

Návrh CNC laseru pro dělení a gravírování materiálů

Pavel Minařík

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Minařík**
Osobní číslo: **T13094**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh CNC laseru pro dělení a gravírování materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Navrhněte vhodné technické řešení dělení a gravírování za pomoci laseru CNC řízeného
3. Vymodelujte jednotlivé prvky stroje a proveďte konstrukci celé sestavy stroje



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 21. dubna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Mínařík Pavel

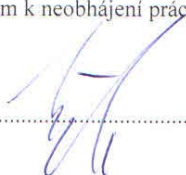
Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.05.2016



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá originálním návrhem konstrukce CNC laseru. V rámci teoretické části jsou objasněny základní principy a parametry v praxi nejpoužívanějších typů laserových strojů řízených počítačem a možnosti jejich použití. Praktická část je zaměřena na vlastní postup konstruování a volbu nejvhodnějších komponent pro sestavení originálního CNC laseru. Je zde podrobně a graficky rozveden návrh nejdůležitějších částí stroje, které jsou následně spojeny do jednoho funkčního celku.

Klíčová slova: CO₂ laser, CNC, konstrukce, části, sestava

ABSTRACT

This bachelor thesis deal with original concept design of CNC laser. Within theoretical part are explained the basic principles and parameters, in practice, related with most commonly used laser machines, controlled with computer and their use. The practical part is focused on of designing and choosing the most suitable components to build original CNC laser. There is a detailed and elaborated draft the most important parts, which are connected into one functional unit.

Keywords: CO₂ laser, CNC, design, parts, assembly

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, cenné rady, ale také za ochotu a podnětné poznámky a připomínky k mé bakalářské práci.

Motto: *„Nic na světě není tak těžké, rozdělíte-li si to na malé práce.“*

Henry Ford

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 PRINCIP LASERU	12
1.1 FYZIKÁLNÍ PRINCIP.....	12
1.2 VLASTNOSTI LASEROVÉHO PAPRSKU.....	13
2 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ LASERU.....	15
2.1 DĚLENÍ LASEREM	15
2.1.1 Dělení kovových materiálů	15
2.1.2 Dělení neželezných kovů	16
2.1.3 Dělení nekovových materiálů	17
2.2 GRAVÍROVÁNÍ LASEREM	17
2.3 PŘÍDAVNÉ PLYNY	18
3 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES ŘEZÁNÍ LASEREM.....	19
3.1 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	19
3.2 VLASTNOSTI PAPRSKU.....	20
4 OPTICKÁ SOUSTAVA.....	21
4.1 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VOLBU TYPU ČOČKY.....	21
4.2 VELIKOST ZAOSTŘENÍ BODU.....	22
4.3 VZDÁLENOST MEZI VÝSTUPNÍ ČOČKOU A OBRÁBĚNÝM MATERIÁLEM.....	23
4.4 HLOUBKA ŘEZU.....	23
4.5 PŘÍKLADY VÝPOČTŮ RŮZNÝCH TYPŮ ČOČEK	23
4.6 POUŽÍVANÉ DRUHY ZRCADEL A ČOČEK	25
5 ROZDĚLENÍ LASEROVÝCH STROJŮ	26
5.1 PODLE SKUPENSTVÍ AKTIVNÍ LÁTKY:	26
5.2 PODLE VÝKONU:.....	26
5.3 PODLE VZÁJEMNÉHO POHYBU OBROBKU A OBRÁBĚCÍHO PAPRSKU:	26
6 CO₂ LASER	28
6.1 FYZIKÁLNÍ PRINCIP.....	28
6.2 ZÁKLADNÍ SOUČÁSTI ZDROJE LASEROVÉHO PAPRSKU	28
6.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	29
6.4 VÝHODY A NEVÝHODY	31
7 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	32
7.1 VÝZNAM	32
7.2 PRINCIP	33
7.3 CNC LASERY	34
8 KONSTRUKCE STROJŮ A ZAŘÍZENÍ.....	35
8.1 OBECNÉ ZÁSADY:.....	35
9 SHRUTÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
10 PRŮZKUM TRHU.....	38

11	POŽADAVKY NA OBRÁBĚCÍ STROJ	39
11.1	ZVOLENÉ POŽADAVKY NA CNC LASER	39
12	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	40
12.1	PRACOVNÍ OSY	41
12.1.1	Podélná osa X	41
12.1.2	Příčná osa Y	43
12.1.3	Vertikální osa Z	44
12.1.4	Přídavná rotační osa B	45
12.1.5	Optická soustava	46
12.1.6	Hlava laseru.....	48
12.1.7	Stůl	52
12.1.8	Rám	54
12.1.9	Opláštění	56
12.1.10	Pracovní stůl.....	58
12.1.11	Odsávání.....	61
12.1.12	Zdroj stlačeného vzduchu	62
12.1.13	Podpurný plyn	63
12.1.14	Chlazení.....	64
12.1.15	Řídící jednotka	66
12.1.16	Software	67
12.1.17	Motory pro pohon pracovních os	67
12.1.18	Ovladače pro pohonné motory	68
12.1.19	Zdroj světelného paprsku	69
12.1.20	Zdroj energie	70
12.1.21	Řídící skříň.....	71
12.1.22	Ovládací panel.....	73
13	SROVNÁNÍ PARAMETRŮ.....	76
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

ÚVOD

S rozvojem výpočetní techniky se do popřední průmyslové výroby dostávají CNC řízené stroje. Mezi hlavní výhody počítačem řízených strojů se řadí rapidní nárůst efektivity výrobních procesů, odstranění chyb lidského faktoru, ale hlavně dosažení nového rozměru našich možností.

Tato práce je zaměřena na nekonvenční metodu technologických operací, konkrétně na obrábění pomocí laserového paprsku. Hlavní výhodou využití laserového paprsku jakožto nástroje je, že styk mezi obrobkem a nástrojem je bezkontaktní, tudíž nedochází ke vzniku žádných reakčních sil. Mezi další výhody patří tvorba minimálního odpadu při dělení a rychlost výroby tvarově složitých součástí ze široké škály materiálů.

Požadavky na pevnost a tuhost konstrukce stroje se minimalizují na vlastní nosnost, s tím je spojeno snížení celkových nákladů na pořizovací hodnotu zařízení. Další výhodou je malá hmotnost strojů a aplikace v případech, kde jiné metody nejsou dostatečně, nebo vůbec efektivní.

Pro pochopení funkce a dosažení, co nejlepších výsledků daného zaměření, je nutné znát základní fyzikální principy, mající vliv na tuto problematiku. Volba zdroje laserového záření se odvíjí jak od pořizovací hodnoty, tak i od vhodnosti pro požadovanou aplikaci.

Praktická část této práce je zaměřena na tvorbu návrhu CNC řízeného stroje, který bude určen pro dělení a popisování materiálů. Vlastní principy a volbu postupu konstrukce není možné srovnávat s návrhy strojů vytvořenými profesionály s mnoholetými zkušenostmi, proto se jedná o studentský návrh s následným cílem sestavit a odzkoušet navrhované zařízení. Všechny popisované součásti byly vymodelovány a graficky zpracovány.

Návrh originálního konstrukčního řešení vychází především z průzkumu řady různých variant dostupných na světovém trhu, a jejich výběr je v práci postupně odůvodňován.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRINCIP LASERU

První kapitola popisuje, jakým způsobem dochází k vývinu energie potřebné pro technologickou operaci.

1.1 Fyzikální princip

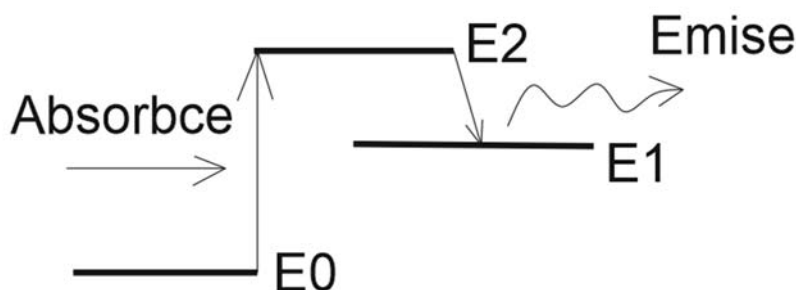
Slovo Laser je anglickou zkratkou výrazu Light amplification by stimulated emission of radiation, který v překladu do českého jazyka znamená zesílení světla za pomoci vynucené emise záření [1].

Světelné záření vyskytující se v našem okolí je vlnění, které se šíří všemi směry, má různé vlnové délky a není koherentní, vzniká tedy spontánní emisí.

Ke spontánní emisi dochází v případě, že se nabuzené atomy s energetickou hladinou E_2 posouvají na hladinu s nižší energií E_1 , přičemž samovolně emitují kvantum světelného záření.

Principem tvorby laserového paprsku je potlačení spontánní emise na úkor vynucené emise záření [2,3].

V případě zdrojů laserového paprsku dochází k nabuzení atomů média tzv. absorpcí, tedy nabytím atomu a posunutím ze základní energetické hladiny E_0 do energetické hladiny, která odpovídá jeho vlastnostem (až E_4). Vlivem vnějšího podmětu nabuzený atom klesá do nižší hladiny, přičemž vyzařuje kvant o stejné frekvenci jako kvant předešlý, tomuto způsobu emise říkáme vynucená (stimulovaná), viz. Obr. 1. V závislosti na počtu hladin dochází k vyzáření spektra barev.

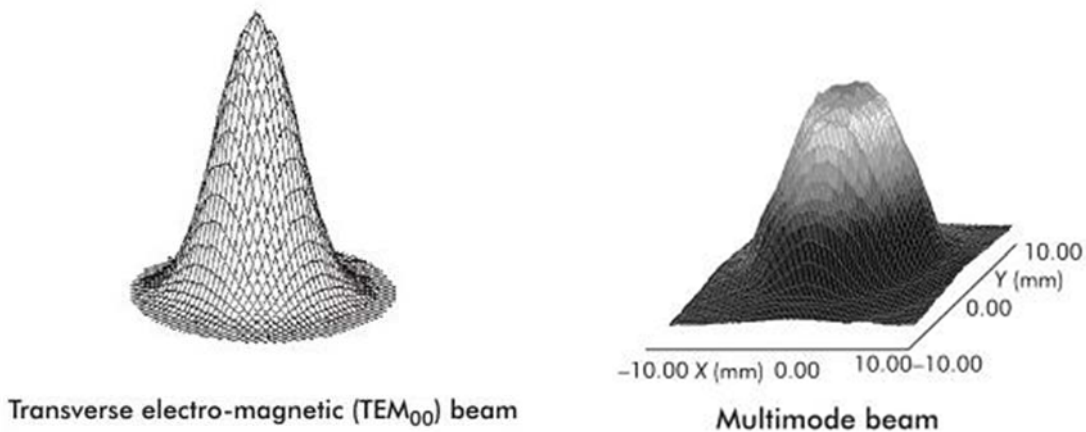


Obr. 1. Schématické znázornění energetických hladin atomů při stim. emisi. [1]

Pro rubínový laser je typická absorpce fotonů, v plynovém laseru typu hélium – neon dochází k nabuzení díky vzájemné kolizi atomů těchto plynů.

1.2 Vlastnosti laserového paprsku

- Minimální rozbíhavost (divergence) paprsků – divergence stoupá s vlnovou délkou záření a klesá s poloměrem paprsku.
- Světlo v laserovém paprsku obsahuje jen jednu vlnovou délku – paprsek je ryze monochromatický.
- Všechny částice světelné vlny kmitají ve stejném směru a o stejné frekvenci – vysoký stupeň koherence.
- Vysoká výstupní intenzita I [$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$], která je největší v ose paprsku a klesá s rostoucí vzdáleností od osy, v řezu má profil Gaussovy křivky. Intenzita je univerzální údaj vyjadřující výkon daného stroje, protože vyjadřuje výkon paprsku spojený s kvalitou a nastavením optické soustavy.
- Struktura paprsků se liší konfigurací elektromagnetického pole generátoru záření, tzv.: TEM – transverse electromagnetic mode (obr. 2). Mód TEM v podstatě vyjadřuje rozdělení intenzity záření v průřezu výstupního paprsku nejvyšší hustoty energie lze dosáhnout použitím konfigurace TEM 00, U reálných laserů však dokonalé TEM₀₀ nikdy nedosáhneme. U CO₂ laserů se snažíme o co nejdokonalější TEM 00, multimód je ideální pro povrchové úpravy a využívá se hlavně u Nd-YAG laserů.



Obr. 2. Nejpoužívanější typy módů. [7]

Díky tomu, že je laserový paprsek koherentní, monochromatický a rovnoběžný, lze ho soustředit do velmi úzkého bodu o vysoké intenzitě.

Obrovské množství energie v tomto úzkém bodě má za následek natavení, až odpaření materiálu, což je klíčem ke zpracování a využití ve strojírenském průmyslu. Například uvedu CO₂ laser o výkonu 1 kW, s průměrem zaostřeného paprsku δ na bod o průměru 0,3 mm může dosahovat hustoty energie $1,4 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2}$. [4]

2 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ LASERU

Tato kapitola je zaměřena na nejpoužívanější operace, jako je dělení a gravírování.

Dále se laserové stroje používají například ke svařování, nebo tepelnému zpracování.

2.1 Dělení laserem

Řez vzniká ohřátím materiálu proudem fotonů o vysoké hustotě energie na teplotu odpařování daného materiálu. Na rozdíl od konvenčních metod dělení je šířka řezu minimální, přičemž je možné řezat tvarové součásti v mnoha směrech.

Mezi nejvyužívanější operace laserového stroje patří řezání. Využívá se ve velkosériové, malosériové i kusové výrobě.

Vzhledem k vysokým výkonům a rezným rychlostem, které se odvíjí od široké škály parametrů je velmi rozšířené řezání za pomoci CO₂ laseru. Zdroj laserového paprsku pracuje v kontinuálním režimu, často s působením přídavného plynu (O₂, N₂, Ar, He). Tomuto faktu přispívá také přijatelnější cena, než například u rubínového laseru.

Tab. 1. Porovnání nejrozšířenějších metod dělení materiálů [11]

Dělení CO ₂ laserem						
výkon [kW]	0,2 - 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 0,8	0,8 - 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
Max. hloubka řezu [mm]	1,5	5	9,5	12,7	19	< 25
Dělení Nd - YAG laser						
výkon [kW]	< 0,1		0,15 - 0,2		0,2 - 0,4	
Max. hloubka řezu [mm]	-		5		38	

Rozdělení dle technologických metod

- dělení materiálů (pro tenké materiály, nebo plechy)
- tvoření povrchové drážky, s následným kontrolovaným lomem (křehké materiály)

2.1.1 Dělení kovových materiálů

Měkké, nízkolegované, legované oceli

Tyto oceli jsou zejména vhodné k dělení za pomoci CO₂ laseru. V případě přidání aktivního plynu (čistého kyslíku) dosahujeme velkých výkonů a rezných rychlostí.

Korozivzdorné oceli

Při řezání korozivzdorných ocelí dochází k tvorbě oxidační vrstvy, která brání dalšímu natavování. Tvoření oxidační vrstvy se odvíjí od obsahu chromu ve slitině. Přesto je řezání korozivzdorných ocelí poměrně účinné.[9]

2.1.2 Dělení neželezných kovů

Titan, hliník, měď

Průběh řezání těchto kovů omezuje zejména vysoká tepelná vodivost a tvorba oxidační vrstvy v místě řezu. Proto se využívá inertní plyn (Ar, He).

Pouze při dělení titanu dochází k podobným exotermickým reakcím jako u nízkolegovaných ocelí. Není ale vhodné řezat s proudem kyslíku, protože to by mohlo vést k nekontrolovatelnému splanutí.

U hliníku se s výhodou využívá anodické vrstvy, kterou je třeba vytvořit před řezáním. Tato vrstva má za následek zrychlení rezného procesu až o 30% [9]

Tab. 2. Doporučené parametry pro oddělení CO₂ Laserem [11,4,1,3]

Materiál	Hloubka [mm]	Rychlost [mm/min]	Šířka zářezu [mm]	Výkon [kW]
Sklo	9,5	1520	1,0	20,0
Křišťál	1,9	600	0,2	0,3
Beton	38,0	50	6,4	8,0
Měkká ocel	0,3	6000	0,1	0,3
	1,0	4500	0,05-0,1	0,4
	2,0	4900	0,1-0,2	2,0
	3,2	840	0,5	0,4
	6,4	2300	1,0	15,0
Korozivzdorná ocel	0,5	635	0,46-0,92	0,2
	1,3	760	0,5	0,2
	3,2	5080	0,1-0,2	0,5
	4,8	1270	2,0	20,0
Nástrojová ocel	3,0	1700	0,2	0,4
Titan	0,5	200	0,46-0,9	0,2
	5,0	3300	0,4	0,8
Titanové slitiny	5,0	4000	0,4	1,0
Hliník	1,5	2500	0,8	1,0
	12,7	2300	1,0	15,0

2.1.3 Dělení nekovových materiálů

Keramické materiály a termoplasty (PP, PS, PE, Nylon)

Pro termoplasty je typické dělení s natavením a následným smykem (vysoká kvalita řezu).

Semikrystalické polymery

K řezu dochází natavením, až úplným odpařením materiálu. Povrch řezu je velmi hladký.

Dřevo a kompozitní materiály

Principem řezu těchto materiálů je chemická degradace, vznikající vysoké teploty. Povrch je hladký a pokrytý tenkou vrstvou uhlíkového prachu.[12]

2.2 Gravírování laserem

Gravírování je grafická úprava povrchu obrobku (většinou text, nebo obrázek). V případě využití gravírování laserem vypalujeme tenkou horní vrstvu, která se barevně liší od základního materiálu.

V případě kovových materiálů je ideální použít materiál s povrchovou úpravou. Obzvláště vhodný je například eloxovaný hliník, pro vysoký obsah křemíku v eloxované vrstvě, který má nízkou reflexivitu laserového paprsku, tudíž je možné dosáhnout vysokých obráběcích rychlostí, při nízké energetické intenzitě záření.

Plastové a dřevěné materiály mají mnohem vyšší absorpci záření a proto jsou vhodné i pro gravírování do hloubky.

Při gravírování může paprsek konat pohyb na základě vektorového (písmo), nebo rastrového (obrázky) zadávání.

2.3 Přídavné plyny

Slouží k vytvoření vhodné atmosféry pro akceleraci řezného procesu, nebo ochranu obrobku v místě řezu. Další funkcí proudu stlačeného plynu může být odvod výparů a vyfoukávání nataveného materiálu. Výsledkem použití přídavných plynů je zvýšení výkonu procesu.

- **Kyslík** se používá jako aktivní plyn, pro řezání nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Vzniká exotermická reakce, tedy spalování, která urychluje proces řezání. Pro dosažení větší rychlosti se používá kyslík vysoké čistoty (99,95%).
- **Argon** se používá pro materiály, u kterých je potřebná jistota, že nebude docházet k chemickým reakcím s okolním prostředím. Vysoký proud tohoto inertního plynu odstraňuje roztavený materiál z místa řezu, není proto nutné materiál nahřívat až na teplotu odpařování = úspora energie.
- **Dusík** bývá využitý, pro řezání korozivzdorných ocelí a jejich slitin. Má za úkol zabránění opalování a zamezení ztráty specifických vlastností materiálu (např. korozivzdornosti). Výsledkem je řez s čistým povrchem. Nevýhodou tohoto způsobu je značné zpomalení dělení. [1]

3 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES ŘEZÁNÍ LASEREM

Tato kapitola obsahuje souhrn zásadních vlivů, které je třeba uvažovat při dělení materiálu laserovým paprskem.

3.1 Vlastnosti materiálů

Odrazivost

Obecně platí, že odrazivost kovového materiálu stoupá s vlnovou délkou paprsku (CO_2 – 10,6 μm , Nd-YAG 1,06 μm), ale klesá se zvyšováním teploty a drsností povrchu. Při teplotě tavení je reflexivita téměř nulová.

Pro výše uvedené má na odrazivost paprsku největší vliv povrchová vrstva materiálu. Můžeme ji redukovat například úpravou povrchu materiálu (zdrsnění, vytvoření nekovové vrstvy, narušením oxidační vrstvy), ohřátím materiálu na teplotu blízkou teplotě tavení, nebo prudkým ozářením povrchu materiálu laserovým paprskem o vysoké hustotě energie.

Pro materiály s vysokou odrazivostí a velkou tepelnou vodivostí (Al, Cu, Ag, Au) se doporučuje používat zejména laserové paprsky o výkonu 2 kW a větší. [9]

Tab. 3. Odrazivost vybraných materiálů [1,2,4]

Odrazivost [%]		
Kov	Vlnová délka λ [μm]	
	0,9-1,1	9 - 11
Zlato	94,70	97,70
Stříbro	96,40	99,00
Hliník	73,30	96,90
Měď	90,10	98,90
Železo	65,00	93,80
Nikl	72,00	95,60
Zinek	79,00	98,10
Chróm	57,00	93,00
Křemík	28,00	28,00
Ocel (1% C)	63,10	93-96
Grafit	26,80	59,00

V tab. 3 jsou uvedeny hodnoty odrazivostí pro jednotlivé materiály. Na odrazivost materiálu má velký vliv oxidační vrstva tvořená na povrchu materiálu, proto jsou hodnoty pouze orientační. Hodnoty platí pro leštěné povrchy.

Při požadavku na obrábění určitého materiálu je vhodné brát ohled na použitý typ laserového paprsku a jeho vlnovou délku.

Teplota tání

Čím je teplota tání vyšší, tím více energie je nutné dodat, pro ohřátí a odpaření materiálu.

Tvorba oxidační vrstvy

Na základě chemického složení řezaného materiálu se v místě řezu tvoří oxidační vrstva zpomalující natavování a odpařování materiálu. Oxidaci je možné omezovat za pomoci inertního přídavného plynu, ten však zpomaluje exotermickou reakci. Toto lze kompenzovat vysokým průtokem plynu, který vyfukuje natavený materiál ven z řezu, a proto stačí ohřev na teplotu tání.

3.2 Vlastnosti paprsku

Rozbíhavost

Stoupá se vzdáleností od zdroje záření, k obrobku. Lze upravit nastavením optické soustavy.

Typy režimů laserového paprsku

- kontinuální režim (nejlepší výkony paprsku řádově 10^4 až 10^5 W).
- pulzní režim (nejlepší výkony paprsku řádově 10^{12} až 10^{13} W). [1]

To v jakém režimu daný paprsek pracuje, má na výkon stroje a způsob tepelného zpracování zásadní vliv. Největších výkonů je možné dosáhnout za pomoci tzv. Qs režimu (kontinuální režim s vysokou energií výstupu). [8]

M²

Charakterizuje "dokonalost" laserového paprsku (tedy jak se blíží k TEM₀₀).

- M² je koeficient, který dosazujeme do vzorců, při výpočtech týkajících se optické soustavy. [6]
- M² je vždy vyšší, než 1 (M²=1 znamená perfektní zdroj laserového paprsku, sto-procentní odrazivost zrcadel a dokonale seřízenou optickou soustavu).

4 OPTICKÁ SOUSTAVA

Optická soustava se liší podle typu stroje, u strojů na bázi CO₂ trubice se využívá soustavy zrcadel, vedoucí paprsek k výstupní čočce. U Nd-Yag strojů se často využívá optických vláken.

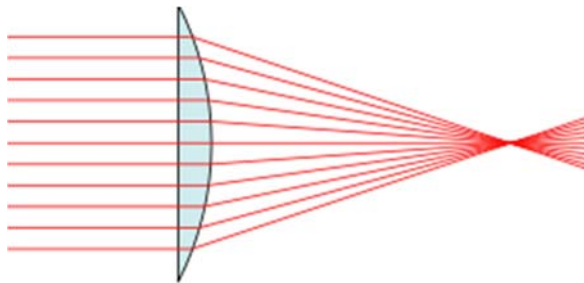
Směrodatným parametrem laserového stroje je intenzita paprsku (výkon na plochu).

Pokud se zaostřeným paprskem na bod o průměru 0,6 mm a intenzitě 180 W.mm⁻² je možné snadné řezání rozmanité škály materiálů, teoreticky je možné paprsek zaostřit 10x, intenzita by stoupla sto násobně. Kdyby zaostření paprsku bylo stonásobné, intenzita by vyrostla desítkrát tisíckrát.

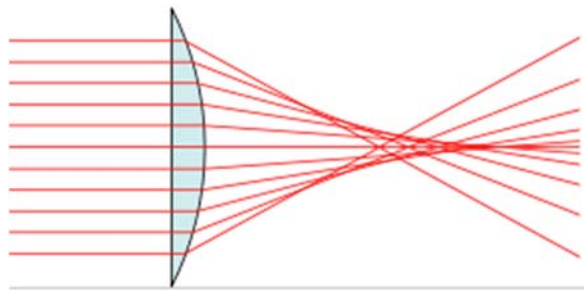
V praxi se však vyskytuje velké množství proměnných, jako je například vzdálenost čočky od obráběného materiálu, hloubka řezu, ohnisková odchylna, ale především není možné zaostřit na bod menší, než je vlnová délka paprsku. [6]

4.1 Parametry ovlivňující volbu typu čočky

Ohnisková odchylna (spherical aberration)



Obr. 3. Ideální čočka bez ohniskové odchylny. [17]



Obr. 4. Reálná čočka se zaobleným povrchem. [17]

U ideální čočky (Obr. 3.) je ohnisková odchylka nulová, ve skutečnosti ale zaoblený povrch čočky vychyluje paprsky od ohniska a dochází k odchylce (Obr. 4.). Ohnisková odchylka vzrůstá velmi prudce s průměrem paprsku (D^3) a klesá s ohniskovou vzdáleností ($\frac{1}{f^2}$).

Pro snížení ohniskové odchylky je třeba:

- co nejmenší průměr paprsku
- co větší ohniskovou vzdálenost [1,6]

4.2 Velikost zaostření bodu

Za předpokladu využití perfektního laseru s perfektním TEM₀₀ paprskem, je nejmenší bod, který je možné zaostřit je přímo úměrný k vlnové délce a ohniskové vzdálenosti čočky, přitom je nepřímo úměrný průměru paprsku.

Není možné zaostřit na bod menší, než je vlnová délka paprsku ($\lambda_{\text{CO}_2} = 10,6 \mu\text{m} = 0,01 \text{ mm}$).

Proto k zaostření na co nejmenší průměr bodu (kvůli vlastnostem paprsku divergenci a difrakci) bude třeba:

- co největší průměr paprsku
- co nejkratší ohniskovou vzdálenost

V praxi se interval reálného zaostření nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,3 mm.

- Vzorec pro výpočet průměru zaostřeného bodu

$$\varphi = 1,27 \cdot \lambda \cdot f \cdot \frac{M^2}{D} \quad (1)$$

- Pro CO₂ s $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$

$$\varphi = 0,013 \cdot f \cdot \frac{M^2}{D} \quad (2)$$

Cena čočky, která zaostří na 0,1 mm, může být i 10x větší, než cena čočky, která zaostří na 0,3 mm, proto často bývá nutné přistoupit ke kompromisu. [6]

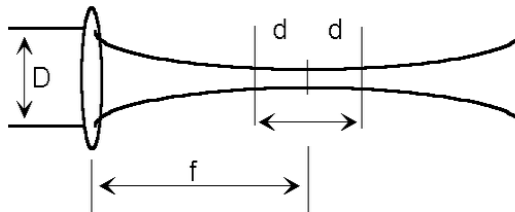
4.3 vzdálenost mezi výstupní čočkou a obráběným materiálem

Pokud by tato vzdálenost byla zvolena příliš krátká, došlo by k znečištění povrchu čočky a jejím zničení vlivem vysoké intenzity laserového paprsku. Čím větší je průměr výstupní čočky, tím více se "kužel" paprsku otevírá, což znamená nárůst průměru zaostřeného bodu se vzdáleností od ohniska, následkem toho je docílení menší hloubky řezu.

4.4 Hloubka řezu

Hloubka řezu úzce souvisí s velikostí zaostření, tedy čím větší je bod řezu, tím silnější materiál je možno řezat, ale klesá výkon na plochu.

Pokud paprsek prochází materiálem, pak se profil toku energie podobá dvěma kuželům s vrcholy na obou stranách.



Obr. 5. Profil paprsku procházejícího skrz obrobek. [6]

Tloušťka řezaného materiálu

$$\delta = 2 \cdot d \quad (3)$$

4.5 Příklady výpočtů různých typů čoček

Hloubka řezu by neměla být větší, než $1,4 \cdot$ minimální velikost zaostřeného bodu. To znamená, že se velikost bodu nesmí zvýšit o více než 40 %.

(zvětšování průměru bodu probíhá vzdalováním se od ohniska \rightarrow snížení výkonu na plochu).

$$\delta = 2,5 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{f}{D}\right)^2 \quad (4)$$

Vlnová délka paprsku pro CO₂ lasery $\lambda = 10,6 \mu\text{m} = 0,01 \text{ m}$, platí pak:

$$\delta = 0,027 \cdot \left(\frac{f}{D}\right)^2 \quad (5)$$

Př. 1:

$$f = 100 \text{ mm}$$

$$D = 6 \text{ mm}$$

$$M^2 = 1$$

$$\varphi = 0,013 * \frac{100}{6} = 0,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,027 * \left(\frac{100}{6}\right)^2 = 7,5 \text{ mm}$$

Př. 2:

$$f = 50 \text{ mm}$$

$$D = 6 \text{ mm}$$

$$M^2 = 1$$

$$\varphi = 0,013 * \frac{50}{6} = 0,1 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,027 * \left(\frac{50}{6}\right)^2 = 2 \text{ mm} \rightarrow \text{Velmi malá hloubka řezu}$$

Z uvedených příkladů vyplývá, že v příkladu č. 2 bylo změnou ohniskové vzdálenosti docíleno menšího bodu = vyšší intenzita, ale mnohem nižší hloubka řezu.

Nastavení proto musí odpovídat funkci, pro kterou bude určeno (nejvhodnější ohniskovou vzdáleností) buď co nejmenší průměr zaostřeného bodu a největší hloubku řezu.

Pokud ale je potřebné obojí, tzn.: nejmenší průměr zaostřeného bodu a co největší hloubka řezu, pak je vhodným kompromisem soustava čoček, tzv. expander. V tomto případě pomocí soustavy čoček je možné docílit zvětšení průměru paprsku.

Př. 3: zvětšení D 3x, pak:

$$D=18 \text{ mm}$$

$$f = 20$$

$$\varphi = 0,13 \text{ mm}$$

$$\delta = 3,3 \text{ mm} \leftarrow \text{Přijatelnější}$$

Tab. 4. Ukázková tabulka zaostření pro různé ohniskové vzdálenosti čoček

Ohnisková vzdálenost f [mm]	ϕ	δ
	mm	mm
12,7	0,23	0,086
17,0	0,37	0,200
25,4	0,49	0,350
38,0	0,73	0,800
51,0	0,98	1,400
76,0	1,47	3,100
101,0	1,95	5,600
127,0	2,45	8,800
152,0	2,29	12,600

4.6 Používané druhy zrcadel a čoček

Zrcadla

- Pozlacené, se skleněným základem do 40 W
- Molybdenový základ 60 – 100 W
- Křemíkové do 200 W

Výše uvedené odhady výkonů, pro jednotlivé typy zrcadel jsou hrubé, vždy záleží na a řadě parametrů.

Čočky:

- ZnSe (Zirkon + Selen)
- GaAs (Galium + Arzén)
- Ge (Germanium)
- NaCl (Chlorid Sodný)

U CO₂ laserů se většinou používají ZnSe (Zirkon Selenid) čočky, protože jsou vhodné pro vlnovou délku 10,6 μm při dlouhé životnosti.

5 ROZDĚLENÍ LASEROVÝCH STROJŮ

Tato kapitola je zaměřena na porovnání běžně užívaných konstrukčních řešení laserových strojů.

5.1 Podle skupenství aktivní látky:

- plynné (CO₂)
- pevné (Nd-YAG - rubínový)
- kapalinové
- polovodičové

Ve strojírenském průmyslu se nejčastěji využívají pevnolátkové (Nd-YAG) a plynové (Co₂).

5.2 Podle výkonu:

- **Nízkovýkonné**

Výkon se pohybuje v rozmezí desetin až stovek W, většinou se využívají pro obrábění nekovových materiálů.

- **Vysokovýkonné**

Výkon se pohybuje v rozmezí 1 až 30 kW, využívají se pro řezání, svařování a tepelné zpracování kovových materiálů.

5.3 Podle vzájemného pohybu obrobku a obráběcího paprsku:

- a) Pevný laser a pohyblivý stůl

Obrobek je upnut na pohyblivém stole a zdroj laserového paprsku je uložen v rámu stroje, při využití tohoto systému jsou omezujícím parametrem rozměry a váha obrobku.

- b) Pevný stůl a pohyblivý laser

Pohyblivá řezná hlavička zpravidla malých rozměrů a nízké váhy se pohybuje nad obrobkem. Nevýhodou tohoto řešení je malý výkon a pomalé řezné rychlosti, na druhou stranu odpadá omezení rozměrů a hmotnosti výrobku.

c) Pevný stůl i laser

Přenos laserového paprsku je zajištěn pomocí soustavy zrcadel. Tento systém se používá pro vysoké řezné rychlosti za využití minimálního prostoru. Nevýhodou jsou vysoké nároky na nastavení zrcadel a citlivost na vibrace.

S ohledem na poměr cenové dostupnosti a výkonu se v průmyslu pro řezání a popisování nejčastěji používají CO₂ a Nd-Yag lasery. [1,8]

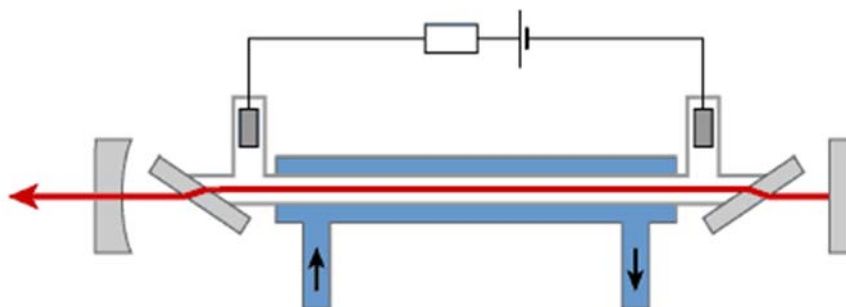
d) Přenos pomocí optických vláken

Využívá se u ND-YAG laserů, výhodou je přenos laserového paprsku na velké vzdálenosti, nebo i do více strojů, které mohou pracovat současně.

e) Robotické rameno

Rameno řízené pomocí CNC systému je možné ovládat až v 5 osách. Používá se pro složité tvarové součásti, za účelem: řezání, svařování a tepelného zpracování. [1]

6 CO₂ LASER



Obr. 6. CO₂ zdroje laserového paprsku (trubice). [15]

6.1 Fyzikální princip

Zdrojem excitační energie je v tomto případě elektrický výboj. Vlivem výboje jsou molekuly N₂ srážkami s elektrony excitovány ze svojí základní energetické hladiny do jiné energetické hladiny, která se velmi blíží excitační energii CO₂, proto se srážkami nabitých molekul N₂ s molekulami CO₂ mění vibrační energie molekul. Vibrace molekul CO₂ přecházejí z asymetrických vibrací na symetrické přeskokem na nižší energetickou hladinu, což má za následek vyzáření kvanta energie v podobě laserového paprsku, o vlnové délce 10,6 μm.

6.2 Základní součásti zdroje laserového paprsku

Laserová trubice

Laserová trubice je naplněná směsí plynů CO₂, N₂ a He.

Ke vzniku stimulované emise dochází na základě vzájemné oscilace molekul CO₂ a N₂.

Hélium slouží pro odebrání dolní energetické hladiny (po vyzáření). Hélium přijímá energii srážkami s molekulami ostatních plynů a odevzdává ji ve formě tepla.

Při aktivní tvorbě laserového paprsku se plyn v trubici znehodnocuje, rozkládá se totiž na CO a O₂. Následkem tohoto jevu je snížení výkonu laserové trubice. Po znehodnocení je možné plyn zregenerovat ve speciálním zařízení a tuto trubici dále používat.

Trubicí je nutné chladit za pomoci chladicího média, vnitřním okruhem, který je součástí trubice.

Může se stát, že obsluha zapomene zapnout chlazení trubice a po chvíli chodu zařízení rázem spustí chlazení. Studená kapalina dojde styku s horou skleněnou trubicí, ta napraskne a je zničená. [6]

Některé stroje jsou vybaveny kontinuálním přívodem plynu a odvodem degradovaného za pomoci vývěvy, pro maximální a stabilní výkony.

Pro chod zařízení je nutné v trubicí generovat doutnavý výboj, ten vzniká na elektrodách, které jsou připojeny na zdroj napětí. Velikost napětí na zdroji se mění za pomoci proměnného odporu.

Pro usměrnění toku energie slouží odrazové zrcadla. Zrcadlo se maximální odrazivostí je umístěno v zadní části trubice. Polopropustné zrcadlo je umístěno ve výstupní (přední) části trubice, má za úkol propouštět záření o specifické intenzitě, frekvenci a vlnové délce.[10,3,1]

Zdroj

Slouží k regulaci výkonu a generaci impulzů, které generují doutnavý výboj v trubicí. Typy zdrojů se liší výkonem trubic. Výkon je ovládán přímo v řídicím systému stroje.

6.3 Konstrukční řešení

U CO₂ obráběcích strojů se většinou s výhodou používá systém pohyblivého paprsku. To znamená, že obrobek i zdroj záření jsou pevně ustaveny a pohyb paprsku je zajištěn soustavou pevných a pohyblivých zrcadel.

Výhodou je možnost přenosu paprsku o velkém výkonu, jednoduchá konstrukce (posouvají se pouze lehké zrcadla). Nevýhodou jsou velké nároky na konfiguraci zrcadel, citlivost vůči vibracím a rozbíhavosti paprsku, která narůstá se vzdáleností výstupní fokusační čočky od trubice.

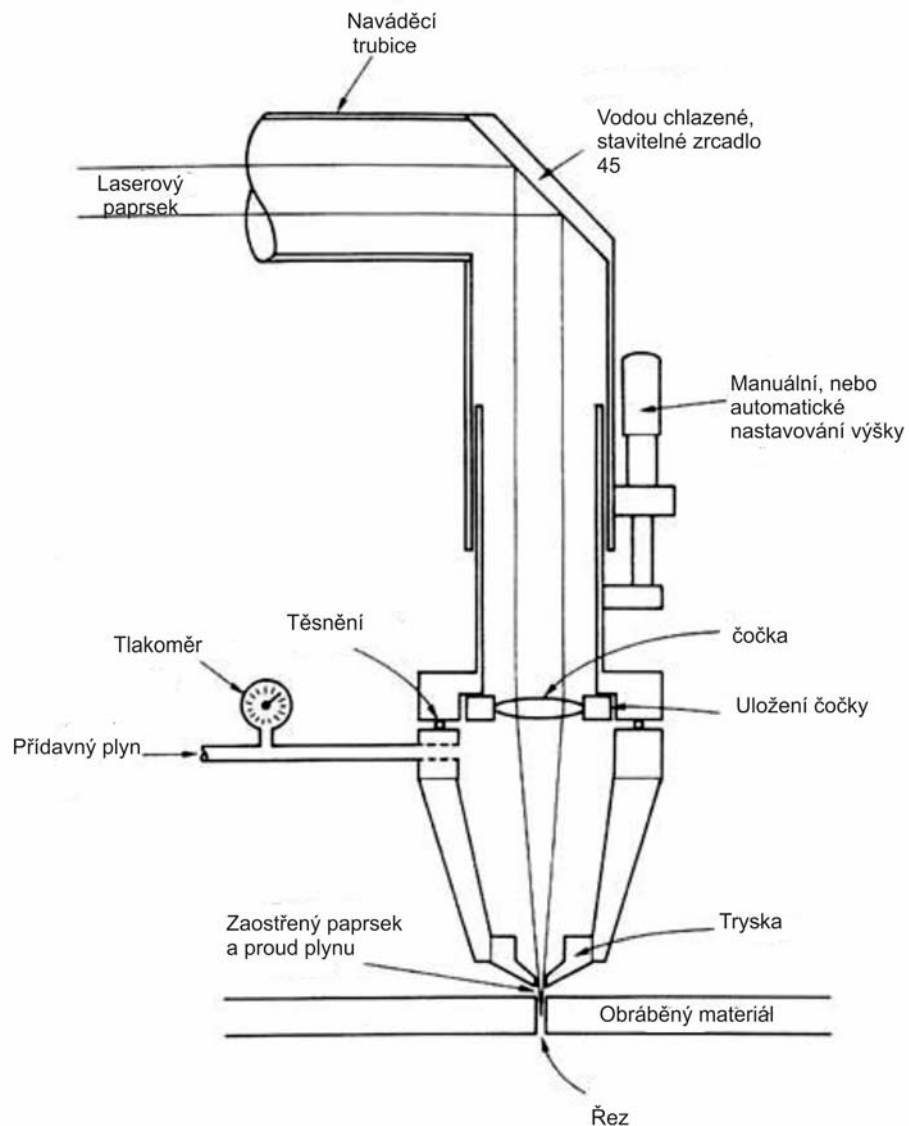
Zrcadla jsou upevněna ve stavitelných konzolách, které umožňují precizní seřízení.

Dýza

Hlavní součástí dýzy, je čočka, která slouží k zaostření paprsku na obráběný materiál, při řezání je ideální zaostření přímo do středu výšky děleného materiálu, proto musí být osová vzdálenost, tedy i hlava stavitelná. Nastavování pozice ohniska výstupní čočky probíhá, buď

manuálně, nebo za pomoci sondy si stroj nastaví vzdálenost automaticky (v závislosti na zvolených parametrech).

Čočka musí být chlazená a chráněna před škodlivými vlivy vypařovaného materiálu a vysokých teplot. Přímo do dýzy (řezné hlavy) je přiváděn plyn, který slouží jako ochrana výstupní čočky, ale taky může plnit pomocnou funkci pro danou technologickou operaci (vytváří ochranou, oxidační atmosféru, nebo odvádí odtavený materiál z místa řezu).



Obr. 7. Schéma řezné dýzy. [16]

Stůl

Jako podklad materiálu se používají stoly, které zaručují minimální plochu kontaktu s obráběným materiálem a s nastavitelnou výškou pro možnost obrábění rozměrnějších součástí.[1]

Celkové nároky na tuhost a pevnost konstrukce nejsou tak značné, jako tomu bývá u třískových způsobů obrábění, což má za následek značné zjednodušení konstrukčního řešení stroje.

Krytování

Prostředí, kde dochází k interakci světelného paprsku s materiálem, musí být bezpečně odděleno od okolí. Například při dělení plastů, nebo pozinkovaných plechů dochází ke vzniku zdraví škodlivých výparů, jejichž odvod je zabezpečen systémem odsávání. Velká část paprsku se odráží od materiálu, ten by mohl vážně poškodit zrak, proto bývá použito krycí sklo se strukturou zamezující průniku laserového záření.

Ovládání os

K vymezení pohybu se pro ideální parametry většinou používá přesné lineární vedení.

Pro polohování slouží napnuté ozubené řemeny ovládané krokovými, nebo servomotory. Pohonné elektromotory pohybují jen soustavou zrcadel, jsou tedy namáhány jen minimální zátěží. Výhodou tohoto způsobu ovládání je docílení značných rychlostí technologických operací, při minimálních nárocích na konstrukci.

Soustava hadic

Slouží k rozvádění přídavných plynů k, nebo přímo do dýzy. Zdrojem může být tlaková nádoba (pro čisté přídavné plyny), nebo kompresor.

6.4 Výhody a nevýhody

- Hlavní výhodou CO₂ laseru je poměr výkonu k ceně.
- Nevýhodou je přímá úměra výkonu trubice k její délce.

7 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Stroje, řízené pomocí počítače jsou stavebním kamenem automatizace výrobního procesu. Využívají se pro velkosériovou, malosériovou, zakázkovou, ale i speciální výrobu.

Speciální výrobou rozumíme velmi náročné operace, které by za pomoci manuálního ovládní šly provést jen velmi ztěžka, nebo dokonce vůbec (například výroba dutin forem pro vstřikování polymerů).

7.1 Význam

Mezi hlavní výhody se řadí vyloučení chyb obsluhy stroje a tedy i snadná normalizace součástí při velkosériové výrobě.

CNC je Anglickou zkratkou slovního spojení **computer numerical controll**, tím rozumíme počítač, který řídí pohyb stroje. Jak vyplývá z názvu, toto odvětví automatizace úzce souvisí s prudkým rozvojem počítačové techniky a tudíž taky s rozvojem softwarů určených pro konstrukci a většinu odvětví strojírenství.

Dříve jsme se setkávali pouze se zkratkou NC (**numerical control**), k přenosu řídicích programů se používaly například děrované pásky. Oproti tomu v případě počítačově číslicovém řízení je jednoduché jednotlivé technologické operace přizpůsobovat různým typům stroje, nebo upravovat různé parametry, při výrobním procesu.

Výhodou je tvorba součástí ve virtuálním prostředí, prezentace zákazníkovi a následná výroba, podle schváleného modelu. Často proto odpadá nutnost tvorby složité výkresové dokumentace.

CNC stroje mají širokou oblast využití ve strojírenství a to jak v konvenčních metodách obrábění (soustružení, frézování, broušení,...), v nekonvenčních (elektroerozivní obrábění, 3D tisk, lasery,...), nebo multifunkční obráběcí centra (soustruh + frézka,...).

Rostoucí konkurence nutí vyrábět rychleji, levněji a přesně. Z tohoto důvodu se automatizace výroby, z ekonomického hlediska stává budoucností většiny technologických procesů. Složité systémy ovšem provází vysoká pořizovací cena a nároky na údržbu. [13,14]

7.2 Princip

Číslicovým řízením rozumíme číselnou řadu, tedy program, který má za úkol ovládat fyzikální veličiny. V případě obrábění se jedná o posuv jednotlivých os, rychlosti otáček, spuštění pomocných funkcí, jako je chlazení, ofukování, výměna nástrojů,...

Informace nezbytné pro řízení stroje dělíme na:

- a) Informace určující geometrii obrábění (popisují dráhu nástroje vůči obrobku).
- b) Informace určující řídicí funkce (rychlost posuvu, otáčky vřetene, číslo nástroje).
- c) Informace určující stav pomocných funkcí (například spuštění chlazení,...

Jednou z možností tvorby technologického programu jsou G funkce, kdy každá funkce má speciální zkratku, ke které zadáváme velikost funkční veličiny (např. vzdálenost posuvu), programujeme tedy jednotlivé kroky nástroje. Efektivnější je ale počítačový program, který má dokáže generovat G kód, na základě geometrie výrobku. Díky tomu práce programátora probíhá v přehledném prostředí, kde se šance na pochybení minimalizují. Výstupem je program, napsaný v numerickém jazyku, připravený pro přenos do daného zařízení.

Vygenerovaný program je odeslán do řídicího systému CNC stroje, kde je zpracován a přepočítán na pohyb, například otáčky krokových nebo servo-motorů, které určují pohyb jednotlivých pracovních os. Vzájemnou kombinací pohybů os a nástroje je dosaženo požadovaného tvaru výrobku.

Různé typy strojů pracují v různém počtu os:

- 2 osy (lasery, pro dělení materiálu, vodní paprsek).
- 3 osy (běžné frézky, soustruhy).
- Až 5 pracovních os (multifunkční obráběcí centra).

Podle vzájemné komunikace polohy a řídicího systému dělíme na:

- a) řízení se zpětnou vazbou (vstupní signál je převeden na pohyb, skutečná poloha nástroje je sledována, případná odchylka je zaznamenávána a převáděna na pohyb).
- b) řízení bez zpětné vazby (vstupní signál je převeden na pohyb a skutečná poloha nástroje už není sledována).

Stroje bývají taky opatřeny bezpečnostními prvky, chránící obsluhu před úrazem a stroj proti poškození.

Mezi bezpečnostní prvky patří například koncové dorazy (ochrana jednotlivých os, před nárazem na překážku), teplotní čidla (ochrana před přehřátím), čidlo snímající otevření stroje (brání poranění nástrojem) a další.

U konvenčního obrábění si pro výrobu kompletního výrobku málokdy vystačíme s jedním nástrojem. Obráběcí centra bývají opatřeny automatickou výměnou nástrojů, bez nutnosti seřizování.

Principy CNC obráběcích strojů prochází neustálou inovací.

7.3 CNC Lasery

Jednoduchý způsob programování v 2D prostředí zaručuje snadné a rychlé seřízení stroje pro rozmanité množství tvarů. Třetí osa, většinou slouží k seřizování vzájemné polohy, ohniska výstupní čočky a obrobku. Některé laserové stroje jsou vybaveny radarovým systémem, který umožní obrábět zakřivení plochy.

Nejčastější využití:

- dělení materiálu
- popisování
- svařování
- tepelné zpracování
- dokončování povrchu

Obráběcím nástrojem je v tomto případě laserový paprsek fokusovaný do úzkého bodu o vysoké intenzitě. Za pomoci CNC laserů je mimo jiné možné obrábět materiály, jinými metodami neobrobitelné (na základě fyzikálních a chemických vlastností), nebo v místech, jinými metodami neobrobitelné.

Na rozdíl od třískového obrábění odpadají vysoké nároky na upnutí a tuhost obráběného materiálu.

8 KONSTRUKCE STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Řezné parametry (výkon, hloubka, řezná rychlost) ovlivňuje velké množství parametrů a podmínek (nastavení optické soustavy, přesné složení a povrch materiálu, degradace aktivního plynu v trubici, kvalita přídavného plynu, reflektivita, tepelná vodivost, teplota tavení a další ...). Z těchto důvodů většina výrobců laserových strojů neuvádí přesné tabulkové hodnoty pro dané zařízení a je proto nutné si pro každý stroj zjistit parametry obrábění specifických materiálů.

8.1 Obecné zásady:

- a) pevnost a tuhost stroje.
- b) Přesnost
- c) Dlouhá životnost
- d) Bezpečnost

a) Tuhost a pevnost

Pro dostatečnou pevnost je nezbytné navrhovat součásti tak, aby byly schopny vydržet i značné přetížení, ke kterému by mohlo nastat.

Základem tuhosti je tlumení vibrací, výhodné jsou proto litinové stoly velké hmotnosti. K tlumení taky přispívá ukotvení stroje do podlahy.

b) Přesnost

Díky přesné výrobě součástí, pomocí CNC obrábění, je možné docílit vysokých přesností. U počítačově řízených strojů mohou vůle v pohybovém šroubu způsobovat značné problémy, proto se používají kuličkové šrouby s přesně vymezenou vůlí. Pro stroje s menšími nároky na přesnost bývá využito ozubených hřebců, nebo ozubených řemenů.

c) Dlouhá životnost

K vedení pracovních os je vhodné použít kuličkové, nebo válečkové lineární vedení. U těchto systémů dochází k minimálnímu tření, při minimálních vůlích.

d) Bezpečnost

Bezpečnostní systém se skládá z celé řady bezpečnostních prvků, pro dosažení maximální ochrany obsluhy, stroje i nástrojů.

9 SHRUTÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Na základě nastudované literatury byla vytvořena teoretická studie pro dané téma. Pozornost byla věnována konstrukčním prvkům, ale i základním fyzikálním principům a s nimi souvisejícím parametrům, které budou zásadně ovlivňovat volbu součástí navrhovaného laserového stroje. Studie je koncipována tak, aby pomohla čtenáři pochopit využití CNC laserového stroje jako obráběcího nástroje.

Praktická část práce je zaměřena na návrh konstrukce CNC řízeného laserového stroje.

Výstupem praktické části je výčet součástí a grafické nastínění konstrukčního řešení navrhovaného zařízení pomocí schémat.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 PRŮZKUM TRHU

Na světovém trhu, se vyskytuje obrovská konkurence, je možné pořídit CO₂ laserové stroje v rozmezí několika tisíc korun, až po řády miliónů. Ale jak už tomu bývá, od ceny se také odvíjí kvalita a parametry stroje.

Vlastnosti laserového stroje se odvíjí od dvou primárních parametrů, pracovní plochy a výkonu trubice. Například hobby CNC CO₂ laser o výkonu 40W a pracovní ploše 200x300 mm je možné koupit za cenu pohybující se okolo 35 000,-. Cena CO₂ laseru určeného pro průmyslové využití o výkonu 160 W a pracovní ploše 1300x600 mm se pohybuje od 600 000,- výše.

S ohledem na výše uvedené se návrh vlastního stroje, který bude parametrově odpovídat průmyslovým zařízením a cenou se blížit hobby strojům, nabízí jako výhodné řešení.

Případný nákup součástí od renovovaných výrobců má za následek vysoké náklady, proto se nabízí možnost nákupu ze zahraničních aukčních portálů, kde jejich cena může být až několikanásobně nižší, ale součásti jsou většinou použité a není zaručena jejich kvalita.

Další možností je nákup jednotlivých součástí od alternativních výrobců ze zahraničí, nicméně nižší pořizovací náklady jsou mnohdy za cenu nižší kvality zpracování.

Podle nároků na přesnost a kvalitu součástí je u některých součástí (např. lineární vedení) nezbytné zainvestovat více peněz do přesných a kvalitních výrobků od renovovaných výrobců. Na jiné součásti bude stačit zboží alternativních výrobců a speciální díly nezbyvá než vyrobit.

Proto ve snaze o vyvážení kvalitního a cenově dostupného zařízení bude jeho konstrukce probíhat kombinací součástí od různých výrobců spolu s vlastní výrobou vybraných částí zařízení.

11 POŽADAVKY NA OBRÁBĚCÍ STROJ

V prvním kroku je nutné určit základní požadavky na vyvíjený stroj. Je třeba vycházet z požadavků na druh jeho využití, přesnost, životnost jednotlivých funkčních částí a v neposlední řadě finanční rozpočet pro jeho realizaci.

11.1 Zvolené požadavky na CNC laser

- Pracovní plocha 1250 x 650 x 100 mm (obrobení tohoto formátu).
- Možnost gravírování.
- Možnost řezání plastů, dřeva, kůže, ocelového plechu minimální tloušťky 1,5 mm, nerezového plechu minimální tloušťky 0,5 mm a dalších kovů.
- Tři základní polohovací osy *X*, *Y*, a *Z*.
- Jedna přídatná osa (osa rotace obrobku).
- Interaktivní ovládací a softwarové prostředí.
- Izolace pracovní plochy a odvod zdraví škodlivých plynů.
- Možnost využití přídatného plynu.
- Zajištění dostatečného chlazení a kontroly teploty trubice a hlavy laseru.
- Ochrana výstupní čočky proudem vzduchu.
- Možnost seřízení pracovních os a optické soustavy bez nutnosti celkové demontáže.
- Obrobek pohyblivý pouze v jedné ose pro seřízení ohniskové vzdálenosti v ose *Z* (bez nutnosti upnutí).
- Zaručení adekvátní tuhosti a kolmosti pracovních os.
- Kompaktnost ovládacích prvků (všechny funkce budou řízeny z jedné pozice, tedy ovládacího panelu).
- Kontrola pracovního cyklu pomocí web kamery (obsluha má kontrolu nad strojem z jiného pracoviště).

Výše uvedené požadavky byly definovány jako ideální pro zvolený typ aplikace a je na nutno pohlížet pouze jako na předběžné. Na finální parametry realizovaného stroje bude mít zásadní vliv cenová dostupnost jednotlivých komponentů. V první řadě bude třeba zprovoznit základní části a až podle možností a potřeby budou přidávány další funkční celky.

12 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V této části práce je popsán 3D grafický návrh obráběcího stroje, který byl vytvořen v studentské verzi programu Inventor od společnosti Autodesk.

Celá koncepce konstrukce je pro přehlednost a kompaktnost rozdělena do základních částí.

Výčet jednotlivých částí stroje, kterým bude věnována pozornost:

- **Pracovní osy**
- **Optická soustava**
- **Hlava laseru**
- **Stůl**
- **Rám**
- **Opláštění**
- **Pracovní stůl**
- **Odsávání**
- **Zdroj stlačeného vzduchu**
- **Podpurný plyn**
- **Chlazení**
- **Řídící jednotka**
- **Software**
- **Motory pro pohon pracovních os**
- **Ovladače pro motory pohonu**
- **Zdroj světelného paprsku**
- **Zdroj energie**
- **Řídící skříň**
- **Ovládací panel**

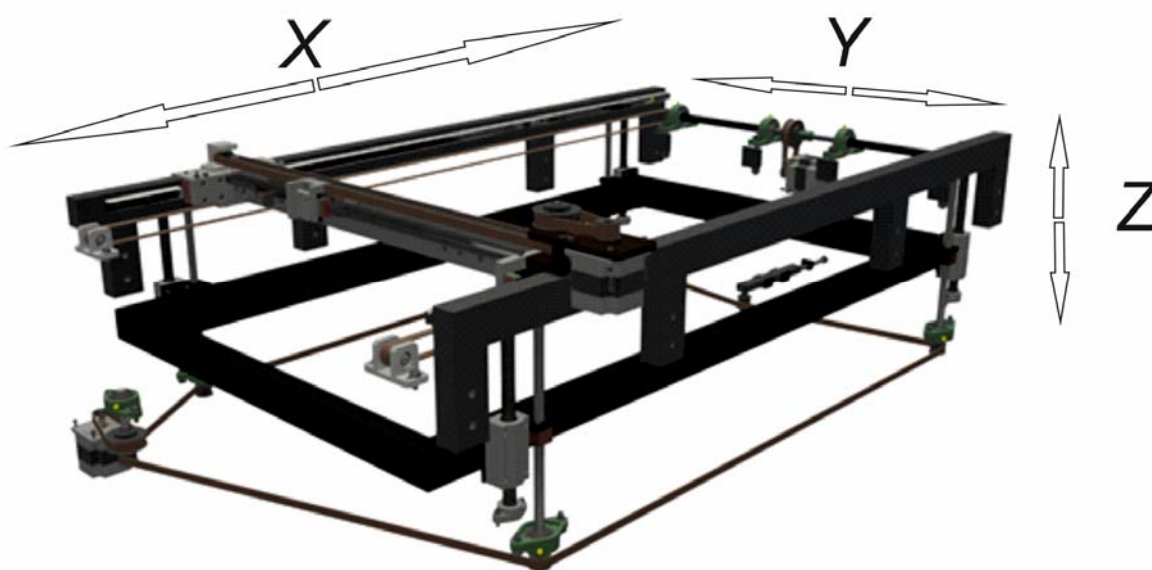
Kombinace těchto částí bude tvořit kompletní konstrukční řešení počítačem řízeného laserového stroje, určeného jak pro kusovou, tak i sériovou výrobu součástí z plastu či plechu.

Jak bylo zmiňováno výše, hlavní výhodou aplikace laserového paprsku jsou nízké nároky na tuhost stroje, pohon os a uložení obrobku, protože k obrábění dochází bezkontaktním způsobem. Naopak nevýhodou jsou nároky na velmi vysokou kvalitu seřízení optické soustavy, pro maximální využití intenzity světelného paprsku, který v tomto případě slouží jako nástroj.

S ohledem na finanční náročnost pořízení jednotlivých funkčních částí zařízení, bude kladena pozornost na konstrukci maximálního počtu vlastních součástí tohoto typu stroje.

12.1 Pracovní osy

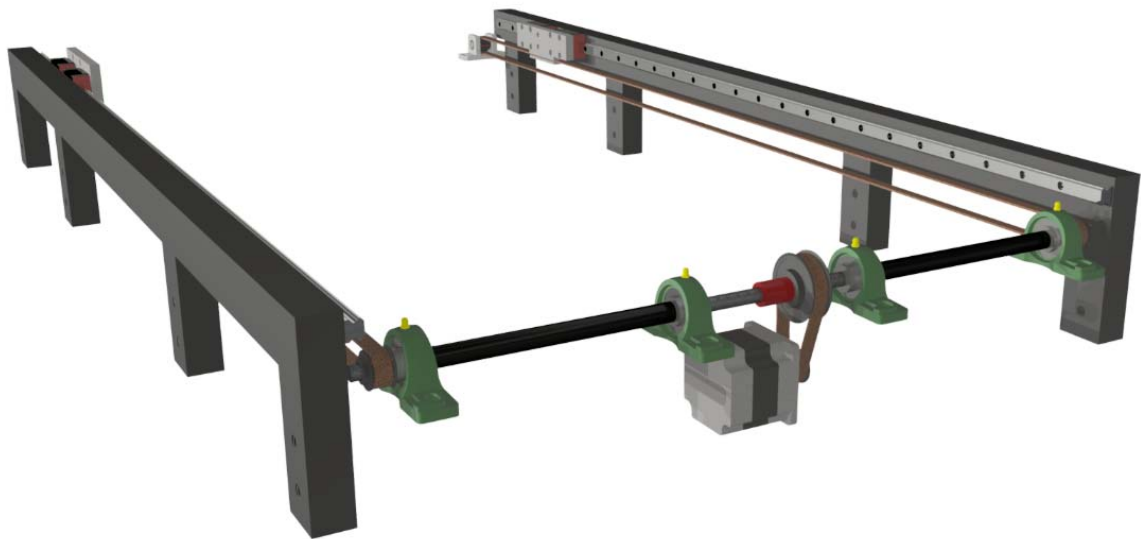
Polohu laserového paprsku budou určovat horizontální osy X a Y . Výšku stolu s obrobkem, bude určovat vertikální osa z . Všechny tři osy jsou uloženy na ocelových nosnících, které jsou ze strany lineárního vedení vybroušeny, aby nedocházelo k průhybu vedení. Náhled této konstrukční části je uveden na Obr. 8.



Obr. 8. Návrh konstrukce pracovních os X , Y a Z .

12.1.1 Podélná osa X

Tato osa slouží jako nosič příčné osy Y . Celková pracovní délka osy X je ze všech třech os nejdelší a to 1350 mm (požadavek 1250 mm). Návrh konstrukčního řešení této osy je uveden na Obr. 9.



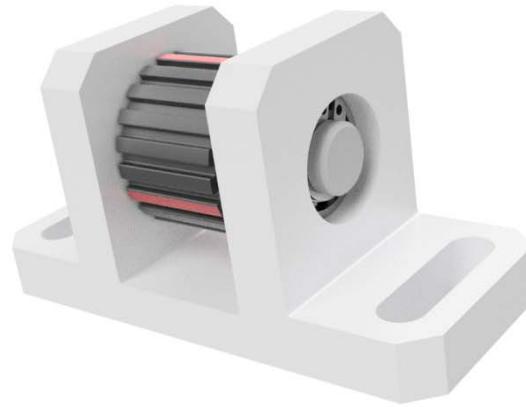
Obr. 9. Návrh konstrukce pracovní osy X.

Pro umožnění pohybu za předpokladu dosažení minimálního tření je navrženo použití kuličkové lineární vedení typu *HGR20R* (2x 1575 mm). Pohyblivým členem tohoto vedení je úzký vozík typu *HGH20CA* (4x). Byly zvoleny čtyři kusy těchto vozíků, především kvůli velké vzdálenosti ramen, tak aby vytvořily větší základnu pro uložení osy *Y* a nedošlo k jejímu vychýlení. Tento typ vedení byl zvolen, kvůli vysoké přesnosti a tuhosti, které nelze za použití například podepřených tyčí docílit. Zvolené vozíky i vedení byly vybrány od společnosti Hiwin, která se zabývá lineární technikou.

Jako pohon této osy je zvolen krokový motor typu *86HS45* od společnosti Leadshine technology. Pro přenos krouticího momentu motoru na posuv osy jsou využity ozubené řemeny typu *HTD5M15*, na rozdíl např. od CNC frézek, kde se většinou používají šrouby. Ozubené řemeny lze použít vzhledem k faktu, že při obrábění světelným paprskem nedochází k vývinu žádného mechanického odporu. Další výhodou je nízká cena jak samotných řemenic, ale také nároků na konstrukční zpracování tohoto typu řešení. Nevýhodou je řádově nižší přesnost, než je tomu třeba u kuličkových šroubů.

Použité řemenice typu *20 5M15* mají střední průměr 31,83 mm, při otočení o jednu otočku dojde k posunu o 100 mm, proto je motor vůči pohonným řemenicím převodován v poměru 1:2, jednou otočkou se tedy osa *X* posune o 50 mm. Zároveň je docíleno zvýšení krouticího momentu a plynulosti pohybu.

Hnací hřídel se skládá ze dvou kusů, které jsou spojeny pevnou spojkou. Aby nebylo nutné obrábět celou hřídel o délce 860 mm, budou obrobena pouze konce těchto hřídelí s jejich následným uložením do ložiskových jednotek typu *UCP202* od Japonského výrobce Asahi.



Obr. 10. Návrh uložení řemenice.

Pro uložení řemenice na opačné straně od pohonu budou sloužit 2 kusy konzol (Obr. 10), které jsou vyrobené frézováním ze slitiny hliníku. Jsou mimo jiné také opatřeny upínací drážkou, díky které je možné upravovat napnutí řemene.

12.1.2 Příčná osa *Y*

Osa *Y* slouží jako nosič řezné a gravírovací hlavy. Celková pracovní délka osy *Y* je 720 mm (požadavek 650 mm).

Při rastrovém gravírování dochází k časté změně směru pohybu, tedy i k vývinu velkých setrvačných sil, proto tato osa uvádí do pohybu pouze hlavu laseru a její držák.



*Obr. 11. Návrh konstrukce pracovní osy *Y*.*

Konstrukce osy *Y* (viz. Obr. 11) je spojena s posuvnými vozíky osy *X* šrouby přes kontaktní desky, které slouží také jako základna pro pohon osy *Y*. Hlavním nosníkem je deska o

tloušťce 15 mm. Pomocí přesných trojúhelníkových desek bude docíleno vzájemné kolmosti os a zvýšení tuhosti celé konstrukce. Všechny desky, z nichž se tato osa skládá, jsou vyrobeny ze slitiny hliníku. Podle potřeby budou některé funkční plochy broušeny.

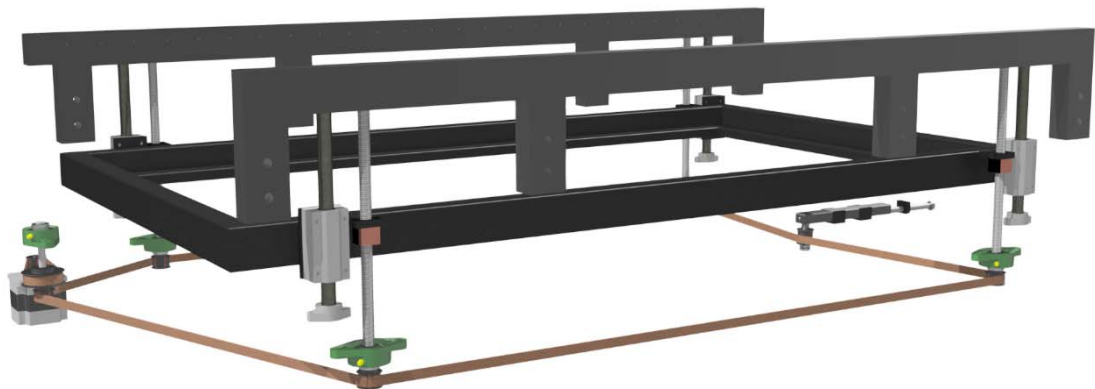
Pro pohyb je využito lineární vedení typu *HGR15R* délky 785 mm a jeden přírubový vozík typu *HGW15CC*.

Pro převod krouticího momentu do lineárního pohybu bude sloužit ozubený řemen, uložený podobně jako u osy *X*. Část hnacího řemenu je uložena v držáku pomocí šroubů tím dochází k pohybu hlavy.

12.1.3 Vertikální osa *Z*

Tato osa je určena pro seřízení ohniskové vzdálenosti výstupní čočky vůči obrobku, před obráběním. Při obráběcím procesu se osa *Z* nepohybuje.

Osa *Z* je nosičem pracovního stolu laserového stroje.



Obr. 12. Návrh konstrukce pracovní osy *Z*.

Osa *Z* je částečně uložena na stejných nosnících, jako osa *X*, ale převážně ve stole stroje, viz. Obr. 12.

Přímočarý pohyb osy je určen dvojitým uzavřeným lineárním setem typu *SMA20L*, který se pohybuje po pevné leštěné ocelové tyči o průměru 20 mm.

Krouticí moment vycházející z motoru typu *86HS45* je převodován pomocí ozubeného řemene v poměru 1:2. Dále je pohyb přenášen dalším ozubeným řemenem, rozvedeným po celém obvodu osy na čtyři trapézové šrouby *TR1604*. Jednou otočkou krokového motoru tedy dojde k posunutí osy *Z* o 2 mm. Čtyřhranné trapézové matice vyrobené ze slitiny mědi zaručují samomazné účinky pro plynulý pohyb.

Trapézové šrouby jsou ze spodní strany uloženy v ložiskových jednotkách typu *UCFL201* od výrobce Asahi. Horní část šroubů je uložena v kuličkových ložiskách.

Napínání řemene je zajištěno posuvným napínákem a je ho možné seřizovat pootočením jednoho šroubu.

Výstupem této osy je pohyb svařeného rámu určeného pro uložení průchozího stolu. Rám se skládá z dutých ocelových profilů o rozměru 40x40x2 mm.

12.1.4 Přídavná rotační osa *B*

Tato přídavná osa bude sloužit k vyřezávání a popisování rotačních součástí.



*Obr. 13. Návrh konstrukce přídavné rotační osy **B**.*

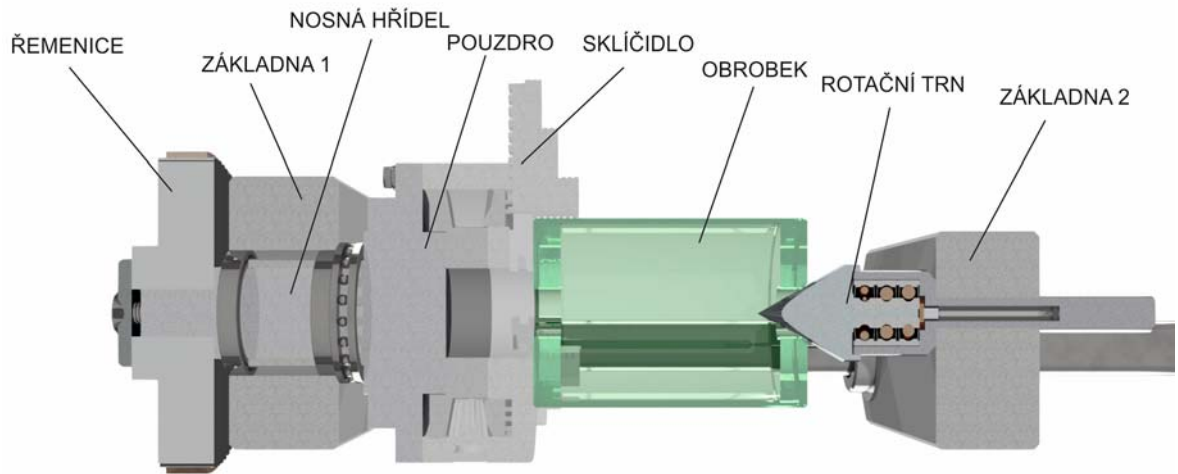
V případě potřeby použití této rotační osy *B*, viz. Obr. 13, bude toto konstrukční řešení upevněno do rámu osy *Z*.

Obrobek (zelená tyč na Obr. 13) je uložen v čelistovém sklíčidle o průměru 110 mm, maximální možný rozměr obrobku je $\phi 150 \times 500$ mm. Podepření obrobku je zajištěno rotačním trnem s válcovou stopkou.

K otáčení obráběné součásti bude použit krokový motor. Přenos krouticího momentu na sklíčidlo zajistí ozubený řemen. Převodový poměr mezi řemenicí na motoru a řemenicí na sklíčidle je 3,6 [-].

K polohování trnu slouží lineární kuličkové pouzdra typu *LM25UU*, pohybující se po pevné broušené tyči typu *W8*. Tyč je pevně uložena v základně pomocí stavěcích šroubů a na druhé základně pomocí pouzder.

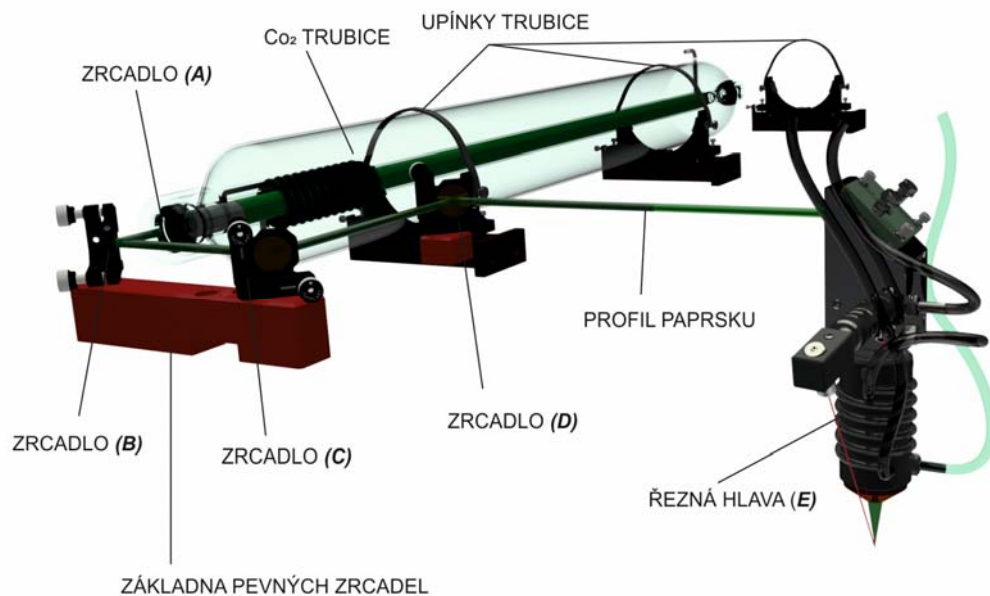
Polohu trnu zajišťuje objímka, se šroubem opatřeným ručkou pro rychlou manipulaci. Pro nastínění funkce této speciální osy je na Obr. 14 uveden řez její konstrukcí.



Obr. 14. Řez navrženou konstrukcí rotační osy B.

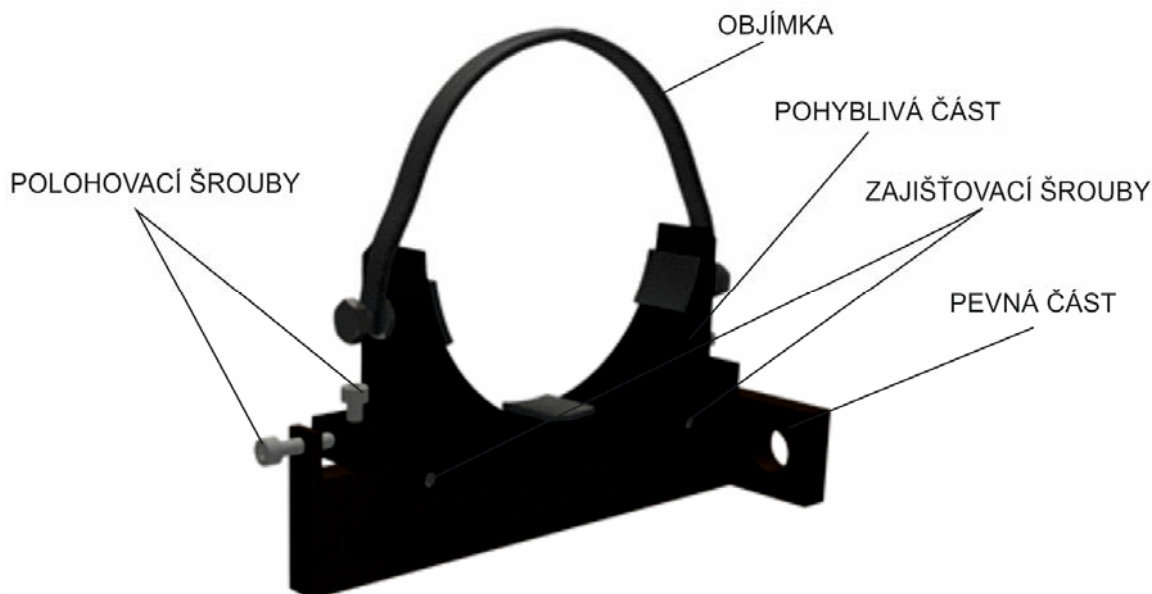
12.1.5 Optická soustava

Pro laserové stroje pracující se zdrojem paprsku z CO₂ trubice je charakteristická navigace paprsku pomocí soustavy zrcadel. Nevýhodou jsou vysoké nároky na přesnost jejich seřízení.



Obr. 15. Navržená optická soustava s naznačenou trajektorií laserového paprsku.

Světelný paprsek vychází z polopropustného výstupního zrcadla trubice (A), odrazí se na pevných zrcadlech (B, C), kde dojde ke změně trajektorie paprsku o 180° . Následně je paprsek naveden na pohyblivé zrcadlo (D), které se pohybuje spolu s osou X a láme paprsek o 90° do směru osy Y, kde vstupuje do řezací hlavy (E).



Obr. 16. Návrh pouzdra pro uložení trubice.

Trubice je uložena ve speciálních pouzdrech, viz. Obr. 16, která umožňují seřídít směr trubice rovnoběžně s osou X. Spodní část pouzdra „pevná“ je svařena z konstrukční oceli obdélníkového profilu a je připevněna na stejný nosník jako lineární vedení osy X. Horní část pouzdra „pohyblivá“ je vyřezaná z plastové desky a opatřena vyfrézovanou drážkou pro ustavení směru vedení, kontaktní strana s trubicí je obložena silikonovými vložkami, aby nedošlo k poškození trubice. Trubicí k pouzdru přitahuje elastická objímka. Polohu celého pouzdra fixují stavěcí šrouby.

Celá tato soustava se skládá ze tří pouzder s celkovou roztečí 1 000 mm, s případnou možností upnutí trubice o větších rozměrech.



Obr. 17. Náhled zvoleného držáku zrcadla od firmy Thorlabs.

Křemíkové zrcadla o průměru 25 mm jsou upnuty ve stavitelných držácích určených pro tuto aplikaci od společnosti Thorlabs, viz. Obr. 17. Tyto zrcadla byla zvolena i přes jejich vyšší cenu a to hlavně kvůli jejich vysoké kvalitě zpracování.

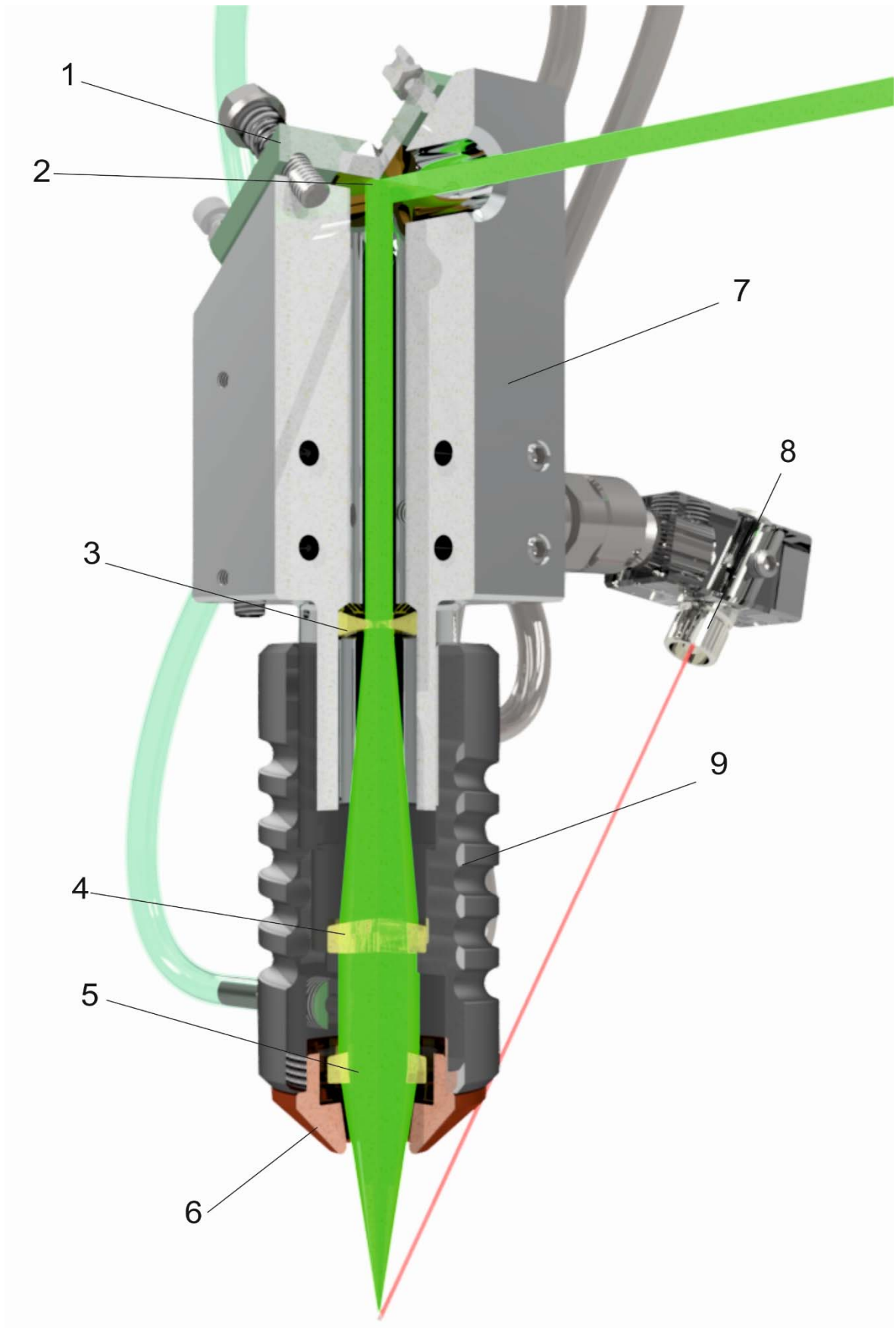
Pevná část držáku je přišroubována k základně pomocí zápusťného šroubu, v tomto případě jsou základnami broušené kostky pro dosažení jedné roviny trajektorie paprsku. Pohyblivá část se opírá celkem o tři body, kterými jsou zapuštěná kulička a dva stavěcí šrouby se špičkou kulovitého tvaru. Obě části jsou k sobě přitahovány soustavou pružinek. Poloha zrcadla je zajištěna zadní opěrnou plochou a stavěcím šroubem.

12.1.6 Hlava laseru

Zejména pro řezání laserovým paprskem se používají více fokální hlavy (hlavy s vyšším počtem čoček) tzv. expander. Existují dva způsoby expandování paprsku, Keplerův a Galileův. Cílem expanderu je zvětšit průměr paprsku vstupujícího do výstupní čočky a tím umožnit zvýšit intenzitu paprsku na plochu v místě řezu.

U Keplerova principu se používá kombinace dvou spojek, vzdálenost mezi osami čoček je součtem ohniskových vzdáleností obou čoček.

Galileův princip využívá kombinace spojky a rozptylky, vzdálenost mezi osami čoček se rovná rozdílu ohniskových vzdáleností čoček. Tento princip je pro řezací hlavu výhodnější, kvůli menším požadavkům na velikost hlavy při stejném zvětšení paprsku.



Obr. 18. Návrh originálního řešení konstrukce řezné hlavy.

Na Obr. 18 je uveden originální návrh konstrukce řezné hlavy. V hlavě je umístěno jedno zrcadlo (2), které mění směr paprsku ze směru osy Y o 90° do směru osy Z a tři čočky. První čočka „rozptylka“ (3) láme paprsek směrem od osy paprsku a tím zvětšuje jeho průměr. Druhá čočka „spojka“ (4) láme paprsek zpět do rovnoběžného směru s osou. Poslední čočka (5) je výstupní a zaostřuje laserový paprsek do jediného bodu o průměru φ [mm] a intenzitě I [$W \cdot mm^{-2}$].

Pevná část hlavy (7) je pevně přišroubována k nosiči na ose Y , její upínací část je vybroušena pro zaručení kolmosti vůči ose Y , ostatní plochy jsou frézovány, nebo soustruženy. Uvnitř pevné části je uložena čočka (3), její poloha je zaručena opěrnou plochou a stavěcím šroubem. Skrz tělo základny vede soustava kanálů určených pro chladicí médium.

Stavitelná část hlavy (9) slouží jako nosič čočky (4), je vyrobena soustružením ze slitiny hliníku a nasazena na válcovitou část základny pro zajištění souososti čoček. Tuto část je možné posouvat vůči základně (7) ve směru osy Z , aby bylo dosaženo přesné kalibrace ohniskových vzdáleností čoček expanderu (3,4), polohu jistí stavěcí šrouby. Do části mezi čočkami 4 a 5 je přiveden proud vzduchu, nebo přídavného plynu, který plní hned několik funkcí, mezi které patří ochrana výstupní čočky vůči výparům, ale i cirkulace vzduchu přes uzavřený prostor mezi čočkami.

Po obvodu stavitelné části hlavy je vyfrézována spirálovitá drážka připravená k omotání měděnou trubicí pro chlazení. Měděná trubice se namotá za tepla, ochlazením dojde ke smrštění a těsnému kontaktu trubice s chlazenou částí, v případě vzniku nežádoucích mezer bude použita tepelně vodivá pasta.

Pozice 6 patří pouzdru pro uložení výstupní čočky. Pouzdro je přišroubováno k stavitelné části hlavy. Z vnitřní stany pouzdra jsou do kříže vyfrézovány drážky, které umožňují obtok proudu vzduchu okolo výstupní čočky (5). Materiálem bude slitina mědi pro vysokou tepelnou vodivost a snadné čištění pouzdra, které je velmi blízko obráběnému materiálu. Pro každou technologickou operaci jsou vhodné různé ohniskové vzdálenosti čoček, tím se mění i průměr paprsku ve výstupní části pouzdra. Pro každou čočku bude použito speciální pouzdro. Tím bude zaručena snadná vyměnitelnost čoček pro různé technologické operace bez nutnosti seřizování celé osy.

Křemíkové zrcadlo (2) je uloženo ve stavitelném pouzdře (1). Pevnou rozteč mezi základnou (7) a stavitelným pouzdrém zajišťuje zapuštěná kulička. Pro nastavení směru zrcadla slouží celkem tři šrouby s kulovitou špičkou. Celé pouzdro je přitlačováno k základně pomocí dvou

pružin navinutých na šroubech upevněných do základny. K zajištění polohy zrcadla jsou po obvodu rozmístěny tři stavěcí šrouby.

Pro snadné seřizování nulového bodu os X a Y bude jako zaměřovač použit diodový zdroj laserového paprsku (8) o výkon 5mW. Zaměřovač bude uložen v držáku připevněném k základně přes stavitelný kloub, pro jednoduchou manipulaci v případě odchylky, nebo změny typu výstupní čočky. Protože je obráběcí laserový paprsek neviditelný, seřízení vzájemné polohy se zaměřovačem proběhne vypálením úzkého bodu do kontrolní desky a následným nastavením orientace viditelného paprsku zaměřovače do stejného bodu.

Při dělení materiálů laserovým paprskem je ohnisko výstupní čočky zaostřeno do středu tloušťky materiálu. Nastavení ohniska paprsku proběhne manuálně, pohybem osy Z , v závislosti na ohniskové vzdálenosti čočky a tloušťce řezaného materiálu.

Profil trajektorie laserového paprsku je naznačen zelenou barvou, ve skutečnosti není okem viditelný.

Jako příklad výpočtu parametrů expanderu budou použity následující vstupní hodnoty:

- Průměr paprsku vstupujícího do hlavy $\varphi d = 5$ [mm]
- Požadované zvětšení paprsku $Z = 3$ [-]
- Ohnisková vzdálenost čočky (poz.3) $F_3 = 20$ [mm]
- Ohnisková vzdálenost čočky (poz.5) $F_5 = 50$ [mm]
- Výkon CO₂ trubice $P = 150$ [W]
- Koeficient předpokládané chyby $M^2 = 1,6$ [-]

Průměr zvětšeného paprsku:

$$\varphi D = d \cdot Z \quad (6)$$

$$\varphi D = 5 \cdot 3 = 15 \text{ [mm]}$$

Ohnisková vzdálenost čočky (4):

$$F_4 = F_3 \cdot Z \quad (7)$$

$$F_4 = 20 \cdot 3 = 60 \text{ [mm]}$$

Průměr zaostřeného bodu:

$$\varphi = 0,013 \cdot F_5 \cdot \frac{M^2}{D} \quad (2)$$

$$\varphi = 0,013 \cdot 50 \cdot \frac{1,6}{15} = 0,07 \text{ [mm]}$$

Plocha zaostřeného bodu:

$$S = \frac{\pi \cdot \varphi^2}{4} \quad (8)$$

$$S = \frac{0,07^2}{4} = 0,0038 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Ideální síla řezaného materiálu:

$$\delta = 0,027 \cdot \left(\frac{F_5}{D}\right)^2 \quad (5)$$

$$\delta = 0,027 \cdot \left(\frac{50}{15}\right)^2 = 0,3 \text{ [mm]}$$

Intenzita paprsku v zaostřeném bodě:

$$I = \frac{P}{S} \quad (9)$$

$$I = \frac{150}{0,0038} = 39\,473 \text{ [} \frac{W}{\text{mm}^2}\text{]}$$

Osová vzdálenost mezi rozptylkou 4 a spojkou 5:

$$X = F_5 - F_4 \quad (10)$$

$$X = 60 - 20 = 40 \text{ [mm]}$$

Výše uvedené výpočty slouží jako předpoklad pro konstrukci řezací hlavy. Skutečné hodnoty se mohou značně lišit v závislosti na skutečně použitých součástech.

12.1.7 Stůl

Vhodným základem pro celou konstrukci laserového obráběcího stroje je svařený rám skládající se z řady, dutých i plných ocelových profilů, viz. Obr. 19.



Obr. 19. Náhled na konstrukci nosného stolu.

Ke stolu budou připevněny hlavní nosníky pracovních os, motory, řemenice, dále také rám a plechy pro zakrytování. Stůl je proto základem celé konstrukce.

Nohy a horní rám stolu budou vyrobeny z dutých čtvercových profilů 100x100x4 mm. Spodní část rámové konstrukce bude svařena z plných obdélníkových profilů 40x60 mm.

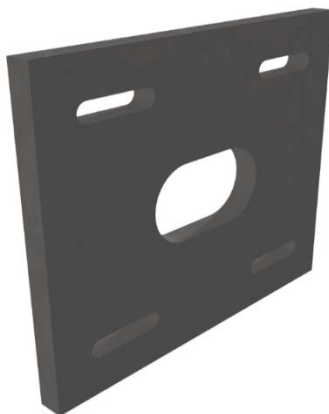
Z přední a zadní strany, kde nebude nutný přístup, dojde k zakrytí přivařenými plechy tloušťky 1,5 mm. K ostatním prostorům dutiny stolu je třeba zachovat přístup, proto se plechy přišroubují. Pro ukotvení stolu jsou v místě kontaktu s podlahou připraveny patky, v nichž jsou vyvrtány otvory pro ukotvení celého stroje pomocí chemické kotvy a šroubovic.

Konce dutých profilů jsou zařezávány na pásové pile pod úhlem 45°, spojením profilů v rozích vznikne uzavřený rám. Řezáním na pásových pilách je možné docílit relativně vysoké přesnosti a čistého řezu díky chlazení řeznou kapalinou.

Výroba stolu proběhne prvořadně, pokud dojde k odchylkám, které jsou při svařování konstrukci běžné, budou rozměry ovlivněných součástí upraveny, aby nedošlo ke kolizi.

Výše uvedené profily jsou běžně dostupné v provedení vyrobeném z oceli třídy 11 373 válcováním. Ocel třídy 11 373 je neušlechtilá konstrukční ocel vhodná ke svařování. Obvykle

se používá na namáhané součásti konstrukcí strojů staticky, ale i mírně dynamicky. Protože zde nejsou předpokládány žádné síly vyvolané funkcí stroje, je hlavním parametrem volby materiálu svařitelnost.



Obr. 20. Náhled na konstrukční řešení upínky krokového motoru.

Pro upnutí motorů pracovních os X a Z jsou určeny ocelové výpalky o rozměrech 120x100x8 mm, viz. Obr. 20. Tyto držáky budou přivařeny ke konstrukci rámu stolu. Drážky umožňují napínání ozubených řemenic posouváním motoru.

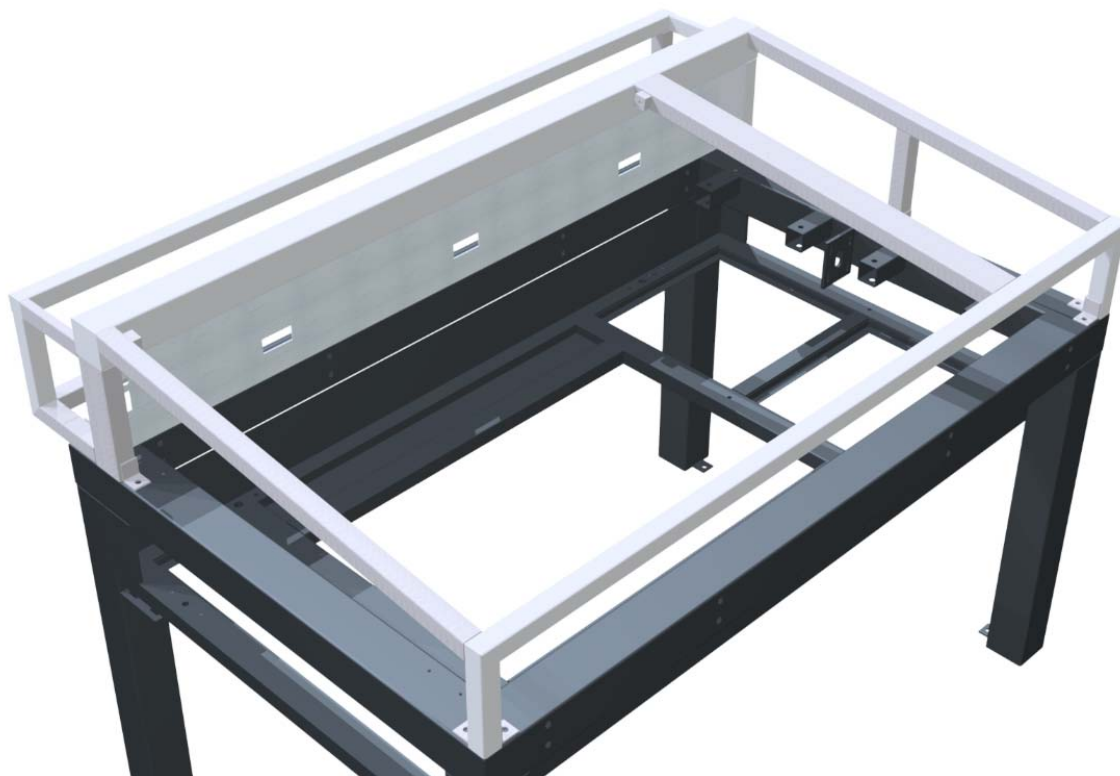
Parametry stolu:

- Rozměry (délka x šířka x výška) 1803x1160x950 [mm]
- Váha cca 250 [kg]

Pro rámové konstrukce se jako povrchová úprava používá metoda komaxitování, ale vzhledem k váze stolu je výhodnější povrchový nátěr nebo nástřík.

12.1.8 Rám

Slouží jako základ pro uzavření pracovního prostoru, viz. Obr. 21.



Obr. 21. Náhled na návrh řešení rámu.

Tato oddělená rámová konstrukce bude připevněna k základnímu stolu pomocí šroubů. Je to alternativní řešení výroby jednoho svařeného kusu. Důvodem je rozdělení sestavy na více tvarově jednodušších dílů, čímž dojde k usnadnění manipulačních operací.

Vnitřek rámu je rozdělen na dvě oblasti, v přední oblasti je pracovní část laserového stroje. Zadní oblast je určena pro uložení laserové trubice. Obě oblasti jsou odděleny ocelovým plechem tloušťky 1,5 mm, ve kterém jsou vyřezány otvory. Pro zvětšení prostoru uvnitř rámu a snadnější manipulaci při provozu stroje, není horní plocha rámu rovnoběžná se stolem, ale v jedné ose stoupá pod úhlem $6,6^\circ$. Zešíkmením byl získán prostor pro energetické řetězy os X a Y a ovládací panel.

Konstrukce je vyrobena z ocelových profilů různých průřezů. Obvod se skládá z profilů 40x40x3 mm, nosník procházející napříč konstrukce z profilů 80x80x3 mm a je na něm mimo jiné upevněn poklop.

Jako vhodný materiál byla stejně jako u konstrukce stolu zvolena neušlechtilá ocel třídy 11 373 se zaručenou svařitelností.

Parametry rámu:

- Rozměry (délka x šířka x výška) 1803x1285x330 [mm]

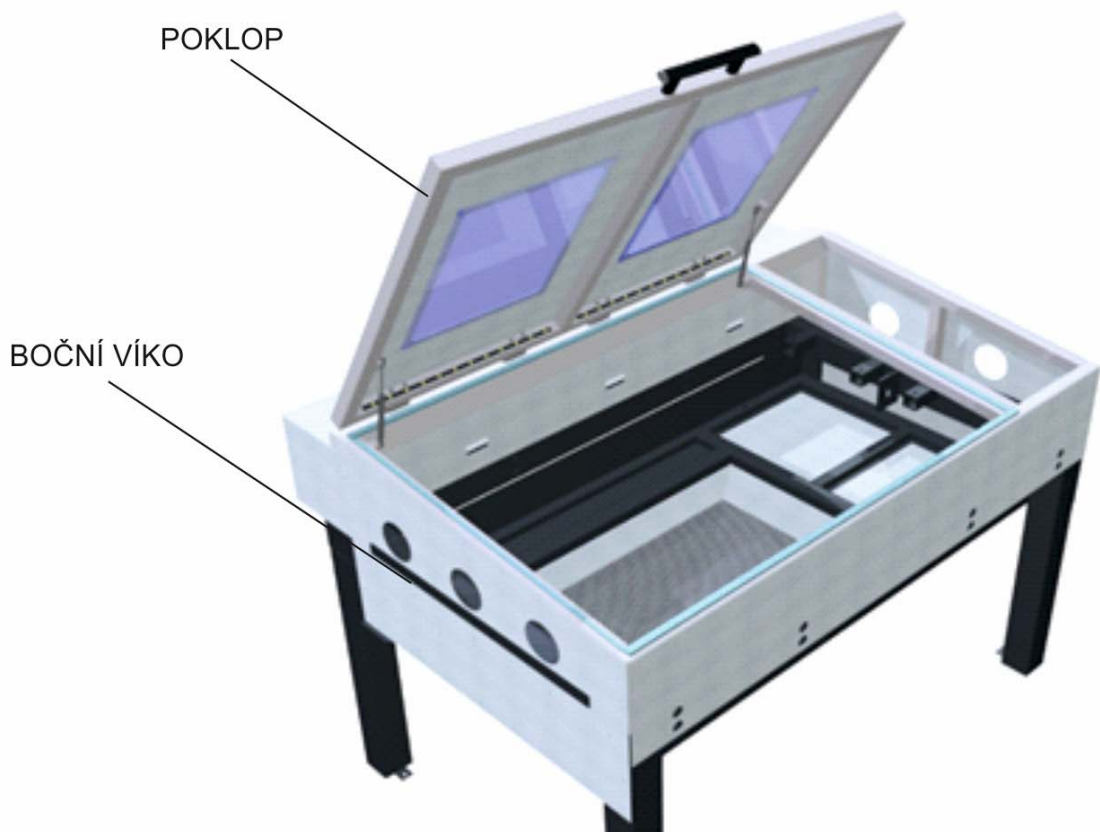
- Váha cca 68 [kg]

Rám bude vyroben tak, aby jeho okraje lícovaly s okraji stolu, pro umožnění konečného zakrytí celého stroje.

Po vybroušení svarů a vyvrtání děr bude finální úpravou rámu nástřik ochranné barvy.

12.1.9 Opláštění

Skládá se ze soustavy plechů připevněných ke stolu a rámu, poklopu a těsnění, viz. Obr. 22.



Obr. 22. Pohled na navržené opláštění zařízení z přední strany.

Funkce opláštění:

- Ochrana citlivých součástí stroje.
- Ochrana obsluhy před poraněním a zásahem odraženého laserového paprsku.
- Usměrnění proudu vzduchu skrz materiál do odsávání.
- Izolace pracovního prostoru proti úniku škodlivých výparů.
- Vzhledová.



Obr. 23. Pohled na navržené opláštění ze zadní strany.

Ve všech místech kontaktu plechů s rámem je použit silikonový proužek se samolepící páskou. Jeho funkce je především izolační, ale také kompenzuje nerovnosti, které se mohou vyskytnout na obvodu rámu a stolu.

Po celém povrchu stroje je pevně uchyceno 12 plechů včetně trychtýře ve spodní části, ke kterému je připojeno odsávání. Kónický tvar ústí odsávání zaručuje plynulý odtah vzduchu z celého objemu stroje. Odtah je umístěn ve spodní části konstrukce, aby docházelo k odvodu výparů skrze řezaný materiál.

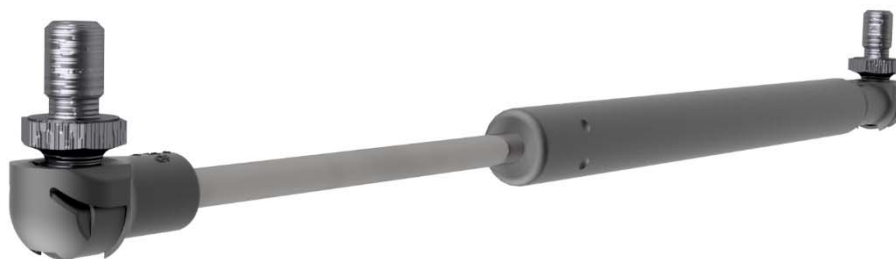
Všechny plechy opláštění jsou tloušťky 1,5 [mm] a z materiálu třídy 11 373. Plechy bez větších otvorů, nebo drážek jsou výstřižky, ostatní jsou výpalky.

Otvory pro odvětrávání mají z vnitřní strany přivařenou ochranou mřížku. Ochranná mřížka je také v trychtýři, aby výpalky menších rozměrů nemohly propadnout do odtahu.

Aby bylo možné vkládat polotvary (desky) maximálního formátu (1250x650 mm) je z boční strany navrženo odnímatelné víko.

Horní poklop se skládá z rámu vyrobeného z ocelových profilů 40x40x2 mm a plechu tloušťky 2 mm, ve kterém jsou vyřezány otvory pro kontrolní okna. Tyto otvory jsou „zaskleny“ plastovými deskami se strukturou zabraňující průniku laserového záření.

Pro snadné otevírání a automatické udržení otevřené polohy slouží plynové pružiny typu 16-1-154-124-A246-B246 od výrobce Suspa, viz. Obr 24. Celková délka tohoto typu pružiny je 316 mm, při maximálním zdvihu 100 mm. Tlumič se skládá z tlakového válce a pístu, válec je natlakovaný dusíkem a obsahuje olej.



Obr. 24. Náhled na navržené tlumiče 1-154 od firmy Suspa.

Plechy pro opláštění včetně poklopu budou vážit cca 80kg.

12.1.10 Pracovní stůl

Pokud je při řezání laserovým paprskem dělený materiál s podložkou ve styku po celé ploše, pak paprsek prochází přes dělený materiál a odráží se o podložku zpět do dílce, což má za následek snížení kvality řezu. Proud vzduchu, nebo přídavného plynu se láme na dílci a do místa řezu se dostane jen malá část proudu, což má na kvalitu a rychlost řezu rovněž negativní vliv. Z těchto problémů vyplývá potřeba co nejmenší plochy kontaktu mezi obráběným materiálem a pracovním stolem laserového stroje.

Pro čisté řezy především polymerních materiálů je nezbytné použít speciální stoly, jako je například voštinový stůl vyobrazený na Obr. 25.



Obr. 25. Voštinový stůl. [18]

Voštinový stůl se skládá se z průchozí mřížky voštinovité struktury a obvodového rámu vyrobeného ze slitiny hliníku. Toto řešení zajišťuje minimální kontakt mezi materiálem a stolem, dále umožnění proudění vzduchu skrze dělený materiál. Díky vlastnostem stolu je možné docílit velmi kvalitní struktury řezu. Další výhodou použití tohoto druhu stolu, jeho snadná výměna. Nevýhodou je, že při řezání dochází k jeho opotřebování s nutností jeho výměny.



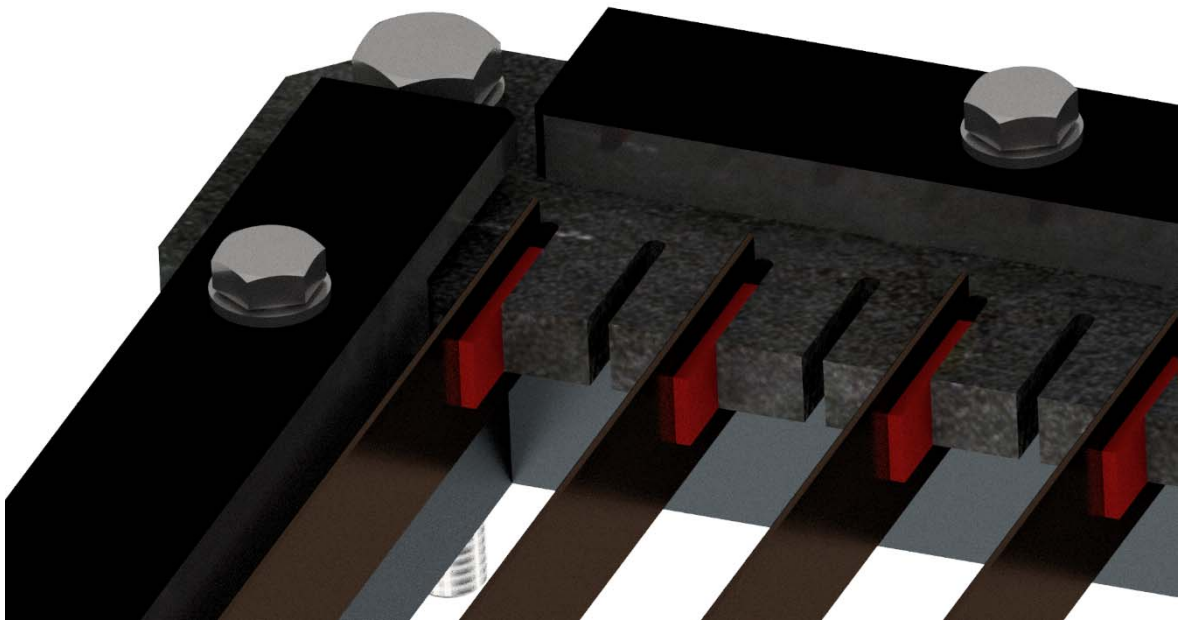
Obr. 26. Náhled na navržené konstrukční řešení mřížového stolu.

Vzhledem k rozměrům a zjednodušení seřízení vzájemné polohy jednotlivých souřadných os bylo navrženo konstrukční řešení v podobě mřížovaného stolu, viz. Obr. 26.

Základem stolu je svařený rám z ocelových profilů obdélníkového průřezu 30x40x2 mm třídy 11 375. Na přední a zadní straně základny jsou přišroubovány celkem čtyři díly obdélníkového profilu 60x10 mm se zářezy připravenými pro uložení kontaktních prvků.

Jako kontaktní (nosné) prvky slouží celkem 44 ocelových pásků o rozměrech 693x22x1 mm. Tyto pásky jsou vyrobeny stříháním z tabule plechu. Rozteč mezi jednotlivými pásky je 30 mm, v případě vyřezávání výrobků menších rozměrů jsou připraveny drážky pro uložení další pásků (tedy 88 pásků s roztečí 15 mm).

Pro uložení polotovaru rovnoběžně s pracovními osami X a Y jsou určeny dvě ocelové tyče, které jsou z boční kontaktní strany broušeny.



Obr. 27. Náhled na detail navrženého mřížového stolu.

Princip tohoto návrhu pracovního stolu spočívá v odstranění nepřesností vzniklých při výrobě, čímž jsou kladeny nižší nároky na přesnost konstrukce rámu a osy. Všechny nepřesnosti stroje jsou vykompenzovány jediným stavitelným členem, v tomto případě stolem.

Seřizování Osy Z probíhá ukládáním kontaktních pásků doražením k hlavě laseru, viz. Obr. 27. Tím je zaručena přesná vzdálenost mezi hlavou a stolem ve všech polohách povrchu pracovní plochy. Plechové pásky jsou zajištěny nalisovanými plastovými klíny (červená barva).

K seřízení os X a Y jsou broušené tyče uloženy v polovině délky pomocí čepů, které umožňují mírnou rotaci a tím seřízení rovnoběžnosti s danou osou, opět podle hlavy. V dané poloze jsou tyče zajištěny soustavou šroubů.

Celý pracovní stůl je vložený v rámu osy Z a zajištěný čtyřmi šrouby v rozích.

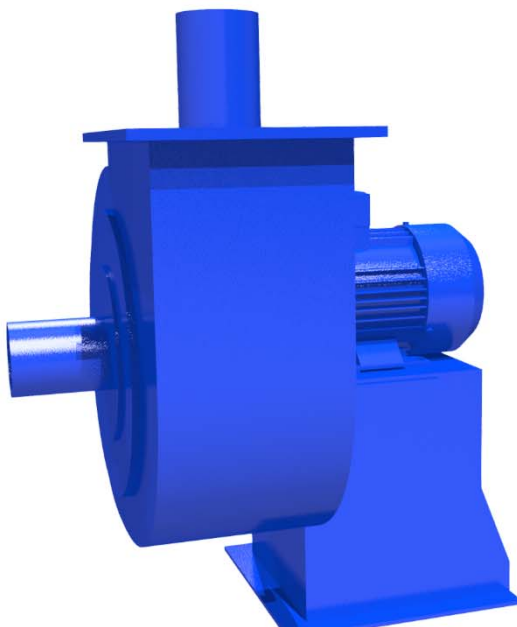
Parametry stolu:

- Vnější rozměry 1387x775x50 mm
- Funkční rozměry 1348x746x200 mm
- Hmotnost cca 50 kg

12.1.11 Odsávání

K odvádění výparů a usměrnění proudu vzduchu přes pracovní prostředí, je zvolen lopatkový ventilátor typu PNE250, viz. Obr. 28, od Českého výrobce Janka Engineering s.r.o s těmito parametry:

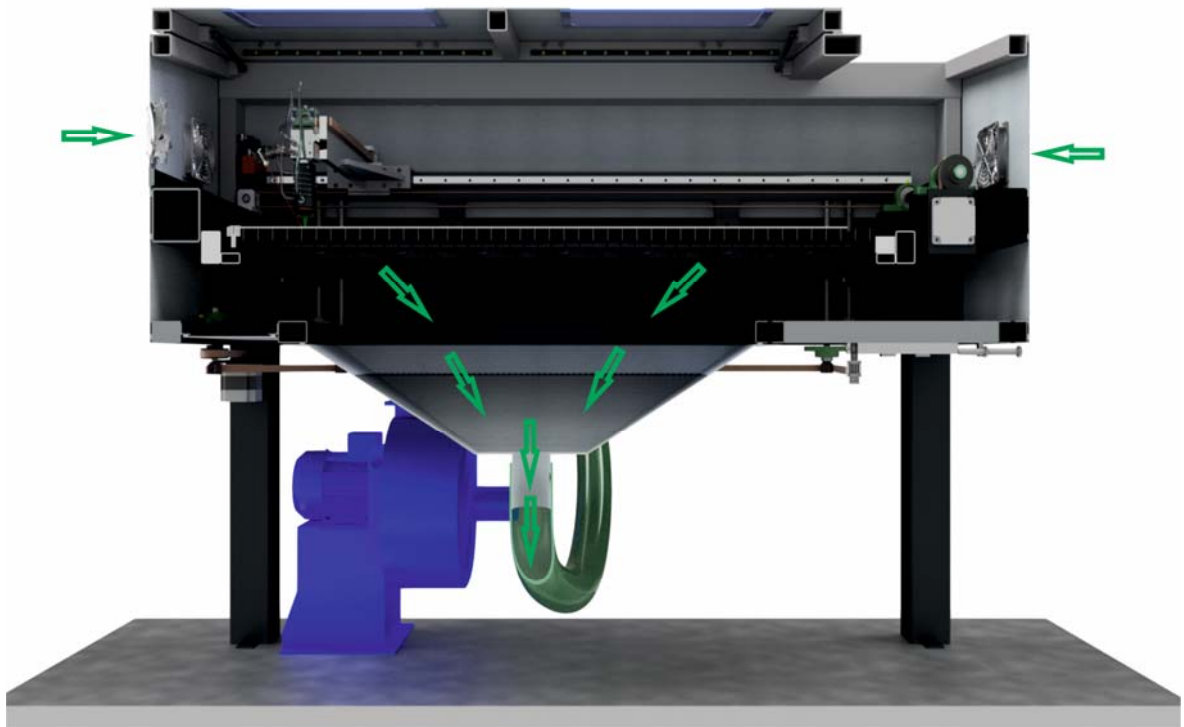
- Objemový průtok $Q_v = 0,45 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
- Vyvinutý podtlak $P_p = 410 \text{ [Pa]}$
- Příkon elektromotoru $P_p = 0,24 \text{ [kW]}$
- Otáčky $n = 1410 \text{ [min}^{-1}]$
- Váha $m = 26 \text{ [kg]}$



Obr. 28. Model větrákového odsávače PNE250.

Pomocnou funkci odsávání plní soustava pěti ventilátorů typu *Arctic Fan F12 PWM*.

Podstatou této soustavy je docílení atmosféry s usměrněným tokem vzduchu, viz. Obr. 29. Ústí odváděného vzduchu bude v příslušném filtru mimo pracoviště.



Obr. 29. Náhled na zamýšlený princip proudění vzduchu skrze pracovní prostor.

12.1.12 Zdroj stlačeného vzduchu

Při obrábění laserovým paprskem dochází k natavení, až odpaření materiálu. Pokud by se výpary vzniklé vypařováním usadily na povrchu čočky, intenzita laserového paprsku by čočku znehodnotila.

Pro ochranu výstupní čočky se používá stlačený vzduch proudící ven z ústí hlavy, tím je zamezeno, aby se zbytky vypařeného materiálu mohly usadit na povrchu čočky.

Pokud je proud vzduchu dostatečně silný, může plnit taky pomocnou funkci dělení materiálu. Odstraňuje výpary z trajektorie paprsku, které mohou značně snižovat výkon, ale taky unáší natavený materiál z místa řezu.



Obr. 30. Pístový kompresor 103-50-3M. [19]

Pro tuto aplikaci byl zvolen kompresor pístového typu 103-50-3M, od výrobce Fini Advanced. Pístové kompresory jsou vhodné pro svůj velký objem zásobníku stlačeného vzduchu, při cyklickém spínání kompresoru.

Parametry kompresoru:

- Objemový průtok $Q_v = 235 \text{ [l. min}^{-1}\text{]}$
- Objem nádrže $V = 50 \text{ [l]}$
- Maximální tlak $p = 10 \text{ [bar]}$
- Příkon elektromotoru $P = 2,2 \text{ [kW]}$
- Elektro – mechanický tlakový spínač
- Redukční ventil s manometrem

Nevýhodou pístových kompresorů je únik malého množství oleje a kondenzované vlhkosti. Styk s olejem je pro optickou soustavu nepřijatelný, proto bude nutné k výstupu kompresoru přiřadit takzvaný odlučovač.

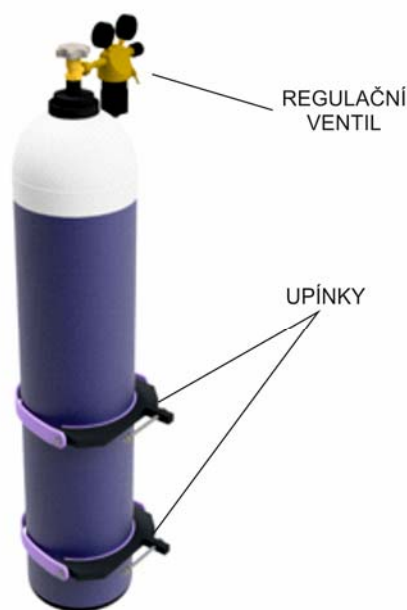
Odlučovač je filtr pro odloučení hrubých nečistot, úniku oleje a vody. Skládá se z ocelového těla, bronzové filtrační vložky a nádoby s ventilem pro manuální odpouštění nečistot.

12.1.13 Podpurný plyn

Pro některé aplikace laserového paprsku se mohou používat přídavné plyny.

Například při dělení konstrukční oceli se používá čistý kyslík pro podpoření exotermické reakce, při dělení nerezové oceli dusík, naopak pro zbrzdění reakce a tím získání čistého řezu a zachování korozivzdorných vlastností.

Podpurné plyny mají na technologické operace značný vliv, nevýhodou je ale jejich spotřeba, tedy s ní spojené vysoké náklady. Laserové stroje vyšší cenové kategorie jsou vybaveny se elektrickým spínačem, který řídí přísun plynu do místa řezu, současně s buzením paprsku. Tímto je zamezeno zbytečným ztrátám plynu a snížení nákladů na obrábění.



Obr. 31. Náhled na nádobu se stlačeným plynem včetně upínek.

Láhev stlačeného plynu, viz. Obr. 31 je k základnímu stolu sestavy laserového stroje uchycena pomocí dvou upínek, které jsou vyřezány z konstrukční oceli. Síla upínek je 20 mm a váha každé z nich cca 2 kg. Láhev je k upínkám přitažena použitím elastických pásků, nebo provazů.

Zařazení elektricky řízeného ventilu pro pouštění plynu do místa řezu bude do systému použito podle vytíženosti a potřeby použití přídavných plynů.

12.1.14 Chlazení

Ve zdroji laserového paprsku dochází ke vzniku tepla, které je nutné z prostoru trubice odvádět pomocí chladicího okruhu.



Obr. 32. Průmyslový chladič CW 5200.

Pro chlazení laserových trubice se často používají průmyslové chladiče řady CW. Podle výkonu trubice byl zvolen chladič typu CW5200, s přesnou regulací teploty a chybou 0,3 °C, s alarmem zabezpečujícím průtok chladicího média a ochranou proti přepětí.

Parametry průmyslového chladiče CW 5200:

- Maximální průtok vody 10 [l. min⁻¹]
- Objem nádrže 6 [l]
- Výkon kompresoru 0,52 [kW]
- Rozměry 550x280x430 [mm]
- Hmotnost cca 31 [kg]

Studená chladicí kapalina proudí z chladiče soustavou hadic do laserové trubice, kde dojde k přenosu tepla z trubice na chladicí médium. Ohřátá kapalina se vrací do chladiče. Proudění kapaliny udržuje čerpadlo, kapalina pokračuje do výparníku, kde se horká kapalina vypaří, kompresor páru stlačí a k ochlazení dojde v kondenzátoru.

Tento typ chladicího zařízení byl zvolen, pro schopnost udržení stabilní pracovní teploty, s přijatelnou odchylkou, při dlouhodobé zátěži.

V sestavě stroje je několik vzduchových chladicích systémů. Odvod přebytku tepla z prostoru okolo trubice umožňuje soustava ventilátorů. Další ventilátory chladí prostor v řídicí

skříně, kde studený vzduch proudí od směrem podlahy, přes celý objem skříně a vystupuje z horní části přes větrací otvory.

12.1.15 Řídící jednotka

Po porovnání možností řízení jednotlivých pohybových os a buzení paprsku je výhodnou volbou řídicí jednotka typu RDC633G od výrobce RuiDa Technology CO., LTD, viz. Obr. 33.



Obr. 33. Řídící jednotka RDC633G. [20]

RDC633G je řídicí jednotka určená speciálně pro řezání a gravírování pomocí laserového paprsku. Uživatelské rozhraní se skládá ze dvou částí. První částí je displej s uživatelským rozhraním určeným pro ovládání základních funkcí, jako je například manuální polohování, správa referenční polohy, úprava parametrů obrábění přímo na stroji, načítání a spouštění programů a mnoho dalších funkcí.

Druhá část je tzv. FGPA (Field Programmable Gate Array), což je obvod, který se skládá z logického členu, mikroprocesoru s vlastní pamětí a pamětí pro obsah ROM. Kombinací těchto dvou částí je vlastní počítač.

Komunikace s počítačem je umožněna pomocí rozhraní USB 2.0, nebo síťového kabelu.

Jednotka je spojena s driverem jednotlivých krokových/servo motorů, zdrojem laserové trubice, ale také s čidly pro zabezpečení chlazení trubice, proudění vzduchu ale i uzavření víka.

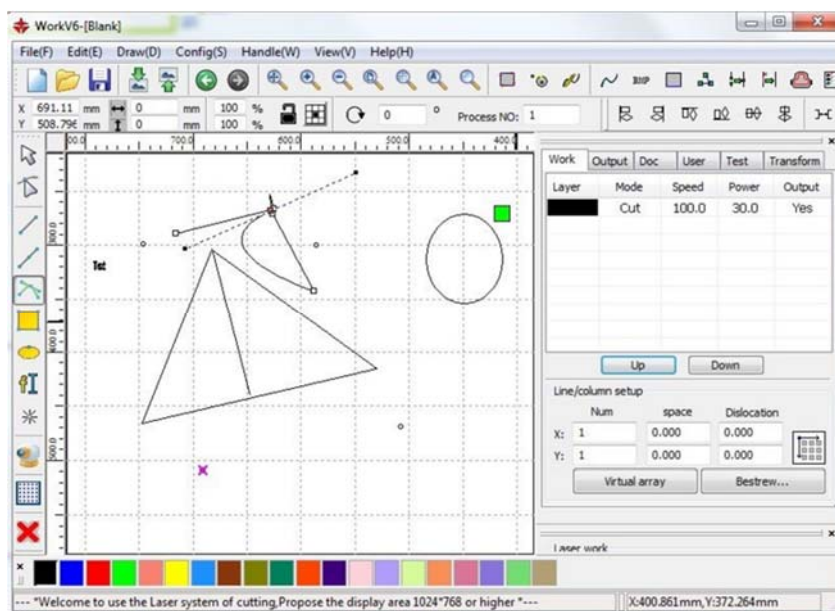
12.1.16 Software

Výrobce Ruida Technology nabízí hned několik možností k programování obrábění.

RD CAMV6

Grafický obrazec, či trajektorie řezu je importována do tohoto programu, nebo je možné vytvořit jednoduché tvary přímo v *RD CAM*. Jednotlivým čarám uživatel přiřadí hladiny (barev) s různými parametry intenzity záření a rychlosti posuvu. Proto je možné gravírovat i řezat v jednom kroku.

Podporované formáty jsou DXF, AI, PLT, DST, G kód, JPG, GIF.



Obr. 34. nastavbový modul RDplug. [21]

RDPlug

Jedná se o nastavbový modul, který se nainstaluje do grafického programu (například AutoCad, CorelDaw, Cadian, a další). Pracovní prostředí je stejné jako u softwaru *RD CAM*.

Oba tyto programy jsou zdarma a fungují na operačních systémech Windows XP, Vista, WIN7, WIN8 (32/64Bit).

12.1.17 Motory pro pohon pracovních os

Pracovní osy jsou poháněny pomocí krokových, nebo servo motorů. Vzhledem k ceně a nárokům na přesnost jsou ideální krokové motory.

K pohybu u krokových motorů dochází buzením jednotlivých vinutí rotoru a pootočení o určitý úhel (tzv. krok).

Hlavní výhodou jsou nízké pořizovací náklady a téměř nulové požadavky na údržbu.

Mezi hlavní omezující parametry krokových motorů patří vysoká hlučnost, vibrace, nebo ztráta kroku, ke které dochází překročením mezního zatížení. Tyto negativní vlastnosti vedou k potlačení plynulosti pohybu.

Pro osy (X, Y, Z) byly zvoleny 86HS45 od výrobce Leadshine Technology Co., Ltd.



Obr. 35. Krokový motor 86HS45. [22]

Základní parametry:

- Krouticí moment: 4,5 [Nm]
- Proud: 6 [A] (pro paralelní zapojení)
- Úhel pootočení 1,8 [°]
- Rozměry 86 x 86 x 80 [mm]
- Výstupní hřídel: $\varnothing 12,7 \times 20$ [mm]
- Příruba: NEMA34

12.1.18 Ovladače pro pohonné motory

Aby bylo možné motory ovládat, používají se tzv. drivery (pro každý motor vlastní driver). Signál je vyslán z řídicí jednotky speciálně odstíněnými optickými kabely do driverů, kde je zpracován a pokračuje do motoru.

Ovladač je elektrický obvod, který slouží ke generování elektrických impulzů o určité frekvenci a délce, tyto impulsy budí jednotlivá vinutí motoru a dochází k pootočení. Parametry impulzů řídí počet kroků až otáček, smysl ale také krouticí moment motoru.

Vzhledem k parametrům motorů byly zvoleny drivery typu EM806 od stejného výrobce (Leadshine Technology).

Hlavní předností tohoto driveru je úplná digitalizace, což umožňuje uživateli precizní nastavení parametrů impulzů a tím i plynulejší pohyb motoru.



Obr. 36. Řídicí jednotka EM806. [23]

Parametry:

- Napájecí napětí: do 80 V
- Napájecí proud: do 8,2 A
- Rozlišení kroku: 400 - 25 600 kr/ot
- Maximální vstupní frekvence: 200 KHz

12.1.19 Zdroj světelného paprsku

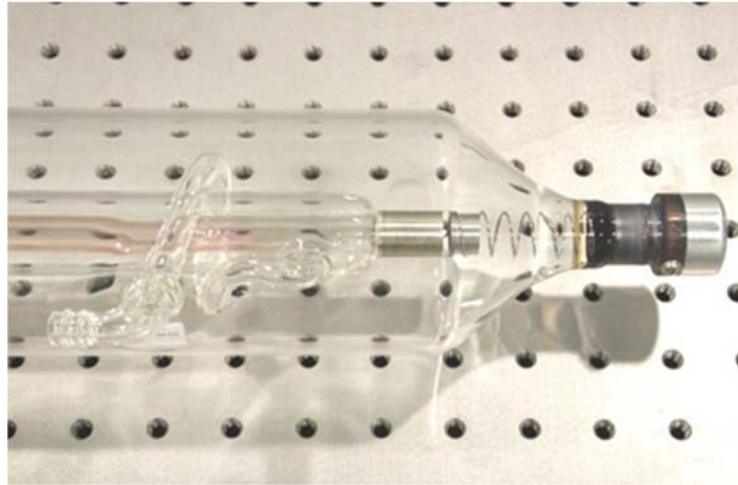
U CO₂ laserů dochází ke generování paprsku uvnitř trubice vyplněné směsí plynů vlivem elektrických impulsů na diodách. Tyto impulzy jsou generovány na zdroji, jehož parametry odpovídají parametrům trubice. Mezi jedny z hlavních výrobců trubic, zdrojů a zrcadel v dostupné cenové kategorii se řadí Beijing Reci Laser Technology Co., Ltd.

Od výkonu trubice se odvíjí výkon celého stroje. Trubice se zdrojem jsou nejnákladnějšími komponenty celé sestavy CNC obráběcího laseru.

Pro prvotní seřízení optické soustavy a seznámení se s problematikou CO₂ laserových trubic bude dostačující nižší výkon (například trubice o výkonu 40W).

Trubice jsou poměrně velkých rozměrů (s výkonem rostou i rozměry trubice o výkonu 180W je dlouhá 1,8 m) a obvodový plášť je vyroben ze skla, proto je zde problém s vysokými nároky na jemné zacházení při přepravě.

Pro provoz laseru byla zvolena trubice Reci s6 pro dostačující výkon, stálost paprsku a dlouhou životnost trubice, viz. Obr. 37.



Obr. 37. CO₂ laserová trubice Reci s6. [24]

Parametry:

- Jmenovitý výkon: 130W
- Maximální výkon: 160W
- Délka: 1650mm
- Průměr 80 mm
- Životnost 10 000 hod.
- Pracovní teplota 10 – 40 °C

Tento typ trubice je díky poměrně vysokému výkonu vhodný pro gravírování, ale zejména pro řezání tlustých polymerních desek, nebo pro řez tenkého plechu oceli, nerezové oceli, atd. za použití přídavného plynu.

12.1.20 Zdroj energie

Aby trubice byla schopna generovat paprsek o jmenovitém výkonu a za předpokladu dlouhé životnosti, musí parametry zdroje odpovídat parametrům trubice.

Zdroj dokáže regulovat výkon trubice (nižší výkon s vysokou frekvencí pulzů pro gravírování, vysoký výkon s nízkou frekvencí pulzů pro dělení).

Aby nedošlo k přehřátí zdroje, je chlazení zajištěno ventilátory.

Pro zachování výkonu a životnosti byl zvolen zdroj od stejného výrobce typu Reci P16.



Obr. 38. Zdroj energie Reci P16. [25]

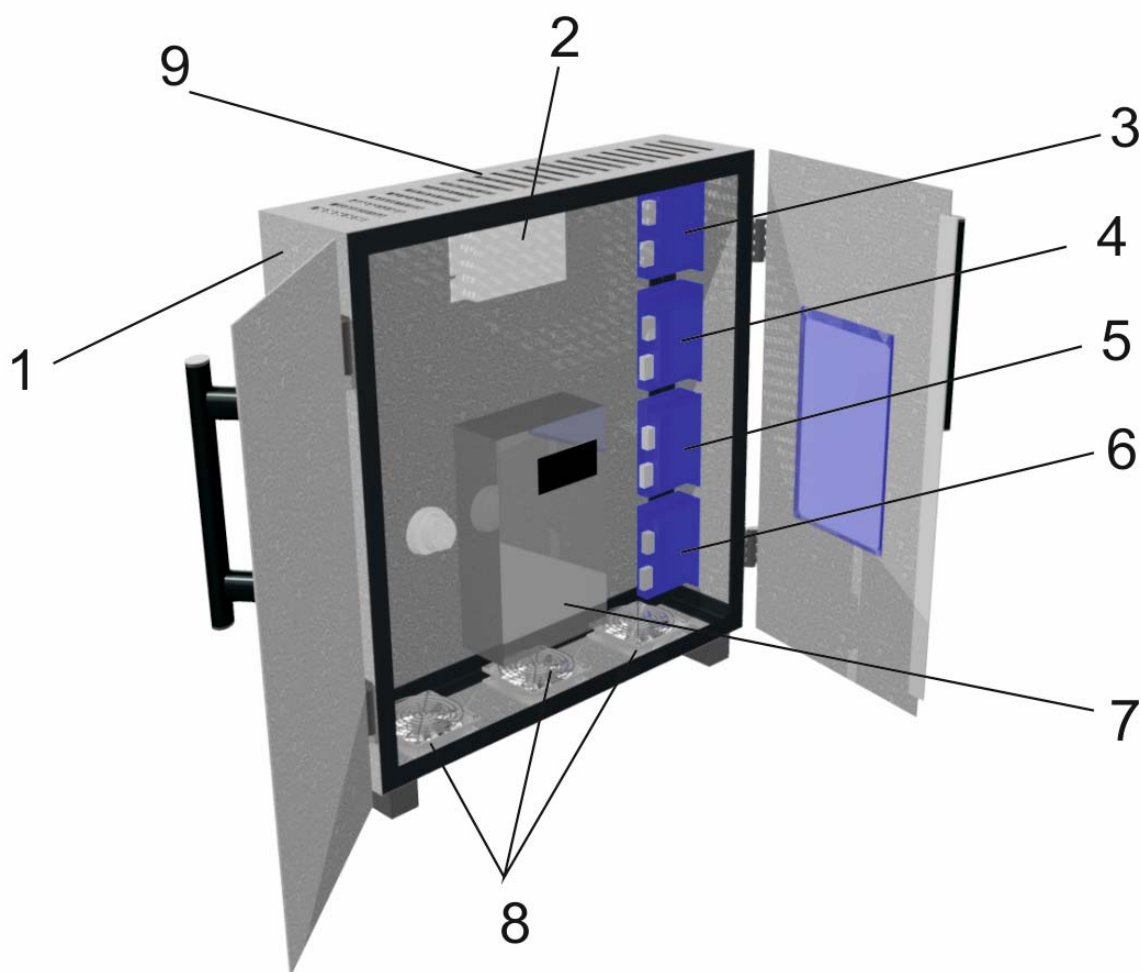
Parametry:

- Vstupní napětí 90 – 250 V
- Maximální výstupní proud 32 mA
- Teplota pracovního prostředí -20 – 40 °C
- Efektivita 89%
- Rozměry 346 x 215 x 95 [mm]

Tento typ zdroje opatřený displejem má celou řadu bezpečnostních prvků, aby nedošlo k přetížení, nebo poškození celé sestavy. V případě zaznamenání chyby dokáže zastavit celý proces a zabránit poškození zařízení.

12.1.21 Řídící skříň

Součásti elektroinstalace zařízení mají vysokou hodnotu, proto je potřebné je uchovat do jednoho zabezpečeného celku. Takový celek má navíc význam kompaktnosti a ochrany zdraví.

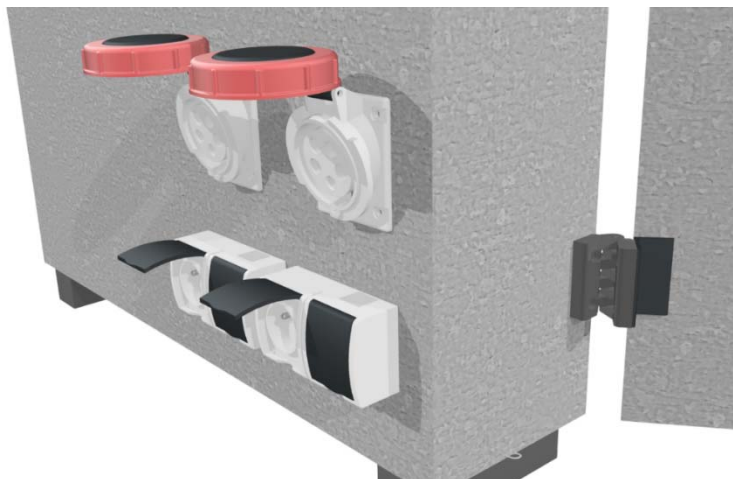


Obr. 39. Návrh řídicí skříně včetně jednotlivých pozic.

Základem řídicí skříně je ocelový rám svařený z profilů „L“ 30x30x2 mm z oceli třídy 11 373. K opláštění jsou použity ocelové plechy, kromě vrchního a spodního plechu jsou vyrobeny stříháním, ostatní díly jsou kvůli otvorům vyřezány. Obvodový plášť skříně má pozici č. 1, její vnější rozměry jsou 796x737x189 mm, hmotnost rámové konstrukce s včetně opláštění je cca 25 kg.

Na pozici č. 2 je řídicí jednotka RDC633G, pozice 3, 4, 5, a 6 jsou ovladače pro pracovní osy X , Y , Z a přídatnou rotační osu. Zdroj elektrické energie pro laserovou trubici má pozici č. 7. Soustava tří ventilátorů (8) zajišťuje proud vzduchu od podlahy, přes celý objem řídicí skříně a skrz větrací otvory (9) ven ze skříně.

V levé části skříně je prostor pro přívod energie, elektroinstalaci a jističe.



Obr. 40. Pohled na návrh zadní část skříně.

Z řídicí skříně, viz. Obr. 40 ústí několik zásuvek, ke kterým budou připojeny všechny externí přístroje (chladič, kompresor, odsávání). Zásuvky jsou řízeny na ovládacím panelu.

Skříň je umístěna v pravém zadním rohu stroje, aby byla skryta v nevyužitém prostoru a zároveň co nejbližší ovládacímu panelu i trubici.

12.1.22 Ovládací panel

Všechny funkce stroje a doplňky může obsluha ovládat z jediného místa, tedy ovládacího panelu.

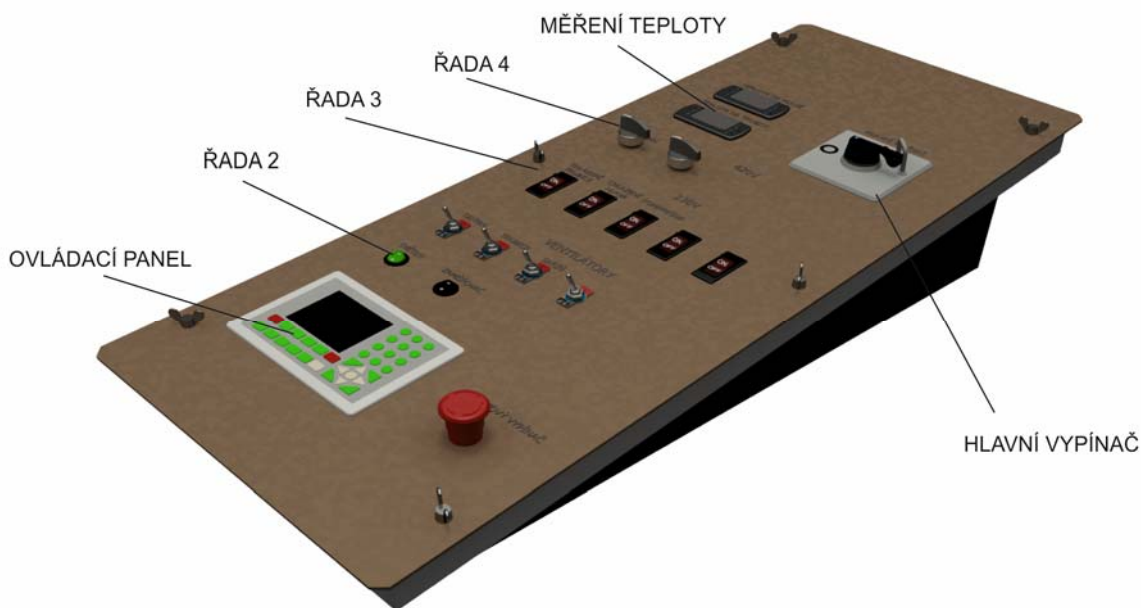
V nejbližší části k uživateli je displej řídicí jednotky s vlastní klávesnicí, hned vedle nouzového vypínače, který umožňuje odstavit celý stroj od zdroje elektrické energie.

Další řadu tvoří tlačítka na zapínání a vypínání zaměřovače na hlavě a osvětlení pracovního prostoru.

V třetí řadě je ovládání 12V obvodu všech ventilátorů, to znamená celkem 4 okruhy pro ventilátory přivádějící vzduch do pracovního prostoru, chlazení prostoru trubice, chlazení ovládací skříně a jeden záložní okruh záložní.

Čtvrtá řada je věnována ovládání 230V zásuvek umístěných na zadní části skříně, pátá řada řídí zásuvky o napětí 380V.

Panel je vybaven také hlavním vypínačem a dvěma elektrickými teploměry, pro měření teploty na trubici a řezací hlavě.



Obr. 41. Náhled na navržený ovládací panel.

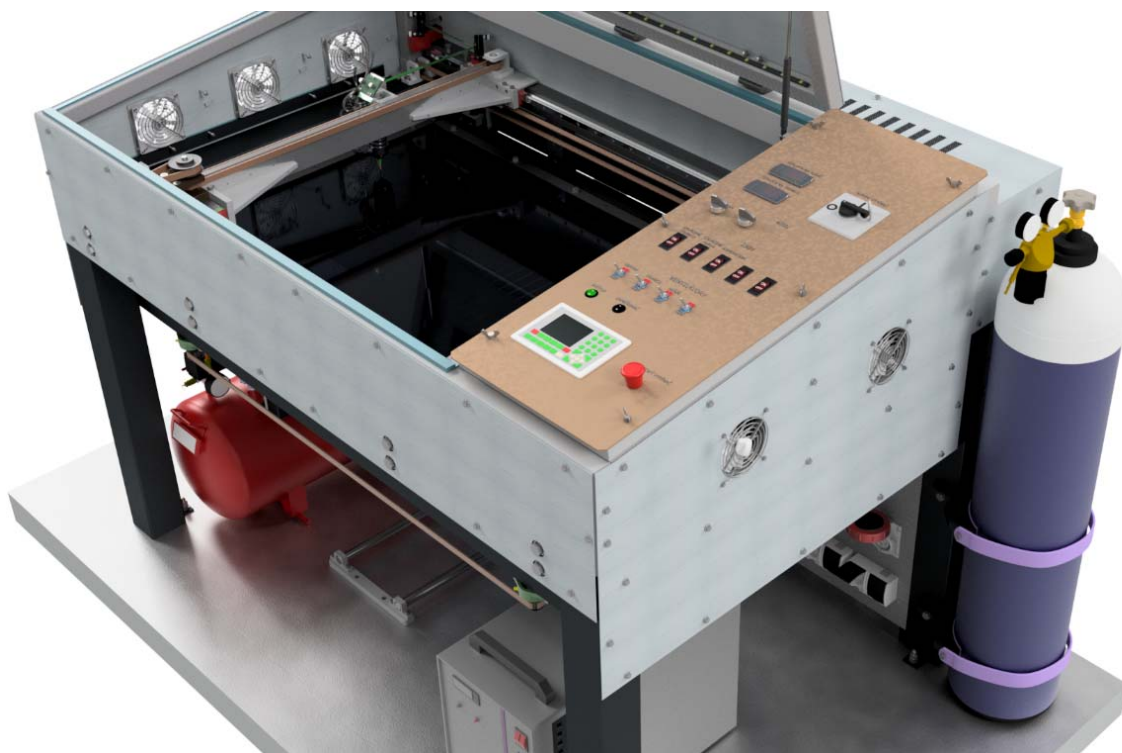
Všechny ovládací prvky jsou popsány, podle funkcí.

Rozměry panelu jsou 1010x382 mm a prostor pro elektroniku je 80 mm v přední části a 190 mm v zadní části panelu. Panel se skládá z rámu svařeného z ocelových profilů 40x40x2 mm, plášť je přivařen k rámu z plechu tloušťky 1,5 mm. Odnímatelné víko je k rámu připevněno šesti šrouby s křídlovou hlavou.

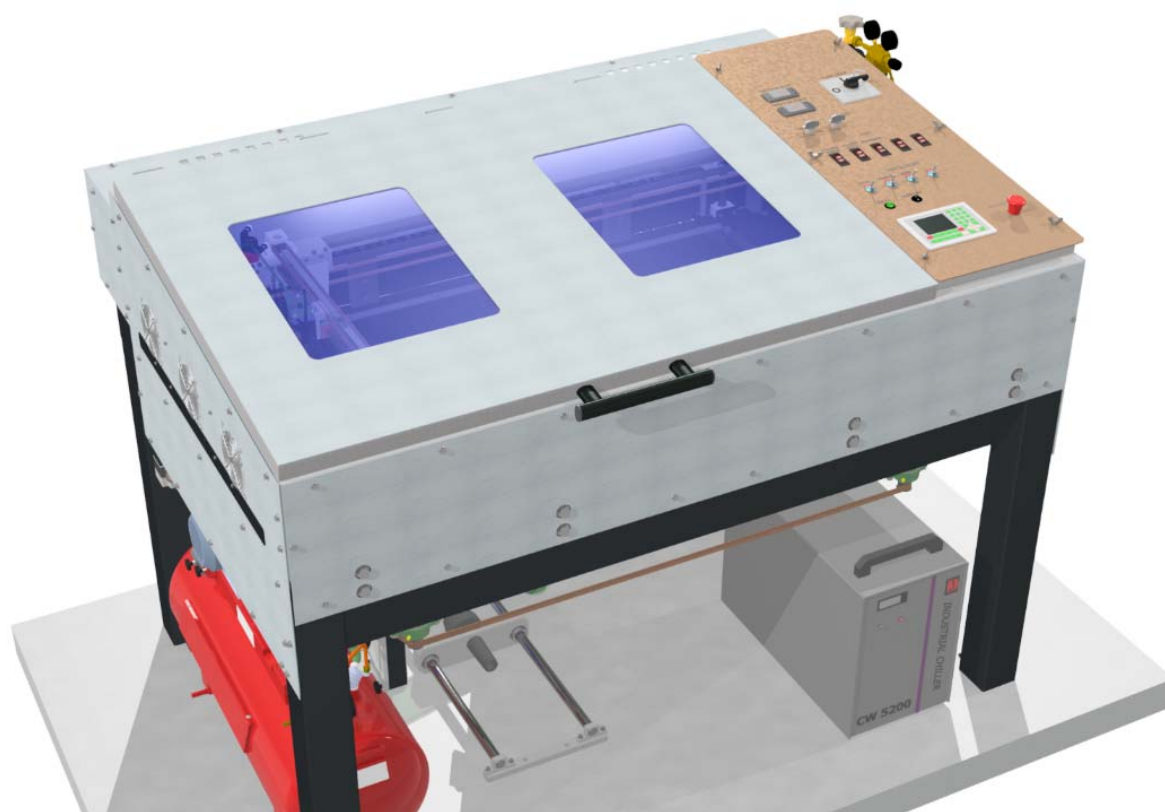
Na obr. 42 a 43 je znázorněno umístění ovládacího panelu, tedy hned vedle pracovní plochy, pro snadnou obsluhu.

V plechu, který zakrývá zadní část konstrukce ovládacího panelu je otvor, určený pro vodiče, které vedou přes prostor trubice do řídicí skříně.

Typy tlačítek a vypínačů byly zvoleny podle požadovaných parametrů obvodu, které jsou jimi řízeny.



Obr. 42. Pohled na navrženou kompletní sestavu laseru.



Obr. 43. Pohled na navrženou kompletní sestavu laseru CO₂ laseru se zavřeným víkem.

13 SROVNÁNÍ PARAMETRŮ

V této kapitole bude navržený laser porovnán se strojem podobných parametrů. Konkrétně s CNC laserem typu HS-B1390M od výrobce HSG Laser.



Obr. 44. HS-B1390M. [26]

CO₂ laser typu HS-B1390M je vhodný pro řezání různých nekovových materiálů, ale dokáže i dělit ocelový plech maximální tloušťky 1,5 mm, nebo nerezovou ocel do 1 mm. Dělení plechu nerezové oceli je překvapivě rychlé, při tloušťce kovu 0,55 mm je řezná rychlost až 40 mm/ sec.

Díky radarovému systému ARC je možné řezat zakřivené plochy, automatický ventil pouští proud kyslíku, jen ve chvíli, kdy dochází dělení, což má za následek výraznou úsporu na spotřebě plynu.

Tento stroj mimo jiné dělí plexisklo do tloušťky 20 mm. [26]

Tab. 5. Porovnání parametrů CO₂ laserových strojů. [26]

parametr	HS-B1390M	Navržený laser
Jmenovitý výkon [W]	130	130
Maximální výkon [W]	150	160
Pracovní plocha [mm]	1300x900	1250x650
Maximální plocha [mm]	1360x940	1350x720
Zdvih pracovního stolu [mm]	0	200
Hmotnost [kg]	350	460
Typ chlazení	CW5000	CW5200
Ovládací software	LaserWork	Rdcam
ARC systém	Ano	Ne
Rotační osa	Ne	Ano
Automatický ventil	Ano	Ano
Typ pracovního stolu	Voštinový	Mřížový
Pořizovací cena [tis. Kč]	627 - 691	119 - 209 *

*Interval cen je dán výkonem a vybaveností stroje, uvedené parametry v tabulce platí pro vyšší částku.

Přestože je tento stroj od výrobce HSG Laser vybaven větším množstvím funkcí, jsou zásadní parametry obou laserů porovnatelné. Nutno podotknout, že parametry a cena navrhovaného stroje jsou prostým odhadem pořizovací hodnoty součástí a mohou se značně lišit.

ZÁVĚR

V souladu s cílem této práce byl vytvořen návrh a popis parametrů jednotlivých součástí CNC řízeného laserového obráběcího stroje. Byla navržena optimální konstrukce zařízení, určeného pro operace řezání a gravírování plastových dílů a kovových plechů.

Teoretická část práce poskytuje základních informace o fyzikálních principech, které popisují koncentraci elektrické energie do laserového paprsku. Dále tato část diskutuje parametry ovlivňující řezný proces, základní výpočty umožňující volbu vhodného výkonu stroje v závislosti na jeho použití, porovnává nejpoužívanějších zdrojů laserového záření a uvádí krátký úvod do počítačové automatizace v průmyslové výrobě.

Po rozboru jednotlivých možností zdroje laserového paprsku, byl pro aplikaci gravírování a dělení materiálů zvolen laserový stroj fungující bázi CO₂ laserové trubice.

Základ praktické části tvoří odůvodnění vhodnosti vývoje vlastního stroje a definice požadavků na jeho základní parametry. Následně je řešen návrh konstrukce, rozdělený celkem na 22 částí a souvisejících malých celků. Spojením všech částí a podsestav byl navržen plnohodnotný obráběcí stroj, vhodný k využití v kusové, velkosériové, ale i speciální výrobě. Kromě samotné konstrukce je zde rovněž řešena otázka elektroniky, programování a řízení celého celku, pro dosažení adekvátní efektivity a kvality výroby.

Přestože výroba laserového stroje s požadovanými parametry není levnou záležitostí lze na tuto práci pohlížet, jako na návod ke konstrukci cenově dostupného zařízení. Dalším krokem bude zaměření na popis postupu praktické konstrukce, uvádění do provozu, testování a seřizování CNC laserového stroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. 1. vyd. Košice: Vienaľa, 2000, viii, 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
- [2] MCGEOUGH, J. *Advanced methods of machining*. New York: Chapman and Hall, 1988, xvii, 247 p. ISBN 0412319705.
- [3] DROZDA, Tom, Charles WICK, John T BENEDICT, Raymond F VEILLEUX a Ramon BAKERJIAN. *Tool and manufacturing engineers handbook: a reference book for manufacturing engineers, managers, and technicians*. 4th ed. / . Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1998, 9 v. ISBN 08726308541.
- [4] TANIGUCHI, Norio. *Energy-beam processing of materials: advanced manufacturing using various energy sources*. New York: Oxford University Press, 1989, viii, 315 p. ISBN 0198590059.
- [5] Matušek, M.: *Opracování skla laserem, 1. část Sklář a keramik* 34, 1984, čís. 5, s, 125-131.
- [7] CARISTAN, Charles L. *Laser cutting guide for manufacturing*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2004, xx, 447 p. ISBN 0872636860.
- [8] Schachrai, A: Castellani Longo, M.: *Application of High lasers in manufacturing, Annals of the CIRP Vol.28/2/1979*, pp. 1-15.
- [9] BY JOHN POWELL. *CO2 Laser Cutting*. London: Springer London, 1993. ISBN 9781447133841.
- [10] Van Luttervelt, C. A., 1989, *On the selection of manufacturing methods illustrated by an overview of separation techniques for sheet materials, Annals of the CIRP*, 38/2, 587-607.
- [11] ASM – *Metals Handbook – Machining*, Vol. 16, ASM International, March, (1997), 9.ed.
- [12] Maňková, I; Varga, V.: *Použitie CO2 lasera pri řezání keramiky* In: INTERANTIKOR 96 Košice 24. -25. okt.1996.
- [13] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014, 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

[14] *Konstrukce číslicově obráběcích strojů*, J. Houša a kol., Praha 1985.

Internetové zdroje literatury a obrázků

[6] Parallax-tech [online]. [cit. 2016-02-01].

< <http://www.parallax-tech.com/faq.htm#technical> >

[15] RP-photonics. [online]. [cit. 2016-02-01].

< https://www.rp-photonics.com/co2_lasers.html >

[16] AILU. [online]. [cit. 2016-02-01].

< http://www.ailu.org.uk/laser_technology/information_sheets/process/information_sheet_-_cutting.html >

[17] Wikipedia. [online]. [cit. 2016-02-01].

< https://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_aberration >

[18] CNCInshop. [online]. [cit. 2016-12-05]

<https://cnc.inshop.cz/inshop/catalogue/products/pictures/VS-XX_Main2.jpg>

[19] Prodej-kompresoru. [online]. [cit. 2016-12-05]

<<https://www.prodej-kompresoru.cz/pistove-kompresory/mk103-50-3m-pistovy-kompresor-detail>>

[20] LDCP. [online]. [cit. 2016-12-05]

<http://www.lcddp.com/images/201511/goods_img/12629_P_1447054066574.jpg>

[21] RDCAM. [online]. [cit. 2016-12-05]

< <http://rdcam.software.informer.com/6.0/>>

[22] CNC SHOP. [online]. [cit. 2016-12-05]

< <http://cncshop.cz/86hs45-krokovy-2-fazovy-motor-4-5nm>>

[23] CNC SHOP. [online]. [cit. 2016-12-05]

<<http://cncshop.cz/em806-driver-pro-2-fazove-krokovy-motory-80v-8-2a>>

[24] RECI LASER. [online]. [cit. 2016-12-05]

<<http://www.recilaser.com/en/productInfo/fc9181e93b448cac013b44f8a3e20e65.htm>>

[25] RECI LASER [online]. [cit. 2016-12-05]

<<http://www.recilaser.com/en/prodctInfo/402880e84627e06001462821931c036d.htm>>

[26] CNCInshop [online]. [cit. 2016-12-05]

<<https://cnc.inshop.cz/co2-lasery-pro-rezani-a-gravirovani/univerzalni-co2-laser-s-moznosti-rezani-kovu-1300-x-900-mm-130w>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

φ	Průměr zaostřeného paprsku na povrchu materiálu
δ	Hloubka řezu
f	Ohnisková vzdálenost čočky
D	Průměr paprsku
CNC	Computer Numerical Control
3D	Trojdimenzionální
S	Plocha zaostřeného bodu
I	Intenzita paprsku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schématické znázornění energetických hladin atomů při stim. emisi. [1]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2. Nejpoužívanější typy módů. [7]</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3. Ideální čočka bez ohniskové odchyšky. [17]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4. Reálná čočka se zaobleným povrchem. [17]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5. Profil paprsku procházejícího skrz obrobek. [6]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 6. CO₂ zdroje laserového paprsku (trubice). [15]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7. Schéma řezné dýzy. [16]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 8. Návrh konstrukce pracovních os X, Y a Z.</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 9. Návrh konstrukce pracovní osy X.</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 10. Návrh uložení řemenice.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 11. Návrh konstrukce pracovní osy Y.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 12. Návrh konstrukce pracovní osy Z.</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 13. Návrh konstrukce přídavné rotační osy B.</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 14. Řez navrženou konstrukcí rotační osy B.</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 15. Navržená optická soustava s naznačenou trajektorií laserového paprsku.</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 16. Návrh pouzdra pro uložení trubice.</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 17. Náhled zvoleného držáku zrcadla od firmy Thorlabs.</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 18. Návrh originálního řešení konstrukce řezné hlavy.</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 19. Náhled na konstrukci nosného stolu.</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 20. Náhled na konstrukční řešení upínky krokového motoru.</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 21. Náhled na návrh řešení rámu.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 22. Pohled na navržené opláštění zařízení z přední strany.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 23. Pohled na navržené opláštění ze zadní strany.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 24. Náhled na navržené tlumiče I-154 od firmy Suspa.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 25. Voštinový stůl. [18]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 26. Náhled na navržené konstrukční řešení mřížového stolu.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 27. Náhled na detail navrženého mřížového stolu.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 28. Model větrákového odsávače PNE250.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 29. Náhled na zamýšlený princip proudění vzduchu skrze pracovní prostor.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 30. Pístový kompresor 103-50-3M. [19]</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 31. Náhled na nádobu se stlačeným plynem včetně upínek.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 32. Průmyslový chladič CW 5200.</i>	<i>65</i>

<i>Obr. 33. Řídící jednotka RDC633G. [20]</i>	66
<i>Obr. 34. nastavbový modul RDplug. [21]</i>	67
<i>Obr. 35. Krokový motor 86HS45. [22]</i>	68
<i>Obr. 36. Řídící jednotka EM806. [23]</i>	69
<i>Obr. 37. CO₂ laserová trubice Reci s6. [24]</i>	70
<i>Obr. 38. Zdroj energie Reci P16. [25]</i>	71
<i>Obr. 39. Návrh řídicí skříně včetně jednotlivých pozic.</i>	72
<i>Obr. 40. Pohled na návrh zadní část skříně.</i>	73
<i>Obr. 41. Náhled na navržený ovládací panel.</i>	74
<i>Obr. 42. Pohled na navrženou kompletní sestavu laseru.</i>	75
<i>Obr. 43. Pohled na navrženou kompletní sestavu laseru CO₂ laseru se zavřeným víkem.</i>	75
<i>Obr. 44. HS-B1390M. [26]</i>	76

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Porovnání nejrozšířenějších metod dělení materiálů [11].....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2. Doporučené parametry pro oddělení CO2 Laserem [11,4,1,3].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3. Odrazivost vybraných materiálů [1,2,4]</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 4. Ukázková tabulka zaostření pro různé ohniskové vzdálenosti čoček.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 5. Porovnání parametrů CO2 laserových strojů. [26]</i>	<i>78</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P1: CD disk, který obsahuje 3D sestavu stroje ve formátu pdf.