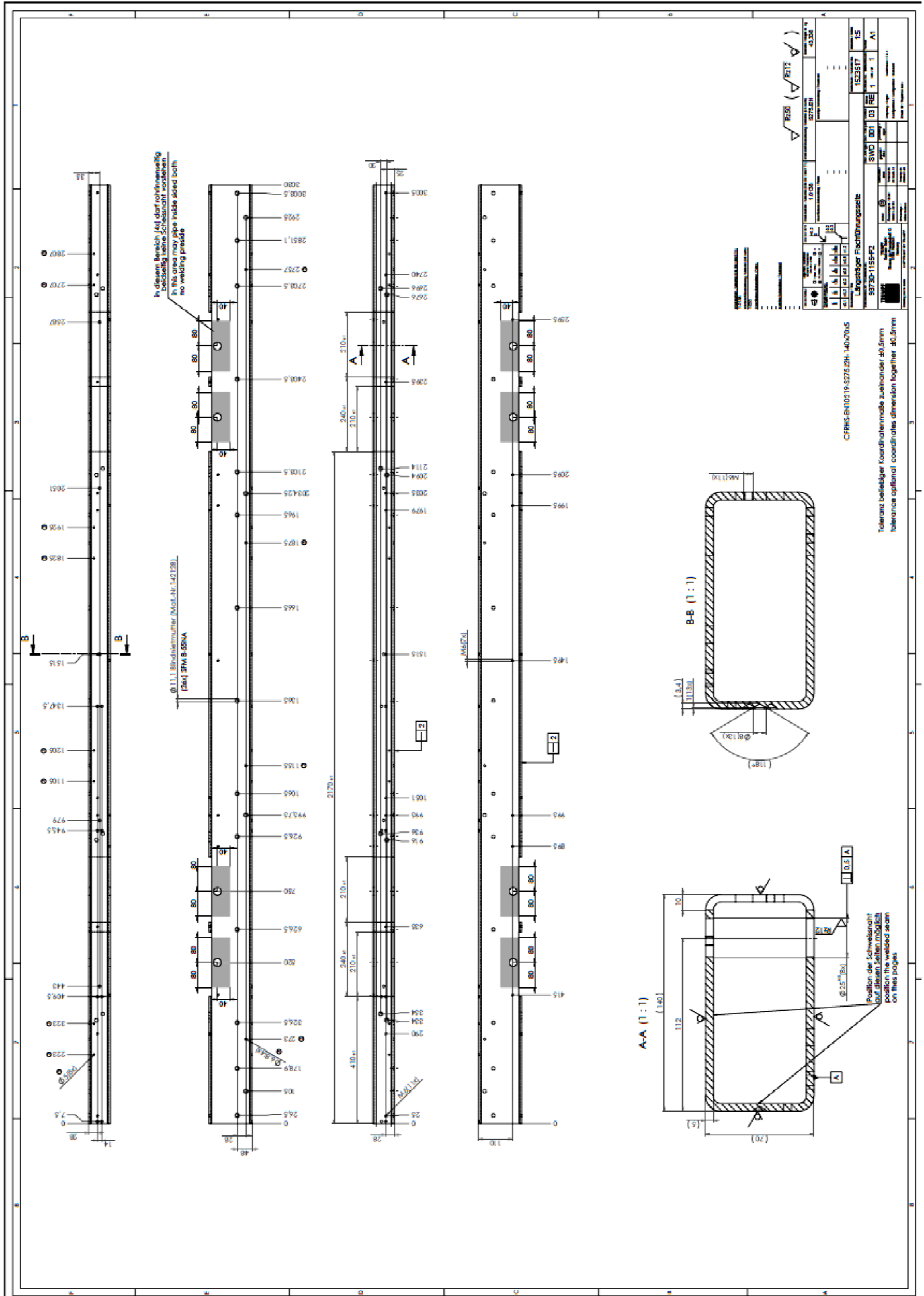


### Příloha č. 4

Graf rychlosti dělení materiálu v závislosti na tloušťce materiálu.



# Příloha č. 5



Průloha č. 6

