



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH VHODNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY PRO SOUČÁST “PATKA SLOUPKU“

PROPOSAL OF SUITABLE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURE OF THE PART “FOOT  
COLUMN“

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ALEŠ LANGR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Aleš Langr

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Návrh vhodné technologie výroby pro součást “patka sloupku“**

v anglickém jazyce:

### **Proposal of suitable technology for manufacture of the part “foot column“**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o porovnání navržených technologií vhodných pro výrobu patky sloupku (nohy) k modulárnímu filtračnímu systému a následné vyhodnocení nejvhodnější metody. Vyhodnocení bude provedeno na základě technicko - ekonomické bilance. Jedná se o jednoduchou součást s otvory vyrobenou z plechu tloušťky 6 mm.

Cíle bakalářské práce:

1. Návrh vhodných technologií výroby zadané součásti.
2. Popis jednotlivých metod (princip metody, uplatnění, stroje a nástroje, příklady vyráběných dílců ...).
3. Provedení technicko-ekonomické bilance pro vybrané metody.
4. Vyhodnocení nejvhodnější technologie výroby.
5. Závěry.

Seznam odborné literatury:

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.

LIDMILA, Zdenek. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVORÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně dne 22.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

LANGR Aleš: Návrh vhodné technologie výroby pro součást "patka sloupku"

Diplomová práce, vypracovaná v rámci navazujícího magisterského studia, předkládá návrh vhodné technologie výroby pro součást "patka sloupku", která slouží k uchycení filtrační jednotky k zemi. Materiálem je ocelový plech dle normy ČSN 41 1375 tloušťky 6 mm. Výrobní série součásti je 4 000 kusů za rok. Na základě literární studie o nekonvenčních technologiích výroby rovinných součástí z plechu, byly navrženy tři technologie výroby: řezání plazmovým paprskem, řezání vodním paprskem a řezání laserovým paprskem. Tyto technologie byly technologicky a ekonomicky zhodnoceny. Práce na závěr hodnotí, zda se pro firmu, pro kterou je práce vytvořena, vyplatí koupit příslušný stroj nebo zůstat u stávajícího nákupu součástí od kooperační firmy.

Klíčová slova: dělení materiálů, řezání, nekonvenční technologie, laser, plazma, vodní paprsek, porovnání

## **ABSTRACT**

LANGR Aleš: Proposal of suitable technology for manufacture of the part "foot column"

Master's thesis, elaborated within Master's degree, submits a proposal of suitable technology for manufacturing "column foot" part, which attaches filtration unit to the ground. Material is 6 mm thick sheet steel in accordance with ČSN 41 1375 norm. Run (/production batch) of the part is 4 000 pieces per year. On the basis of literary study about unconventional technologies for flat sheet metal production 3 technologies were suggested: plasma cutting, water jet cutting and laser cutting. These technologies were technologically and economically analyzed. At the end thesis evaluates whether purchase of respective machine would pay out for the firm or they should continue to buy parts from cooperation company.

Keywords: materials cutting, cutting, unconventional technologies, laser, plasma, water jet, comparison

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

LANGR, Aleš. *Návrh vhodné technologie výroby pro součást "patka sloupku"*. Brno, 2014. 53s, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D..

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 30.5.2014

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	10
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU .....	11
1.1 MATERIÁL SOUČÁSTI .....	12
1.2 SPOLUPRÁCE S FIRMOU – ABA Šumperk .....	12
1.3 NAVRHOVANÉ ZPŮSOBY VÝROBY .....	13
2 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU SOUČÁSTI Z PLECHU .....	15
2.1 Řezání plazmovým paprskem .....	15
2.1.1 Princip řezání plazmovým paprskem .....	16
2.1.2 Plyny používané u řezání plazmovým paprskem .....	17
2.1.3 Typy řezacích plazmových zařízení .....	18
2.1.4 Plazmové řezací stroje .....	21
2.1.5 Výhody a nevýhody řezání plazmovým paprskem .....	23
2.1.6 Součásti/dílce vyráběné řezáním plazmovým paprskem.....	24
2.2 Řezání vodním paprskem .....	25
2.2.1 Princip řezání vodním paprskem .....	25
2.2.2 Typy vodních paprsků .....	26
2.2.3 Vodní paprskové řezací stroje .....	28
2.2.4 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem .....	30
2.2.5 Součásti/dílce vyráběné řezáním vodním paprskem .....	31
2.3 Řezání laserovým paprskem .....	32
2.3.1 Princip řezání laserovým paprskem.....	32
2.3.2 Typy řezacích procesů .....	34
2.3.3 Typy řezacích laserových zařízení .....	35
2.3.4 Laserové řezací stroje .....	38
2.3.5 Výhody a nevýhody řezání laserovým paprskem.....	40
2.3.6 Součásti/dílce vyráběné řezáním laserovým paprskem .....	41
3 TECHNOLOGICKÁ ROZVAHA .....	42
3.1 Součást vyrobená pomocí plazmového paprsku .....	42
3.2 Součást vyrobená pomocí vodního paprsku.....	43
3.3 Součást vyrobená pomocí laserového paprsku.....	44



3.4	Výsledné technologické zhodnocení.....	45
4	EKONOMICKÁ ROZVAHA.....	46
4.1	Výsledné ekonomické zhodnocení.....	53
5	VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ .....	55
6	ZÁVĚR .....	56

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam použitých obrázků

Seznam použitých tabulek

Seznam použitých grafů

Seznam příloh

## ÚVOD [12, 15, 32, 35, 53, 64, 65]

V současnosti se mohou průmyslové součásti vyrábět mnoha technologiemi, mezi něž také patří tváření, jehož historie spadá až do doby bronzové. Velkého rozmachu teorie tvářecích procesů bylo dosaženo kolem dvacátých let dvacátého století. V porovnání s ostatními druhy výroby je tváření bezodpadové, snižuje náročnost výrobního procesu a zlepšuje vlastnosti tvářeného materiálu. Tváření se uplatňuje již od kusové výroby, avšak bez problémů zvládne i velkosériovou výrobu.

Základní rozdělení tváření je na tváření objemové a tváření plošné. Do objemového tváření zahrnujeme protlačování, pěchování, válcování, kování apod. Mezi plošné tváření patří například stříhání, ohýbání, rovnání, zakružování, tažení, lemování aj. S tvářením jsou také spojeny různé zkoušky / volby: zkoušky mechanických vlastností, zjišťování a klasifikování tvářitelnosti a volba maziva, ovlivňujícího trvanlivost tvářecích nástrojů, povrch tvářeného materiálu a velikost potřebné tvářecí síly.

Pro výrobu rovinných součástí z plechu se nejčastěji používá technologie stříhání, ale v současné době se stále více dostávají do popředí i technologie nekonvenční jako například řezání plasmou, laserem či vodním paprskem. Jak konvenční stříhání, tak i nekonvenční technologie jsou typické tím, že zde dochází k požadovanému a řízenému porušení celistvosti materiálu, i když se řadí mezi plošné tvářecí operace. Na Obr. 1 je ukázka laserového řezacího stroje od firmy TRUMPF.



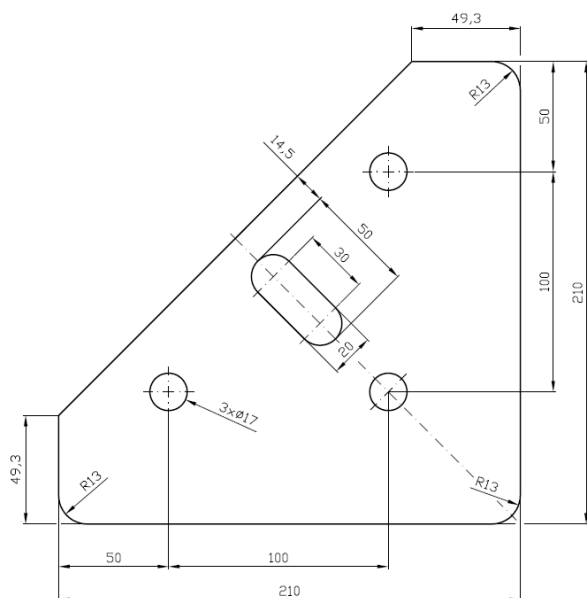
Obr. 1 Laserový řezací stroj od firmy TRUMPF [64]

## 1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU [2]

Posuzovaná součást “patka sloupku“ (Obr. 2) je součástí filtračních jednotek od firmy NEDERMAN a slouží k uchycení těchto jednotek k zemi. Tyto filtrační jednotky (Obr. 3) vyrábí níže zmíněná firma ABA Šumperk a součást (“patka sloupku“) si nechává zhotovovat v kooperaci se spolupracující firmou. Je vyráběna v počtu 4 000 kusů ročně a jedná se o jednoduchou součást s otvory vyrobenou z plechu tloušťky 6 mm. Jako výchozí polotovar je zvolena ocelová plechová tabule dle normy ČSN 41 1375 o rozměrech 3 000 x 1 500 mm. Hotová součást má rozměry 210 mm x 210 mm. U “patky sloupku“ není kladen nárok na vysokou jakost povrchu a geometrickou přesnost.

Základní informace o součásti:

Pracovní název	- “patka sloupku“
Materiál	- ocel 11 375
Základní rozměr	- 210 x 210 mm
Hmotnost	- 1,42 kg
Výrobní série	- 4 000 ks/rok



Obr. 2 Součást “patka sloupku“ [2]



Obr. 3 Filtrační jednotka firmy NEDERMAN [2]

Předkládaná diplomová práce na téma Návrh vhodné technologie výroby pro součást “patka sloupku“ je zaměřena na porovnání navržených technologií vhodných pro výrobu patky sloupku (nohy) k modulárnímu filtračnímu systému a následné vyhodnocení nejvhodnější metody. Vyhodnocení bude provedeno na základě technicko-ekonomické bilance.

## 1.1 MATERIÁL SOUČÁSTI [20, 30]

Zadaná součást je vyráběna z oceli 11 375 dle normy ČSN 41 1375. Jedná se o neušlechtilou ocel obvyklé jakosti hodící se na svařování. Je používána pro tavně svařované, staticky a dynamicky namáhané součásti konstrukcí a strojů středních tloušťek. Nachází také uplatnění při výrobě spojek a podvozků vagónů, výrobků z plechu, podélně svařovaných dutých profilů, dále při výrobě součástí kovaných pro tepelná energetická zařízení a tlakových nádob pracujících s omezeným přetlakem a teplotou do 300 °C.

Základní informace o materiálu:

Materiál	- ocel 11 375
Mez pevnosti v tahu	- $R_m = 340 - 470$ MPa
Mez kluzu	- $R_e = 235$ MPa
Tažnost	- $A = 26$ %
Chemické složení	- Uhlík $C_{max} = 0,17$ %
	- Mangan $Mn_{max} = 1,40$ %
	- Fosfor $P_{max} = 0,045$ %
	- Síra $S_{max} = 0,045$ %
	- Dusík $N_{max} = 0,009$ %

## 1.2 SPOLUPRÁCE S FIRMOU – ABA Šumperk [2]

ABA Šumperk, společnost s ručením omezeným, vznikla zprivatizováním státního podniku OPOS Šumperk v roce 1993. Od počátku ve struktuře její činnosti dominovala výroba a služby. V počátcích firmy převládala produkce a prodej produktů na bázi lamelových dveří, prodej a servis osobních automobilů a služeb spojených se stavební činností. V současnosti je pro firmu z hlediska existence nejdůležitější kovovýroba, která je zaměřena na vzduchotechniku a svařence. Ze vzduchotechniky vyrábí především moderní modulární filtrační jednotky sloužící k odsávání a zachycování škodlivých vzdušných nečistot v prostředí průmyslových výrobních hal. Firma je schopna vyrábět svařence od malých rozměrů až po cca pultunové svařence. Další oblastí podnikání firmy je rukodělná výroba, provoz stanice kontroly emisí a stanice technické kontroly. Pohled na celou firmu zobrazuje Obr. 4.

Již od roku 1999 společnost vyrábí pro švédskou firmu NEDERMAN filtrační odsávací jednotky určené do průmyslových hal. Tyto jednotky zajišťují zkvalitnění pracovních podmínek v úsecích, jako jsou např. svařovny, brusírny či provozy s výskytem škodlivých par a plynů. Firma ABA spolupracuje také se švédskou firmou ELKINGTON, pro kterou vyrábí certifikované kovové rámy sloužící jako poklopy a kryty kanálů a různých šachet jak v průmyslových provozech, tak i ve venkovních prostředích. Od roku 2006 navíc spolupracuje s dánskou firmou SAMSON AGRO A/S, pro kterou vyrábí střední a těžší (cca 500 kg) surové svařence (Obr. 5).

Firma si především zakládá na pružném přístupu k zákazníkovi, aby maximálně vyhověla jeho požadavkům a byla konkurenceschopná. Opírá se o zkušené zaměstnance na vedoucích postech, ale také o mladší pracovníky na středních úrovních managementu v úseku technické přípravy výroby, kteří disponují jazykovými znalostmi a schopnostmi přejímat ověřené poznatky a ty dále rozvíjet. Využívá dlouholetých dodavatelských vztahů a kooperací. Samozřejmě je dlouhodobě využívaný systém řízení jakosti dle ČSN EN ISO 9001:2001. Firma nabyla bohatých zkušeností spoluprací se zahraničními dodavateli a odběrateli.

V těchto dnech firma spolu s Czechinvestem připravuje několik rozvojových projektů v oblastech řízení společnosti, rukodělné výroby a kovovýroby, aby si ponechala popř. navýšila současnou úroveň v oblasti výroby a celkového odbytu společnosti.



Obr. 4 Firma ABA Šumperk [2]



Obr. 5 Svařenec pro firmu SAMSON AGRO A/S [2]

Společnost ABA tedy nabízí služby od zpracování požadavků zákazníka přes technickou přípravu, materiální zabezpečení výroby, vlastní výrobu, povrchové úpravy (lakování či žárové zinkování) až po montáž a expedici. Dále nabízí v rámci poptávky či kooperace tyto výrobní činnosti: příprava polotovarů (dělení materiálu řezáním, stříháním a ohýbání), svařování (konstrukční ocelové materiály, nerezová ocel, materiál na bázi hliníku), povrchová úprava (lakování, žárové zinkování); detailní postupy nákladky rozměrnějších svařenců do přepravních prostředků (kamionů apod.).

### 1.3 NAVRHOVANÉ ZPŮSOBY VÝROBY [1, 36, 68]

Cílem diplomové práce je výběr vhodné technologie výroby zadané součásti “patka sloupku“ pro firmu ABA Šumperk. Výběr bude proveden na základě technicko-ekonomické bilance.

“Patka sloupku“ je jednoduchá součást s otvory vyrobená z plechu tloušťky 6 mm. Součást není konstrukčně náročná. Jak bylo zmíněno výše, není u ní ani kladen nárok na vysokou jakost povrchu a geometrickou přesnost. Slouží pouze k uchycení filtrační jednotky k zemi.

Z hlediska výroby firmy ABA Šumperk, která vyrábí mnoho rozdílných dílců, jež nejsou vyráběny v příliš velkých sériích, jsou považovány za vhodné ty technologie, u kterých není nutná výroba nástroje. Proto nebudou dále rozebírány klasické technologie výroby součástí z plechu, a to stříhání, kde je pro každou novou součást výroba nástroje nutná. Tato výroba by poskytla zavádějící informace do technicko-ekonomické bilance. Proto budou brány v úvahu pouze nekonvenční technologie (Obr. 6), a to výroba rovinných součástí z plechu:

- plazmovým paprskem,
- vodním paprskem,
- laserovým paprskem.



Obr. 6 Nekonvenční technologie výroby rovinných dílců z plechu  
plazmový paprsek / vodní paprsek / laserový paprsek [1, 36, 68]

Tyto nekonvenční metody se stávají v dnešní době čím dál rozšířenějšími technologiemi výroby rovinných součástí z plechu vlivem technického pokroku, urychlujících a modernizujících výrobních postupů.

## 2 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU SOUČÁSTI Z PLECHU

Pro zadanou součást “patka sloupku“ byly jako vhodné technologie výroby zvoleny paprskové metody, a to řezání pomocí plazmového, vodního nebo laserového paprsku. V následujících kapitolách bude uveden princip jednotlivých metod, využití, stroje a nástroje, výhody a nevýhody dané technologie a také příklady vyráběných dílců.

### 2.1 Řezání plazmovým paprskem [16, 21, 23, 45]

V současnosti je řezání plazmovým paprskem řazeno mezi jednu z nejrozšířenějších řezacích metod. U tohoto typu řezání je hojně využíváno CNC programování. V roce 1923 byla plazma označena francouzským fyzikem I. Lagmuirem jako speciální stav plynů, neboli čtvrtým stavem hmoty. Modifikovaný TIG hořák se stal prvním plazmovým řezacím hořákem a byl patentován v roce 1957 ve Spojených státech amerických.

Plazmový paprsek je tvořen při mechanické nebo tepelné ionizaci plynu, při které dojde k uvolnění elektronů z valenčních orbitalů atomů. Uvolněné elektrony nesoucí záporný náboj jsou vodičem elektrického proudu v plazmě. Na druhé straně nosičem kladného náboje je ionizované jádro atomu, též nazývané iontem se zbylými elektrony. Plazmový paprsek je v podstatě ionizovaný elektricky vodivý plyn a lze ho označit za elektricky neutrální. K uvolnění elektronů z valenčních orbitalů atomů je potřeba značného množství energie. Jako zdroj tepla je v praxi používán elektrický kontrahovaný oblouk a s růstem teploty roste i stupeň ionizace. Technologie řezání plazmovým paprskem je na Obr. 7.



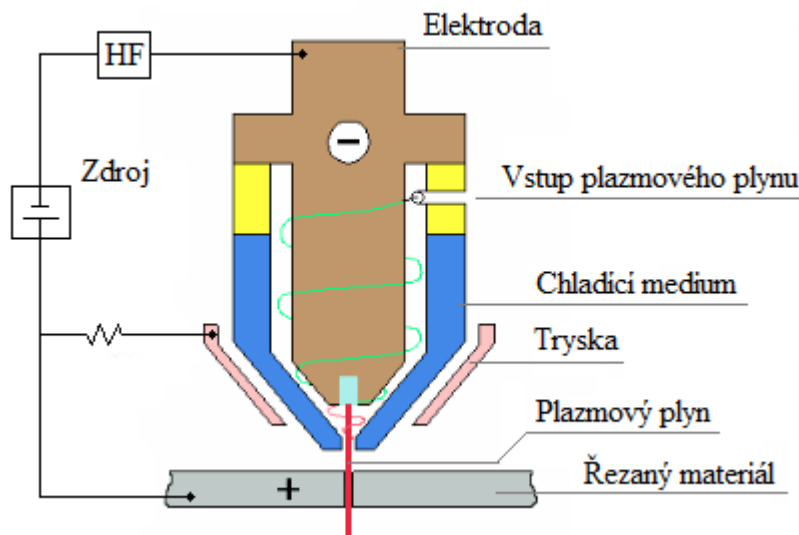
Obr. 7 Technologie řezání plazmovým paprskem [45]

### 2.1.1 Princip řezání plazmovým paprskem [3, 5, 21, 23, 51]

Řezat plazmovým paprskem je možno všechny materiály, které jsou kovové a vodivé. Mezi kovový a vodivý materiál můžeme zařadit například uhlíkovou ocel, korozivzdornou ocel, barevné kovy (hliník, slitiny hliníku,...) a jiné. I nevodivý materiál je možno v jisté míře řezat, je ale nutno provést nezávislé zapojení. Přívodem elektrického napětí vznikne mezi tryskou a řezaným materiálem elektrický oblouk.

Princip řezu spočívá ve vyfukování nataveného materiálu z řezné spáry pomocí proudícího plazmového plynu ven z trysky. Proudící plazmový plyn dosahuje vysokých výstupních rychlostí ( $1\,500$  až  $2\,300\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) při velmi vysokých teplotách, které mohou dosáhnout až  $20\,000\text{ °C}$ . Tím pádem nedojde k úplné ionizaci plynu, protože k té je nutno  $100\,000\text{ K}$ , ale pouze k částečné ionizaci. Zbylý plyn, který neprojde ionizací, vytváří studenější vrstvu a ta provádí stabilizaci plazmového paprsku v ose hořáku, díky které se paprsek přímo nedotkne stěny trysky. I přesto je tryska hořáku chlazena chladicím médiem (nejběžněji vodou), aby se tryska vlivem vysoké teploty neroztekla.

Řezání materiálu plazmovým paprskem je velmi dýmivé a hlučné. Tyto nepříliš ideální jevy můžeme při určitých postupech odbourat vložením řezaného materiálu do vodní lázně. Podle použití plazmového plynu se volí jeho složení, a to nejčastěji Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> a jejich směsi. Jako řezný nástroj je zde chápán samotný plazmový paprsek. Princip řezání plazmovým paprskem znázorňuje Obr. 8.



Obr. 8 Princip řezání plazmou [3]

Výkon zdroje, druh, tloušťka a fyzikální vlastnosti řezaného materiálu mají vliv na řeznou rychlost. Například u tenkých plechů se řezné rychlosti pohybují mezi  $9$  a  $12\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Je možné řezat materiály až do tloušťek  $250\text{ mm}$ . U řezání plazmovým paprskem se využívají zdroje s vysokým napětím naprázdno, a to mezi  $250$  a  $350\text{ V}$ , přičemž během samotného řezání napětí dosahuje  $110\text{ V}$  až  $150\text{ V}$ .

Princip řezání plazmou spočívá v tom, že se na začátku pomocí HF ionizátoru (vysokofrekvenční jiskrový výboj) zapálí na několik sekund (zpravidla  $6$  až  $10$ ) mezi tryskou a elektrodou tzv. pilotní oblouk. To vede k ionizaci okolí mezi řezaným materiálem a elektrodou. Následně se zapálí tzv. hlavní řezací oblouk.



### 2.1.2 Plyny používané u řezání plazmovým paprskem [16, 21, 41, 51]

U řezání plazmovým paprskem se užívají tyto plyny:

- plazmové plyny – ionizují a disociují se v elektrickém oblouku. Plazmový plyn má složení: Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, jejich směsi a popř. vzduch.
- fokusační plyny – slouží k zaostření plazmového paprsku v místě, kde opouští trysku. Využívají se plyny Ar, N<sub>2</sub>, směs Ar + H<sub>2</sub>, popř. Ar + N<sub>2</sub>.
- asistentní plyny – slouží k ochraně plazmového paprsku a pracovního místa řezaného materiálu před vlivy okolí díky zahalení paprsku a pracovního místa do daného plynu. Jako asistentní plyn se hodí Ar a N<sub>2</sub>.

V Tab. 1 jsou uvedeny některé typy plynů spolu s fyzikálními vlastnostmi. Kombinaci plazmového a asistenčního plynu udává výrobce samotného zařízení. Tyto plyny jsou závislé na typu a tloušťce řezaného materiálu. Plazmový plyn se pro jednotlivé materiály volí dle Tab. 2.

Tab. 1 Plyny - fyzikální vlastnosti [16]

Plyn	Chemická aktivita	Ionizační energie [eV]	Rel. hustota [vzduch = 1]	Teplota varu [°C]	Teplota plazmového paprsku [K]
Vodík (H <sub>2</sub> )	Redukční	13,59	0,06	- 252,9	10 000
Argon (Ar)	Interní	15,76	1,38	- 185,9	16 000
Dusík (N <sub>2</sub> )	Interní	14,55	0,91	- 195,8	9 000
Kyslík (O <sub>2</sub> )	Oxidační	13,62	1,04	- 183	-

Tab. 2 Plazmové plyny dle materiálu [21, 51]

Materiál / plyn	Ar/H <sub>2</sub>	vzduch	Ar/H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Ar/N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Konstrukční ocel	x	ano	x	x	x	ano
Vysokolegovaná ocel	ano	ano	ano	ano	ano	x
Kompozitní materiály	ano	ano	ano	x	x	ano
Lehké kovy	ano	ano	x	x	x	x
Barevné kovy	ano	x	x	x	x	x

Čím čistší je plazmový plyn, tím je kvalitnější řez a dochází k menšímu opotřebení spotřebních částí hořáku.

Plyny se plní do tlakových nádob (Obr. 9) pro usnadnění manipulace.



Obr. 9 Tlakové nádoby [41]

### 2.1.3 Typy řezacích plazmových zařízení [23]

Plazmové řezací zařízení můžeme rozčlenit do několika typů, jak je znázorněno v Tab. 3, kde také nedáme porovnání jednotlivých typů.

Tab. 3 Jednotlivé typy plazmových řezacích zařízení a jejich porovnání [23]

Typ plazmy	Rychlost řezání	Kvalita řezu
Vzduchová	vysoká	průměrná
Plynová	nízká	vysoká
Kyslíková	vysoká	vysoká
Dusíková (kombinovaná s vodou)	vysoká	vysoká
Stabilizovaná vodní parou	vysoká	vysoká
HD (High Definition) plazma	vysoká	vysoká

#### Vzduchová plazma [23]

Vzduchová plazma je v současnosti hojně používána a z pohledu ekonomiky je ideální pro řezání materiálů do tloušťek 40 mm. Stabilita paprsku je zaručena stlačeným vzduchem, jehož průtok je až 130 l.min<sup>-1</sup>, a tlakem o síle 0,4 až 0,8 MPa. Vysoký průtok vzduchu ochlazuje hořák a dokonce i zevní vrstvu plazmy a to vede prostřednictvím zúženého plazmového paprsku k rovnoběžné úzké řezné spáře. Vzduchová plazma má větší tepelnou kapacitu a vyšší řeznou rychlost než plazma plynová. Při samotném řezání se pouze částečně spaluje řezaný materiál kyslíkem, avšak dolní strana (studenější oblast) řezu má čistší hranu řezu vlivem vyšší oxidace. Nejčastější uplatnění vzduchové plazmy nalezneme u nelegovaných a středně legovaných ocelí. Používají se zirkonové či hafniové elektrody z důvodu vysoké reakční schopnosti vzduchu. Tyto elektrody mají vysokou teplotu tavení oxidů a nitridů, která dosahuje hodnot od 2 500 až 3 300 °C. Wolframová elektroda má teplotu tavení oxidů poněkud nižší (1 270 až 1 473 °C). Trvanlivost elektrod je velmi krátká.

### Plynová plazma [23]

Plynovou plazmou s wolframovou elektrodou se nejčastěji řezou vysokolegované oceli, nikl, molybden, měď a další kovy. Stabilizující směsí je Ar a H<sub>2</sub>. Pomocí této směsi od 5 do 35 % můžeme získat vhodné výsledky u většiny kovů s ohledem na řezné rychlosti, teploty plazmy a kvality řezných ploch. Místo stabilizující složky H<sub>2</sub> se může použít N<sub>2</sub> nebo také tříložková směs. Plynová plazma má vyšší řeznou rychlost u užších materiálů než řezání pomocí kyslíku. O tuto výhodu plynová plazma přichází u materiálů s tloušťkou 20 až 35 mm.

### Kyslíková plazma [23]

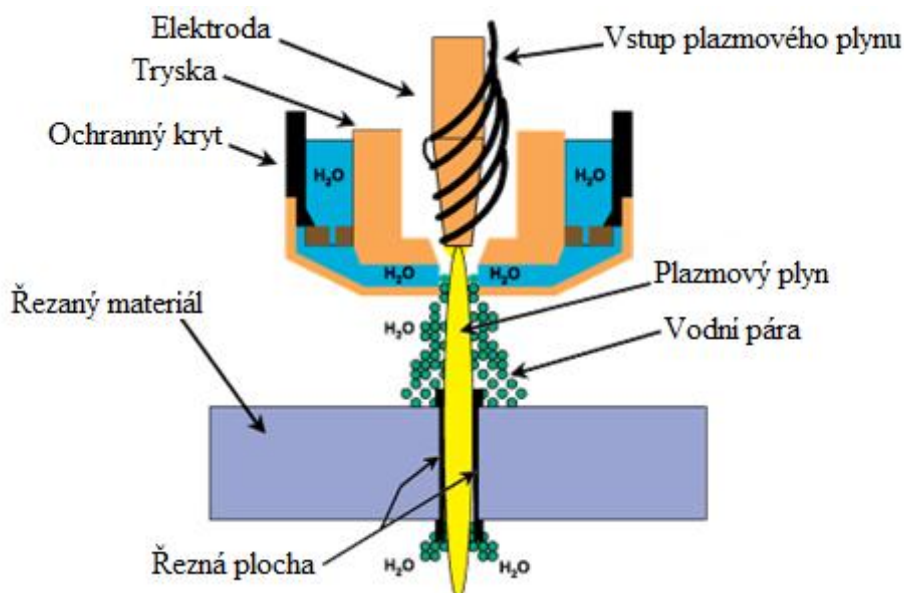
Kyslíková plazma je podobná jako vzduchová, má však vyšší hustotu a entalpii. Díky kyslíku se dosahuje vysokých řezných rychlostí, čistých řezů bez oxidů a vyšších jakostí řezů s malými deviačními úhly a jemnými strukturami povrchů.

### Dusíková plazma kombinovaná s injekčním přívodem vody [23]

Dusíková plazma kombinovaná s injekčním přívodem vody je vhodná pro vysokolegované oceli větších tlouštěk. Principem je tangencionální přívod proudu vody či oxidu uhličitého ke krajním vrstvám plazmového paprsku. Vlivem disociace vody během ochlazování zevní vrstvy plazmy se paprsek zužuje a zvyšuje svoji teplotu. Dusíková plazma poskytuje řadu výhod. Patří sem např. zvyšování řezných rychlostí, dále zlepšení kvality řezných ploch a také kolmosti. K navýšení hygieny práce můžeme ponořit zapálený hořák do vody či dusíkovou plazmu obohatíme vodní sprchou.

### Plazma stabilizovaná vodní parou [11, 23, 69]

Firma Fronius vyvinula plazmu stabilizovanou vodní párou (princip na Obr. 10), jejíž výhoda je vysoká mobilita způsobená nezávislostí na přívodu stlačeného vzduchu nebo plynu. Plazma vzniká prostřednictvím disociace a ionizace odpařené demineralizované (bez iontově rozpustných látek a Si) vody v topném tělese hořáku. Výborných redukčních účinků a slabých vrstev oxidů na řezných hranách můžeme docílit plazmou složenou z 66 % H<sub>2</sub>.

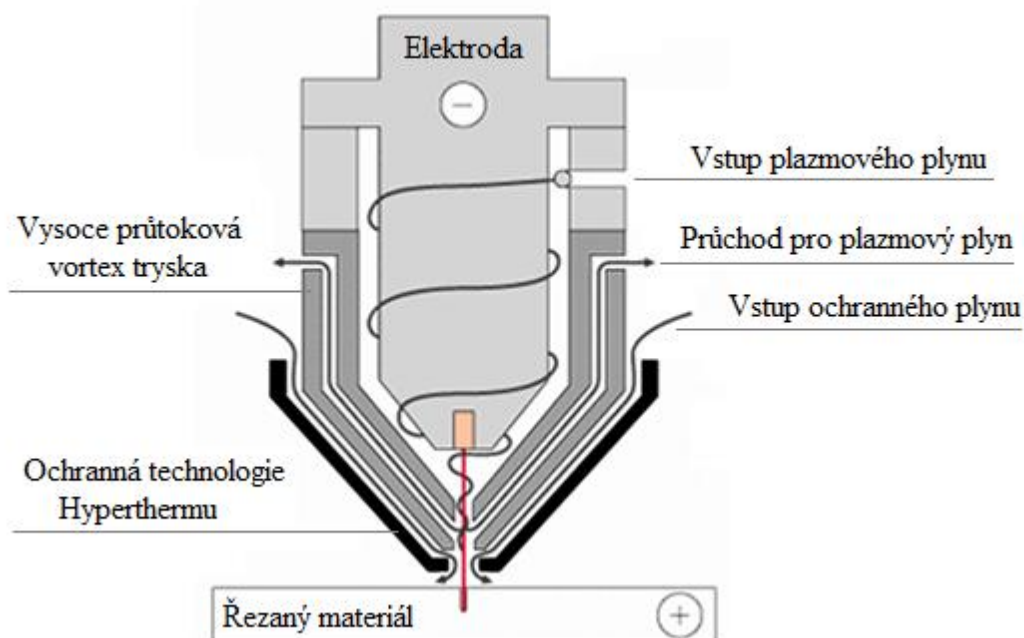


Obr. 10 Princip plazmy stabilizované vodní párou [69]

## HD – High Definition plazma [18, 21, 23, 29]

Metoda HD (High Definition) plazmy je nejnovějším způsobem řezání materiálu plazmovým paprskem. HD plazma disponuje vysokou koncentrací paprsku. Celý název zní „High Tolerance Plasma Arc Cutting“ a hořák pro tuto metodu si zapatentovala firma Hypertherm.

Principem (Obr. 11) je odvod vnější studenější vrstvy plazmy, což vede k velké kontrakci plazmového paprsku. Ten disponuje třikrát vyšší hustotou energie, kterou má při současném ohřívání a výstupní rychlosti. HD plazma je výhodná z hlediska nárůstu řezné rychlosti, polovičního zúžení řezné spáry a z hlediska skoro kolmé řezné plochy bez otřepů na spodních hranách plechů. U materiálů tlustých do 10 mm se docílí 1 až 2° odchylky kolmosti. U nelegovaných ocelí můžeme dosáhnout srovnatelných kvalit řezných ploch jako u metody řezání laserovým paprskem použitím velmi čistého kyslíku (99,95 %) jako plazmového plynu. K řezání vysokolegované oceli, hliníku a mědi se převážně používá směs dusíku (99,999 %) a kyslíku. HD plazma přijatelně nahradí laserové řezání, i když má menší pořizovací a dokonce i provozní náklady.



Obr. 11 Princip HD plazmy [29]

#### 2.1.4 Plazmové řezací stroje [26]

Na trhu je mnoho firem, které se zabývají výrobou plazmových řezacích strojů. Mezi nejznámější patří Hypertherm, MicroStep, SteelTailor, Vanad 2000 a.s., Kjellberg Finsterwalde, MESSER Cutting Systems, Pierce Control Automation a řada dalších.

##### Pierce Control Automation [39]

Firmu Pierce Control Automation (logo Obr. 12) založil roku 1982 pan Steven Pierce v australském Sydney. Již od začátku se zabývali vývojem a výrobou CNC a opticky řízených řezacích strojů. Ať už se jednalo o klasické řezací stroje pomocí autogenu, nebo o stroje využívající k řezání plazmový nebo vodní paprsek. Firma k řezacímu pracovišti dodává také řezací stoly, odsávání a filtrační systémy. V současnosti působí ve světě na pěti kontinentech. Silné postavení má společnost vybudována v domovské Austrálii a na Novém Zélandě, pak také v Americe, Africe, Asii a v evropských zemích.



Obr. 12 Logo firmy Pierce Control Automation [39]

##### RUR [37]

Konstrukční a dynamické vlastnosti RUR CNC řezacího stroje (RUR 2500 Obr. 13) jsou vhodné k řezání pomocí autogenu, standardní plazmy či dokonce i pomocí High Definition plazmy. Technické parametry stroje RUR 2500 jsou uvedeny v Tab. 4.

Charakteristické rysy:

- tuhý a kompaktní rám
- kabelové rozvody v energetických řetězech
- digitální synchronizace pohybu pravé a levé strany portálu
- vysoký stupeň automatizace

Základní vybavení:

- portál – bez šroubových spojů, kompletně svařovaný
- v příčné ose - lineární vedení
- v podélné ose – digitální synchronizace
- AC servomotor ( $12\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ )
- řídicí systém – PIERCE 15“ s dotykovým displejem
- řezací hlavy – plovoucí
- zapalování hořáku – elektrické
- výška plynového hořáku kapacitně hlídána
- propich materiálu s vysokým předehřevem – automaticky
- počáteční seřízení výšky plazmového hořáku - automaticky
- výška plazmového hořáku napěťově hlídána
- parkovací místo pro 1 hlavu
- ochrana pomocí koncových spínačů ve všech osách

Volitelné vybavení:

- chlazení portálu - vzduchové
- v podélné ose lineární vedení
- AC servomotor ( $20\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ )
- řídicí systém – PIERCE 19“ s dotykovým displejem
- volba plazmového systému
- plynová konzola - automatická
- systém zabraňující kolizí tzv. antikolizní
- popisovač - plazmový, pneumatický či inkoustový
- vyhřívání pro provoz v zimním období
- možnost výběru hlav z ovládacího panelu
- parkovací místo pro 3 hlavy



Obr. 13 RUR řezací stroj 2500 [37]

Tab. 4 Technické parametry stroje RUR [37]

<b>RUR 2500</b>	
Max. počet hořáků	4
Rozteč kolejí [mm]	2 500
Rozměry stroje š x d v (včetně kolejí) [mm]	3 340 x 1 020 x 1 700
Šířka stroje s parkováním 3 hlav [mm]	300 (extra)
Výška stolu [mm]	700
Max. řezací rychlost [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	12 000 (20 000)
Max. tloušťka řezání [mm]	200 (standardně)
Min. souvislý řez [mm]	90
Napětí [V / Hz]	230 / 50
Řezací délka	volitelné vybavené
Plazmový systém	volitelné vybavené

## 2.1.5 Výhody a nevýhody řezání plazmovým paprskem [9, 21, 23, 28]

### Výhody řezání plazmovým paprskem:

- řezání lze jednoduše zautomatizovat a zmechanizovat
- lze řezat různý kovový a vodivý materiál – uhlíková ocel, korozivzdorná ocel, barevné kovy (hliník a jeho slitiny,...) apod.
- vysoké řezné rychlosti - až 10x vyšší než při kyslíkovém řezání
- lze řezat ve vodní lázni (Obr. 14) – menší tepelně ovlivněná oblast, snížení (odbourání) hluku a dýmu při řezání
- velké výkony - u řezání materiálu do tloušťky 30 mm
- lze řezat až do tloušťky materiálu 250 mm
- kvalitní řezná plocha porovnatelná s řeznou plochou laserového řezání – HD plazma, nelegovaná ocel

### Nevýhody řezání plazmovým paprskem:

- vyšší pořizovací náklady
- nevodivé materiály lze řezat pouze omezeně
- široké řezné spáry
- zaoblené horní hrany
- úkosy na řezaných hranách
- hladina hluku 80 až 100 dB
- vytváření dýmu, ozónu, oxidů dusíku a par kovů
- velká intenzita UV záření



Obr. 14 Řezání plazmou ve vodní lázni [9]

### 2.1.6 Součásti/dílce vyráběné řezáním plazmovým paprskem [6, 19, 26, 44]

Součásti/dílce (Obr. 15) různých rozměrů, které mají více či méně komplikovaný tvar, se mohou zhotovovat pomocí plazmového paprsku. Je však nutné brát v úvahu poněkud široké řezné spáry a také vznik tepelně ovlivněných oblastí.



Obr. 15 Součásti/dílce vyrobené řezáním plazmovým paprskem [6, 19, 44]



## 2.2 Řezání vodním paprskem [52, 59, 62]

Metoda řezání vodním paprskem se řadí k nejrychleji se rozvíjejícím technologiím řezání technických materiálů, díky její univerzálnosti a lehké ovladatelnosti. Také u řezání vodním paprskem se využívá CNC programování. První zmínka o použití vodního paprsku jako řezného nástroje pochází z 50. let minulého století. Šlo o experimentální řezání a jako řezaný materiál bylo použito dřevo. Za značný rozmach v 70. a na začátku 80. let minulého století tato metoda vděčí firmě Flow, jež stojí za vznikem řezání pomocí vysokotlakého vodního a hydroabrazivního paprsku. V počátku byla však i tato technologie, tak jak mnoho jiných technologií, vyvinuta pro vojenský a kosmický průmysl. Až postupem času se dostala do všech průmyslových odvětví.

### 2.2.1 Princip řezání vodním paprskem [4, 22, 52, 58, 59, 62]

Vodním paprskem je možno provádět řezy libovolně komplikovaných tvarů o různých rozměrech a především je možno řezat všelijaký materiál, ať už ocel konstrukční, legovanou, tepelně zpracovanou apod. nebo slitiny titanu, hliníku, mědi a další. Avšak vodnímu paprsku nedělá problém řezat i materiály ne příliš běžné ve strojírenství, a to např. sklo, sklolaminát, plasty, gumu, kompozity, kámen, keramiku, dřevo, korek a další. Vodním paprskem je možno řezat materiály až do tloušťek 200 mm. Princip řezání spočívá vháněním vody vysokotlakým čerpadlem do vysokotlakého potrubí, kterým je transportována k řezací hlavě, ve které je umístěna tryska a ta z vody vytváří řezný vodní paprsek, jehož rychlost je 4x větší než rychlost zvuku. Vysokotlaká čerpadla disponují příkonem od 11 do 150 kW, průtokem vody od 1,2 až 5,2 l·min<sup>-1</sup> a dávají vodě pracovní tlak v rozmezí 500 až 4 150 barů. Mezi hlavní výhody této metody patří především kvalitní hrany řezu s přesností výřezů  $\pm 0,1 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$  a také to, že při této metodě nevzniká tepelně ovlivněná oblast, protože se jedná o studený řez. Oproti tomu u řezání laserovým paprskem se tepelně ovlivněná oblast již vyskytuje a u řezání plazmovým paprskem je velice velká. Tak jak u řezání plazmovým paprskem, tak i zde řezný nástroj reprezentuje samotný vodní paprsek. Technologie řezání vodním paprskem je na Obr. 16.



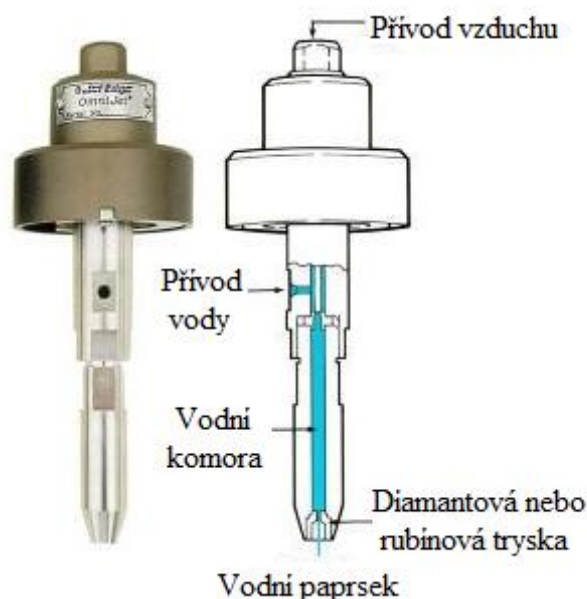
Obr. 16 Technologie řezání plazmovým paprskem [22]

## 2.2.2 Typy vodních paprsků [4, 62]

V současnosti je možno řezat vodním paprskem pomocí dvou typů. Prvním typem je řezání čistým vodním paprskem, který disponuje šířkou 0,15 až 0,30 mm. A druhým je řezání abrazivním vodním paprskem nebo také řezání vodním paprskem s příměsí, jehož šířka je 0,80 až 1,50 mm. Směs vody a abraziva je po výkonu řezání zachycena ve vaně (lapači), která je umístěna pod probíhajícím řezem.

### Čistý vodní paprsek [40, 58, 61, 62]

Řezání pomocí čistého vodního paprsku je původní typ řezání vodním paprskem. Čistý vodní paprsek rozrušuje materiál díky vysoké nadzvukové rychlosti (až 1 100 m·min<sup>-1</sup>) proudění vody. Čistý vodní paprsek byl poprvé použit pro komerční potřeby na začátku 70. let minulého století a jednalo se o řezání vlnitých lepenek. Pomocí čistého vodního paprsku se řezou měkké materiály: části automobilových interiérů, plasty, guma, dřevo, korek, jednorázové pleny, hedvábný papír a další. Při řezání posledních dvou materiálů dochází k menšímu vzniku vlhkosti na jejich povrchu než při řezání člověkem, který se daného materiálu dotýká a popř. na něj i dýchá. Metoda řezání pomocí čistého vodního paprsku je vhodná převážně pro podniky s nepřetržitým provozem. Řezací hlava a princip řezání čistým vodním paprskem je znázorněn na Obr. 17.



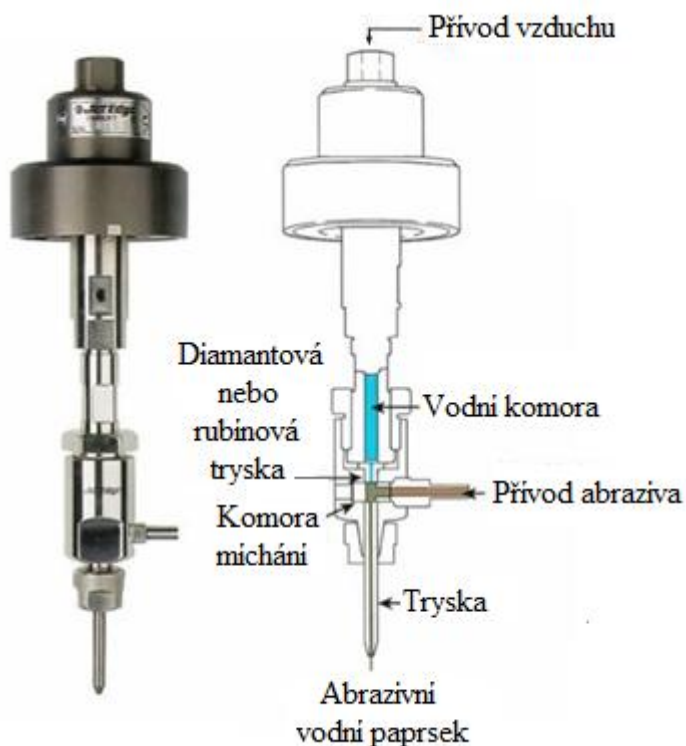
Obr. 17 Řezací hlava a princip řezání čistým vodním paprskem [40]

Hlavní vlastnosti řezání čistým vodním paprskem:

- řezání lze jednoduše zautomatizovat
- nepřetržitý provoz
- lze řezat měkké materiály - do tloušťek 100 mm (příp. až do 610 mm u izolací skelných vláken)
- lze řezat velice tenké materiály
- téměř bezodpadová technologie
- šíře vodního paprsku – pouze 0,15 až 0,30 mm – to vede k úzké řezné spáře
- velice přesná geometrie
- velice malé řezné síly
- vysoké řezné rychlosti - až 20 m·min<sup>-1</sup>
- při řezání nedochází ke vzniku tepla – není tepelně ovlivněná oblast řez. materiálu
- lehké uchycení řezaných materiálů

## Abrazivní vodní paprsek [4, 43, 58, 60, 62]

Přidá-li se brusný prášek do vodního paprsku, tak se jedná o abrazivní vodní paprsek nebo také vodní paprsek s příměsí. Volba abraziva závisí na tvrdosti řezaného materiálu. Nejběžněji se používá jako abrazivo granát nebo přírodní olivín. Abrazivní vodní paprsek



disponuje vysokou energií, a proto je možno s ním řezat tvrdší materiály jako jsou např. kovy, kompozity, sklo, kámen, keramika apod. Abrazivní vodní paprsek rozrušuje materiál díky abrazivním částicím, jež jsou urychlovány proudem vody. Abrazivní vodní paprsek má 100x (ne-li 1 000x) silnější brusnou sílu, než jakou má čistý vodní paprsek erozivní sílu. Pomocí abrazivního vodního paprsku je možno řezat i materiály, které mají lehce větší tvrdost, než má keramika s velkým obsahem oxidu hlinitého (korundu). Řezací hlava a princip řezání abrazivním vodním paprskem jsou znázorněny na Obr. 18.

Obr. 18 Řezací hlava a princip řezání abrazivním vodním paprskem [43]

Hlavní vlastnosti řezání abrazivním vodním paprskem:

- řezání lze jednoduše zautomatizovat
- jedná se o univerzální technologii
- lze řezat tvrdé materiály - do tloušťek 200 mm
- lze řezat velice tenké materiály
- lze řezat materiál ve svazcích
- téměř bezodpadová technologie
- šíře vodního paprsku – pouze 0,80 až 1,50 mm – to vede k úzké řezné spáře
- velice přesná geometrie
- velice malé řezné síly
- při řezání nedochází ke vzniku tepla – není tepelně ovlivněná oblast řez. materiálu
- lehké uchycení řezaných materiálů
- nedochází k mechanickému pnutí
- nedochází ke vzniku otřepů (popř. pouze k malému)
- snížené náklady na následné pracovní úkony
- lze přepnout mezi řezáním pomocí jedné či více řezných hlav
- lze rychle přepnout mezi řezáním pomocí abrazivního a čistého vodního paprsku
- jedno seřízení paprsku skoro pro všechny práce řezání abrazivním vodním paprskem

### 2.2.3 Vodní paprskové řezací stroje [26]

Výrobou vodních paprskových strojů se zabývá mnoho firem jako Bystronic, MicroStep, Maximator JET GmbH, Flow, KMT Waterjet Systems Inc., Rychlý TOM s.r.o. a řada dalších.

#### Rychlý TOM s.r.o. [38]

Firma Rychlý TOM s.r.o. (logo Obr. 19) byla založena roku 2006 a zpočátku se věnovala pouze řezání jakéhokoli materiálu pomocí vysokotlakého vodního paprsku. V roce 2007 již po zkušenostech z praxe byli schopni vyrobit a prodat dva CNC kompletní stroje na řezání pomocí vodního paprsku. Téhož roku navázali spolupráci se světově uznávanou společností vyrábějící systémová řešení pro řezání pomocí vodního paprsku, a to s KMT Waterjet Systems Inc. Firma Rychlý TOM s.r.o. vyrábí vodní paprskové stroje v několika řadách.



Obr. 19 Logo firmy Rychlý TOM s.r.o. [38]

#### Blue line [7]

CNC řezací stoly řady Blue line (Obr. 20) jsou standardní zařízení určené pro širokou oblast použití. Tyto CNC řezací stoly jsou vybaveny vysokým standardem v pracovních rozměrech os X-Y od 1x1 m až do 4x4 m s 1 až 2 řezacími hlavami, jež jsou nesené na osách Z. K této řadě je možno dokoupit 3D naklápěcí hlavu, která eliminuje úhly podřezu a dokáže řezat základní tvary v jedné ose pod úhlem 20° a ve druhé ose až pod úhlem 45°. Základní parametry CNC řezacích stolů řady Blue line jsou uvedeny v Tab. 5.

#### Základní vybavení:

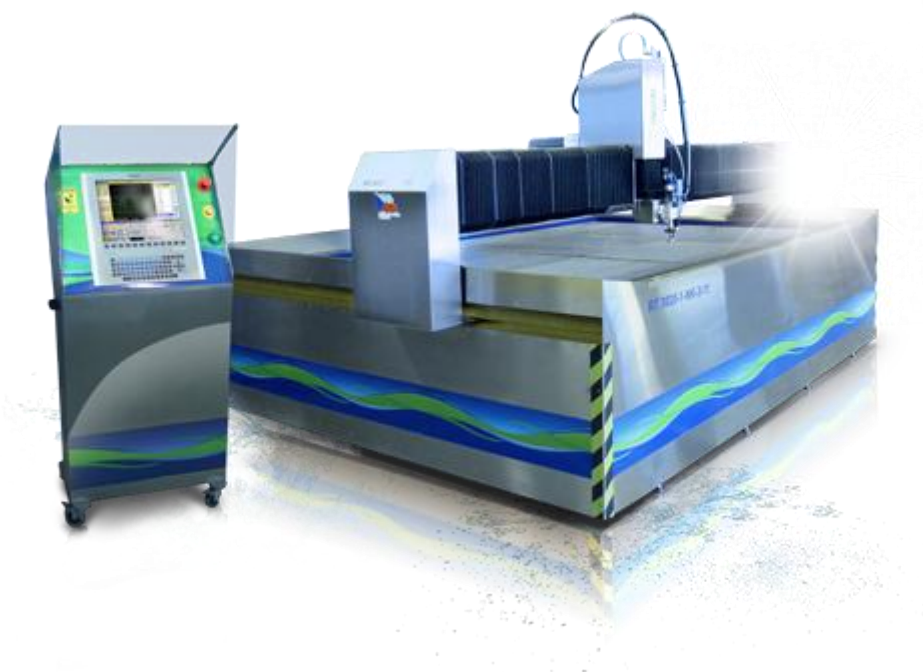
- pojezdy – integrované na lapači
  - na samostatných nosících kotvených k podlaze (oddělené mimo lapač)
- poháněné kuličkové šrouby s přesnými převodovkami na všech osách (X, Y, Z)
- portál stolu kryt celoobvodovým měchem
- podélné osy kryty dvojitými štěrbinami z otěruvzdorného polytanu
- stůl nerezově okrytován
- v konstrukci krytu stolu integrovaný elektrorozvaděč
- výškový senzor
- řídicí počítač – operační systém Windows
- programovací software - Wrykrys 2D
- dávkovač abraziva (elektronický) – plynulá regulace řízená z CNC programu
- doprava abraziva o objemu 1 000 kg je tlaková a propojená s řídicím systémem
- propojení CNC stolu s vysokotlakým čerpadlem
- instalace u zákazníka

Tab. 5 Základní parametry CNC řezacích stolů řady Blue line [7]

CNC řezací stoly řady Blue line	
Přejezdová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	15
Pracovní rychlost [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	0,1 – 15 000
Přesnost polohování [mm]	0,02
Zdvih osy Z [mm]	250

Volitelné vybavení:

- lapač stolu z nerezů
- 1 až 4 řezací hlavy
- 2 ks portálových vozíků
- oplachování řezaného materiálu pomocí vody
- pneumaticky regulovaná výška hladiny ve vaně
- odsávání vodních par vzniklých průstřelem materiálu
- laserový kříž – sloužící k rychlému nastavení startovních bodů
- bezdrátově dálkově ovládané pojezdy CNC stolu – snadnější a rychlejší nastavení startovních bodů programu
- plynulá regulace tlaku z CNC programu + zpětná vazba, zobrazení aktuálního tlaku na monitoru řídicího systému
- web kamera – možnost vzdáleně sledovat řezný proces



Obr. 20 CNC řezací stůl řady Blue line [7]

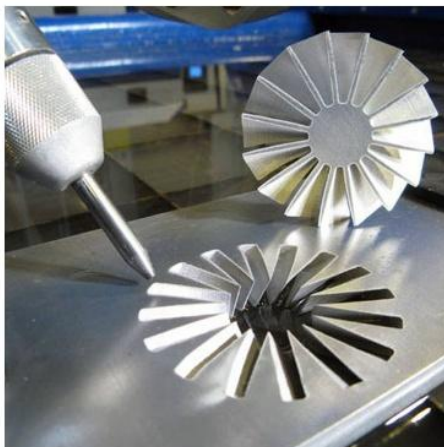
## 2.2.4 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem [25, 46, 59, 61, 62, 66]

### Výhody řezání vodním paprskem:

- řezání lze jednoduše zautomatizovat
- lze řezat různý materiál – kovy, plasty, sklo, dřevo, kámen, keramiku, atd.
- lze řezat až do tloušťky materiálu 200 mm
- lze řezat velice tenké materiály
- téměř bezodpadová technologie
- malá šíře vodního paprsku – to vede k úzké řezné spáře
- lze řezat i vertikálním směrem
- kvalitní řezné plochy s čistými hranami
- velice malé řezné síly
- při řezání nedochází ke vzniku tepla – není tepelně ovlivněná oblast řez. materiálu
- při řezání nedochází k porušování povrchových úprav (broušení, leštění,...)
- při řezání nedochází ke vzniku škodlivých zplodin
- lehké uchycení řezaných materiálů
- lze používat více hlav najednou (Obr. 22)
- lze provádět společné řezy – součásti umístěné přiléhavě vedle sebe
- lze vytvářet součásti různých tvarů – omezením je pouze kruhový průřez paprsku

### Nevýhody řezání vodním paprskem:

- vysoké náklady na pořízení a provoz (náklady na provoz v porovnání s řezáním pomocí plazmového paprsku 1:5 až 1:20)
- omezená možnost vyrábět dílce menších rozměrů (cca pod 30 až 50 mm) – lze řešit použitím můsteků
- menší řezné rychlosti u tvrdších materiálů
- nemožnost ručního řezání
- omezeně lze provádět 3D řezání (Obr. 21)
- vysoká hladina hluku
- kontakt řezaného materiálu s vodou popř. i s abrazivem – nutnost ošetřit řezné plochy, jinak dochází k povrchové korozi, k delší době sušení (u smáčivých materiálů), apod.



Obr. 21 3D řezání [66]



Obr. 22 Řezání pomocí více hlav naráz [25]

### 2.2.5 Součásti/dílce vyráběné řezáním vodním paprskem [26, 34, 42, 67]

U řezání vodním paprskem lze také zhotovovat součásti (Obr. 23) různých rozměrů, které mají více či méně komplikovaný tvar tak jako u řezání pomocí plazmového paprsku. Na Obr. 26 dole jsou vyřezávané dílce z různých materiálů.



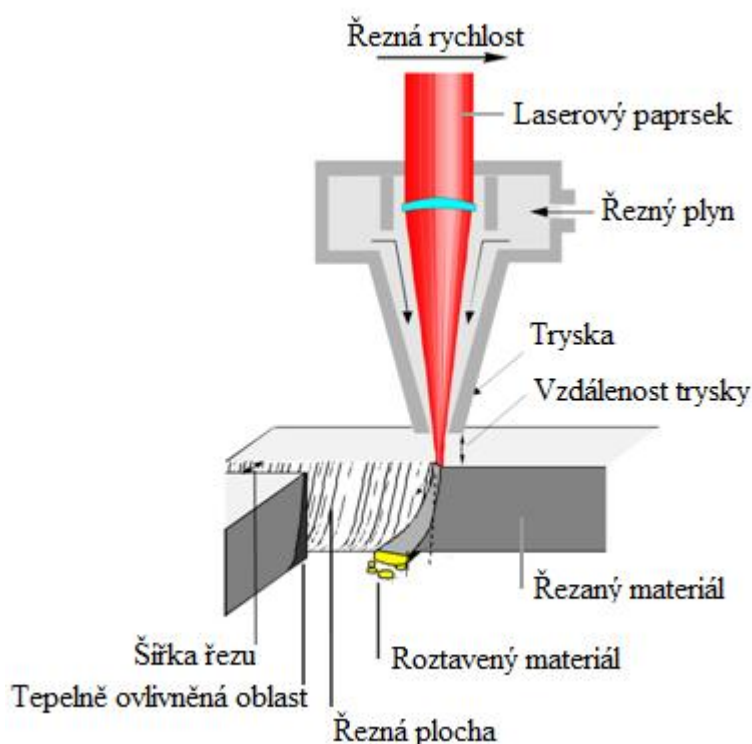
Obr. 23 Součásti/dílce vyrobené řezáním vodním paprskem [34, 42, 67]

## 2.3 Řezání laserovým paprskem [10, 23, 33]

Metoda řezání laserovým paprskem je jedna z novějších metod a samotné řezání se ve většině případů stejně jako u řezání plazmovým či vodním paprskem provádí prostřednictvím CNC programováním. U laseru se jedná o zesílení světla stimulovanou emisí záření, anglicky Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, odtud také pochází název LASER (počáteční písmena anglického popisu). Roku 1960 byl sestaven v Hughesových výzkumných laboratořích první fungující laser pány Theodorem Maimanem, C. K. Asawaem a I. J. D'Haenensem. Laser tudíž existuje přes 50 let.

### 2.3.1 Princip řezání laserovým paprskem [10, 13, 23, 33, 48]

Řezat laserovým paprskem je možno každý technický materiál nezávisle na jeho tepelných, fyzikálních či chemických vlastnostech. Samotný řez je proveden laserovým paprskem a řezným plynem. Ohraničená oblast, místo řezu, se nazývá řezná spára. Paprsek má vysokou teplotu (10 000 °C) a dopadá na materiál, jehož kontaktní místo ohřívá až na teplotu varu a poté dochází k odpařování materiálu. Řezný plyn pak obstará odstranění taveniny a par kovů z oblasti řezné spáry. Laserový paprsek je obklopen řezným plynem, který vystupuje řezací tryskou za vysokých tlaků. Tryska je maximálně 1 mm ve vzdálenosti od povrchu řezaného materiálu. Tato vzdálenost je sledována kapacitním nebo dotykovým čidlem. Stejně jako u předchozích nekonvenčních technologií řezání materiálu, tak i zde při souvislém řezu představuje laserový paprsek řezný nástroj. Princip řezání laserem je znázorněn na Obr. 24.



Obr. 24 Princip řezání laserem [48]



Vysoký výkon laserového paprsku má vliv na kvalitní úzký řez s malou tepelně ovlivněnou oblastí. U laserového řezání dochází ke vzniku pouze malých deformací, protože samotné řezání na řezaný materiál mechanicky nepůsobí. Řezání laserovým paprskem produkuje součásti s velkou přesností. Technologie řezání laserovým paprskem je na Obr. 25.

Hlavní rysy řezání laserovým paprskem:

- řezná rychlost
- šířka řezu
- tepelně ovlivněná oblast
- rýhy vytvářející drsnost řezné plochy



Obr. 25 Technologie řezání laserovým paprskem [13]

### 2.3.2 Typy řezacích procesů [23, 33]

Podle použitého řezného plynu lze řezací procesy u řezání laserovým paprskem rozdělit následovně:

- sublimační řezání                      - tavné řezání                      - oxidační řezání

#### Sublimační řezání [23, 33]

Princip sublimačního řezání spočívá v ohřátí a v následném silném odpaření materiálu na teplotu varu pulzním laserovým paprskem. Mezi jednotlivými pulzy či pomocí proudu pracovního řezného plynu jsou páry řezaného materiálu odváděny. U sublimačního řezání je nutná přítomnost vysokých hustot energií paprsku, a to z důvodu minimalizování tavných zón, které vznikají na hranách řezů. Je nutné zabránit zkondenzování vzniklých par materiálu, které by vedlo k opětovnému svaření řezu. U materiálů s kapalnou fází se tomuto nežádoucímu jevu zabrání tím, že se bude řezat materiál o menší tloušťce, než je průměr laserového paprsku. U materiálů bez kapalně fáze (netavicí se materiály) toto zkondenzování par materiálu nehrozí. S rostoucí rychlostí proudění pracovního plynu roste také řezná rychlost a naopak s rostoucím odpařovacím teplem materiálu řezná rychlost klesá. Metoda nachází uplatnění pro řezání tenkých plechů a především minerálů. V současné době je ale sublimační řezání spíše na ústupu.

#### Tavné řezání [23, 33]

Princip tavného řezání spočívá v ohřátí řezaného materiálu na teplotu tavení souvislým laserovým paprskem a následně ve vyfouknutí taveniny z řezné spáry pomocí neaktivního vysoce čistého inertního plynu ( $N_2$ ). Tavné laserové řezání pracuje s vysokými tlaky (10 až 15 barů) pracovního plynu z důvodu vysokých povrchových napětí taveniny, které jsou způsobeny šířkou spáry, použitým plynem a druhem řezaného materiálu. Tyto vysoké tlaky také zajišťují neulpění taveniny na dolních hranách řezů. Požijeme-li jako inertní plyn dusík za vysokého tlaku (1 až 2 MPa), docílíme kvalitního řezu s kovově lesklým povrchem bez nutnosti dalších úprav. Na dolních hranách řezu může docházet ke vzniku otřepů, za jejichž vznik může kvalita řezaného materiálu. Ve srovnání se zde zmíněnými metodami je u tavného řezání řezná rychlost nižší a tudíž i samotné řezání je poměrně pomalý proces. Řezná rychlost roste spolu s výkonem laseru a na druhé straně řezná rychlost klesá s teplotou a růstem tloušťky řezaného materiálu. Tavné řezání nachází uplatnění u řezání vysokolegovaných ocelí, niklu, mědi, hliníku, jejich slitin, ale také u řezání nekovových materiálů, jakými jsou například keramika, plasty, dřevo, sklo a další.

#### Oxidační řezání [23, 33]

U oxidačního řezání se používá kyslíkový pracovní plyn o tlaku 3 až 5 barů, což představuje nižší tlak než u tavného řezání. Díky exotermické reakci (uvolňování tepla a světla), která vzniká při kontaktu kyslíku a nataveného kovu, dochází k dalšímu ohřátí řezaného materiálu. Uvolněným teplem se předehřívá okolí řezu a ohřívají se vzniklé páry a taveniny. Oxidační řezání disponuje většími řeznými rychlostmi a tloušťkami řezů, než jsou u tavného řezání. Tato metoda nachází uplatnění u řezání nelegovaných až středně legovaných ocelí. U nelegovaných ocelí se dosahuje hladkých povrchů řezů se slabými vrstvičkami oxidů. U ostatních kovů dochází k oxidaci řezných ploch vlivem jejich reakce s kyslíkem.

### 2.3.3 Typy řezacích laserových zařízení [24, 49]

Všechny typy řezacích laserových zařízení se liší jak stavbou, tak i vlastnostmi, pracují však na totožném principu - zesílení světla stimulovanou emisí záření.

Řezací laserové zařízení lze členit dle několika odlišných hledisek:

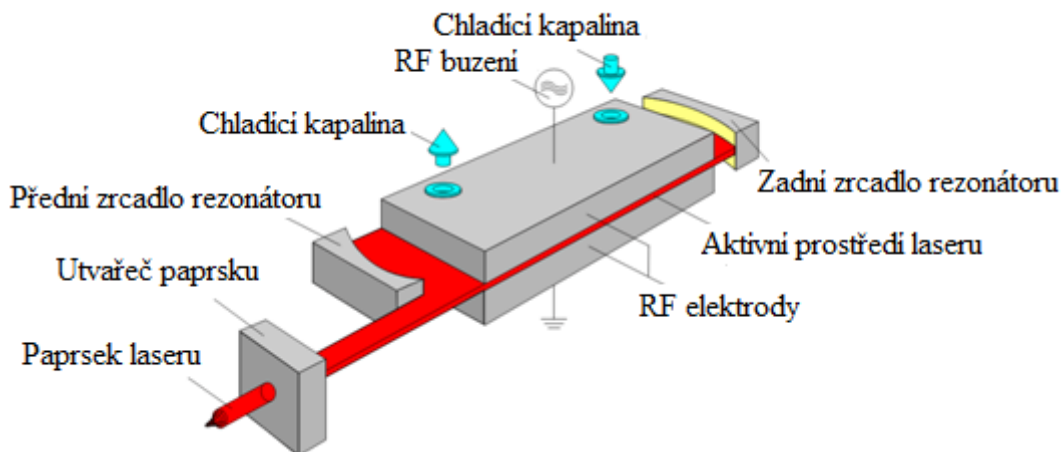
Hledisko – aktivní prostředí:	- plynové - kapalinové - plazmatické	- pevnolátkové - polovodičové
Hledisko – režim práce:	- impulzní	- kontinuální
Hledisko – buzení:	- optické - elektrickým polem - chemickou reakcí	- elektronovým svazkem - tepelnou změnou - a další
Hledisko – vlnové délky:	- viditelné světlo - ultrafialové - submilimetrové	- rentgenové - infračervené
Hledisko – počet energetických hladin:	- dvouhodinové - tříhodinové - vícehodinové	

Pouze u dělení řezacích laserových zařízení dle hlediska aktivního prostředí je členění stálé. U ostatních hledisek je členění obměňováno v důsledku pokračujícího vývoje tohoto odvětví. Z tohoto důvodu se nyní budeme věnovat pouze členění dle aktivního prostředí.

#### Plynové [24, 48, 49, 57]

Mezi nejstarší typy laserů patří plynové, kde aktivním prostředím jsou plyny či směsi plynů vedoucí k velké nabídce různých druhů plynových laserů. Na dobré parametry má vliv homogenita prostředí. Plynové lasery fungují v impulzním i v kontinuálním režimu. Buzení se hlavně provádí elektrickým výbojem, lze však také budít opticky, elektronovým svazkem, chemickou reakcí a podobně. Plynové lasery disponují pouze malými výkony, což je jejich velkou nevýhodou. Nejrozšířenějším laserem mezi plynovými je infračervený helium-neonový. Jako aktivní prostředí jsou zde chápány vybuzené atomy neonu. U infračerveného helium-neonového laseru se budí prostřednictvím elektrického výboje ve směsi neonu a helia. Tento typ laserového řezacího zařízení nachází uplatnění v geodézii, holografii a v měřicí technice. V průmyslovém odvětví je mezi plynovými lasery nejvíce používán infračervený laser CO<sub>2</sub> (Obr. 26), který má nejvyšší výkon. CO<sub>2</sub> lasery o výkonu 500 až 6 000 W se řadí mezi středně výkonné a jsou určeny pro řezání ocelových plechů do tloušťek 25 mm (docílilo se dokonce i do tloušťky 40 mm) a také pro řezání profilů a trubek. Dále je možno středně výkonnými lasery řezat mosaz do tloušťek 8 mm a hliník do tloušťek 15 mm. CO<sub>2</sub> lasery s výkony nad 6 000 W jsou určeny hlavně ke svařování a lasery s výkony pod 500 W jsou určeny ke svařování, řezání či k opracování úzkých plechů nebo nekovových materiálů. Aktivním prostředím u CO<sub>2</sub> laserů je chápáno prostředí s molekulami oxidu uhličitého a buzení se uskutečňuje zapálením směsi plynů CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> a He elektrickým výbojem. Plynové

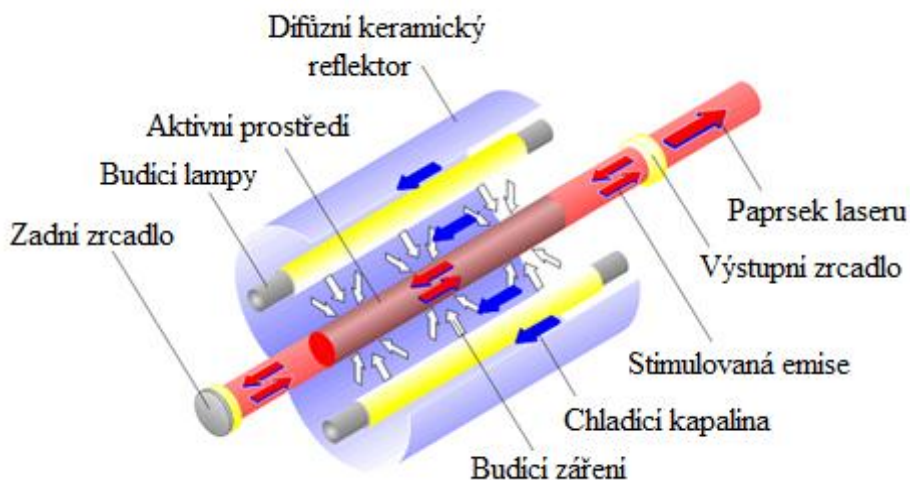
lasery se uplatňují v několika průmyslových oblastech, kterými jsou řezání materiálů, svařování, vrtání, povlakování, gravírování a tepelné zpracování.



Obr. 26 Konstrukce CO<sub>2</sub> laseru [48]

Pevnolátkové [24, 47, 49, 57]

Mezi nejvíce používané typy laserů patří pevnolátkové lasery disponující výkonem do 10 kW. Jako aktivní prostředí u pevnolátkových laserů je chápána pevná krystalická (popř. amorfni) látka s příměsí vhodného plynu. U obvykle provedených pevnolátkových laserů je aktivní prostředí tvarováno do válečku. Mezi výhody pevnolátkových laserů patří stabilita, nízké požadavky na údržbu a uplatnění nacházejí při práci v rozdílných režimech a za rozmanitých provozních podmínkách. Rubínový laser je nejznámější pevnolátkový laser pracující nejčastěji v impulzním režimu, jehož aktivní prostředí je tvořeno krystalem syntetického rubínu. Uplatnění nachází zejména při vrtání tvrdších materiálů, ale také v odlišných odvětvích, jako je např. laserová lokace družic či v lékařství. V současnosti se nejvíce používá Nd:YAG laser (Obr. 27), jehož aktivní prostředí je tvořeno yttrio-hlinitým granátem (YAG), který je obohacen neodymem. Pomocí optického kabelu se u tohoto laseru provádí přenos papřsku. Režim práce může být impulzní i kontinuální a dosahuje výkonu až 4 kW. Uplatnění nachází při řezání, svařování, vrtání, žihání, ale též v lékařství (chirurgie –



Obr. 27 Konstrukce Nd:YAG laseru [47]

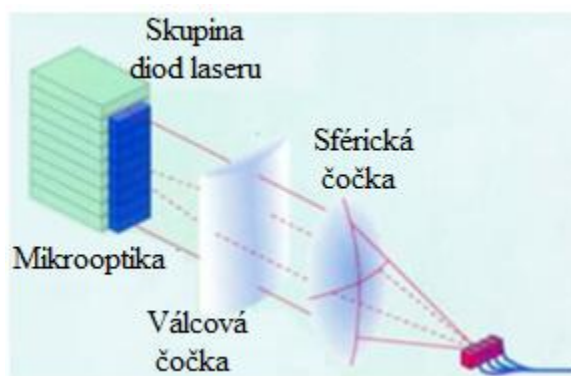
skalpel, oční mikrochirurgie), ve spektroskopii a v radarové technice. Dalšími pevnolátkovými lasery jsou Er:YAG laser, Nd:sklo laser a další.

### Kapalinové [24, 49]

Kapalinové lasery nacházejí uplatnění především ve spektroskopii a jejich aktivní prostředí je tvořeno roztoky organických barviv, popř. speciálně vytvořených kapalin s příměsí vzácných zemin. Aktivní prostředí je rozkládáno prostřednictvím světla a tepla a tento rozklad způsobuje pouze jeho krátkou životnost.

### Polovodičové [24, 26, 49, 57]

Mezi nejrozšířenější lasery současnosti patří polovodičové neboli diodové lasery. Aktivní prostředí je tvořeno nerovnovážnými elektrony a dírami (volnými nosiči náboje), které se vyskytují v polovodičovém materiálu. Laserová dioda je používána jako zdroj záření. Výhody polovodičových laserů spočívají v jejich kompaktnosti a velké účinnosti, která dosahuje až 50 %. Mezi nevýhodu lze zařadit velkou rozbíhavost paprsku oproti jiným laserům. Výkony polovodičových laserů mohou dosahovat hodnot až 8 kW a lze je snadno měnit prostřednictvím elektrického proudu. Lasery s výkony několika kW se hodí ke svařování s vedením tepla, k pájení natvrdo a k vytvrzování. Kdežto lasery s výkony do 250 W se používají především k řezání a svařování plastů či kovových fólií. Polovodičové lasery nacházejí uplatnění také v gravírování, ve spotřební elektronice, ve výpočetní technice či v Rapid Prototyping. Na Obr. 28 je znázorněna konstrukce diodového laseru.



Obr. 28 Konstrukce diodového laseru [26]

### 2.3.4 Laserové řezací stroje [26]

Na trhu je mnoho firem vyrábějících řezací stroje pomocí laserového paprsku. Z těch více známých můžeme jmenovat Bystronic, Trumpf, LaserPro, Amada, Mazak, Mitsubishi, MicroStep.

#### Bystronic [54]

Firma Bystronic (logo Obr. 29) se řadí mezi přední výrobce a dodavatele systémů sloužících pro obrábění plechů. Svá vývojová a výrobní sídla má ve Švýcarsku, v Německu a v Číně. Bystronic má své obchodní a servisní společnosti v cca 30 zemích na třech kontinentech. V řadě dalších zemí má firma své zastoupení. Společnost se zabývá výrobou a vývojem laserových řezacích zařízení, řezacích zařízení vodním paprskem a ohraňovacích lisů. U řezání pomocí laserového paprsku se společnost koncentruje na automatizaci výrobního procesu. Firma vyvíjí i vlastní softwary:

- Bysoft - je na tom funkčně lépe než nynější CAD/CAM softwary, je schopen řídit a kontrolovat do nejmenších podrobností celý řezací a ohýbací úkon
- ByVision - software k řízení stroje



**Best choice.**

Obr. 29 Logo firmy Bystronic [54]

#### Bystar [56]

Systém Bystar (Bystar 3015 Obr. 30) je univerzální stroj a je určen pro řezání pomocí laserového paprsku. Je schopen zpracovat nejen plechy, ale také trubky či profily. Základní technické hodnoty CNC řezacího stolu Bystar 3015 jsou uvedeny v Tab. 6.

Stroje Bystar se vyznačují:

- plně přístupným pracovním prostorem - při práci s plochým plechem, ale i při práci s profily či trubkami
- snadným vkládáním a vykládáním dílů z prac. prostoru i výměnného stolu
- čistým výhledem na celou pracovní plochu i v průběhu řezání
- lasery s vysokými výkony – hospodárné opracování tlustých plechů

Tab. 6 Základní technické hodnoty CNC řezacího stolu Bystar 3015 [56]

CNC řezací stůl Bystar 3015	
Jmenovitý rozměr listu	3000 x 1500 mm
Maximální rychlost polohování, simultánně	113 m/min
Maximální zrychlení osy	4,5 m/s <sup>2</sup>
Ovládání s dotykovou obrazovkou a ruční řídicí jednotky	ano
Opsané průměr kružnice rotační osy	15-315 mm



Obr. 30 Laserové zařízení Bystar [56]

### 2.3.5 Výhody a nevýhody řezání laserovým paprskem [23, 33, 46, 50, 70]

#### Výhody laserového řezání:

- lze zautomatizovat
- lze řezat různý technický materiál
- lze řezat tvary s ostrými úhly, úzké pásy, malé otvory
- lze řezat až do tloušťky materiálu 40 mm
- řezná rychlost dosahující až hodnot desítek  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
- malá šíře laserového paprsku – to vede k úzké řezné spáře (kolem 0,05 mm)
- téměř bezodpadová technologie
- řezy dosahují přesnosti kolem 0,05 až 0,1 mm na 1 m délky řezu
- je možno vykonávat 2D i 3D řezy (Obr. 31)
- při řezání vzniká pouze malá tepelně ovlivněná oblast
- drsnost povrchu řezu dosahuje hodnoty  $R_a 1,6$
- řez je kvalitní na celém svém povrchu
- vzniká pravoúhlá řezná hrana (hrana bez zkosení)
- lze vytvářet součásti různých komplikovaných tvarů
- nedochází k opotřebování nástroje (laserového paprsku)
- hospodárná technologie i při nepříliš rozsáhlé výrobě – jedno laserové zařízení je schopno vyrobit několik různých dílců naráz

#### Nevýhody laserového řezání:

- vysoké náklady na pořízení a provoz – vysoká spotřeba plynů
- nižší účinnost plynových ( $\text{CO}_2$ ) laserových zařízení
- těsná vzdálenost mezi řezaným materiálem a tryskou

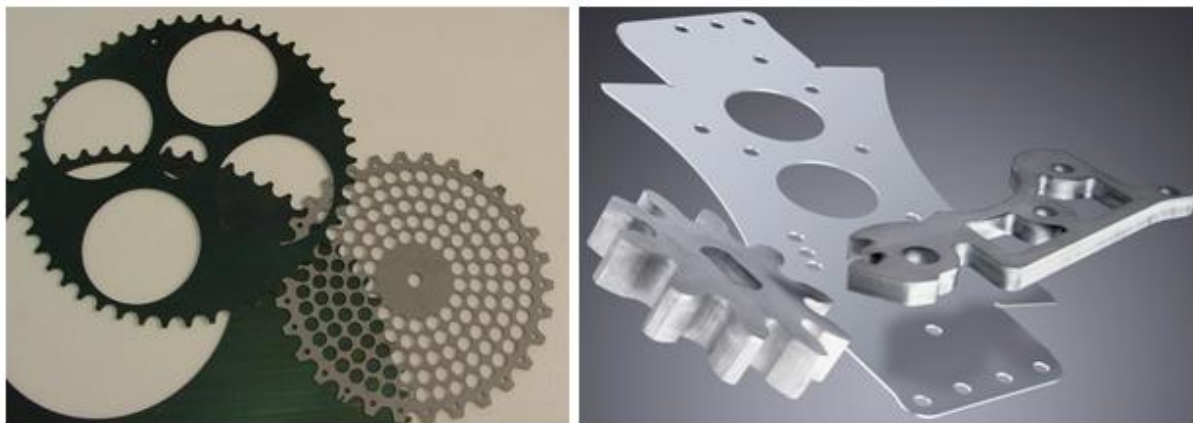


Obr. 31 Řezání 3D laserem [70]



### 2.3.6 Součásti/dílce vyráběné řezáním laserovým paprskem [8, 26, 27, 63]

I u řezání laserovým paprskem lze zhotovovat součásti (Obr. 32) různých rozměrů, které mají více či méně komplikovaný tvar tak jako u řezání pomocí plazmového či vodního paprsku. Na Obr. 33 jsou dílce z různých materiálů vyhotovené pomocí laserového paprsku.



Obr. 32 Součásti/dílce vyrobené řezáním laserovým paprskem [27, 63]



Obr. 33 Součásti/dílce z různých materiálů vyrobené řezáním laserovým paprskem [8]

### 3 TECHNOLOGICKÁ ROZVAHA

V této kapitole bude provedeno technické zhodnocení jednotlivých navržených výrobních technologií pro zadanou součást “patka sloupku“. V rámci řešení diplomové práce byly ve spolupráci s firmou ABA Šumperk domluveny kooperační firmy, které disponují danými technologiemi ke zhotovení vypálených vzorků jednotlivými metodami. Dále se ve spolupráci s kooperačními firmami podařilo získat různé poznatky o samotném řezání a dokonce byly získány i dva reporty střížného procesu. Další doplňující informace byly získány přímo od výrobců jednotlivých strojů, na kterých byly tyto výpalky zhotoveny.

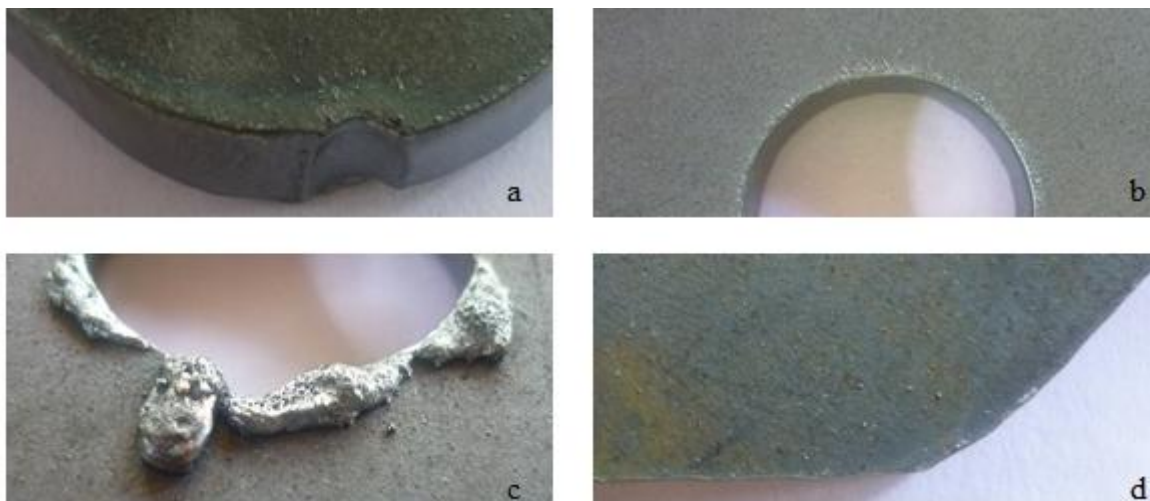
#### 3.1 Součást vyrobená pomocí plazmového paprsku

Posuzovaná součást “patka sloupku“ byla pomocí plazmového paprsku (Obr. 34) vyrobena firmou LUCCO a.s., která stanovila cenu za kus na 87 Kč. Součást byla zhotovena na CNC pálicím stroji RUR 2 500P, který je určen pro oceli, nerez a hliníkové plechy. Pracovní stůl má rozměr 2 500 x 12 000 mm a stroj je schopen řezat materiál až do tloušťek 50 mm. Čas samotného řezání byl 39 sekund, ale celkový čas 1 minuta 3 sekundy. Jako plyn byl použit technický vzduch. Report střížného procesu pomocí plazmového paprsku je uveden v příloze 1.



Obr. 34 Posuzovaná součást “patka sloupku“  
– plazmový paprsek

Na Obr. 35 jsou znázorněny detaily vyrobené součásti pomocí plazmového paprsku. Je zde vidět nekvalitní řez. Na součásti jsou viditelné propaly. Na horní straně v okolí řezu lze vidět ztuhlé kapky a na spodní straně součásti jsou vytvořeny velké okuje, které je nutno odstranit broušením. Je patrné, že pomocí řezání plazmovým paprskem nebylo docíleno ostrých hran, které jsou spíše zaoblené. Povrch řezu (Obr. 36) je vlnkovitý. Tepelně ovlivněnou oblast nelze vizuálně posoudit.



(a – stopa po propalu; b – ztuhlé kapky na horní straně součásti;  
c – okuje na spodní hraně řezu; d – zaoblená „ostrá“ hrana)

Obr. 35 Detaily posuzované součásti “patka sloupku“ – plazmový paprsek



Obr. 36 Vlnkový povrch řezu – plazmový paprsek

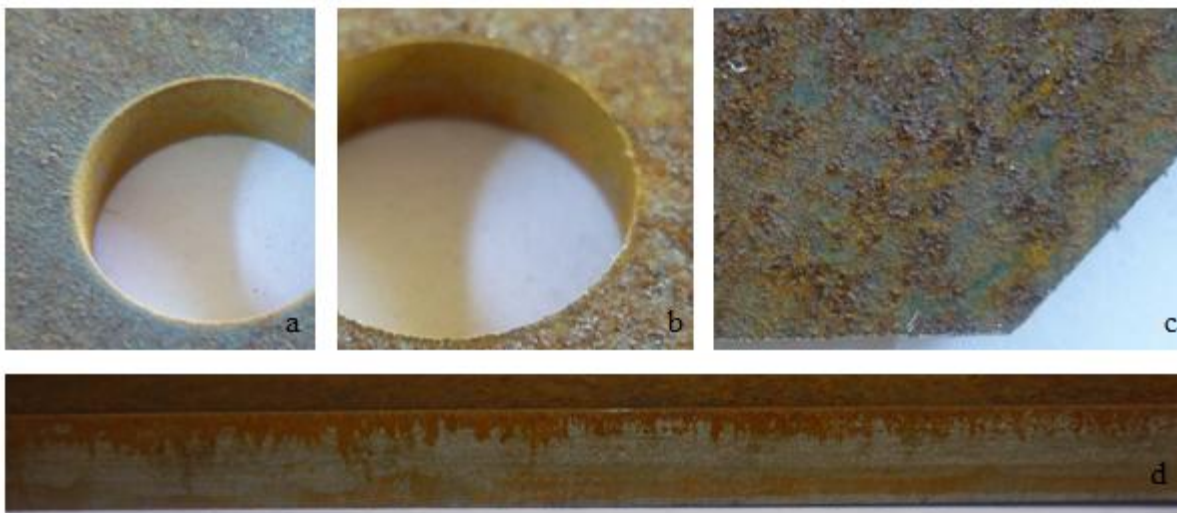
### 3.2 Součást vyrobená pomocí vodního paprsku



Obr. 37 Posuzovaná součást “patka sloupku“  
– vodní paprsek

Součást “patka sloupku“ byla pomocí vodního paprsku (Obr. 37) vyrobena firmou Rychlý TOM s.r.o., která stanovila cenu za kus na 140 Kč. Součást byla zhotovena na CNC stroji RT-3020-1INK-037-12, jehož pořizovací cena činila 3 000 000 Kč. Doba řezání byla 6 minut a 25 sekund při tlaku  $\pm 4\,000$  barů a množství abraziva  $280\text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ . Řezná rychlost dosáhla hodnoty  $200\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Na Obr. 38 jsou znázorněny detaily vyrobené součásti pomocí vodního paprsku. Je zde vidět, že celá součást zkorodovala. K zamezení vzniku koroze je nutno součást ihned po vyřezání ošetřit speciálním sprejem nebo olejem, popř. zařadit dokončovací operaci, a to opískování. Řez je však kvalitní, dochází jen k malému zaoblení horních hran řezu, dolní hrany řezu jsou ostré. Řezáním vodním paprskem bylo docíleno ostrých hran na součásti. Povrch řezu je hladký. Tepelně ovlivněná oblast u řezání vodním paprskem nevzniká.

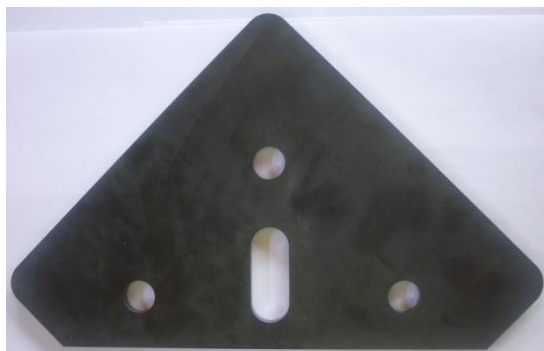


(a – malé zaoblení horní hrany řezu; b – ostrá dolní hrana řezu; c – ostrá hrana součásti;  
d – hladký povrch řezu)

Obr. 38 Detaily posuzované součásti “patka sloupku“ – vodní paprsek

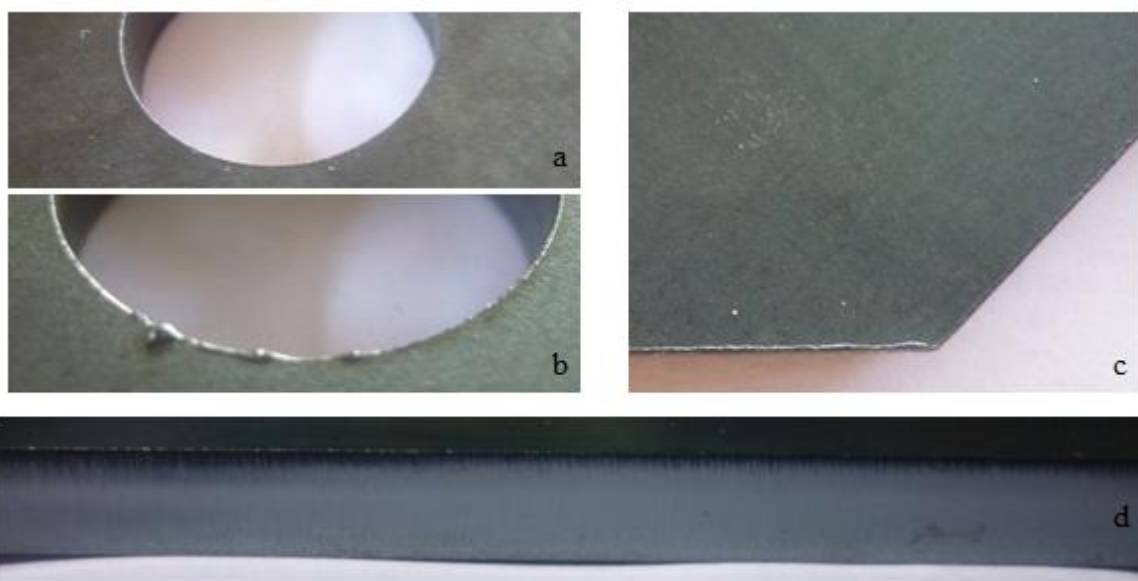
### 3.3 Součást vyrobená pomocí laserového paprsku

Pomocí laserového paprsku byla posuzovaná součást “patka sloupku“ (Obr. 39) vyrobena firmou LUCCO a.s., která stanovila cenu za kus na 100 Kč. Součást byla zhotovena na laserovém CNC pálicím stroji Bystar 3015, který je určen pro oceli, nerez a hliníkové plechy. Jako laserový zdroj zde byl použit Bylaser s výkonem 4,4 kW. CNC stroj je vybaven automatickým zakladačem. Pracovní stůl má rozměr 1 500 x 3 000 mm a stroj je schopen řezat materiál až do tloušťek 25 mm. Čas samotného řezání byl 28 sekund a jako plyn byl použit kyslík. Report střížného procesu pomocí laserového paprsku je uveden v přílohách 2 a 3.



Obr. 39 Posuzovaná součást “patka sloupku“  
– laserový paprsek

Na Obr. 40 jsou znázorněny detaily vyrobené součásti pomocí laserového paprsku. Je zde vidět poměrně kvalitní řez. Na horní straně v okolí řezu jsou jen občas a velmi málo viditelné ztuhlé kapky a na spodní straně součásti jsou vytvořeny malé okuje. Také u řezání pomocí laserového paprsku bylo docíleno ostrých hran na posuzované součásti. Povrch řezu je poměrně hladký s malými nepatrnými vroubkami. Stejně jako u součásti zhotovené pomocí řezání plazmovým paprskem, tak i zde u laserového paprsku tepelně ovlivněnou oblast nelze vizuálně posoudit.



(a – horní strana řezu; b – okuje na spodní hraně řezu; c – ostrá hrana součásti; d – poměrně hladký povrch řezu s malými nepatrnými vroubkami)

Obr. 40 Detaily posuzované součásti “patka sloupku“ – laserový paprsek

### 3.4 Výsledné technologické zhodnocení [26]

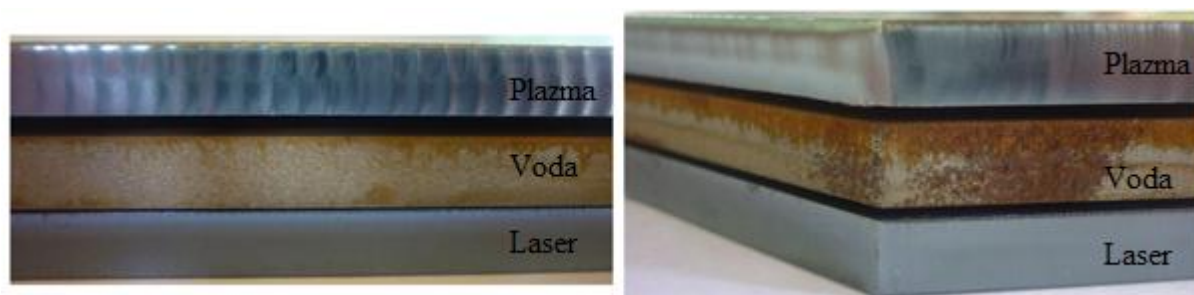
Tab. 7 ukazuje porovnání jednotlivých výrobních technologií a následné určení jejich pořadí v otázce vhodnosti dané technologie k výrobě posuzované součásti „patky sloupku“

Tab. 7 Porovnání a pořadí jednotlivých výrobních technologií [26]

Metoda	Plazma	Vodní paprsek	Laser
Kvalita řezu	4	1	2
Čas zhotovení	2	5	1
TOO	(4)	1	(2)
Propaly	5	1	1
Okuje	5	1	2
Zaoblení hran	2	1	2
Ostrost úhlů	3	1	1
Rozměrová přesnost	3	1	1
Přesnost geometrie	3	1	1
Povrch součásti	2	3	1
Celkem bodů	33	16	14
Pořadí	<b>3.</b>	<b>2.</b>	<b>1.</b>

1 ... nejlepší, 5 ... nejhorší, TOO – tepelně ovlivněná oblast

U součástí vyrobených pomocí řezání plazmovým a laserovým paprskem nelze vizuálně posoudit tepelně ovlivněnou oblast. Je však známo, že u řezání plazmovým paprskem vzniká velká tepelně ovlivněná oblast a u řezání laserovým paprskem vzniká také, ale ne tak velká. Proto jsou i tepelně ovlivněné oblasti zařazeny do výsledného technologického zhodnocení. Na Obr. 41 jsou viděny pro porovnání povrchy řezů jednotlivých výrobních technologií.



Obr. 41 Povrchy řezů jednotlivých výrobních technologií

Dle technologického hlediska je pro výrobu posuzované součásti „patky sloupku“ nejvhodnější technologie řezání pomocí laserového paprsku. Na posuzovanou součást nejsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu a geometrickou přesnost. Pouze se musí u všech výrobních technologií zařadit dokončovací operace – zkosení hran. U součástí vyrobených pomocí laserového paprsku se nemusí přidávat další dokončovací operace. U součástí vyrobených pomocí vodního paprsku by bylo nutné zařadit po samotném řezu ošetření speciálními spreji nebo oleji, aby dané součásti nezkorodovaly, popř. by se zkorodované součásti musely opískovat. U této technologie je také nevyhovující příliš dlouhá doba samotného řezu. U součástí vyrobených pomocí plazmového paprsku by bylo nutné zařadit jako dokončovací operaci také broušení vlivem vzniku velkých okujů.

## 4 EKONOMICKÁ ROZVAHA [17, 55]

V současné době si společnost ABA Šumperk nechává vyrábět součást “patka sloupku“ u kooperační firmy pomocí řezání laserovým paprskem. Požadovaná výrobní série zadané součásti je 4 000 kusů. Cena jedné nakupované součásti vyráběné laserovým paprskem byla stanovena na 100 Kč.

Vzhledem k tomu, že společnost ABA Šumperk nedisponuje strojem na řezání laserem, zadává veškerou výrobu součástí zhotovovaných touto metodou kooperační firmě. Roční náklad na nákup všech součástí činí 24 400 000 Kč. Daná “patka sloupku“ tedy představuje téměř 1,64 % celkové nakupované laserové produkce. Tato hodnota se zdá poněkud malá, ale je to zapříčiněno velkým množstvím různých dílců rozdílných tvarů a funkcí, kde žádný nemá dominantní postavení.

Požadovaná výrobní série:

- $Q_P = 4\ 000$  ks

Procentuální podíl zadané součásti vzhledem k celé nakupované laserové produkci:

- $P_{SP} = 1,64\ %$

Ceny, za které jsou schopny kooperační firmy danou součást a různými technologiemi vyrobit, jsou dány následovně:

- Plazmový paprsek  $C_{NIP} = 87$  Kč
- Vodní paprsek  $C_{NIV} = 140$  Kč
- Laserový paprsek  $C_{NIL} = 100$  Kč

Orientační pořizovací ceny výrobních strojů pro jednotlivé technologie byly stanoveny takto:

- Plazmový paprsek  $PC_{SP} = 5\ 000\ 000$  Kč
- Vodní paprsek  $PC_{SV} = 3\ 000\ 000$  Kč
- Laserový paprsek  $PC_{SL} = 10\ 000\ 000$  Kč

Cena celé výrobní série danou technologií v případě nákupu hotových součástí u kooperačních firem:

$$C_{Ni} = C_{Ni} \cdot Q_P \quad (4.1)$$

- Plazmový paprsek  $C_{NP} = 87 \cdot 4\ 000 = 348\ 000$  Kč
- Vodní paprsek  $C_{NV} = 140 \cdot 4\ 000 = 560\ 000$  Kč
- Laserový paprsek  $C_{NL} = 100 \cdot 4\ 000 = 400\ 000$  Kč

Firma ABA Šumperk nakupuje celou výrobní sérii vyrobenou laserovým paprskem za 400 000 Kč. V Tab. 8 jsou pro přehled uvedeny ceny za jednu součást vyrobenou různými technologiemi, poté také ceny za celou výrobní sérii a orientační pořizovací ceny výrobních strojů pro jednotlivé technologie.

Tab. 8 Ceny výpalků, výrobních sérií a pořizovací ceny strojů

Technologie	$C_{Ni}$ - Cena 1 ks [Kč]	$C_{Ni}$ - Cena výrobní série (4 000 ks) [Kč]	$PC_{Si}$ - Pořizovací cena stroje [Kč]
Plazma	87	348 000	5 000 000
Voda	140	560 000	3 000 000
Laser	100	400 000	10 000 000

Bude-li firma ABA Šumperk uvažovat o koupi řezacího stroje, bude požadovat návratnost investic do 2 let ( $NI = 2$  roky). Nejsou známy struktury složení cen (materiál, mzdy, zisk,...), za které byly kooperačními firmami dodány součásti vyrobené jednotlivými technologiemi. Aby bylo možné provést porovnání, zda se firmě ABA Šumperk vyplatí koupit stroj pro jednotlivé technologie oproti nákupu hotových součástí, budou se nadále uvažovat 3 varianty zisků, a to 10 %, 15 % a 20 % ( $Z_{10} = 10$  %,  $Z_{15} = 15$  %,  $Z_{20} = 20$  %), které kooperační firmy mají z prodeje součástí firmě ABA Šumperk. O tyto zisky by firma ABA Šumperk vyráběla součásti levněji, kdyby jednotlivé výrobní technologie vlastnila. Jako výše investic nebudeme brát v úvahu plné ceny řezacích strojů, ale jen část (konkrétně 1,64 % z pořizovacích cen strojů), protože se zabýváme pouze výrobou jednoho typu součástí. Zbylé náklady na pořízení strojů (98,36 % z pořizovacích cen strojů) budou pokryty ostatní výrobou, kterou si momentálně firma ABA Šumperk nechává zajišťovat kooperační firmou.

Výše investic na pořízení strojů vztažených na produkci součástí “patky sloupku“ jsou následující:

$$I_{Pi} = P_{SP} \cdot PC_{Si} \quad (4.2)$$

- Plazmový paprsek  $I_{PP} = P_{SP} \cdot PC_{SP} = 0,0164 \cdot 5\,000\,000 = 82\,000$  Kč
- Vodní paprsek  $I_{PV} = P_{SP} \cdot PC_{SV} = 0,0164 \cdot 3\,000\,000 = 49\,200$  Kč
- Laserový paprsek  $I_{PL} = P_{SP} \cdot PC_{SL} = 0,0164 \cdot 10\,000\,000 = 164\,000$  Kč

Jak již bylo zmíněno výše, návratnost těchto investic požaduje firma ABA Šumperk do 2 let a jedná se o investice, které musí pokrýt pouze výroba zadané součásti “patky sloupku“.

Minimální roční zisk jednotlivých metod, aby se dodržela doba návratnosti, by měl být:

$$Z_{MRi} = I_{Pi} / NI \quad (4.3)$$

kde:

$NI$  - požadovaná doba návratnosti investic [rok] ( $NI = 2$  roky)

- Plazmový paprsek  $Z_{MRP} = I_{PP} / NI = 82\,000 / 2 = 41\,000$  Kč
- Vodní paprsek  $Z_{MRV} = I_{PV} / NI = 49\,200 / 2 = 24\,600$  Kč
- Laserový paprsek  $Z_{MRL} = I_{PL} / NI = 164\,000 / 2 = 82\,000$  Kč

Pro firmu ABA Šumperk tyto hodnoty představují, kolik by minimálně měli ročně ušetřit výrobou součástí “patky sloupku“ jednotlivými technologiemi ve srovnání s nákupem od kooperační firmy, kdyby se rozhodla pro nákup stroje dané technologie. Výše investic na pořízení strojů vztažených na produkci součástí “patky sloupku“ a minimální roční zisk jednotlivých metod, aby se dodržela doba návratnosti, jsou pro přehled uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9 Ceny investic vztažených na produkci součástí a minimální roční zisky

Technologie	$I_{Pi}$ - Investice na produkci součásti (1,64 % z PC stroje) [Kč]	$Z_{MRi}$ - Minimální roční zisk [Kč]
Plazma	82 000	41 000
Voda	49 200	24 600
Laser	164 000	82 000

Zisk z jedné součásti vyrobené jednotlivou technologií při uvažovaných variantách (ziscích):

$$Z_{lij} = C_{Nli} \cdot Z_j \quad (4.4)$$

kde:

$C_{Nli}$  - cena nakupovaného výpalku i-té technologie [Kč]

$Z_j$  - uvažovaný zisk [%]

Zisk z požadované výrobní série vyrobenou jednotlivou technologií při uvažovaných variantách (ziscích):

$$Z_{Sij} = Z_{lij} \cdot Q_P \quad (4.5)$$

kde:

$Z_{lij}$  - zisk z 1 výpalku při i-té technologii a j-tém uvažovaném zisku [Kč]

$Q_P$  - požadovaná výrobní série [ks]

Cena, na kolik by přišla výroba jedné součásti vyrobené jednotlivou technologií, kdyby firma ABA Šumperk nakoupila odpovídající řezací stroj, při uvažovaných variantách (ziscích):

$$C_{Vlij} = C_{Nli} - Z_{lij} \quad (4.6)$$

kde:

$C_{Nli}$  - cena nakupovaného výpalku i-té technologie [Kč]

$Z_{lij}$  - zisk z 1 výpalku při i-té technologii a j-tém uvažovaném zisku [Kč]

V Tab. 10 jsou uvedeny zisky z jedné součásti vyrobené jednotlivými technologiemi, zisky z požadované výrobní série vyrobené jednotlivými technologiemi a ceny výroby jedné součásti jednotlivými technologiemi při koupi odpovídajícího řezacího stroje. Tyto údaje byly vypočítány dle vzorců 4.4, 4.5 a 4.6.

Vzorový příklad pro výrobu součásti plazmovým paprskem a při uvažovaném zisku 10 %:

- Zisk z 1 součásti  $Z_{1P10} = C_{N1P} \cdot Z_{10} = 87 \cdot 0,1 = 8,70$  Kč
- Zisk z požadované výrobní série  $Z_{SP10} = Z_{1P10} \cdot Q_P = 8,70 \cdot 4\,000 = 34\,800$  Kč
- Cena výroby 1 součásti – při koupi stroje  $C_{V1P10} = C_{N1P} - Z_{1P10} = 87 - 8,70 = 78,30$  Kč

Pro výpočet zbylých hodnot u jednotlivých technologií a při daných uvažovaných ziscích se postupuje analogicky.

Tab. 10 Zisky z jedné součásti a z pož. výrobní série, ceny výroby 1 součásti při koupi stroje

		Plazma	Voda	Laser
Uvažovaný zisk 10 %	$Z_{li10}$ - Zisk z 1 součásti [Kč]	8,70	14	10
	$Z_{Si10}$ - Zisk z pož. výrobní série [Kč]	34 800	56 000	40 000
	$C_{Vli10}$ - Cena výroby 1 součásti – při koupi stroje [Kč]	78,30	126	90
Uvažovaný zisk 15 %	$Z_{li15}$ - Zisk z 1 součásti [Kč]	13,05	21	15
	$Z_{Si15}$ - Zisk z pož. výrobní série [Kč]	52 200	84 000	60 000
	$C_{Vli15}$ - Cena výroby 1 součásti – při koupi stroje [Kč]	73,95	119	85
Uvažovaný zisk 20 %	$Z_{li20}$ - Zisk z 1 součásti [Kč]	17,40	28	20
	$Z_{Si20}$ - Zisk z pož. výrobní série [Kč]	69 600	112 000	80 000
	$C_{Vli20}$ - Cena výroby 1 součásti – při koupi stroje [Kč]	69,60	112	80



K výběru vhodné technologie a posouzení, od jakého ročního objemu výroby se daná technologie již vyplatí, se využijí nákladové funkce. Výběr bude proveden na základě porovnání varianty nákupu s ostatními variantami u jednotlivých výrobních technologií při různých uvažovaných ziscích.

Nejdříve se sestrojí pro každou variantu a jednotlivou výrobní technologii výchozí nákladové funkce:

Obecná nákladová funkce:

$$N_i = FN_j + VN_{ij} \cdot Q_{ij} \quad (4.7)$$

Kde:

- $FN_j$  – fixní náklady j-té výrobní technologie [Kč]  
(minimální roční zisk:  $Z_{MRP}$ ,  $Z_{MRV}$ ,  $Z_{MRL}$ )
- $VN_{ij}$  – variabilní náklady i-té varianty a j-té technologie [Kč]  
(cena součásti při vlastní produkci i-té technologie -  $C_{V1i10}$ ,  $C_{V1i15}$ , -  $C_{V1i20}$ )
- $Q_{ij}$  – vyráběné množství i-té varianty a j-té technologie [ks]

V Tab. 11 jsou uvedeny jednotlivé nákladové funkce (vytvořené pomocí vzorce 4.7) pro jednotlivé varianty u jednotlivých výrobních technologií.

Tab. 11 Nákladové funkce pro jednotlivé metody a jednotlivé varianty řešení

Varianta	Plazma	Voda	Laser
Nákup součásti	$N_{NP} = 0 + 87 \cdot Q_{NP}$	$N_{NV} = 0 + 140 \cdot Q_{NV}$	$N_{NL} = 0 + 100 \cdot Q_{NL}$
Uvažovaný zisk 10 %	$N_{10P} = 41\,000 + 78,30 \cdot Q_{10P}$	$N_{10V} = 24\,600 + 126 \cdot Q_{10V}$	$N_{10L} = 82\,000 + 90 \cdot Q_{10L}$
Uvažovaný zisk 15 %	$N_{15P} = 41\,000 + 73,95 \cdot Q_{15P}$	$N_{15V} = 24\,600 + 119 \cdot Q_{15V}$	$N_{15L} = 82\,000 + 85 \cdot Q_{15L}$
Uvažovaný zisk 20 %	$N_{20P} = 41\,000 + 69,60 \cdot Q_{20P}$	$N_{20V} = 24\,600 + 112 \cdot Q_{20V}$	$N_{20L} = 82\,000 + 80 \cdot Q_{20L}$

Porovnání varianty nákupu s ostatními variantami u jednotlivých výrobních technologií:

Vzorový příklad:

$$\begin{array}{ll}
 N_A = N_B & N_A, N_B \text{ – nákladové funkce A a B} \\
 0 + 100 \cdot Q_A = 10\,000 + 90 \cdot Q_B & Q_A, Q_B \text{ – posuzovaný objem produkce A a B} \\
 Q_{AB} = 10\,000 / (100 - 90) & Q_{AB} \text{ – objem produkce, pro který jsou stejně vysoké} \\
 Q_{AB} = 1\,000 \text{ ks} & \text{náklady na výrobu technologií A a B}
 \end{array}$$

Výsledek se zaokrouhluje na jednotky nahoru a udává počet kusů, od kterého se vyplatí jedna či druhá technologie. Pro výpočet zbylých hodnot se postupuje analogicky.

Nákup x Plazma:

$$\begin{array}{ll}
 N_{NP} = N_{10P} & Q_{NP10P} = 4\,713 \text{ ks} \\
 N_{NP} = N_{15P} & Q_{NP15P} = 3\,142 \text{ ks} \\
 N_{NP} = N_{20P} & Q_{NP20P} = 2\,357 \text{ ks}
 \end{array}$$

Nákup x Voda:

$$N_{NV} = N_{10V} \quad Q_{NV10V} = 1\,758 \text{ ks}$$

$$N_{NV} = N_{15V} \quad Q_{NV15V} = 1\,172 \text{ ks}$$

$$N_{NV} = N_{20V} \quad Q_{NV20V} = 879 \text{ ks}$$

Nákup x Laser:

$$N_{NL} = N_{10L} \quad Q_{NL10L} = 8\,200 \text{ ks}$$

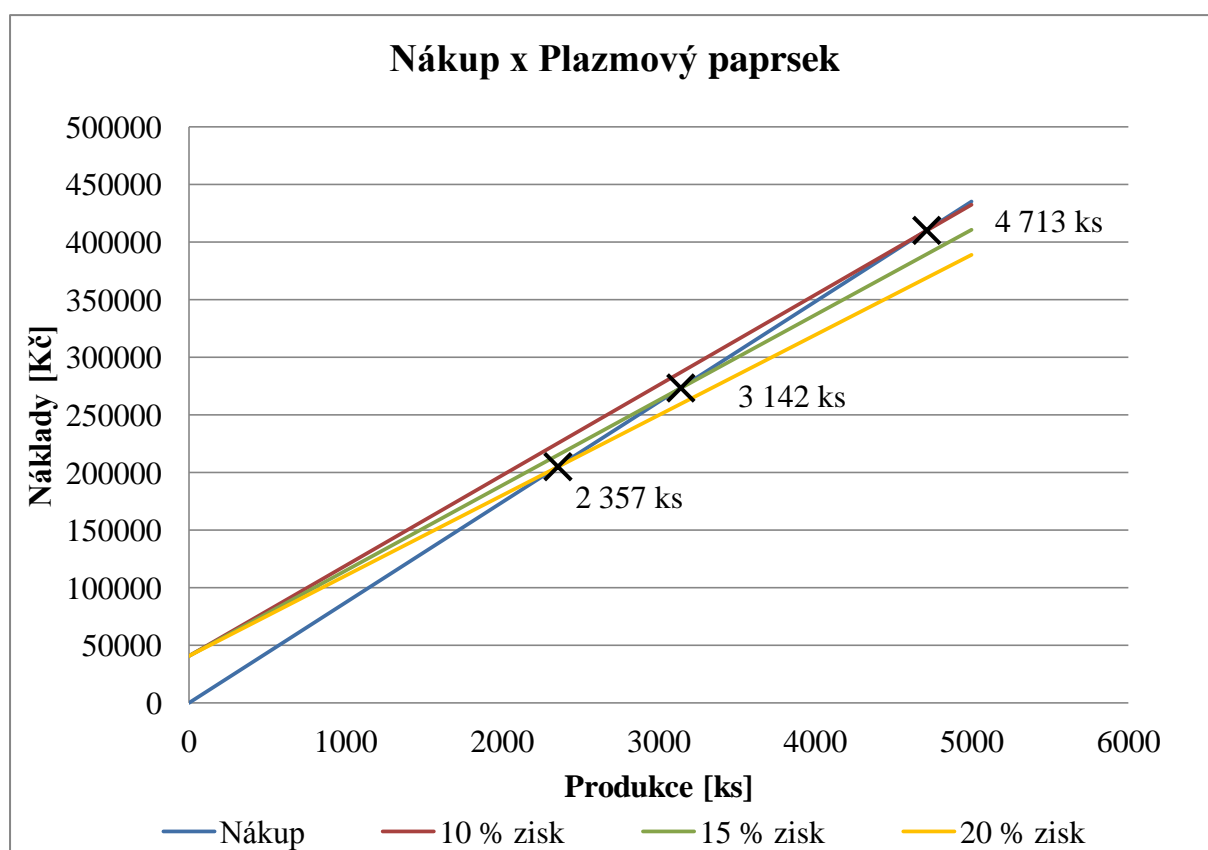
$$N_{NL} = N_{15L} \quad Q_{NL15L} = 5\,467 \text{ ks}$$

$$N_{NL} = N_{20L} \quad Q_{NL20L} = 4\,100 \text{ ks}$$

Výše zmíněné počty kusů znamenají, odkdy se při daném uvažovaném zisku vyplatí jednotlivou výrobní technologii vlastnit oproti nakupování součástí od kooperačních firem.

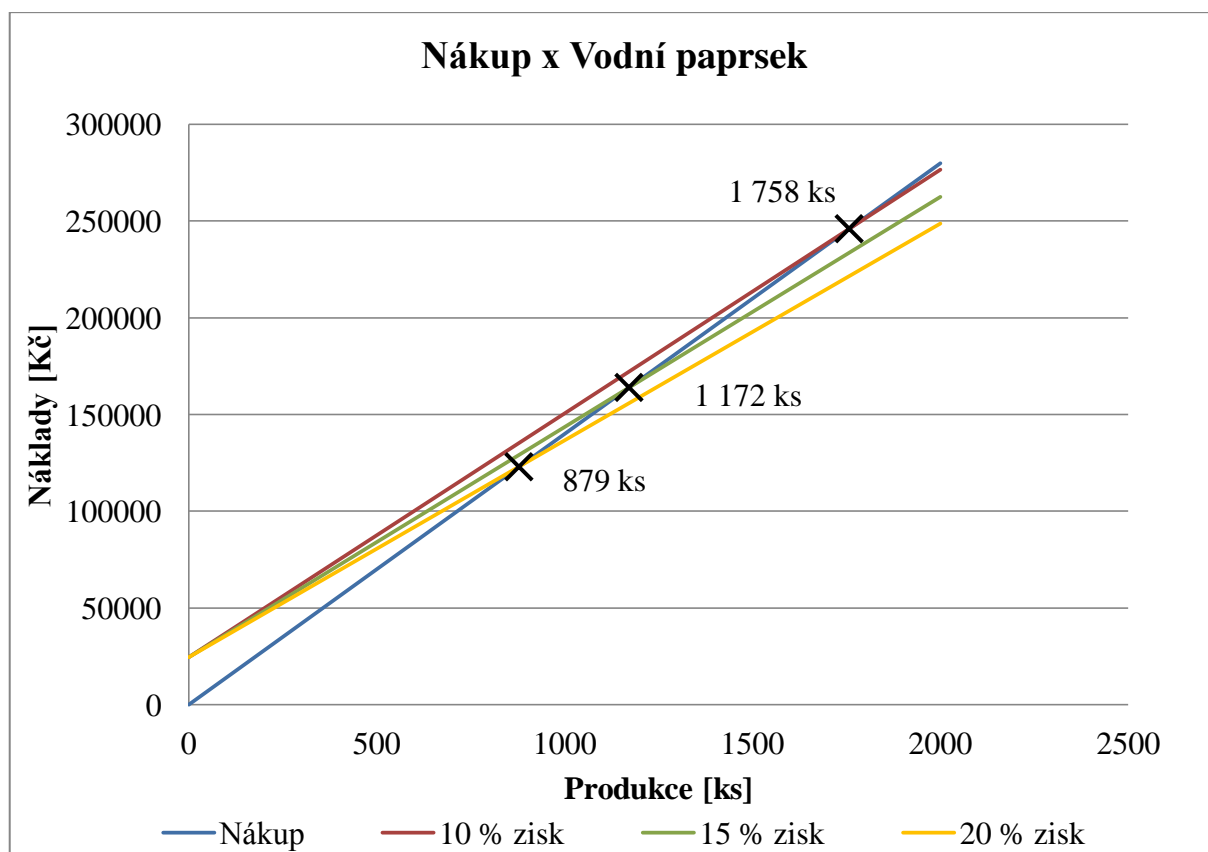
Grafické znázornění průběhů celkových nákladů pro každou technologii zvlášť:

Bude-li se vyrábět zadaná součást "patka sloupku" pomocí plazmového paprsku, tak při zisku 10 % se vyplatí vyrábět součásti na vlastním plazmovém řezacím stroji při produkci 4 713 a více kusů daných součástí za rok oproti nakupování daných součástí od kooperační firmy. Při zisku 15 % by to bylo při produkci 3 142 a více kusů za rok a při zisku 20 % jen při 2 357 a více kusů za rok. V grafu 1 lze vidět znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x plazmový paprsek.



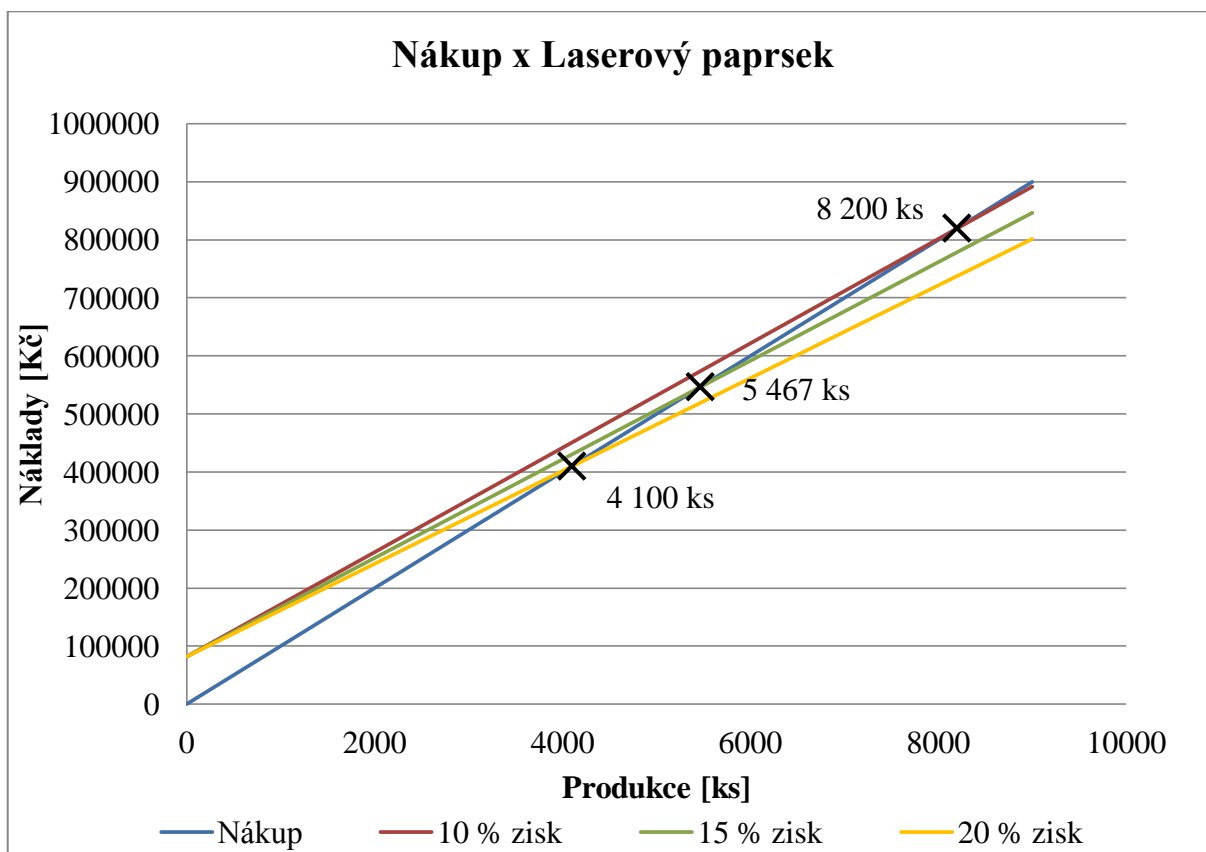
Graf 1 Znáornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x plazmový paprsek

Bude-li se vyrábět zadaná součást “patka sloupku“ pomocí vodního paprsku, tak při zisku 10 % se vyplatí vyrábět součásti na vlastním vodním řezacím stroji při produkci 1 758 kusů a více daných součástí za rok oproti nakupování daných součástí od kooperační firmy. Při 15 % zisku by to bylo při produkci 1 172 a více kusů za rok a při zisku 20 % jen při 879 a více kusů za rok. V grafu 2 lze vidět znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x vodní paprsek.



Graf 2 Znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x vodní paprsek

Bude-li se vyrábět zadaná součást “patka sloupku“ pomocí laserového paprsku, tak při zisku 10 % se vyplatí vyrábět součásti na vlastním laserovém řezacím stroji při produkci 8 200 a více kusů daných součástí za rok oproti nakupování daných součástí od kooperační firmy. Při zisku 15 % by to bylo při produkci 5 467 a více kusů za rok a u zisku 20 % při 4 100 a více kusů za rok. V grafu 3 lze vidět znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x laserový paprsek.



Graf 3 Znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x laserový paprsek

## 4.1 Výsledné ekonomické zhodnocení

Z grafu 1, který je uveden v kapitole 4 Ekonomická rozvaha, vyplývá, že vlastnit na výrobu požadované výrobní série daných součástí "patky sloupku" plazmový řezací stroj se vyplatí pouze v případě, má-li kooperační firma při výrobě této součásti stanovenou cenu s 15 % nebo 20 % zisku. Při 10 % zisku by se vlastní výroba plazmovým paprskem nevyplatila a firma ABA Šumperk by výrobní sérii vyráběla draž, než za kolik ji může nakoupit u kooperační firmy. Dle Tab. 11 by při vlastní výrobě plazmovým paprskem byla firma při uvažovaném 10 % zisku ve ztrátě 5 200 Kč (viz. Tab. 12) oproti nakupování součástí u kooperační firmy. Při uvažovaném 15 % zisku by při vlastní výrobě ušetřila firma 11 200 Kč (viz. Tab. 12) a při uvažovaném 20 % zisku dokonce 28 600 Kč (viz. Tab. 12) oproti nákupu součástí. Ve ztrátě 5 200 Kč i ušetřených penězích 11 200 Kč či 28 600 Kč je již započítán minimální roční zisk, aby se investice na pořízení daného stroje navrátila do dvou let.

Tab. 12 Plazmový paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě

Plazmový paprsek			
	při uvažovaném zisku 10 %	při uvažovaném zisku 15 %	při uvažovaném zisku 20 %
$Z_{Sij}$ - Zisk z požadované výrobní série [Kč] (viz. Tab. 9)	34 800	52 200	69 600
$Z_{MRi}$ - Minimální roční zisk [Kč] (viz Tab. 10)	41 000		
$Z_{Sij} - Z_{MRi}$ [Kč]	- 5 200	+ 11 200	+ 28 600

Z grafu 2, který je uveden v kapitole 4 Ekonomická rozvaha, vyplývá, že vlastnit na výrobu požadované výrobní série daných součástí "patky sloupku" řezací stroj s vodním paprskem se vyplatí u všech případů a nezáleží na tom, zda má kooperační firma při výrobě této součásti stanovenou cenu s 10, 15 či 20 % zisku. Při uvažovaném 10 % zisku by firma ABA Šumperk vlastní výrobou ušetřila 31 400 Kč (viz. Tab. 13) oproti nákupu součástí. Při uvažovaném 15 % zisku by ušetřila 59 400 Kč (viz. Tab. 13) a u uvažovaného 20 % zisku by ušetřila dokonce 87 400 Kč (viz. Tab. 13). I zde u těchto ušetřených peněz byl započítán minimální roční zisk, aby se investice na pořízení daného stroje navrátila do dvou let.

Tab. 13 Vodní paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě

Vodní paprsek			
	při uvažovaném zisku 10 %	při uvažovaném zisku 15 %	při uvažovaném zisku 20 %
$Z_{Sij}$ - Zisk z požadované výrobní série [Kč] (viz. Tab. 9)	56 000	84 000	112 000
$Z_{MRi}$ - Minimální roční zisk [Kč] (viz Tab. 10)	24 600		
$Z_{Sij} - Z_{MRi}$ [Kč]	+ 31 400	+ 59 400	+ 87 400

Z grafu 3, který je uveden v kapitole 4 Ekonomická rozvaha, vyplývá, že vlastnit na výrobu požadované výrobní série daných součástí "patky sloupku" řezací stroj s laserovým paprskem se nevyplatí u žádného z případů, u kterých se uvažuje, že má kooperační firma při výrobě této součásti stanovenou cenu s 10, 15 či 20 % zisku. Při uvažovaném 10 % zisku by firma ABA Šumperk vlastní výrobou byla ve ztrátě 42 000 Kč (viz. Tab. 14) oproti nákupu součástí. Při uvažovaném 15 % zisku by byla ve ztrátě 22 000 Kč (viz. Tab. 14) a u uvažovaného 20 % zisku by byla ve ztrátě pouze 2 000 Kč (viz. Tab. 14). Také u těchto ztrát byl započítán minimální roční zisk, aby se investice na pořízení daného stroje navrátila do dvou let.

Tab. 14 Vodní paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě

Laserový paprsek			
	při uvažovaném zisku 10 %	při uvažovaném zisku 15 %	při uvažovaném zisku 20 %
$Z_{Sij}$ - Zisk z požadované výrobní série [Kč] (viz. Tab. 9)	40 000	60 000	80 000
$Z_{MRi}$ - Minimální roční zisk [Kč] (viz Tab. 10)	82 000		
$Z_{Sij} - Z_{MRi}$ [Kč]	- 42 000	- 22 000	- 2000

Z ekonomického hlediska tedy vyplývá, že na vlastní výrobu posuzované součásti při požadované výrobní sérii se vyplatí při všech uvažovaných ziscích vlastní stroj na řezání pomocí vodního paprsku, který by firmě ABA Šumperk ušetřil desetitisíce korun. Stroj na řezání plazmovým paprskem by se vyplatil až u uvažovaných zisků 15 a 20 %. Oproti tomu stroj na řezání laserovým paprskem by se nevyplatil u žádných z uvažovaných zisků a firma ABA Šumperk by byla ve ztrátě.

## 5 VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ

Nejvýhodnější technologií pro výrobu posuzované součásti “patka sloupku“ dle technologického hlediska by pro firmu ABA Šumperk byla technologie laserového paprsku, kterou se dosahuje požadovaných kvalit za velmi krátkou dobu. Z hlediska požadované návratnosti do dvou let by byla koupě tohoto stroje nepřijatelná, protože při všech uvažovaných variantách (ziscích) by byla firma ABA Šumperk ve ztrátě.

Z ekonomického hlediska by byla nejvýhodnější technologií ke koupi stroje a následné výrobě posuzované součásti řezání pomocí vodního paprsku, která generuje zisk u všech uvažovaných variant (zisků). Vhodnost z technologického hlediska není příznivá z důvodu vzniku koroze, kterým by se muselo předcházet ošetřením součásti speciálními spreji či oleji ihned po vyřezání, popř. by se musely součásti pískovat. Dále by mohlo dojít k časovému skluzu výroby celé výrobní produkce firmy ABA Šumperk z důvodu velmi pomalého řezání vodním paprskem.

Koupě řezacího plazmového stroje by byla z ekonomického hlediska vhodná pouze pro varianty, kdy se uvažují 15 a 20 % zisky. Při uvažovaném 10 % zisku by byla tato koupě a následná výroba ztrátová, kdyby se měla dodržet doba návratnosti investice do stroje. Také z technologického hlediska není řezání plazmovým paprskem pro zadanou součást vhodná. A to z důvodu nekvalitních řezů a vznikajících okujů, které je nutné po vyřezání odstranit dokončovací operací – broušením.

V současné době se firmě ABA Šumperk nevyplatí kupovat žádný řezací stroj zmíněných technologií. Do budoucna by se však mohlo uvažovat o koupi laserového řezacího stroje, ale bylo by nutné, aby se vytvářel větší objem produkce, který by zajistil návratnost investice koupě stroje do požadovaných dvou let.

## 6 ZÁVĚR

Záměrem diplomové práce bylo navrhnout vhodné technologie výroby pro součást “patka sloupku“, kterou si firma ABA Šumperk nechává vyrábět v kooperaci se spolupracující firmou. Na součást nejsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu a geometrickou přesnost. Součást je vyráběna z ocelových plechových tabulí dle normy ČSN 41 1375 a roční výrobní série činí 4 000 kusů. Hotová součást má rozměry 210 mm x 210 mm a tloušťku 6 mm. Slouží k uchycení filtrační jednotky k zemi. Navrženými technologiemi bylo řezání plazmovým paprskem, řezání vodním paprskem a řezání laserovým paprskem. V první části této práce je uveden popis jednotlivých metod včetně principů, uplatnění strojů, nástrojů a příkladů vyráběných dílců.

K posouzení a k výběru vhodné technologie výroby byla součást vyrobena jednotlivými technologiemi prostřednictvím firem spolupracujících s firmou ABA Šumperk. Z technologického hlediska se jako nejvhodnější jeví řezání pomocí laserového paprsku, které provede řez dostačující kvality za velmi krátkou dobu bez nutnosti zařazení dalších dokončovacích operací nad rámec zkosení hran. Technologie řezání pomocí vodního paprsku je pro zadanou součást nevhodná z důvodu vzniku koroze na celé součásti. U této technologie by muselo být proto ihned po vyřezání zařazeno ošetření součásti speciálním sprejem či olejem, popř. by musela být zařazena dokončovací operace – pískování, aby se vzniklá koroze odstranila. Nejméně vhodnou technologií pro výrobu posuzované součásti “patky sloupku“ je řezání pomocí plazmového paprsku, protože dochází ke vzniku nekvalitních řezů a velkých otřepů, které je nutno odstranit broušením. Z ekonomického hlediska je nejvhodnější nákup řezacího stroje pomocí vodního paprsku. Tato technologie by při požadované dvouleté návratnosti investice do nového stroje generovala při všech uvažovaných variantách (zisků) zisk v řádech desetitisíců korun za rok. Při koupi plazmového řezacího stroje by se firma ABA Šumperk musela pohybovat s náklady na výrobu o 15 či 20 % nižšími, než je prodejní cena součásti u dodavatelské firmy, aby investice do stroje nebyla ztrátová. Nejméně vhodnou technologií k nákupu stroje a následné výrobě je z ekonomického hlediska řezání pomocí laserového paprsku. Tato technologie by se při všech uvažovaných variantách (zisků) pohybovala ve ztrátě.

Z kapitoly 5 Výsledné zhodnocení vyplývá, že pro firmu ABA Šumperk je nejvhodnější zůstat u současného nákupu součástí v kooperaci se spolupracující firmou, protože žádná varianta koupě stroje jednotlivých technologií není vhodná. Avšak v budoucnu by se dalo uvažovat o investici do laserového řezacího stroje, kdyby se navýšil objem vyráběné produkce.



## Seznam použitých zdrojů

1. A Comparison of Laser Cutting vs. Water Jet Cutting. *LERABLOG* [online]. 6.5.2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://lerablog.org/business/industry/a-comparison-of-laser-cutting-vs-water-jet-cutting>
2. *ABA Šumperk, společnost s ručením omezeným* [online]. © 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.abasumperk.cz>
3. Basic Plasma Theory. *Hypertherm* [online]. © 2000 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.metalwebnews.com/howto/plasma/theory.pdf>
4. BOUDA, Luděk. Řezání vodním paprskem. *MM spektrum* [online]. 09.07.2008 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html>
5. BŘICHNÁČ, Pavel. Plazmové technologie. *Aldebaran bulletin* [online]. 17.05.2004 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004\\_20\\_plt.html](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html)
6. CM-P1325/1530/2030 cnc plasma cutting steel machine for metal. *Alibaba* [online]. © 1999-2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.alibaba.com/product-detail/CM-P1325-1530-2030-cnc-plasma\\_336170262.html](http://www.alibaba.com/product-detail/CM-P1325-1530-2030-cnc-plasma_336170262.html)
7. CNC stoly. *Rychlý TOM s.r.o.: technologie vodního paprsku* [online]. © 2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/cs/cnc-stoly/stroje-pro-rezani-vodnim-paprskem/cnc-stoly>
8. Custom Laser Cutting Services. *Mag-Knight* [online]. © 2011 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.mag-knight.com/diecutting/laser\\_cutting.htm](http://www.mag-knight.com/diecutting/laser_cutting.htm)
9. Cutting tables with built-in fume extraction system and air-cleaning equipment SR-V-O. *JSC Zont* [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://http://www.zont.com.ua/eng/production/dop\\_oborud/stol](http://http://www.zont.com.ua/eng/production/dop_oborud/stol)
10. Časový přehled. *Centrum laserových a automatizačních technologií* [online]. © 2005 – 2012 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://laser.zcu.cz/wiki/casovy-prehled>
11. Demineralizovaná voda. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 18.4.2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Demineralizovaná\\_voda](http://cs.wikipedia.org/wiki/Demineralizovaná_voda)
12. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
13. FICKENSCHER, Stefan. Breakthroughs in Laser Cutting. *Fabricating and Metalworking* [online]. 6.1.2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2014/01/breakthroughs-in-laser-cutting>

14. FINDA a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 17.5.2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
15. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
16. HEINRICH, Michal. Plazmové řezání. *Svět svaru* [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/PlasmŘezání\\_2006.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/PlasmŘezání_2006.pdf)
17. HERALECKÝ, Tomáš. Metody, které se používají ke stanovení nákladové funkce [přednáška]. Brno: V ysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2014 [cit. 2014-03-31].
18. Hy-definition plasma cutting. *Source metals* [online]. © 2001-2007 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.sourcemetals.com/web-content/hy-def-plasma.html>
19. Industrial plasma cutting machine RJ1325. *Alibaba* [online]. © 1999-2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://jnrujie.en.alibaba.com/product/339468774-210028637/Industrial\\_plasma\\_cutting\\_machine\\_RJ1325.html](http://jnrujie.en.alibaba.com/product/339468774-210028637/Industrial_plasma_cutting_machine_RJ1325.html)
20. Jakosti ocelí: Nejpoužívanější jakosti ocelí dle ČSN, další značení, popis použití. *Feromat: hutní a spojovací materiál* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
21. JANATA, Marek. Technické plyny pro řezání plazmou: Co je to plazma?. *Svět svaru* [online]. Praha, 2007 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/TP\\_plasma\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/TP_plasma_2007.pdf)
22. *Kleencut technologies* [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.kleencuttechnologies.com>
23. KUBIČEK, Jaroslav. *Technologie II - část svařování: Speciální metody tavného svařování, tlakové svařování*. Brno, 2006. 69 s. Syllabus přednášek. Vysoké učení technické v Brně.
24. KUSALA, Jaroslav. JAK FUNGUJE LASER: Typy laserů. *Lasery kolem nás* [online]. 2004 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
25. *L.G.M. Engineering: shaping the future* [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.lgmengineering.co.uk/materials-list.html>
26. LANGR, Aleš. *Nekonvenční technologie výroby rovinných součástí z plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 36 s., 4 přílohy, CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

27. Laser cutting. *Hanzhou Showland Technology Co., Ltd* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.showlandmetal.com/product\\_index.php?pid=20797&products=Laser%20cutting](http://www.showlandmetal.com/product_index.php?pid=20797&products=Laser%20cutting)
28. Laserové a plazmové řezání. *Vysoká škola báňská* [online]. 2009 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
29. Last advances in the cut of stainless steel with technology reflect. *Interempresas: Sheet metal forming* [online]. 5.6.2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.interempresas.net/Metal-forming/Articles/110183-Last-advances-in-cut-stainless-steel-technology-reflect.html>
30. LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Čtvrté doplněné vydání. Úvaly: Albra, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
31. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření: stříhání. *Katedra strojírenské technologie: Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [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)
32. LIDMILA, Zdenek. *Teorie a technologie tváření I*. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
33. LUKÁŠEK, Jaromír. Laserové dělení materiálu. *Svařování v České republice* [online]. 10.5.2007 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
34. Metal. *Flow* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/en/waterjet-cutting/applications/metal.aspx>
35. MORAVEC, Ján. *Nekonvenčné technológie tvárnenia kovov*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2003, 144 s. ISBN 80-8070-094-X.
36. NEW M3 PLASMA RETROFIT PACKAGES PROVIDE CUTTING & MARKING SOLUTIONS FOR EXISTING CUTTING MACHINES. *ESAB: Welding & Cutting* [online]. 21.10.2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.esab.co.uk/gb/en/news/NEW-M3-PLASMA-RETROFIT-PACKAGES-PROVIDE-CUTTING-AND-MARKING-SOLUTIONS-FOR-EXISTING-CUTTING-MACHINES.cfm>
37. Nový RUR. *Pierce Control Automation* [online]. © 2007 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.pierce.cz/produkce/rezaci-stroje-s-prislušenstvim/rur.htm>
38. O FIRMĚ. *Rychlý TOM s.r.o.: technologie vodního paprsku* [online]. © 2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.rychllytom.cz/cs/o-firme/o-firme/o-firme>
39. O společnosti. *Pierce Control Automation* [online]. © 2007 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.pierce.cz/o-spolecnosti.htm>

40. Omnijet III Waterjet Cutting Head. *Jet Edge: Waterjet Systems* [online]. 3.8.2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_products\\_detail&product\\_ID=83](http://jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_products_detail&product_ID=83)
41. OPRAVY A REVIZE TLAKOVÝCH NÁDOB. *AGRO SERVIS CZ, spol. s r.o.* [online]. © 2002-2014 cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.plyny.com/cz/tlakove-nadoby>
42. *Peifer Waterjet Cutting & Peifer Welding, Inc.* [online]. © 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.peiferwelding.com/index.html>
43. Permalign II-B Abrasive Waterjet Cutting Head. *Jet Edge: Waterjet Systems* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_products\\_detail&product\\_ID=77](http://jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_products_detail&product_ID=77)
44. Plasma Cutting Machines feature steamlined machine motion. *Thomasnet: News* [online]. 3.8.2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://http://news.thomasnet.com/fullstory/Plasma-Cutting-Machines-feature-steamlined-machine-motion-619951>
45. Plasma cutting. *Well Tehnoloogia* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.welltehnoloogia.ee/?p=187>
46. Plazma přednosti a nevýhody. *PLAZMA CZ* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
47. RYBA, Bc. Jakub. Seriál na téma lasery: Hlavní typy laserů používaných v průmyslu. *Lao: Lasery a optika* [online]. 19.2.2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
48. RYBA, Bc. Jakub. Seriál na téma lasery: Laserové řezání (laser cutting). *Lao: Lasery a optika* [online]. 19.2.2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
49. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění - 4. díl: 5 Obrábění paprskem fotonů - laserem. *MM spektrum* [online]. 19.3.2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvecni-metody-obrabeni-4-dil.html>
50. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění - 5. díl: 5.5.1 Svařování laserem. *MM spektrum* [online]. 12.05.2008 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvecni-metody-obrabeni-5-dil.html>
51. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění - 8. díl: 8 Obrábění paprskem iontů - plazmatem. *MM spektrum* [online]. 08.10.2008 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvecni-metody-obrabeni-8-dil.html>

52. Řezání vodním paprskem. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 12.4.2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Řezání\\_vodním\\_paprskem](http://cs.wikipedia.org/wiki/Řezání_vodním_paprskem)
53. SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.
54. Společnost Bystronic. *Bystronic* [online]. 10.10.2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.bystronic.cz/cs/spolecnost/about\\_Bystronic-Group.php](http://www.bystronic.cz/cs/spolecnost/about_Bystronic-Group.php)
55. SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.
56. Systém pro řezání laserem Bystar. *Bystronic* [online]. 10.10.2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: [http://www.bystronic.cz/cs/produkty/Systemy\\_Rezani\\_Laserem/Bystar.php](http://www.bystronic.cz/cs/produkty/Systemy_Rezani_Laserem/Bystar.php)
57. ŠMÍD, Jiří. Lasery pro průmysl. *MM spektrum* [online]. 9.7.2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-pro-prumysl.html>
58. Technologie řezání vodním paprskem. *KovoJuza* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.kovojuza.cz/vodni-paprsek.html>
59. Technologie Vodního Paprsku: Proč stroj pro řezání vodním paprskem. *Flow* [online]. © 2011 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology/why-waterjet.aspx>
60. Technologie Vodního Paprsku: Řezání abrazivním vodním paprskem. *Flow* [online]. © 2011 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology/abrasive-waterjet.aspx>
61. Technologie Vodního Paprsku: Řezání čistým vodním paprskem. *Flow* [online]. © 2011 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology/pure-waterjet.aspx>
62. Technologie: Co je to vysokotlaký vodní paprsek?. *CHPS s.r.o.* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/technologie>
63. THOMPSON, Brett. Cost Analysis in Laser Cutting. *Fabricating and Metalworking* [online]. 20.3.2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/03/cost-analysis-in-laser-cutting>
64. TruLaser 7025 / 7040. *TRUMPF Česká republika* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/rezani-2d-laserem/laserova-rezaci-zarizeni/trulaser-7025-7040.html>
65. TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
66. Water Jet Cutting The Future Is Here. *Water cutting machine* [online]. 13.9.2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://waterjet-cutting.blogspot.cz/2010/09/water-jet-cutting-future-is-hear.html>

67. Waterjet cutting and laser engraving. *Advanced Waterjet & Engraving* [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.advancedwj.com>
68. Waterjet Cutting: Need Precision Cutting?. *ISF SIGN SPECIALIST* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.isfsigns.com/another-service/>
69. You can plasma cut it, but can you weld it?: Plasma cutting with the right gas and torch setup makes life easier for the welder. *FMA: A publication of the Fabricators & Manufactures Association, Intl.* [online]. 10.3.2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/you-can-plasma-cut-it-but-can-you-weld-it/>
70. ZIERMANN, Stephan. High Speed Cutting Process Optimization: How to Cut Even Faster. *Fabricating and Metalworking* [online]. 1.10.2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2012/11/high-speed-cutting-process-optimization-how-to-cut-even-faster>

## Seznam použitých symbolů a zkratk

### ZKRATKY

2D	dvoudimenzionální (dvourozměrný)
3D	trojdimenzionální (trojrozměrný)
CAD	Computer-Aided Design (počítačem podporované projektování)
CAM	Computer-Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
CNC	Computer Numeric Control (číslicové řízení počítačem)
HD plazma	High Definition plazma (plazma s vysokou koncentrací paprsku)
HF	high-frequency (vysokofrekvenční)
TIG	Tungsten Inert Gas (svařování wolframovou elektrodou)
TOO	tepelně ovlivněná oblast
UV	ultraviolet (ultrafialové)
YAG	yttrito-hlinitý granát

### SYMBOLY

$C_{Ni}$	cena nákupu 1 součásti i-té technologie	[Kč]
$C_{Ni}$	cena nákupu celé výrobní série i-té technologie	[Kč]
$C_{Vlij}$	cena 1 součásti i-té technologie a j-tém uvažovaném zisku při koupi stroje	[Kč]
$FN_j$	fixní náklady j-té výrobní technologie	[Kč]
$I_{Pi}$	investice na pořízení stroje vztažená na produkci součásti i-té technologie	[Kč]
$NI$	požadovaná doba návratnosti investic	[rok]
$N_{ji}$	nákladová funkce i-té technologie a j-tém uvažovaném zisku	[-]
$PC_{Si}$	orientační pořizovací cena výrobního stroje i-té technologie	[Kč]
$P_{SP}$	podíl součásti vzhledem k celé nakupované laserové produkci	[%]
$Q_{ij}$	vyroběné množství i-té varianty a j-té technologie	[ks]
$Q_P$	požadovaná výrobní série	[ks]
$VN_{ij}$	variabilní náklady i-té varianty a j-té technologie	[Kč]
$Z_{lij}$	zisk z 1 výpalku při i-té technologii a j-tém uvažovaném zisku	[Kč]
$Z_j$	uvažovaný zisk	[%]
$Z_{MRi}$	minimální roční zisk i-té technologie	[Kč]
$Z_{Sij}$	zisk z celé vyr. série součásti i-té technologie a j-tém uvažovaném zisku	[Kč]

## Seznam použitých obrázků

- Obr. 1 Laserový řezací stroj od firmy TRUMPF
- Obr. 2 Součást "patka sloupku"
- Obr. 3 Filtrační jednotka firmy NEDERMAN
- Obr. 4 Firma ABA Šumperk
- Obr. 5 Svařenec pro firmu SAMSON AGRO A/S
- Obr. 6 Nekonenční technologie výroby rovinných dílců z plechu plazmový paprsek / vodní paprsek / laserový paprsek
- Obr. 7 Technologie řezání plazmovým paprskem
- Obr. 8 Princip řezání plazmou
- Obr. 9 Tlakové nádoby
- Obr. 10 Princip plazmy stabilizované vodní párou
- Obr. 11 Princip HD plazmy
- Obr. 12 Logo firmy Pierce Control Automation
- Obr. 13 RUR řezací stroj 2500
- Obr. 14 Řezání plazmou ve vodní lázni
- Obr. 15 Součásti/dílce vyrobené řezáním plazmovým paprskem
- Obr. 16 Technologie řezání plazmovým paprskem
- Obr. 17 Řezací hlava a princip řezání čistým vodním paprskem
- Obr. 18 Řezací hlava a princip řezání abrazivním vodním paprskem
- Obr. 19 Logo firmy Rychlý TOM s.r.o.
- Obr. 20 CNC řezací stůl řady Blue line
- Obr. 21 3D řezání
- Obr. 22 Řezání pomocí více hlav naráz
- Obr. 23 Součásti/dílce vyrobené řezáním vodním paprskem
- Obr. 24 Princip řezání laserem
- Obr. 25 Technologie řezání laserovým paprskem
- Obr. 26 Konstrukce CO<sub>2</sub> laseru
- Obr. 27 Konstrukce Nd:YAG laseru
- Obr. 28 Konstrukce diodového laseru
- Obr. 29 Logo firmy Bystronic
- Obr. 30 Laserové zařízení Bystar
- Obr. 31 Řezání 3D laserem
- Obr. 32 Součásti/dílce vyrobené řezáním laserovým paprskem
- Obr. 33 Součásti/dílce z různých materiálů vyrobené řezáním laserovým paprskem
- Obr. 34 Posuzovaná součást "patka sloupku" – plazmový paprsek
- Obr. 35 Detaily posuzované součásti "patka sloupku" – plazmový paprsek
- Obr. 36 Vlnkový povrch řezu – plazmový paprsek
- Obr. 37 Posuzovaná součást "patka sloupku" – vodní paprsek
- Obr. 38 Detaily posuzované součásti "patka sloupku" – vodní paprsek
- Obr. 39 Posuzovaná součást "patka sloupku" – laserový paprsek
- Obr. 40 Detaily posuzované součásti "patka sloupku" – laserový paprsek
- Obr. 41 Povrchy řezů jednotlivých výrobních technologií



## **Seznam použitých tabulek**

- Tab. 1 Plyny - fyzikální vlastnosti
- Tab. 2 Plazmové plyny dle materiálu
- Tab. 3 Jednotlivé typy plazmových řezacích zařízení a jejich porovnání
- Tab. 4 Technické parametry stroje RUR
- Tab. 5 Základní parametry CNC řezacích stolů řady Blue line
- Tab. 6 Základní technické hodnoty CNC řezacího stolu Bystar 3015
- Tab. 7 Porovnání a pořadí jednotlivých výrobních technologií
- Tab. 8 Ceny výpalků, výrobních sérií a pořizovací ceny strojů
- Tab. 9 Ceny investic vztahených na produkci součásti a minimální roční zisky
- Tab. 10 Zisky z jedné součásti a z pož. výrobní série, ceny výroby 1 součásti při koupi stroje
- Tab. 11 Nákladové funkce pro jednotlivé metody a jednotlivé varianty řešení
- Tab. 12 Plazmový paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě
- Tab. 13 Vodní paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě
- Tab. 14 Vodní paprsek – roční zisky/ztráty při vlastní výrobě

## **Seznam použitých grafů**

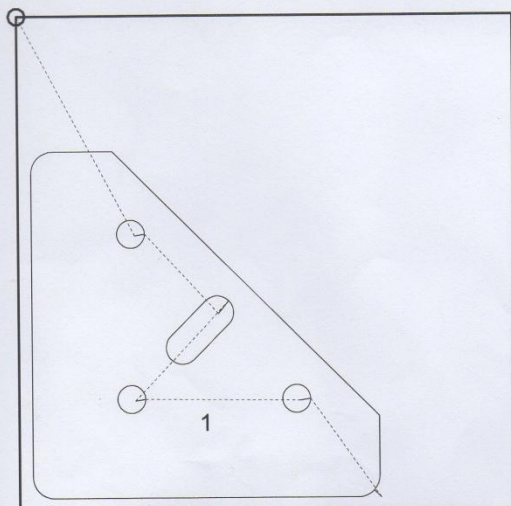
- Graf 1 Znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x plazmový paprsek
- Graf 2 Znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x vodní paprsek
- Graf 3 Znázornění průběhu celkových nákladů u porovnání nákup x laserový paprsek

## **Seznam příloh**

- Příloha 1      Report střížného procesu pomocí plazmového paprsku
- Příloha 2      Report střížného procesu pomocí laserového paprsku – přední část
- Příloha 3      Report střížného procesu pomocí laserového paprsku – zadní část

Příloha 1 Report střížného procesu pomocí plazmového paprsku

RP6MM



$$cena = 87,- / ks$$

SOTRADE\_ZKOUSKA\RP6MM M1:3.4 S235 300x300x6mm 1[ks]

Plán: SOTRADE\_ZKOUSKA\RP6MM

Datum: 30.1.2014 (30.1.2014)

**Rozměry plechu:** 300x300x6 mm  
**Kraj plechu :** 8 mm  
**Jakost plechu:** S235  
**Dávky / Na stole:** 1/1 [ks]  
**Využití plechu:** 32.8 %  
**Řezání 1 řezákem:** 1.046 m  
**Přejezdy.:** 0.467 m  
**Čistý obvod:** 1.012 m  
**Rychlost řezání:** 1.6 m/min

**Měřitko:** 1 : 3.4  
**Min.mezera :** 6 mm  
**Stroj:** PLASMA  
**Číslo plechu/ID/atest:** / 0 /  
**Počet progr.stopů:** 0 x  
**Propaly 1 hoř.:** 5 [ks]  
**Různé položky:** 1 [ks]  
**Čelkem kusů (v 1 dávce):** 1 [ks]  
**Šířka řez.spáry:** 2 mm

Výkres / Soubor (Složka)	X mm	Y mm	Poč ks/D	Řez m	Obvod m/1	Ploch m2/1	Hmot kg/1	SpHmo kg/1
1. 2003652	210	210	1	1.046	1.012	0.029	1.415	4.32

**NASTAVENÍ HOŘÁKŮ (0;300 mm)**

TECHNOLOG.ČASY /	hod	min	sek	HMOTNOSTI / 1	kg	Soubor
Čas řezání	0	0	39	Celá tabule	4.32	
Čas rychloposuvu	0	0	5	Výpalky	1.42	
Celkové časy propalu	0	0	19	Šrot	2.8	
Čas čištění trysek	0	0	0	Odtav.kov	0.1	
Čas výměny tabule	0	0	0	Zbytek	0	
CELKOVÝ ČAS	0	1	3	Spotřeba materiálu	4.32	

Plasma: plyn = technický vzduch  
 kyslík  
 dusík

Příloha 2 Report střížného procesu pomocí laserového paprsku – přední část

### ByWork job list

#### Job data

Job code	Material	Machine parameters	Sheet weight	Cutting time	Waste	Number of
	11375	6_7.5_O2.PAR	216.00 kg	0.46min	99.3 %	1

**Technologies used**  
Cutting, Correction normal, Pulsed piercing

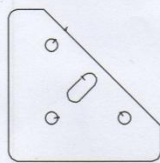
#### Material data

Code	Designation	Thickness	Dimension	Used
3000 x 1500 mm	User-defined raw material	6.00mm	3000 x1500 mm	1 / 1

#### Plan data

Plan No.	File name	Plan dimension	Cycles	Cutting time	Waste	Number of
1	6m01	220x 220mm	1	0.46min	99.34%	1

#### Flat part data



**Code**  
2003652

**Weight**  
1.415kg

**Dimension**  
210/ 210mm

**Designation**  
2003652

**Area**  
29483mm<sup>2</sup>

**Debit/Quant**  
1/ 1

**Order no.**

**Cutting time**  
0.46min

**Used technologies**  
Cutting, Correction normal,  
Pulsed piercing

Info 1  
---

Info 2  
---

Info 3  
---

Laser: plxn = kyslice

Cena = 100,- /ks

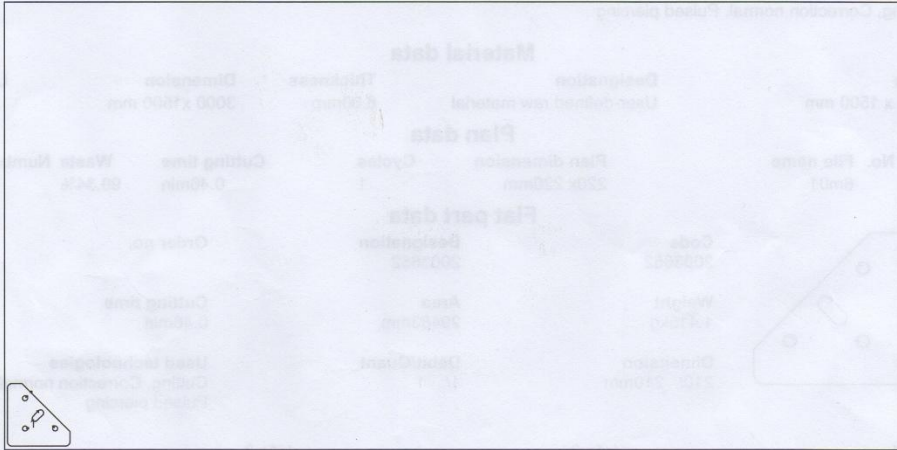
Příloha 3 Report střížného procesu pomocí laserového paprsku – zadní část

### ByWork job list

#### Plan data

File name	Plan dimension	Sheet dimension	Cycles	Cutting time	Waste	Number of
6m01	220x 220mm	3000x 1500mm	1	0.46min	99.34%	1

Technologies used: Cutting, Correction normal, Pulsed piercing



#### Flat part data

Part No.	Code	Dimension	Number	Cutting time	Weight
1	2003652	210x 210mm	1	0.46min	1.42kg

*Handwritten notes in pencil:*  
L-200V-63V = 2x2x2  
CROSS = 100V/2