

Návrh upínacích přípravků pro obrábění rotačních součástí na laserovém zařízení CO2

Daniel Šín

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Šín**
Osobní číslo: **T18672**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh upínacích přípravků pro obrábění rotačních součástí na laserovém zařízení CO₂**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte studii na dané téma
2. Vypracujte návrh přípravků
3. Proveďte zpracování technické dokumentace
4. Proveďte vyhodnocení výroby přípravků

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **MAŇKOVÁ I: Progresivné Technológie. Katedra technológií a materiálov. Strojnícká fakulta TU Košice, 2000. 275s**
2. **MORÁVEK, R. Nekonvenční metody obrábění. Plzeň, 1994. 102 s. ISBN: 80-7082-161-2**
3. **LAPČANSKÁ, Hana. Laserové technologie v praxi. In: Laserové technologie v praxi [elektronická skriptal. 2010 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Knedlová, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno:

Obor:

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

.....

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 nevydělečně 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, užije-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 vzdělávacího 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 užít 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

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s technologií využívání laserového paprsku, a jeho přenášením za účelem obrábění a konstrukčními prvky laserového zařízení.

V praktické části je popsána práce s rotační osou laserového zařízení ILS 3NM pro gravírování součástí válcového tvaru. Na základě získaných zkušeností jsem navrhl a vyhotovil přípravek, pomocí kterého lze dosáhnout přesného upnutí obrobku, a který umožňuje využití automatického zaměření ohniskové vzdálenosti na jeho povrch.

Klíčová slova:

Laserový paprsek, laserové zařízení, laserové gravírování, rotační osa, řezné podmínky, Corel DRAW

ABSTRACT

The aim of this thesis is to present the technology of using laser beam, his transference for the purposes of machining and construction parts of laser machines.

In practical part is described the work with the rotary axis of the laser machine ILS 3NM for engraving cylindrical workpieces. Based on acquired experiences I designed and made a special mounting bracket. Using it makes us enable to reach better clamping of the workpiece and use the built in function AUTO-FOCUS of the laser machine to automatically measure focal length.

Keywords:

The laser beam, laser, laser cutting, laser engraving, rotary axis, cutting conditions, Corel DRAW

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval paní Ing. Janě Knedlové za její ochotu, odborné vedení, rady a připomínky, kterými přispěla k vypracování této práce. Zvláštní dík patří také za trpělivost při konzultacích.

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 LASEROVÝ PAPERSEK	11
1.1 VLASTNOSTI A KRITÉRIA	11
1.2 VZNIK.....	12
2 KONSTRUKCE LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ	13
3 DĚLENÍ LASERŮ	14
4 LASERY V PRŮMYSLU.....	15
5 NEJČASTĚJŠÍ TYPY LASERŮ	18
6 VEDENÍ LASEROVÉHO PAPERSKU	20
7 ODMĚŘOVÁNÍ.....	22
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
8 CÍLE PRÁCE.....	25
9 LASEROVÉ ZAŘÍZENÍ ILS 3NM.....	26
10 PŘÍPRAVA DAT	30
11 NÁVRH UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU	32
11.1 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	35
11.2 ZHODNOCENÍ A VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY	36
11.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	37
12 VÝROBA PŘÍPRAVKU.....	39
13 TESTOVÁNÍ PŘÍPRAVKU.....	42
ZÁVĚR.....	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	48
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	49
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM PŘÍLOH.....	51

ÚVOD

Laserový paprsek je progresivní technologie. Poprvé se o něm zmiňovala Einsteinova teorie, které tvrdila, že za vhodných podmínek může vznikat světlo neobvyklého záření. Trvalo však dalších 40 let, než bylo zařízení produkující takovýto paprsek poprvé sestrojeno. Od svého vzniku v roce 1960 prošla intenzivním vývojem a našla své uplatnění v různých oborech. Hlavním důvodem je, že jím lze ovlivnit strukturu materiálů ve velmi malé oblasti. Také lze regulovat jeho účinky pomocí zvolené intenzity a doby působení.

Název vychází ze zkrácení anglického názvu „**L**ight **A**mplification of **S**timulated **E**mission of **R**adiation“. Jedná se o přístroje emitující úzký svazek koherentního elektromagnetického vlnění se stejnou fází, směrem šíření i vlnovou délkou. Díky tomu ho lze aplikovat jak v průmyslu, tak i v moderní medicíně, chemii, biologii, výpočetní technice a aniž bychom si to uvědomovali, stal se součástí běžného života. V průmyslu již běžně nahrazuje jiné obráběcí technologie, kde laserovým paprskem můžeme obrábět široké spektrum materiálů včetně těch nejtvrdějších a nejodolnějších. Úzký paprsek se používá k řezání, vrtání, svařování či značkování. Při mírném rozostření lze tyto materiály i tepelně povrchově upravovat například kalením či žiháním.

Pro všechny aplikace je potřeba přesné manipulace s laserovým paprskem. Využívá se k tomu optických prvků, kvalitního pohybového systému a přesného odměřování. Důležité je, aby byl svazek zaostřen do místa působení a působil pouze v malé oblasti, kterou potřebujeme ovlivňovat s danými požadavky na velikost a plošnou hustotu výkonu. Tou je myšleno množství energie, které je tímto světelným paprskem vedeno. U průmyslových laserů je pak druhým faktorem ovlivňujícím kvalitu výrobku také přesné a tuhé upnutí materiálu a jeho vhodné polohy vůči nástroji. Zajišťuje se zejména konstantní vzdálenost nástroje od povrchu materiálu v průběhu celého obrábění. To nám umožňuje přesně definovat podmínky obrábění pro požadované aplikace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LASEROVÝ PAPERSEK

Laserovým paprskem se rozumí koncentrovaný tok světelné energie z místa vzniku do místa působení. Zakládá na principu vynucené emise záření, která vzniká na atomární úrovni. Ta je dále usměrňována pomocí optických prvků.

1.1 Vlastnosti a kritéria

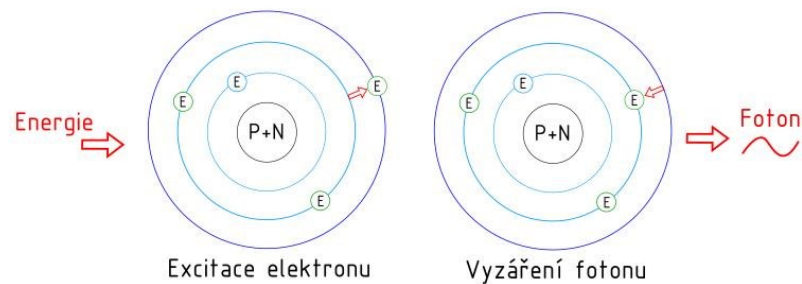
Vlastnosti laserového paprsku jsou určující pro jeho aplikace. Typické pro něj je, že

- je zdrojem **elektromagnetického záření**. To se může nacházet v různých oblastech spektra. Nejčastěji je viditelné, ale může být i ultrafialové či infračervené.
- je **monochromatický**. Tedy všechny emitované fotony mají stejnou vlnovou délku a tedy i energii.
- je **koherentní**. Fotony jsou ve fázi a postupují stejným směrem, na rozdíl od ostatních běžných zdrojů světla.
- má **nízkou rozbíhavost**. To umožňuje jeho soustředění do velmi malého průměru. Tak lze dosáhnout vysoké hustoty výkonu laserového záření. [4]
- může vést **značné množství energie**, které se při interakci s prostředím mění z elektromagnetického záření na tepelnou energii.

Kvalita laserového svazku je pak důležitá pro jeho konkrétní aplikace. Důležitým parametrem je jeho schopnost být fokusován. Ten je pro kruhové svazky kvantitativně definován veličinou BPP [4]. Obecně platí, že čím větší je vlnová délka záření, tím hůře ho lze zaměřit.

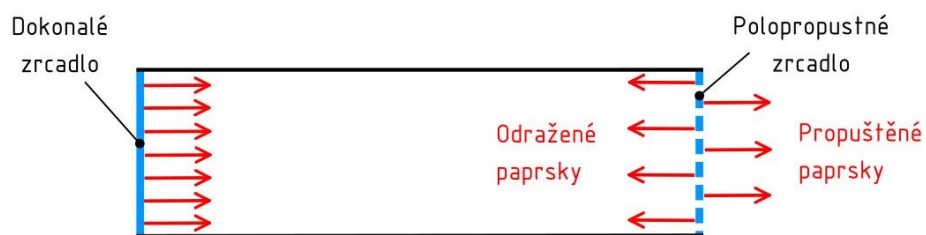
1.2 Vznik

Jak již bylo řečeno, laserový paprsek vzniká díky stimulované emisi elektromagnetického záření a atomární úrovni. K této emisi dochází díky změnám energie v atomech, kdy elektrony přitahované jádrem přestoupí z valenčních vrstev umístěným nejbližší k jádru do vrstev vyšších. Atom se tímto stává nestabilní a má tendenci vrátit se do rovnovážného stavu. K tomu dochází za uvolnění přebytečné energie ve formě vypuštěného fotonu (obr. 1.1). Ty pak při průchodu podobně nabitými atomy nacházejícími se ve stejném (takzvaném aktivním prostředí) zvyšují jejich tendenci uvolňovat další fotony se stejnou vlnovou délkou i fází. Tímto jevem dochází ke vzniku laserového paprsku, který je dále potřeba zesílit a usměrnit.



Obr. 1.1: Emise fotonu

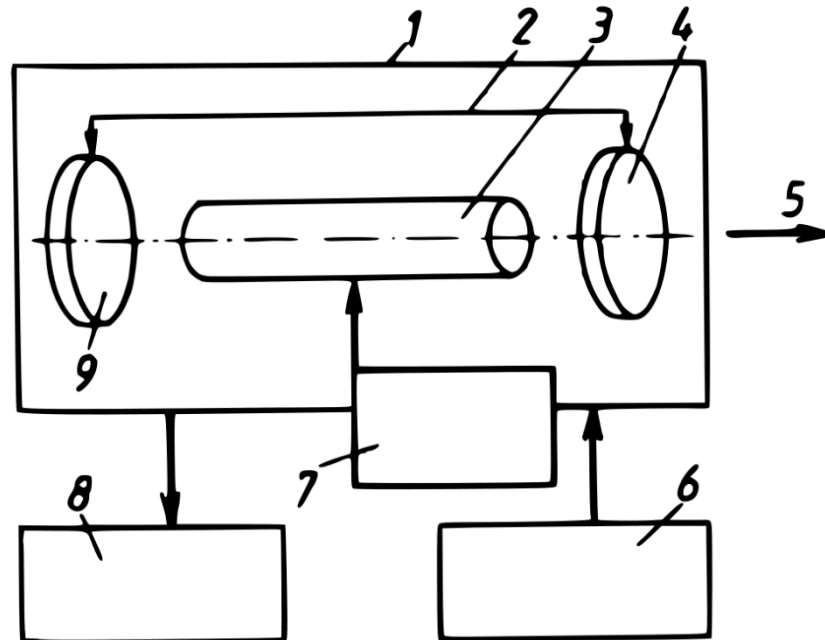
K zesílení paprsku se využívá optický rezonátor znázorněný na obr. 1.2. Ten tvoří dvě rovnoběžná zrcadla s odlišnými vlastnostmi, která se nachází na opačných koncích aktivního prostředí. Na jednom konci je téměř dokonalé zrcadlo s odrazivostí až 99,9%. Zrcadlo na druhém konci je polopropustné. Část fotonů odrazí zpět a část prochází skrz. Díky tomuto systému vzniká paprsek dokonale soustředěný do jednoho směru.



Obr. 1.2: Optický rezonátor

2 KONSTRUKCE LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ

Zařízení pro obrábění laserem se v základu skládá z laserové hlavice (1), zdroje energie (6), budicího zařízení (7) a chladicího systému (8) (viz obr. 2.1)



Obr. 2.1: Schéma laserového zařízení [7]

V laserové hlavici je uložen rezonátor (2)

Rezonátor

Je to optický systém složený nejméně ze dvou zrcadel, nejčastěji sférických. Umožňuje zformovat a zesílit vznikající záření a udává vlastnosti vystupujícího paprsku (5), jako je koherence, intenzita záření či jeho pravidelnost. Skládá se z laserového média (3), polopropustného (4) a nepropustného zrcadla (9).

Laserové médium

Jde o směs několika materiálů, které mohou být pevné, kapalné nebo plynné, uložené ve vhodném nosném materiálu. Určuje vlnovou délku vzniklého záření.

Zdroj energie buzení

Jedná se o speciální druh síťového napáječe (7).

Budící zařízení

Udává pracovní režim, ve kterém funguje laser a závisí na použitém laserovém médiu. Plynné médium se budí ve většině případů elektrickým výbojem, stejnosměrným nebo střídavým proudem. U pevného média se buzení provádí výbojkami nebo diodami.

Chladicí systém

Odvádí přebytečnou energii, které se nepřeměnila v záření, ale v tepelnou energii. Nejčastějším typem chladicího média je voda.

3 DĚLENÍ LASERŮ

Zařízení generující laserový paprsek lze dělit podle více kritérií, mezi nejpoužívanější způsobů patří dělení podle typu aktivního prostředí, ve kterém vzniká emise fotonů na pevnolátkové, kapalinové, plynové, polovodičové a lasery s volnými elektrony.

Pevnolátkové mají aktivní prostředí tvořeno krystalickými látkami. Jsou stabilní a mohou pracovat za různých provozních podmínek. Nejznámějším je rubínový, ale patří sem také Nd:YAG, Nd:sklo, Er:YAG nebo Ti:safir.

Kapalinové mají aktivní prostředí tvořeno roztoky různých organických barviv. Tyto barviva lze kombinovat a vytvořit tak takzvanou nelineární optiku. Ta nám umožňuje vytvářet světelný paprsek o všech vlnových délkách. Používaná barviva jsou například coumarin, fluorescein, cyanin, rhodamin, oxazine [4].

Plynové mají aktivní prostředí homogenní, tvořené buď atomy, ionty nebo molekulami. Zvláštním typem jsou pak ještě excimetrové lasery, které využívají molekuly dvou vzácných plynů. Ve zředěném plynu vyvolává excitaci elektronů v atomu elektrický výboj. V průmyslu je často využíváný CO₂ laser, který využívá vlnové délky světla na úrovni infračerveného záření.

Polovodičové mají aktivní prostředí tvořeno laserovou diodou (obr. 4) o velmi malých rozměrech. Světelný paprsek vzniká přeměnou z elektrické energie na jejím PN přechodu, tedy rozhraní polovodiče typu N a polovodiče typu P. Velkou výhodou je snadná změna výkonu pomocí změny elektrického proudu. V dnešní době patří mezi nejrozšířenější, především ve výpočetní technice.

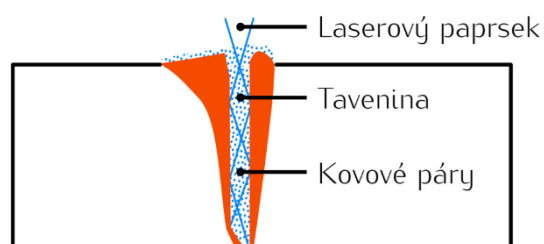
Lasery s volnými elektrony mají aktivní prostředí tvořeno svazkem elektronů pohybujícím se v magnetickém poli, tvořeného periodickou soustavou magnetů střídavé polarity [5]

Dále lze lasery rozdělit například podle vlnové délky (infračervené, ultrafialové, rentgenové či emitující viditelné světlo), způsobu čerpání energie (opticky, elektricky, chemicky, termodynamicky či jadernou energií) [5], režimu práce (kontinuální, pulsní) nebo počtu elektrických hladin (2, 3 a více hladinové).

4 LASERY V PRŮMYSLU

V průmyslu se využívá především koherence a monochromatickosti laserového paprsku. Díky ní lze přednášet a soustředit na malou plochu velké množství energie. To nám umožňuje mechanické opracování materiálu bez fyzického kontaktu. Také díky množství přenesené energie umožňuje zpracovávat materiály, které by jinými požívanými technologiemi šly obtížně. Díky možnosti automatizace, vysoké opakovatelnosti a možnosti modifikace nachází uplatnění jak v kusové, tak sériové výrobě. Používá se pro laserové vrtání, řezání, svařování nebo opracování povrchů, jako je značkování a kalení. Materiály, které lze opracovávat se přímo odvíjí od maximální hustoty výkonu laserového zařízení.

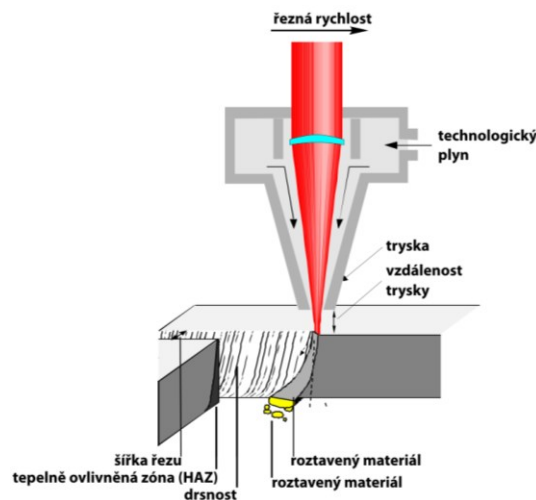
Vrtání laserem je lokální roztavení a následné částečné odpaření materiálu. To má za následek tvorbu dutiny v materiálu, uvnitř které dochází k mnohonásobným odrazům dopadajícího paprsku, čímž narůstá i absorpce a prohlubuje se otvor (obr. 4.1). Využívá se především pulsních laserů s délkou pulsu menší než 1 ms, kde se jednotlivé pulsy opakují v definovaných sériích.



Obr. 4.1: Princip vrtání laserem [4]

Svařování laserem spočívá v rychlém lokálním ohřevu materiálu, který vzniká vysokou plošnou hustotou výkonu. Přenesené teplo se nestihá převést do okolí vedením či sáláním a proto dochází v malém místě působení paprsku k natavení materiálu. To společně s následným vznikem a ochlazením spoje probíhá velmi rychle. Díky tomu není tepelně ovlivněna oblast kolem svaru. Samotný svar má jen malé deformace, je pevný a čistý. Laser nám tedy umožňuje svářet vysokou rychlostí a také materiály s rozdílnými teplotami tavení. Uplatnění nachází při výrobě velkých sérií, tedy například svařování plechů v automobilovém průmyslu. Podle velikosti hustoty výkonu svazku získáváme svary kondukční, penetrační a key-hole.

Řezání laserem se používá především díky možnosti tenkých a přesných řezů bez vzniku okují. Typické jsou právě kolmé hrany řezu, a to i při větších tloušťkách materiálu. Hloubka možného řezu je závislá na dvou parametrech. Jedním je výkon laserového zařízení, druhým pak typ řezaného materiálu. Od něj se také odvíjí volba technologie řezání, kterých je celá řada. Těmi nejčastěji používanými je tavné, odpařovací a studené řezání, nebo laserové orýsování.



Obr. 4.2: Princip řezání laserem [8]

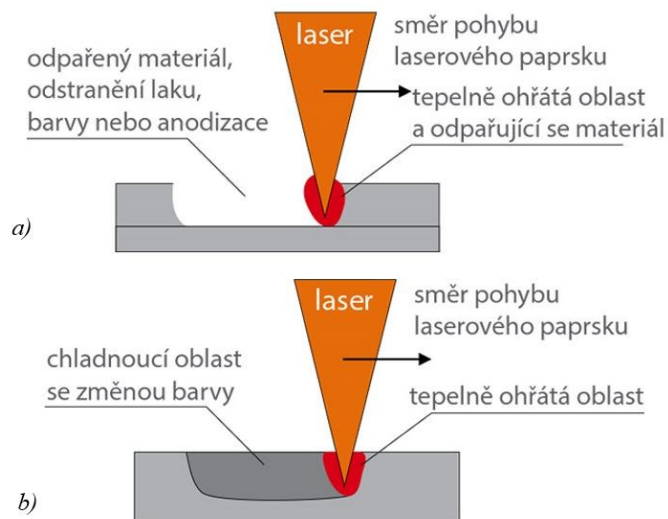
Tavné řezání slouží především pro dělení kovů. Principem je lokální natavení materiálu, který je ze vzniklé následně odstraněn proudem vysokotlakého plynu. Ten je veden rovnoběžně s proudem svazku a současně i ochlazuje dělený materiál.

Odpařovací řezání se využívá především u netavitelných materiálů, jako jsou dřevo, uhlík a některé plasty. Spočívá ve vrtání řady otvorů v těsné vzdálenosti podél dráhy řezu. Pro dělení kovů by tedy bylo energeticky velmi náročné.

Studené řezání nachází uplatnění především v medicíně. Používá se k dělení organických látek pomocí světla v ultrafialové oblasti spektra. Materiál je odstraněn, aniž by se taval nebo výrazně tepelně ovlivňoval okolí. Lze jím tedy provádět například operace rohovek, odstranění tumorů a řadě dalších chirurgických výkonů [4].

Laserové orýsování je technologií sloužící k dělení křehkých nebo tepelně citlivých materiálů. Nedochozí k úplnému prohloubení v celé tloušťce materiálu. Svazek má nízkou energii a vysokou hustotu výkonu. Následně se tedy musí provést ještě mechanické oddělení podél připravených vrypů.

Značkování laserem v průmyslu slouží k popisování součástí. Vlivem tenkého paprsku působící na povrch materiálu dochází k jeho změně barvy odpaření. To lze provést do různých hloubek a nazývá se gravírování. Značkování probíhá vysokou rychlostí a lze takto popisovat i nepravidelné či zakřivené povrchy, vytvářet složitou grafiku nebo texty, případně čárové kódy [4].



Obr. 4.3: Proces laserového značení a) gravírováním b) termochemickým procesem [9]

Kalení laserem probíhá na povrchu materiálu díky dodání velkého množství energie a následnému rychlému ochlazení. Na rozdíl od předešlých aplikací je zde svazek rozprostřen, aby pokryl co největší plochu povrchu.

5 NEJČASTĚJŠÍ TYPY LASERŮ

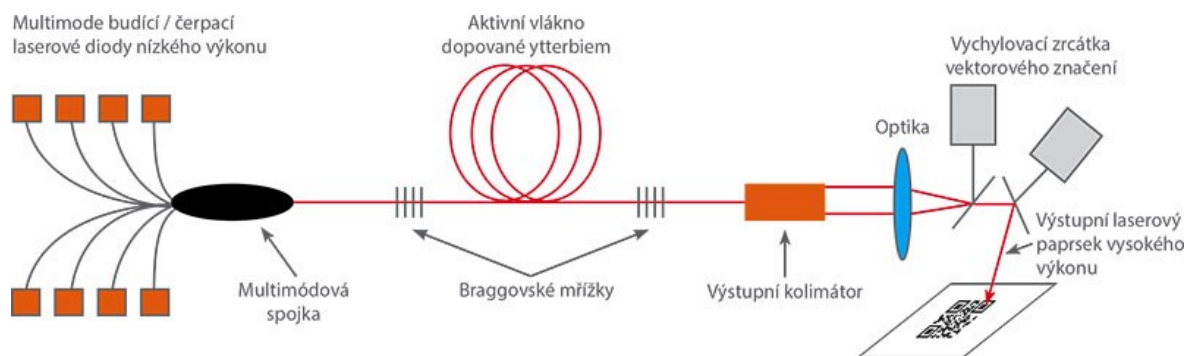
V současné době se v průmyslu využívá pět hlavních typů laserů, které mají dále různé typy buzení, provozních režimů a dalších parametrů. Z pevnolátkových jde o Nd:YAG, diskový a vláknový laser. Další nejvyužívanější jsou CO₂ a diodový laser. Každý z nich nese své výhody a nevýhody, od kterých se odvíjí jejich typické aplikace.

Nd:YAG laser je nejstarším typem pevnolátkových laserů používaných v průmyslu. Buzení probíhá buď výbojkami, nebo laserovými diodami. Ačkoli použití výbojek má nízkou účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, stále se využívá zejména ke svařování, kde je požadavkem hluboký průvar s malou tepelně ovlivněnou oblastí. Diody se používají ke generování velmi krátkých pulsů pro značení a gravírování kovů a plastů. Účinnost je zde sice o trochu vyšší než u výbojkových, nicméně jsou dnes již nahrazovány lasery vláknovými.

Diskový laser funguje na podobném principu jako Nd:YAG, akorát že aktivní prostředí je zde tvořeno malým diskem s rovným teplotním profilem. To umožňuje dosáhnout vysokých výkonů s dobrou kvalitou výstupního laserového svazku.

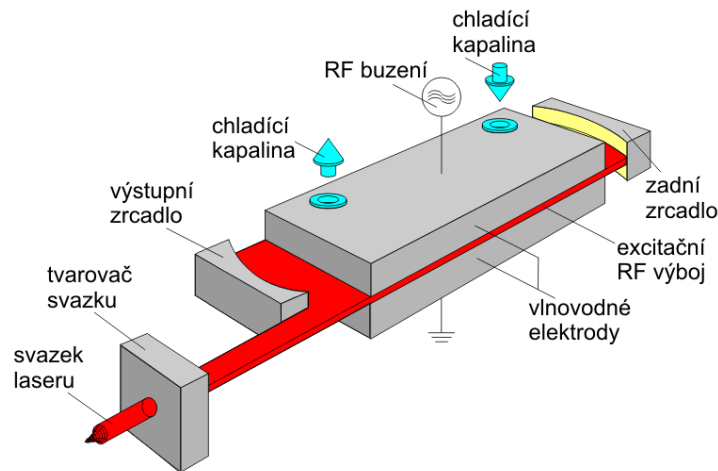
Vláknový laser je technologicky nejmodernějším typem. Aktivním prostředím je zde optické vlákno, které se dopuje ytterbiem. Zrcadla jsou nahrazeny Braggovskými mřížkami a záření je z vlákna vyvázáno pomocí optického kolimátoru.

Nespornou výhodou je jeho konstrukční jednoduchost, jelikož celý laser je tvořen prakticky pouze optickým vláknem. Má vysokou účinnost, která se pohybuje v rozmezí 30-35%, nízké provozní náklady, dlouhou životnost a vyžaduje téměř nulovou údržbu.



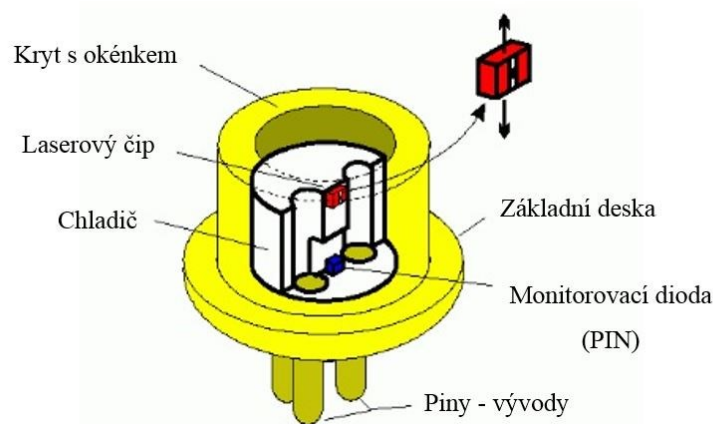
Obr. 5.1: Princip vláknového laseru [10]

CO₂ laser slouží ke značení a řezání nekovů (tam, kde nelze použít lasery s vlnovou délkou 1 μm), nebo ke svařování kovů. Aktivním prostředím je směs plynů obsahujících CO₂ (kolem 10 – 20%) a mohou být buzeny buď radio-frekvenčně (RF), nebo elektrickým výbojem (DC). Pracují hlavně v kontinuálním módu. Do výkonu 5kW se nejčastěji používají RF CO₂ lasery, kde je aktivní prostředí mezi dvěma elektrodami, které díky svojí velké ploše současně zajišťují jeho chlazení.



Obr. 5.2: Princip RF CO₂ laseru [8]

Diodový laser je ze zmíněných nejběžněji používaným. Především je tomu tak díky nízkým výrobním nákladům, vysoké účinnosti při přeměně elektrické energie na světelnou a možností jednoduše modulovat frekvenci změnou napětí. Mají malé rozměry a tak je lze použít i v integrovaných obvodech. V průmyslu se uplatňují při řezání, svařování a povrchových úpravách. Laserové diody lze také použít k buzení jiných laserů.



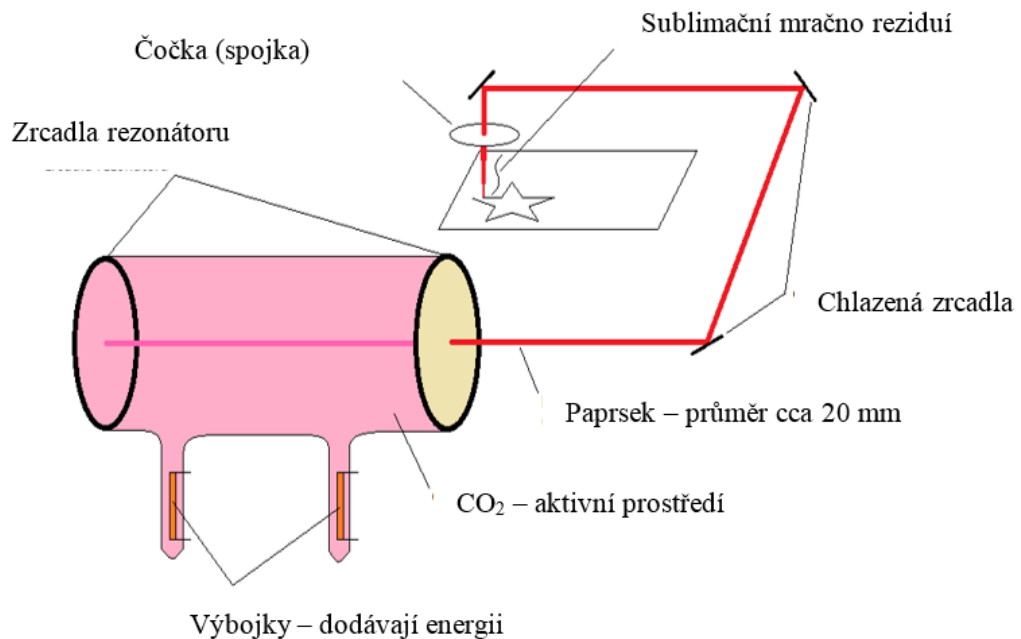
Obr. 5.3: Schéma laserové diody [11]

6 VEDENÍ LASEROVÉHO PAPRSKU

Vzniklý laserový paprsek. Pohyby paprsku po materiálu jsou uskutečňovány pomocí několika konstrukčních prvků, a to řídicím systémem, optikou, pohybovým systémem a odměřovacím systémem.

Optika

Paprsek vzniklý v laserovém zařízení je potřeba usměrnit až k materiálu, na který jej chceme aplikovat. To je možné dvěma způsoby. Prvním je použití optického vlákna, které přenáší paprsek ve směru své podélné osy. Je vedeno od zdroje záření až do místa užití a hodí se tedy i do robotických aplikací. Podmínkou pro jeho použití je krátká vlnová délka záření v řádech mikrometrů. Například u CO₂ laseru, jehož vlnová délka se pohybuje okolo 10,6 μm již optické vlákno použít nelze. Pro vedení laserového svazku k materiálu se tedy používá systému pevných a pohyblivých zrcadel (viz. Obr. 6.1.)



Obr. 6.1: Optika CO₂ laseru [12]

Ta ho přivádí od zdroje až do laserové hlavy. Ta se kromě zrcadla skládá i z čočky, jejíž vlastnosti ovlivňují výsledný tvar a průměr paprsku v dané vzdálenosti od povrchu obrobku. Zrcadla však mají oproti optickým vláknům nevýhodu v podobě složitější dráhy a nutnosti pravidelné kalibrace.

Pohybový systém

Pohyb zrcadel a tedy i paprsku v jednotlivých osách je zprostředkováván elektromotory. Nejčastěji jde o servomotory, u kterých lze nastavit přesnou polohu natočení. Lze také použít levnější krokové motory. Ty však na rozdíl od serv neobsahují snímače pro odečtení polohy. U obou lze o poloze zařízení usuzovat i bez zpětné vazby získané ze snímačů například podle počtu impulzů vyslaných do krokového motoru nebo podle doby, po kterou byl motor zapnutý. V tomto případě nemusí předpokládané natočení odpovídat skutečnému, jelikož během přílišných zrychlení či zvýšené zátěže může dojít ke ztrátám kroků.



Obr. 6.2: Servomotor s nízkým momentem setrvačnosti [13]

Dalším důležitým konstrukčním prvkem pohybového systému je lineární vedení. I zde je více možností lišící požadavky na přesnost a plynulost lineárního pohybu. Nejméně přesným jsou broušené tyče, kvůli možným průhybům při narůstajícím zatížení a velkým vibracím při pohybu. Variantou s vyšší tuhostí jsou tyče podepřené. Ty jsou po celé délce zpevněny výstuží a pohybují se po nich otevřené vozíky. Nejpřesnějším vedením pak jsou kolejnice o daném průřezu, po které se pohybují vozíky opatřené kuličkami či válečky. Vliv vůlí a konstrukčních odchylek pohybového systému lze snížit pomocí kvalitního odměřovacího systému.

7 ODMĚŘOVÁNÍ

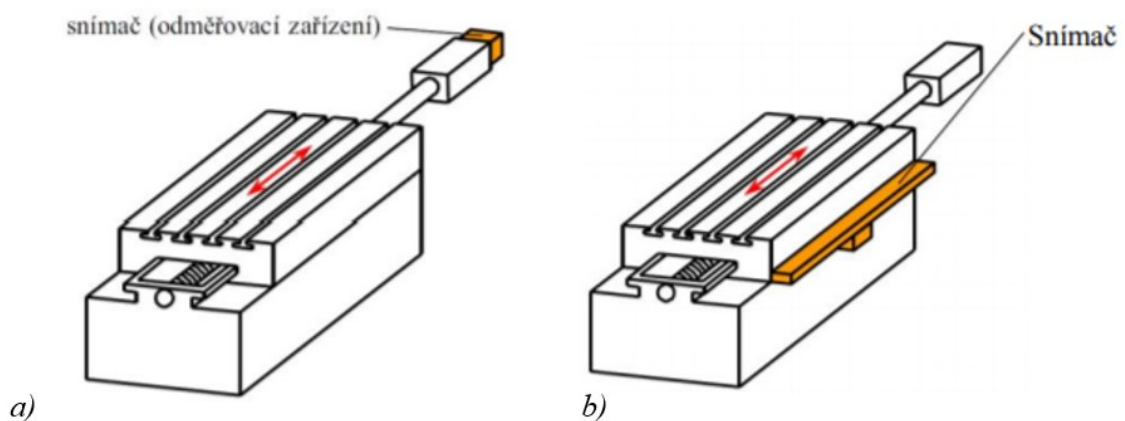
Vědeckým oborem zabývající se způsobem zjišťování technických i fyzikálních veličin je **metrologie**. Ta plní tři základní úkoly. Definuje mezinárodně uznávané jednotky měření, realizuje jej pomocí vědeckých metod a vytváří řetězce návazností cestou stanovování a dokumentace hodnoty přesnosti měření a přenosu těchto údajů. V průmyslu zajišťuje správné fungování měřidel ve výrobních a zkušebních procesech. Zprostředkovává cenné vstupy pro zajištění kvality, jako kalibraci, zkoušení a měření. Pro kalibraci se využívá takzvaného etalonu, což je ztělesněná míra, měřicí přístroj, měřidlo či měřicí systém, určený k definování, realizaci, uchování či reprodukci jednotky nebo jedné či více hodnot určité hodnoty mající sloužit jako reference. Používané etalony jsou specifické pro dané obory měření, ať už se jedná o metrologii rozměrů, úhlová měření, měření tvaru a jakost povrchu. Samotná kalibrace poté určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu.

Odměřovací zařízení je důležitou součástí stroje díky rostoucím nárokům na kvalitu obrábění. Do značné míry totiž ovlivňuje jeho přesnost. Slouží ke zjišťování okamžité polohy stroje a odměřování skutečné polohy obrobku vůči nástroji, kterým je laserová hlava. Každá osa by měla být vybavena vlastním odměřovacím zařízením, které předává informace o skutečné poloze do regulátoru [9].

V dnešní době existuje celá řada způsobů odměřování. Dělí se podle způsobu na nepřímé a přímé (viz obr 7.1, str. 23)

Nepřímé odměřování je rozšířenější, levnější, avšak méně přesné. Poloha se odměřuje v závislosti na pootočení pohybového šroubu nebo pastorku a dopočítává se podle převodního vzorce. Obvykle jsou snímače zabudovány přímo v pohonu (servomotory). Přesnost je ovlivněna nepřesnostmi ve stoupaní šroubu, vůlemi a teplotní dilatací u pohybových mechanismů

Přímé odměřování je přesnější, ale konstrukčně náročnější a dražší. Spočívá v umístění odměřovacího systému na pohybující se části strojů a poloha je odměřována přímo na pracovním stole. Přesnost není ovlivněna typem ani přesností pohonu.



Obr. 7.1: Odměřování a) nepřímé b) přímé [14]

Přenos informací ze snímačů pak může probíhat buď analogově, kde je odměřovaná vyjádřena spojitě nahrazením za jinou fyzikální veličinu, jako je změna odporu, kapacity, indukčnosti nebo napětí. Druhým způsobem je přenos digitální, neboli číslicový. U něj je dráha vyjádřena nespojitě ve skocích, které odpovídají takzvaným inkrementům, vyjadřující určitou jednotku vzdálenosti.

Tyto informace může předávat řídicímu systému absolutně, přírůstkově, nebo cyklicky absolutně.

Konstruuji se podle umístění na lineární a rotační či kombinované a mohou fungovat na principu indukčním, optickém či magnetickém.

Důležitou roli při přesnosti obrábění hraje upnutí obrobku a jeho nastavení vůči nástroji. To by mělo být bez vůlí a volené tak, aby během celého procesu docházelo rovnoměrnému zaostření. Nároky na přesnost upnutí jsou pak specifické pro konkrétní aplikace a zařízení. U gravírování rotačních součástí může docházet k házení při pootáčení. Je tedy žádoucí ho snížit použitím vhodných upínacích přípravků.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je zhodnocení stávajícího řešení rotační osy laseru ILS 3NM a vytvoření návrhu přípravku, který by zlepšil přesnost a usnadnil práci s upínáním obrobků do rotační osy laserového zařízení ILS 3NM.

Konkrétní body ke splnění jsou:

- Vypracujte studii na dané téma
- Vypracujte návrh přípravku
- Proveďte zpracování technické dokumentace
- Proveďte vyhodnocení výroby přípravku

9 LASEROVÉ ZAŘÍZENÍ ILS 3NM

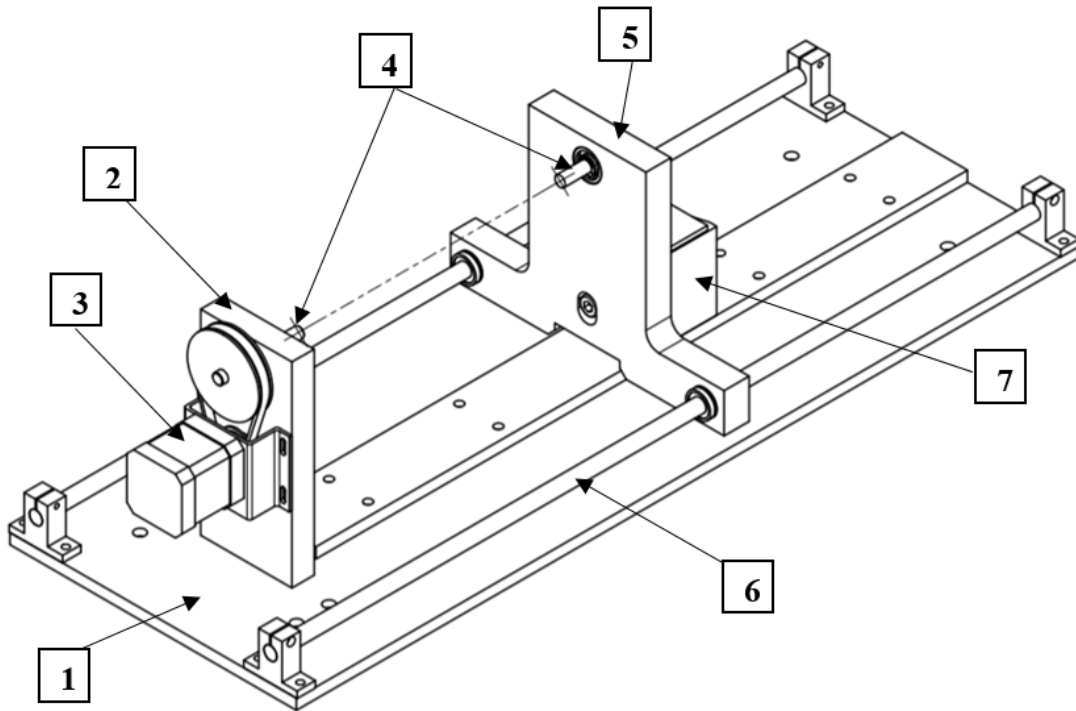
Laserová řezačka ILS 3NM se řadí mezi plynové lasery. Aktivním prostředním je CO₂ a výkon laserové trubice je 100W. To nám umožňuje řezat a gravírovat organické materiály, jako je dřevo, akryl, sklo, guma, kůže, kámen, tkaniny a plasty neobsahující chlor nebo jiné toxické látky, které by během odpařování byly toxické. Pracovní prostor laseru je 660 mm x 495 mm. Posuvná deska stolu je pohyblivá a umožňuje nejen ostření na různé tloušťky materiálu, ale je dostatečně velká i pro umístění rotační osy.



Obr. 9.1: Laser ILS 3NM [15]

Rotační osa

Rotační osa se využívá především ke značení (gravírování) předmětů s kruhovým průřezem, tedy válcových kuželových nebo podobných těles. Dosavadní řešení rotační osy je znázorněno na obr. 8.2.

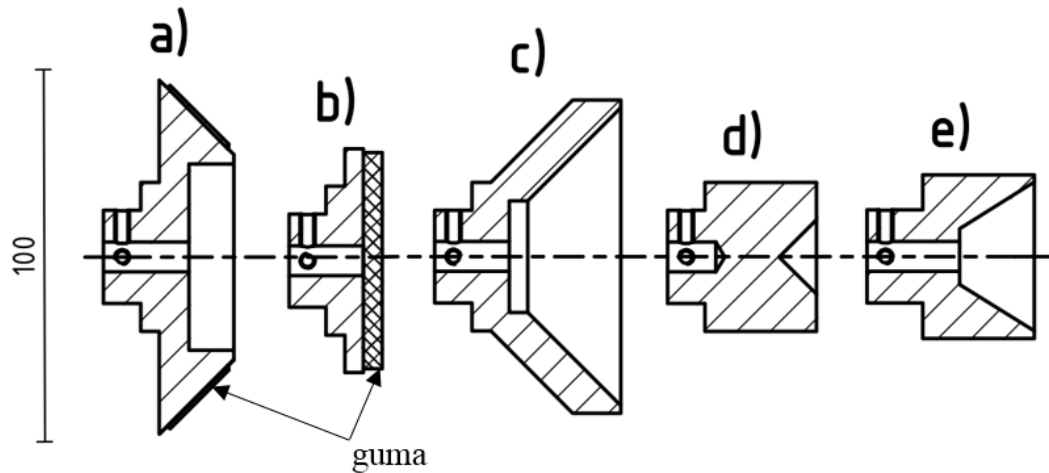


Obr. 9.2: Nákres rotační osy laseru ILS 3N

Základem je deska (1), která se pomocí šroubů pevně spojí se stolem. Levá část přípravku (2) je pevná. K ní je uchycen krokový motor (3), jež umožňuje natáčet upnutý předmět. Ten se upíná mezi dva volitelné nástavce umístěné na protilehlých hřídelích (4) ležících na jedné ose. Pravá část přípravku (5) je pohyblivá. Posuv je realizován pomocí broušených tyčí (6) s ložisky a umožňuje upnutí různě dlouhých předmětů. K zajištění této části na místě pak slouží magnet (7).

Na protilehlé hřídele jsou pak pro upnutí obrobku upevněny nástavce, které umožňují jeho zajištění. Z důvodu jeho dostatečné stability při otáčení je zásadní, aby byl z každé strany podepřen alespoň ve třech bodech.

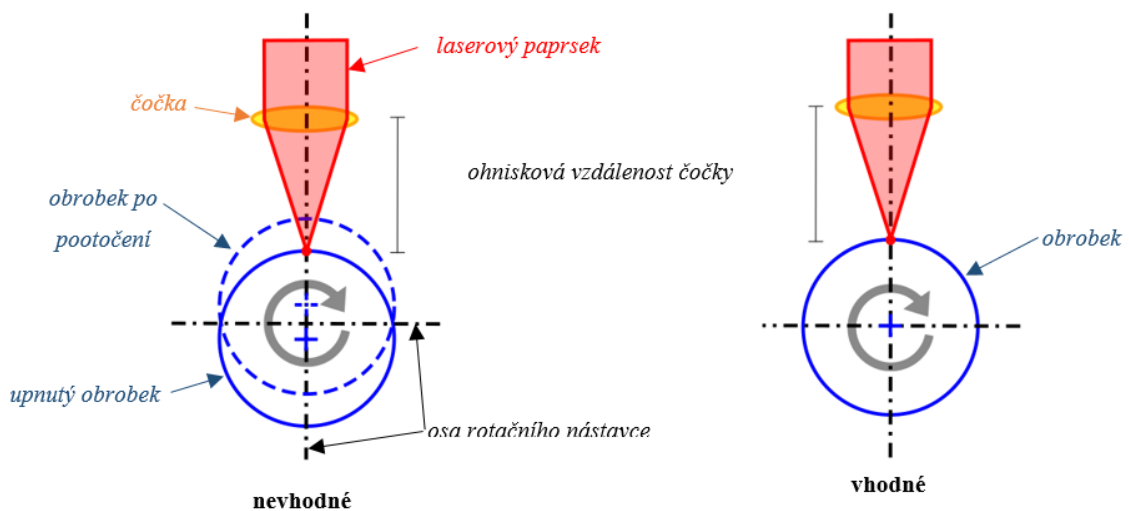
Volba nástavců pak přímo souvisí s tvarem předmětu. Dosavadní řešení nabízí pět druhů nástavců, znázorněných na obr. 9.2. Nástavce a) a b) disponují gumovými povrchy, které vlivem vyššího tření umožňují lépe přenášet krouticí moment od motoru na obrobek.



Obr. 9.3: Upínací prvky

Upnutí obrobku

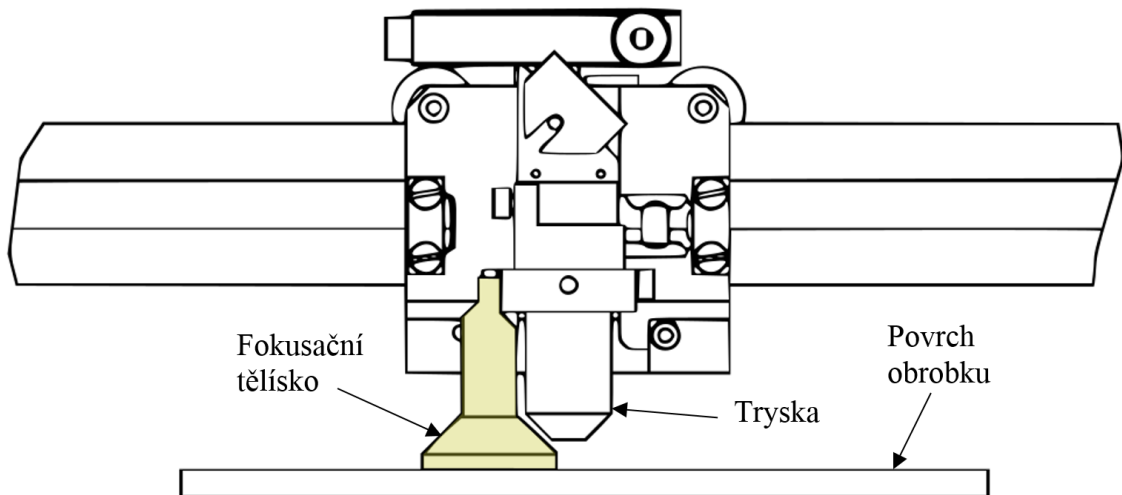
Při samotném upnutí obrobku je nutno ho co nejlépe vystředit, tedy docílit toho, aby jeho osa procházela osou nástavců. Při nedokonalém upnutí totiž při rotaci dochází k házení. To má vliv na změnu vzdálenosti obrobku od nástroje, tedy laserové hlavy. Pro nejvyšší kvalitu gravírování musí tato vzdálenost odpovídat ohniskové vzdálenosti použité čočky v zařízení, aby nedocházelo k rozostřování paprsku v průběhu gravírování. Vhodné a nevhodné upnutí je zobrazeno na obr. 9.3.



Obr. 9.4: Upnutí obrobku vůči ose přípravku

Nastavení ohniskové vzdálenosti na povrch obrobku

Při řezání a gravírování na běžném stole se ke správnému nastavení ohniskové vzdálenosti od čočky na povrch obráběného materiálu využívá automatického zaměření nazvaného AUTO-FOCUS . Ten je zprostředkován pomocí světelného paprsku vycházejícím z jedné strany laseru, který dopadá na terčík na straně druhé. Po upnutí materiálu pak deska stolu stoupá ze spodní polohy, dokud nedojde k přerušení dráhy paprsku. Tento proces se při autofokusování několikrát zopakuje. Pomocí aproximace poté stroj vyhodnotí vhodnou vzdálenost laserové hlavy od materiálu. Pro ověření správnosti automatického zaměření se využívá takzvaného fokusačního tělíska (Obr. 8.5). Jedná se o mechanický díl, který se vkládá mezi laserovou hlavu a obrobek. Jeho rozměr vždy odpovídá ohniskové vzdálenosti použité čočky.



Obr. 9.5: Ověření nastavení ohniskové vzdálenosti [16]

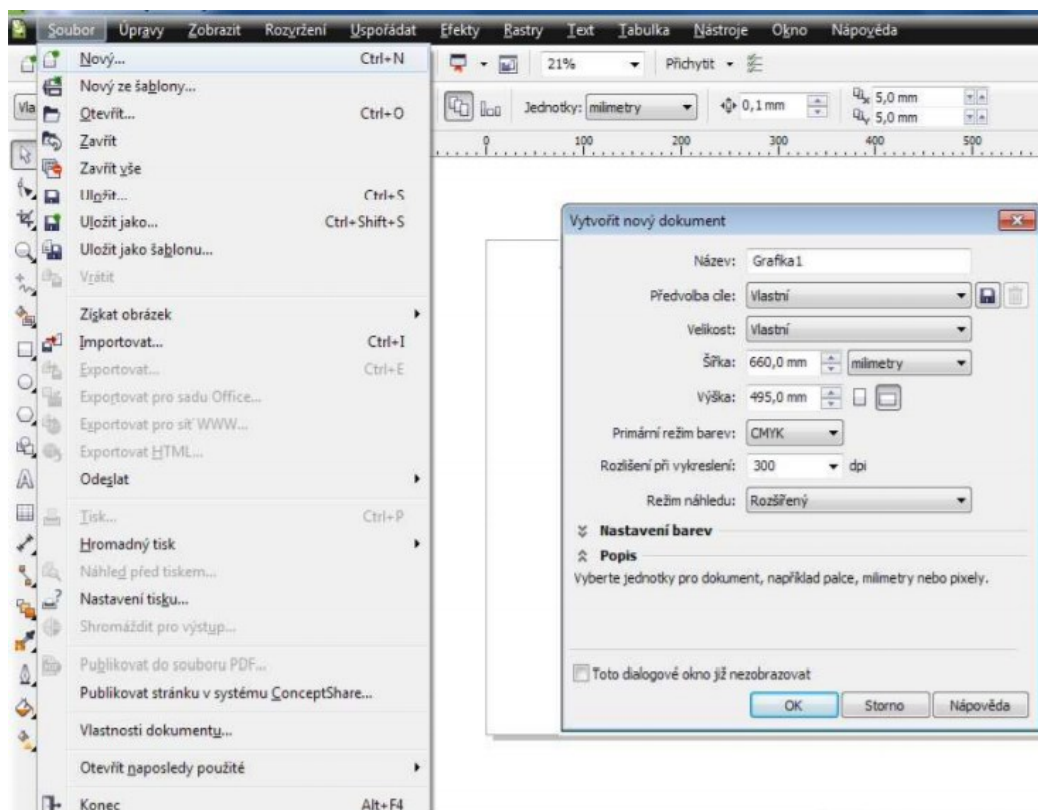
Dosavadní řešení rotační osy neumožňuje využít funkce automatického zaostření, je tedy nutno vždy využít zaměření manuálně pomocí fokusačního tělíska. Upnutí obrobku záleží pouze na zručnosti operátora a neumožňuje přesné odměření.

10 PŘÍPRAVA DAT

K přípravě pracovních dat pro laser využíváme programu **Corel DRAW**. Jedná se o grafický vektorový editor, ve kterém lze grafiku vytvářet, nebo pouze upravovat. Lze v něm tedy kreslit, nebo importovat obrázky či soubory z programu CAD.

Vytvoření nového dokumentu

Pro vytvoření grafiky musíme na horním panelu klepnutím otevřít nabídku **Soubor** → **Nový**. Zde se nastaví velikost pracovní plochy. Ta pro zařízení ILS 3NM odpovídá rozměrům 660 mm x 495 mm. Také zde mimo jiné lze nastavit **primární režim barev** používaných v dokumentu.











Obr. 10.1: Vytvoření nového dokumentu v Corel DRAW

Barevné rozlišení

Použité barvy totiž musí odpovídat některé z osmi barev, které je laser chopen přečíst a pracovat s nimi. Lze jim nastavit různý účel, jako řezání či gravírování nebo zadat rozdílné řezné podmínky. Tyto barvy společně s hodnotami RGB jsou zobrazeny v tabulce č. 1.

Tab. 1 Barevné rozlišení RGB palety

BARVA	NÁZEV	RGB		
		RED	GREEN	BLUE
	ČERNÁ	0	0	0
	ČERVENÁ	255	0	0
	ZELENÁ	0	255	0
	MODRÁ	0	0	255
	ŽLUTÁ	255	255	0
	AZUROVÁ	0	255	255
	PURPUROVÁ	255	0	255
	ORANŽOVÁ	255	128	0

Nastavení polohy a oblasti pro obrábění

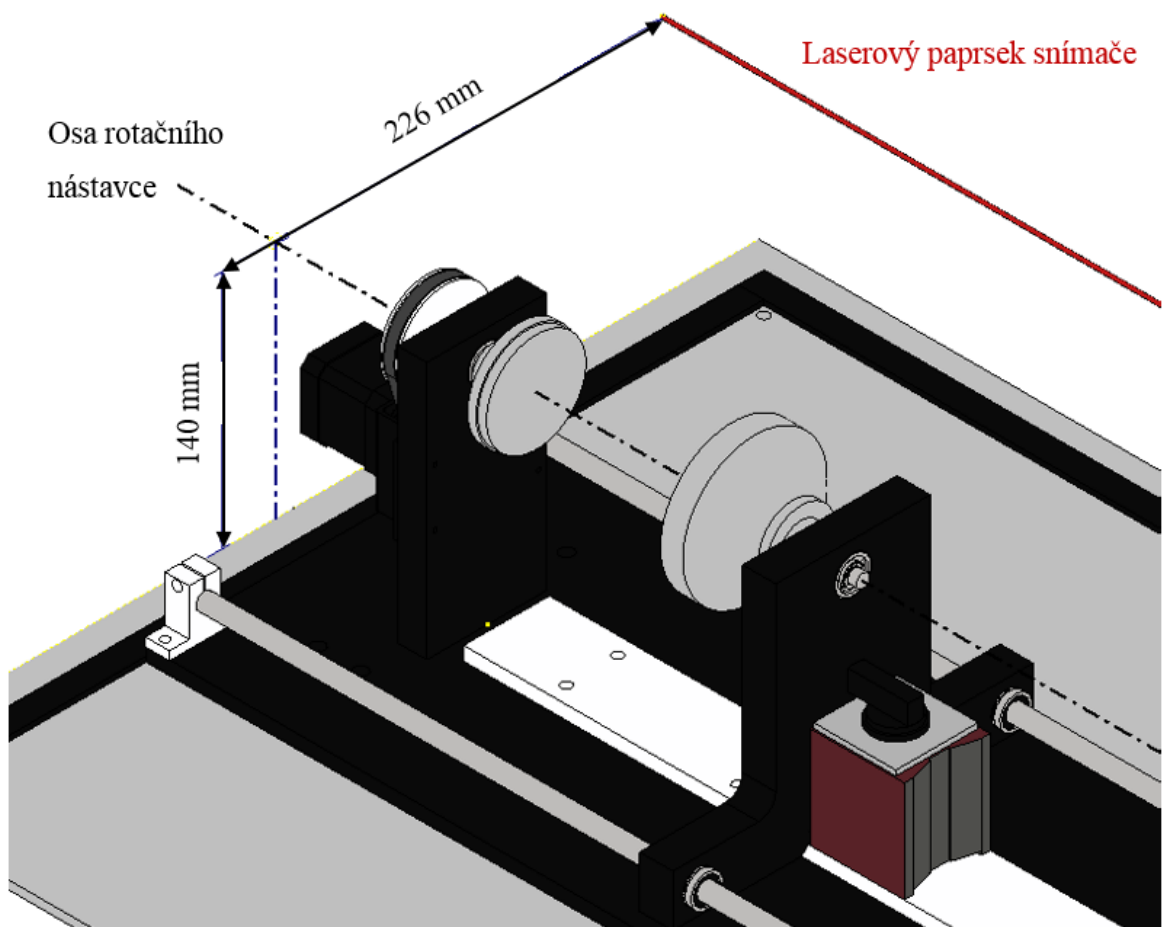
Pro určení polohy a oblasti v souřadnicích X a Y, ve které lze materiál obrábět lze nadefinovat přetažením vodorovného a svislého pravítka. Při použití rotačního nástavce je jeho osa rovnoběžná s osou X a na ose Y nabývá hodnoty 226 mm.

V souboru, který je tvořen pomocí programu CoralDRAW, nelze přesně vidět počáteční a koncové hodnoty souřadnice X upnutého obrobku. To se provádí buď orientačně nebo posunem laserové hlavy a kontrolou souřadnic na displeji laseru.

11 NÁVRH UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU

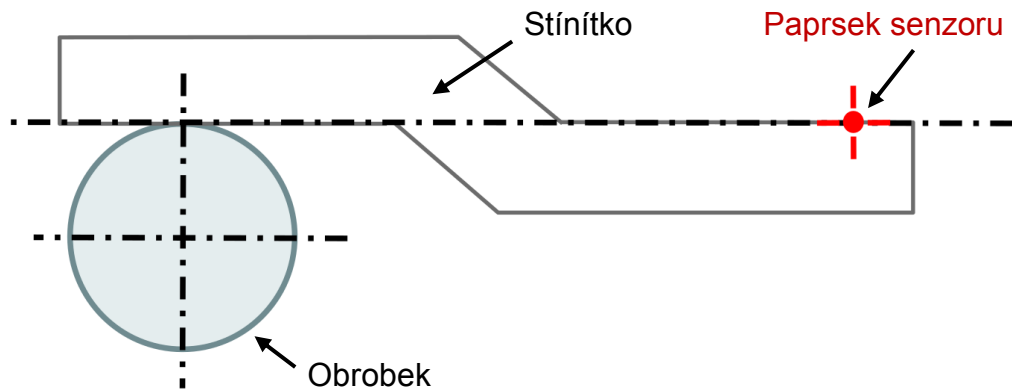
Výsledný návrh přípravku by měl umožnit automatickou fokusaci pro nastavení správné ohniskové vzdálenosti na povrch obrobku. Pro použití této funkce na rotačním nástavci je nutné sestrojít přípravek, který ve vhodné svislé ose Z vzdálenosti povrchu obráběné součásti od čočky laseru přeruší světelný paprsek snímače, tedy dojde k jeho sepnutí.

Poloha světelného paprsku vycházejícího ze snímače vůči ose rotačního nástavce je znázorněna na obr. 12.1.1.



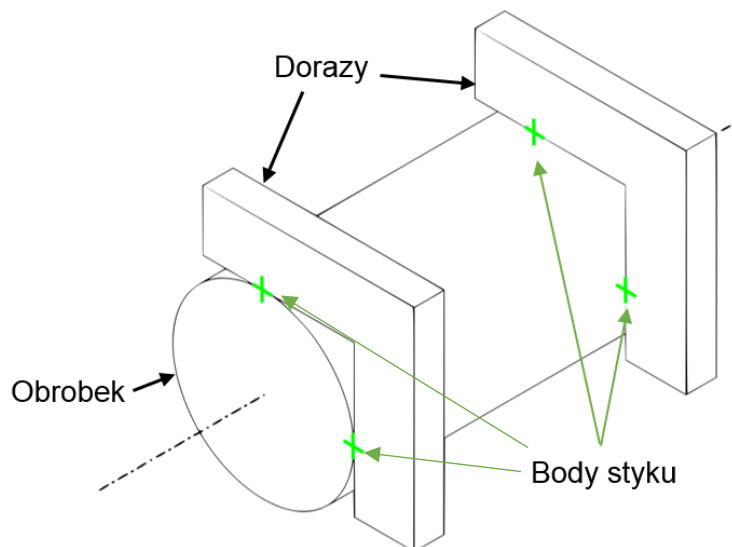
Obr. 11.1: Umístění rotační osy na pracovním stole

Při procesu zaměřování obráběné součásti je nutné, aby došlo k zastínění senzoru ve stejný moment, kdy do roviny rovnoběžné s pracovním stolem procházející paprskem senzoru vstoupí povrch obrobku. Toho lze dosáhnout mechanicky použitím podobného stínítka, jako je znázorněno na obr. 11.2.



Obr. 11.2: Návrh stínítka

K nastavení souososti obrobku s přípravkem lze použít dorazy. Za předpokladu, že doseďací plochy budou na obou koncích polotovaru stejné, docílilo by se totožnosti os volbou stejných upínacích přípravků na obou koncích a jednoho dorazu v osách Y a Z . Upínané polotovary tento tvar většinou nemívají a pro upnutí se používá různých nástavců, je nutné volit dorazy minimálně dva. Takovéto řešení je zobrazeno na obr. 11.3.



Obr. 11.3: Návrh dorazu se čtyřmi body styku

Z důvodu proměnlivého průměru upínaných obrobků dochází ke změnám vzdálenosti jejich povrchem a deskou stolu. Tento faktor je při návrhu třeba zohlednit a navrhnout řešení, které by umožňovalo výšku přípravku nastavovat. Je tedy nutné navrhnout přesný posuv s možností aretace, abychom po nastavení mohli obrobek snadno dorazit a zároveň dosáhli upnutí s minimálním házením. Součástí přípravku by tedy měly být pojezdy a přesné pravítko pro odměřování.

V programu Corel DRAW pomocí pravítek nastavit i rozsah obrábění. Jak pro maximální rozsah v hodnotě Y , odpovídající průměru obráběné součásti, tak i v hodnotách X , kde se nastavuje rozsah po délce obrobku. V principu tím lze zamezit nárazu laserové hlavy do nástavce rotační osy, jelikož některé ze současných nástavců zasahují svými rozměry do roviny, kde se tento nástroj pohybuje. Také lze tímto přesně určit, kde se grafika na obráběném předmětu bude přesně nacházet. Z tohoto důvodu by měl přípravek obsahovat i pravítko pro odměření rozsahu na ose X .

11.1 Koncepční řešení

Varianty konstrukce

Vhodným typem konstrukce je ten, který je dostatečně tuhý a zaručuje přesné polohování. V úvahu tedy připadají jak rámy složené z konstrukčních hliníkových či železných profilů, tak rámy vzniklé spojením plechů nebo desek z materiálů jako dřevo, popřípadě plexisklo. Pro přesné odměřování jsou důležité rozměrové a geometrické přesnosti jak jednotlivých dílů, tak celé sestavy.

Použití konstrukční profilů nám umožňuje snadnou realizaci a adaptabilitu. Jakýkoli komponent může být spojen s ostatními bez nutnosti obrábění, jako je vrtání či sváření. Jednotlivé profily mají normované drážky a jsou vzájemně i s ostatními díly zařízení spojeny šroubovými spoji.

Při konstrukci z plechů nebo desek odpadá potřeba následného zakrytování, avšak zhotovení rámu je složitější. Jednotlivé díly je nutno nejprve obrobit podle požadovaného tvaru a funkce řezáním, frézováním či vrtáním. Spojování je realizováno pomocí šroubových spojů nebo svařování.

Pojezdové systémy

Nejpřesnějším typem lineárního jsou přesné kolejnice s vozičky, které nám dovolují vysoké rychlosti pohybu a teplotní zatížení. Jejich pořizovací cena je však vyšší, a proto se častěji využívá vedení pomocí lineárních tyčí s lineárními kuličkovými ložisky. Tyče bývají buď podepřené po celé své délce, nebo pouze uchyceny na obou koncích k rámu zařízení. Proto je při volbě jejího průměru třeba brát ohled na její namáhání v ohybu, aby byla zaručena dostatečná přesnost odměřování.

11.2 Zhodnocení a výběr vhodné varianty

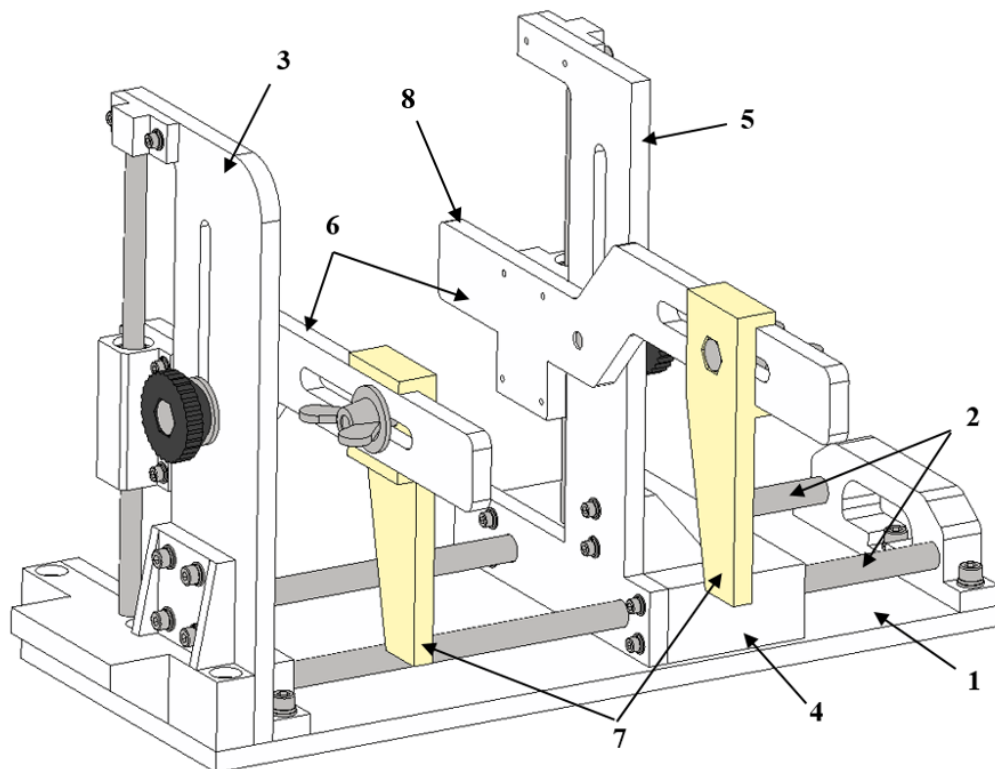
Jelikož cílem práce je zhotovit přípravek s odměřováním, odvíjí se od toho i volba typu konstrukce, použité materiály a přesnost obrábění při výrobě.

Konstrukci je z tohoto důvodu vhodné zvolit z obráběných desek, abychom dosáhli potřebné drsnosti dosedacích ploch. Spojovací a vyztužovací prvky pro zachování geometrických tolerancí, jako je především kolmost a rovinnost je vhodné zhotovit z přesně obráběných dílů. Dostatečnou tuhost konstrukce zajistí šroubové spoje, které jsou na rozdíl od svarů pro naše účely jednodušší na vyhotovení. Samotný přípravek by měl být odnímatelný, aby po upnutí obrobku a nastavení ohniskové vzdálenosti pomocí funkce AUTO-FOCUS nedocházelo ke kolizi s rotační osou a upínacími prvky rotační osy. Z tohoto důvodu je nutné, aby byl zároveň lehký. Vhodným materiálem, který splňuje tyto požadavky je hliník.

Nejvyšší přesnost a tuhost by zaručily pojezdy formou přesných kolejnic s vozíky. Jelikož ale při pohybu přípravku nebude docházet k jeho zatěžování, jsou vhodnou variantou i lineární tyče s kuličkovými ložisky, a to uchycené na dvou koncích. Stejně řešení vedení je použito i na samotném rotačním nástavci laseru ILS 3NM.

11.3 Konstrukční řešení

Konstrukční řešení je zobrazeno na obr. 11.4. Skládá se ze základny (1) s lineárním vedením (2) a pevným svislým pravítkem (3), pojezdu (4) s pohyblivým vertikálním pravítkem (5) a dvou horizontálních pravítek (6) s dvěma posuvnými dorazy (7) na jednom z nich je prvek s hranou (8), umožňující automatické nastavení ohniskové vzdálenosti. Model sestavy je v příloze č. 6 na přiloženém CD.



Obr. 11.4: Konstrukční řešení laseru

Přednostmi tohoto řešení je umožnění přesného nastavení průměru obrobku pomocí pravítek a nastavení dorazů tak, abychom dosáhli jeho vystředění. Další je možnost celý přípravek zasadit mezi rotační přípravek a vodorovné pravítko na pracovním stole. To nám umožní jeho využití pro získání počátku oblasti obrábění v ose X. Pomocí pojezdu lze zjistit ve stejné ose zjistit i její konec. Přípravek počítá s opřením obrobku při upínání celkem ve čtyřech bodech.

Základna

Základna je tvořena deskou, která přímo dosedá na pracovní stůl laseru, tedy se při autofokusaci pohybuje společně s ním. Rozměrově odpovídá vzdálenosti rotační osy od vodorovného pravítka pracovního stolu.

Pravítka

Pomocí vodorovných a svislých pravítek lze nastavit hodnotu průměru upínaného obrobku od 0 mm do 140 mm. Počátek jejich stupnic leží v rovinách vodorovných nebo svislých procházejících osou rotačního nástavce. Stupnice je v milimetrech.

Vedení

Vedení zprostředkovávající posuv ve vodorovném i svislém směru je docíleno pomocí broušených tyčí a axiálních ložisek. Pro zaručení dostatečné tuhosti a snížení vůle jsou u pojezdu použita ložiska prodloužená.

Materiály

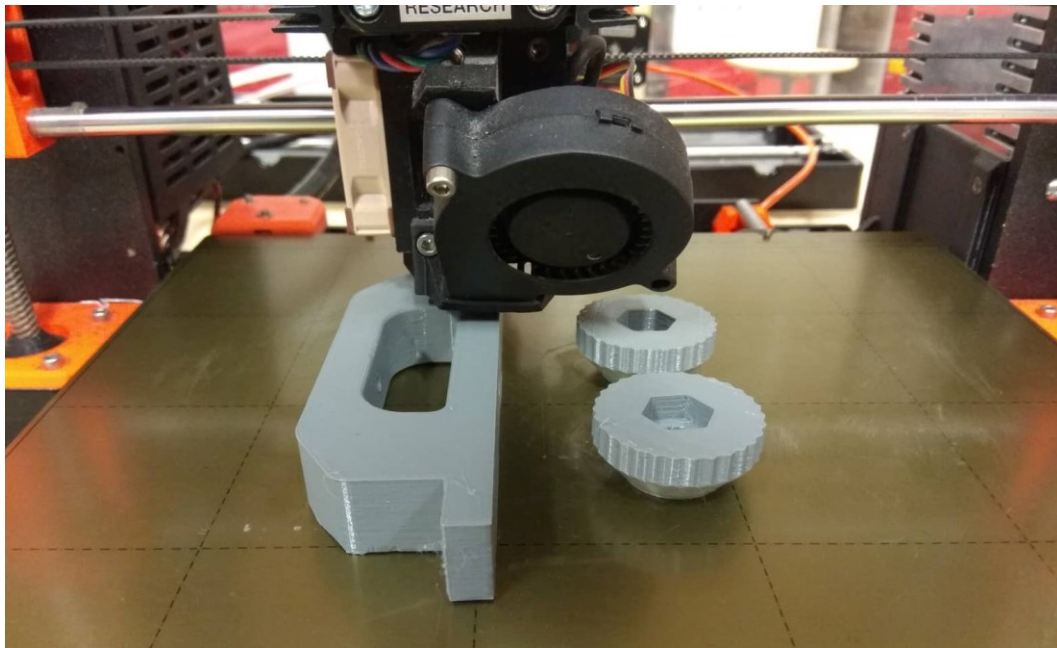
Pro výrobu všech komponent vyjma broušených tyčí a spojovacího materiálu byl použit hliník. Ten zaručí dostatečnou tuhost celé konstrukce při zachování nízké váhy. Ta je také důležitým kritériem z hlediska nutnosti celý navržený přípravek po zaměření ohniskové vzdálenosti na povrch obrobku vyjmout.

Přesnosti a tolerance

Pro zaručení přesného odměřování při upínání je nutné docílit při výrobě a montáži některých geometrických a rozměrových tolerancí. Jednou z nejvýznamnějších je drsnost povrchu u dosedacích ploch. Další je co nejpřesnější výška lineárního vedení nad základnou. Od té se odvíjí i přesnost nastavení průměru na svislém pravítku pojezdu.

12 VÝROBA PŘÍPRAVKU

Ideální řešení počítá s přesně obráběnými díly z hliníku, pro ověření funkčnosti návrhu jsem vyrobil prototyp, který se sestává z 8 mm desek z polymeru PMMA řezaných pomocí laseru a dílů tištěných na 3D tiskárně z materiálu PETG. Součástí přiloženého CD jsou výrobní data, pomocí nich byly jednotlivé díly vyráběny. Montážní schémata pojezdu a základny jsou přiloženy v příloze č. 2 a 3.



Obr. 12.1: Výroba dílů metodou 3D tisku

Základna

Hlavním prvkem základny je deska, tu jsem vyhotovil z osmimilimetrové černé PMMA desky přesně řezané pomocí laseru. Do desky jsem také vyříznuty otvory pro následné protažení závitníky velikosti M5 pro umístění metrických šroubů. Dalším dílem bylo svislé pravitko s vygravírovanou stupnicí, zhotovené stejným způsobem jako deska. Tyto dva prvky jsem spojil tištěným dílem a šroubovými spoji.

Pojezd

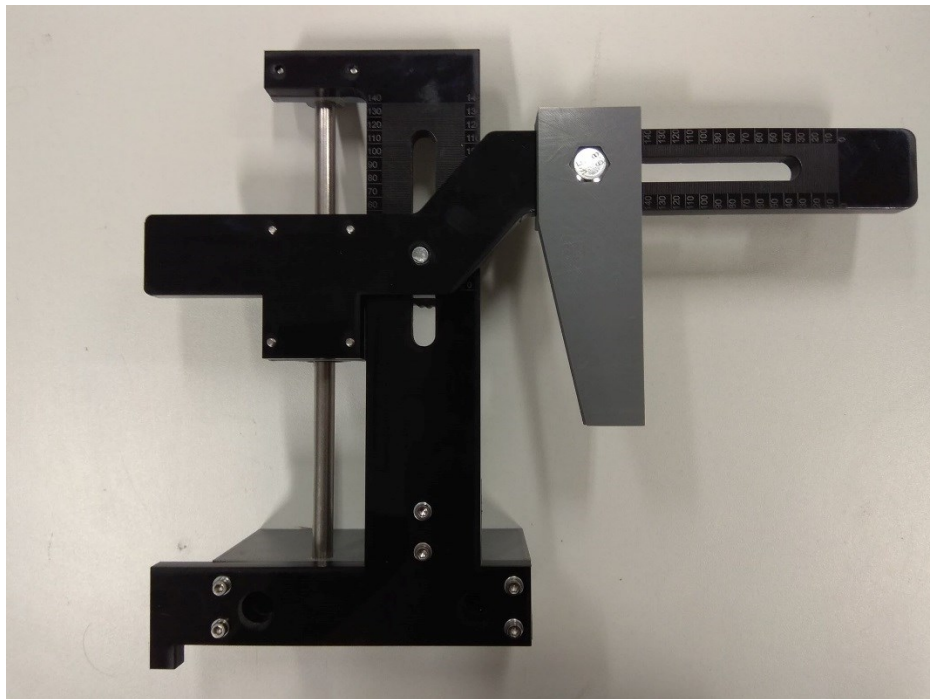
Pro výrobu pojezdu byl vytisknut nosný prvek z materiálu PETG, do kterého se nalisoval ložiska. Z důvodu uložení bylo nutné počítat se smrštěním tohoto polymeru při chladnutí. Proto jsem v použitém modelu vytvořil díry větší, aby ve výsledném výtisku odpovídaly uložení s přesahem. Do výtisku jsem vsadil čtvercové matice pro upevnění vertikálního pravitka.

Pravítka

Při výrobě pravítek z PMMA desek bylo nutno přesně zvolit řezné podmínky. Hlavním důvodem je náchylnost ke kroucení materiálu vlivem tepla. Přesné podmínky byly důležité i pro gravírování rozměrové stupnice, abychom dosáhli co nejlepší viditelnosti jednotlivých kót. Součástí horizontálních pravítek je i vozík svislého posuvu, zhotovený z tištěného dílu se zalisovaným axiálním kuličkovým ložiskem. Sestavený pojezd je zobrazen na obr.

Vedení

Vedení se skládá z broušených tyčí a axiálních kuličkových ložisek zakoupených u firmy 4ISP s.r.o., která prodává komponenty pro konstrukci přesných CNC strojů. Dvě tyče o průměru 10 mm jsem zkrátil na odpovídající délku, odjehlil, vsunul do ložisek pojezdu, zalisoval do tištěných dílů a přišroubil k základně. Jedna tyč o průměru 8mm po zkrácení, vsunutí do tištěného dílu pojezdu a zalisování vytvořila pojezd ve svislé ose levého pravítka. Po zkrácení a nalisování druhé tyče do tištěného dílu s ložisky vznikl svislý pojezd na koníku. Výkresy jednotlivých vedení jsou v příloze č. 6.



Obr. 12.2: Sestava pojezdu

Materiály

Pro výrobu základové desky a pravítek jsem použil plast PMMA (polymethylmethakrylát), známý jako plexisklo nebo akrylátové sklo. Jde o průhledný syntetický polymer, který má vlastnosti termoplastu. V čisté podobě je průhledný. Kvůli potřebě zastínění optického čidla pro autofokusaci jsem použít zvolil barvenou variantu, konkrétně černou. Zvolen byl z důvodu snadného opracování pomocí laseru a jeho tuhosti. Spojovací prvky byly vyrobeny pomocí technologie 3D tisku a to z materiálu zvaného PETG. Ten se používá k výrobě prototypů i funkčních součástí. Je mechanicky odolný, pevný a zároveň pružný. To umožňuje zalisování ložisek bez popraskání dílů.

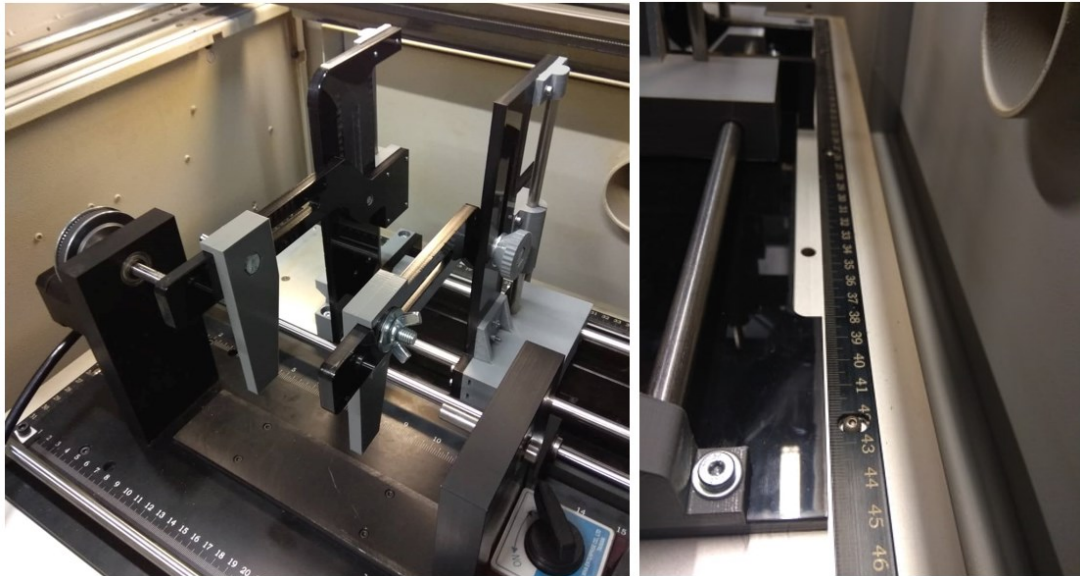
Úpravy

Oproti původnímu modelu musely být některé součásti upraveny. Jedná se o plastové díly vyráběné 3D tiskem, ve kterých jsou nalisována ložiska. U těchto dílů vychází úpravy z pružných vlastností materiálu, kde k zajištění ložisek v axiálním směru při nízkém namáhání není třeba pojistných kroužků. Upravený model prototypu sestavy je přiložen na CD.

Přiložen je i rozměrový výkres sestavy. Obsahuje očíslované podsestavy a vychází z montážních schémat. Uvedené míry jsou orientační. Celý přípravek je nutné kalibrovat přímo na zařízení, aby byla zaručena správná funkčnost.

13 TESTOVÁNÍ PŘÍPRAVKU

Součástí praktické části práce bylo i testování vyrobeného prototypu přípravku přímo na zařízení ILS 3NM. Jeho umístění v zařízení je zobrazeno na obr 13.1.



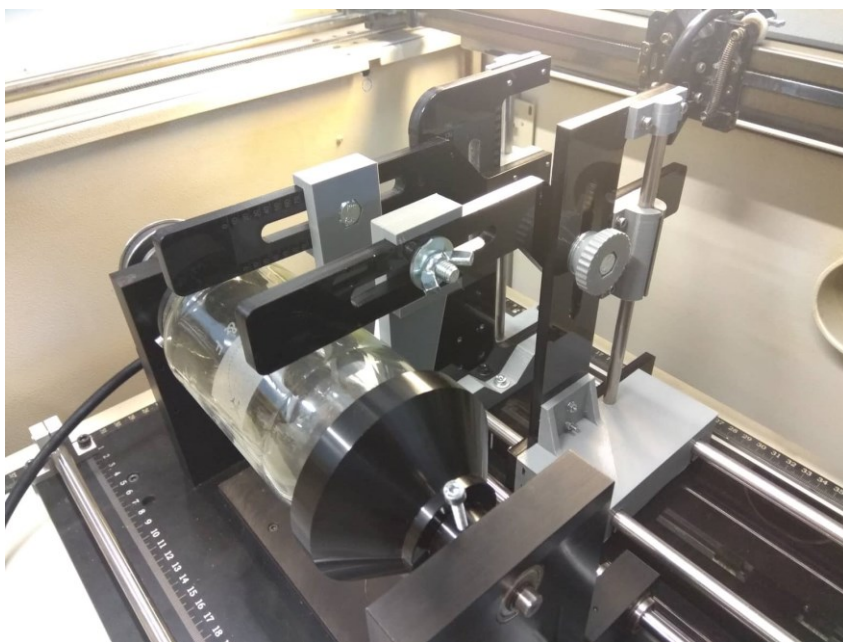
Obr. 13.1: Umístění přípravku na pracovní stůl

Následovala kontrola, zda nulové hodnoty horizontálních i vertikálních pravítek leží na ose rotačního nástavce a zda ukazují správné hodnoty průměru upnuté součásti. Tu jsem provedl na broušených tyčích sloužící k upevnění upínacích prvků, jejichž průměr činí 8 mm. Doražením nejprve základny přípravku k základně rotační osy a následně horizontálního pravítka a dorazu k povrchu broušené tyče gravírovaná stupnice ukazovala hodnotu měřeného průměru (obr. 13.2, str. 43). Tuto kontrolu jsem provedl oběma dorazy na obou protilehlých tyčích. Levá pravítka ukazovala hodnotu přesně 8 mm. Pravítka na pojezdu však ukazovala o 1 mm méně. Tato odchylka je způsobena nepřesným uložením ložisek v tištěném dílu pojezdu a lze jí snížit při montáži.



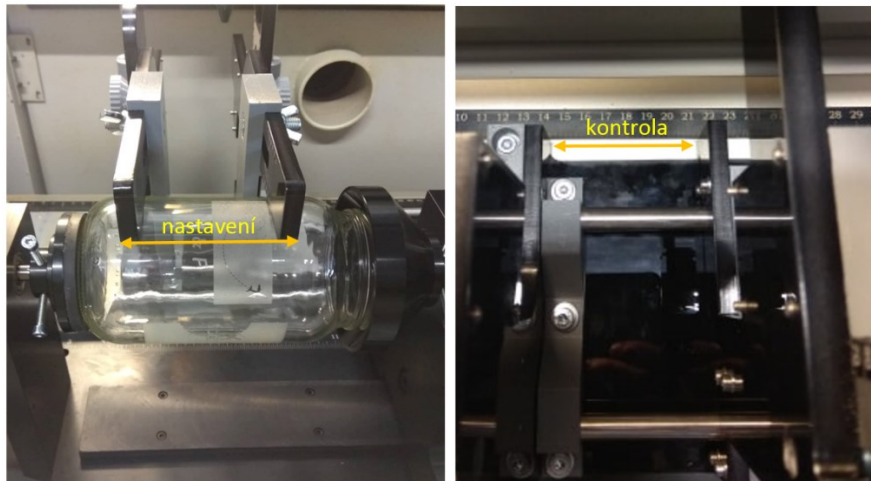
Obr. 13.2: Kontrola přesnosti nastavení pravítek

V praxi však přípravek funguje opačným způsobem. U polotovaru, který chceme pomocí laseru obrábět, si nejprve například pomocí posuvného měřítka zjistíme průměr. Poté tuto hodnotu nastavíme na všech pravítkách přípravku. Zvolíme vhodné upínací prvky, které se nasadí na protilehlé hřídele rotační osy. Následně se celý přípravek umístí na pracovní stůl laseru na doraz k rotační ose. Polotovar umístíme ještě bez dotažení mezi upínací prvky, dorazíme v ose Y a Z k oběma dorazům přípravu a zajistíme ho aktivací magnetu. Takto upnutý obrobek je zobrazen na obr. 13.3.



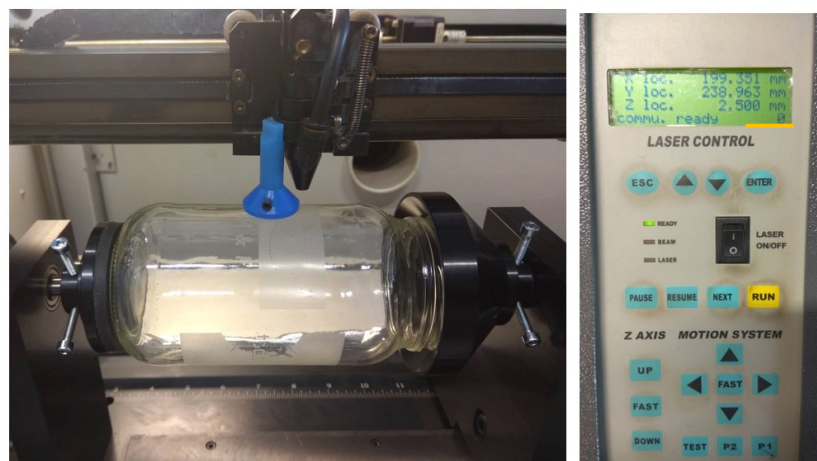
Obr. 13.3: Upnutý obrobek pomocí přípravku

Pomocí přípravku lze zaměřit, jakou oblast budeme gravírovat pro následné polohování souboru v programu Corel Draw. Provádí se tak, že se šířka této oblasti nastaví pomocí horizontálních pravítek. Počátek a konec udávají jejich od sebe vzdálenější plochy. Na pevné odměřovací liště pracovního stolu pak rozměr této oblasti ukazuje výřez v základně a výčnělek na pojezdu přípravku.



Obr. 13.4: Nastavení a kontrola oblasti obrábění

S nastaveným přípravkem a doraženým a upnutým obrobkem se spustí funkce AUTO-FOCUS. Při pohybu pracovního stolu směrem k čidlu dojde k přerušení paprsku snímače polohy pomocí nastaveného horizontálního pravítka na pojezdu. Tím dojde k zaměření ohniskové vzdálenosti od čočky laseru na obrobek. Pro ověření správnosti automatického zaměření byla provedena kontrola pomocí fokusačního tělíska, při níž bylo zjištěno, že vzdálenost mezi obrobkem a nástrojem je o 2,5 mm kratší, než je ohnisková vzdálenost čočky. Na této nepřesnosti se podílí i šířka samotného propalu, která nebyla při výrobě započítána.



Obr. 13.5: Kontrola naměřené ohniskové vzdálenosti

ZÁVĚR

V této práci jsem se věnoval problematice práce s rotační osou laseru ILS 3NM. Na základě získaných zkušeností jsem byl schopen určit, jakým způsobem zlepšit kvalitu gravírování válcových polotovarů. Také jsem přihlížel k usnadnění práce s tímto zařízením, zejména upínáním obrobku, které vyžadovalo zkušenou obsluhu a neumožňovalo kontrolu. Stávající řešení nepodporovalo funkci AUTO-FOCUS, která automatizuje a urychluje proces zaměřování ohniskové vzdálenosti na povrch obrobku.

Na základě definovaných kritérií jsem vyhotovil návrh upínacího přípravku. Proces vývoje probíhal v prostředí Inventor Professional od společnosti Autodesk, které umožňuje tvorbu 3D modelů jednotlivých dílů i jejich vkládání do sestav. Nejprve jsem získal rozměry zařízení a na jejich základě vymodeloval pracovní stůl s rotační osou a pozici snímače polohy. Použitý software mi také umožnil jednotlivé díly exportovat do různých formátů, jako jsou povrchové 3D modely a vektorové soubory. Díky tomu jsem byl schopen vyrobit prototyp tohoto přípravku pro testování jeho funkčnosti. Tento prototyp poslouží univerzitě ke zlepšení kvality gravírování rotačních součástí.

Při výrobě prototypu jsem používal technologii 3D tisku a laserového řezání. Hliníkové desky pro výrobu desky základy a všech pravítek jsem nahradil polymerem PMMA a ostatní díly pro spojení desek a uchycení broušených tyčí byly vytisknuty z materiálu PETG. Nedošáhl jsem sice takové přesnosti jako obráběním ani tuhosti konstrukce, které bych docílil výrobou součástí ze slitiny hliníku. Díky zkušenostem s těmito digitálními výrobními technologiemi se mi však povedlo sestrojít přípravek, jehož přesnost měření po testování a kalibraci nepřesahovala jeden milimetr. Takováto přesnost je většinu aplikací, které se provádí s tímto zařízením dostačující. Vyrobený prototyp tak může sloužit jako funkční přípravek.

Dalším krokem by byla výroba přípravku ze slitin hliníku. Také by bylo vhodné přípravek prodloužit na délku samotné rotační osy, aby bylo možné využít zaměření pro celou oblast obrábění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň ZČV Plzeň, 1994. 102 s. ISBN: 80-7082-161-2
- [2] DVOŘÁK, T. *Vývoj a aplikace laserů*. Praha: SIVO, 1968. 42s.
- [3] BRIMUS, J.: *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály*, UTB Zlín 2007
- [4] *Laserové technologie v praxi* [online]. 2010 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>>
- [5] *Typy laserů* [online]. 2004 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>>
- [6] *Hlavní typy laserů používaných v průmyslu* [online]. 2013 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>>
- [7] *Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. Časopis MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 3, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW:
<<https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>>. ISSN 1803-8433
- [8] *Laserové řezání (laser cutting)* [online]. 2013 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>>
- [9] *Procesy laserového značení* [online]. 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<http://www.lt.cz/e-learning/laser/procesy-laseroveho-znaceni>>
- [10] *Princip vláknového – FIBER LASERU* [online]. 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW:
<<http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-vlaknoveho-fiber-laseru>>

- [11] *Laserové diody 2 - Typy a struktury laserových diod* [online]. 2001 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/01043/index.html>>
- [12] *Jak vzniká laser* [online]. 2001 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.amadeusfin.cz/22592/jak-vznika-laser/>>
- [13] *Elektronické motory* [online]. 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.cz/produkty/elektromechanika/elektricke-motory/>>
- [14] *Elektronické pohony a servomechanismy* [online]. 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3672?fbclid=IwAR3TGddYTBVdFolsd14ia1Ow-OoA-TdSBGyYArSHWiYk_fUEPdF1R7ex-oM>
- [15] *Plotrový laser ILS 3* [online]. 2011 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.automatorgroup.cz/plotrove-co2-lasery-ils-3/>>
- [16] *Intelligent Laser System III-NM - Operation Manual, version 1.6.* : Laser Tools & Technics Corp., 2007. 53 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BPP Beam Parameter Product

PMMA Polymethylmethakrylát

PETG Polyethylentereftalaát modifikovaný glykolem

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1: Emise fotonu</i>	12
<i>Obr. 1.2: Optický rezonátor</i>	12
<i>Obr. 2.1: Schéma laserového zařízení [7]</i>	13
<i>Obr. 4.1: Princip vrtání laserem [4]</i>	15
<i>Obr. 4.2: Princip řezání laserem [8]</i>	16
<i>Obr. 4.3: Proces laserového značení a) gravírováním b) termochemickým procesem [9]</i>	17
<i>Obr. 5.1: Princip vláknového laseru [10]</i>	18
<i>Obr. 5.2: Princip RF CO2 laseru [8]</i>	19
<i>Obr. 5.3: Schéma laserové diody [11]</i>	19
<i>Obr. 6.1: Optika CO2 laseru [12]</i>	20
<i>Obr. 6.2: Servomotor s nízkým momentem setrvačnosti [13]</i>	21
<i>Obr. 7.1: Odměrování a) nepřímé b) přímé [14]</i>	23
<i>Obr. 9.1: Laser ILS 3NM [15]</i>	26
<i>Obr. 9.2: Návrh rotační osy laseru ILS 3N</i>	27
<i>Obr. 9.3: Upínací prvky</i>	28
<i>Obr. 9.4: Upnutí obrobku vůči ose přípravku</i>	28
<i>Obr. 9.5: Ověření nastavení ohniskové vzdálenosti [16]</i>	29
<i>Obr. 10.1: Vytvoření nového dokumentu v Corel DRAW</i>	30
<i>Obr. 11.1: Umístění rotační osy na pracovním stole</i>	32
<i>Obr. 11.2: Návrh stínítka</i>	33
<i>Obr. 11.3: Návrh dorazu se čtyřmi body styku</i>	33
<i>Obr. 11.4: Konstrukční řešení laseru</i>	37
<i>Obr. 12.1: Výroba dílů metodou 3D tisku</i>	39
<i>Obr. 12.2: Sestava pojezdu</i>	40
<i>Obr. 13.1: Umístění přípravku na pracovní stůl</i>	42
<i>Obr. 13.2: Kontrola přesnosti nastavení pravítek</i>	43
<i>Obr. 13.3: Upnutý obrobek pomocí přípravku</i>	43
<i>Obr. 13.4: Nastavení a kontrola oblasti obrábění</i>	44
<i>Obr. 13.5: Kontrola naměřené ohniskové vzdálenosti</i>	44

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Barevné rozlišení RGB palety</i>	31
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Seznam komponent prototypu přípravku

Externí přílohy

Příloha 2 Montážní schéma pojezdu

Příloha 3 Montážní schéma základny

Příloha 4 Rozměrový výkres sestavy prototypu přípravku

Příloha 5 Vyrobený prototyp přípravku

Příloha 6 CD

- 3D model přípravku
- 3D model prototypu přípravku
- Výrobní data pro 3D tisk
- Výrobní data pro řezání a gravírování laserem
- Výkresová dokumentace lineárního vedení

PŘÍLOHA P I: SEZNAM KOMPONENT PROTOTYPU PŘÍPRAVKU

POZ.	NÁZEV - ROZMĚR	NORMA - VÝKRES	MATERIÁL	KS	HMOTNOST
1	Deska základny	-	PMMA	1	0,418 kg
2	Pravítko základny svislé	-	PMMA	1	0,150 kg
3	Pravítko základny vodorovné	-	PMMA	1	0,073 kg
4	Pravítko pojezdu svislé	-	PMMA	1	0,115 kg
5	Pravítko pojezdu vodorovné	-	PMMA	1	0,085 kg
6	Pravý úchyt	-	PETG	1	0,037 kg
7	Držák lineárního vedení	-	PETG	1	0,029 kg
8	Levý úchyt	-	PETG	1	0,081 kg
9	Držák vodorovného pravítka	-	PETG	2	0,019 kg
10	Držák tyče horní	-	PETG	2	0,003 kg
11	Koník	-	PETG	1	0,156 kg
12	Doraz levý	-	PETG	1	0,026 kg
13	Doraz pravý	-	PETG	1	0,026 kg
14	Knoflík	-	PETG	2	0,008 kg
15	Ložisko LM8LUU	ISO9001	-	2	0,036 kg
16	Ložisko LM10LUU	ISO9001	-	2	0,052 kg
17	Lineární vedení pojezdu	UTB/FT_17	CK55 / 1.1213	2	0,202 kg
18	Lineární vedení svislé levé	UTB/FT_18	CK55 / 1.1213	1	0,98 kg
19	Lineární vedení svislé pravé	UTB/FT_19	CK55 / 1.1213	1	0,94 kg
20	Šestihranný šroub M8 x 25 mm	DIN 933	-	2	0,015 kg
21	Šestihranný šroub M8 x 22 mm	CSN 02 1201	-	2	0,014 kg
22	Šroub s válcovou hlavou - M5 x 25 mm	DIN 912	-	3	0,006 kg
23	Šroub s válcovou hlavou - M5 x 16 mm	DIN 912	-	6	0,004 kg
24	Šroub s válcovou hlavou - M5 x 12 mm	DIN 912	-	1	0,004 kg
25	Šroub s válcovou hlavou - M4 x 16 mm	DIN 912	-	4	0,003 kg
26	Šroub s válcovou hlavou - M4 x 12 mm	DIN 912	-	2	0,002 kg
27	Šroub s válcovou hlavou - M3 x 20 mm	DIN 912	-	2	0,002 kg
28	Šroub s válcovou hlavou - M3 x 16 mm	DIN 912	-	8	0,001 kg
29	Šroub s válcovou hlavou - M3 x 12 mm	DIN 912	-	2	0,001 kg
30	Šroub s válcovou hlavou - M3 x 8 mm	DIN 912	-	4	0,001 kg
31	Podložka 8,4 mm	CNS 5194	-	4	0,007 kg
32	Podložka - A - 5,3 mm	CNS 150	-	10	0,001 kg
33	Podložka - A - 4,3 mm	CNS 150	-	6	0,001 kg
34	Podložka - A - 3,7 mm	CNS 150	-	18	0,001 kg
35	Pružná podložka - A - 5 mm	CNS 161	-	10	0,001 kg
36	Pružná podložka - A - 4 mm	CNS 161	-	6	0,001 kg
37	Pružná podložka - A - 3,5 mm	CNS 161	-	16	0,001 kg
38	Křídlová matka - M8	CNS 4373	-	2	0,017 kg
39	Šestihranná matice M3	ISO 4035	-	2	0,000 kg
40	Čtyřhranná matice - M3	DIN 562	-	4	0,001 kg

;