



MĚŘENÍ OHNISKOVÉ VZDÁLENOSTI U LASEROVÉ ŘEZACÍ HLAVICE

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Martin Hollandr**
Vedoucí práce: Ing. Martin Lachman, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Hollandr**
Osobní číslo: **S14000389**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Měření ohniskové vzdálenosti u laserové řezací hlavice**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je změření ohniskové vzdálenosti u řezací laserové hlavice umístěné na stroji v laboratoři Katedry výrobních systémů.

1. Seznámení se s technologií řezání laserovým paprskem, s řezací hlavicí od firmy Laser Mech a jejím umístěním na stroji v laboratoři KVS.
2. Zvolit způsob měření ohniskové vzdálenosti od špičky hlavice k řezanému materiálu.
3. Změření ohniskové vzdálenosti.
4. Ověření správnosti nastavení ohniskové vzdálenosti vyřezáním základních tvarů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] **Richmond, M.** *JK Fiber Laser - Instalační a Operační Manuál.* Rugby: **GSI Group Ltd, Laser Division, 2010.**
[2] **Laser Mechanisms Inc.** *FiberMini - operation manual,* Michigan USA, **2011.**
[3] **GSI Group Ltd.** *JK Fiber Laser Cutting Head - User Manual and Focus Adjustment Instructions.* Rugby: **Laser Division, 2010.**
[4] **Siemens AG.** *SINUMERIK 840D/810D, SIMODRIVE 611 digital, Start-Up Guide.* Germany, **2006.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Lachman, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Zelený, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **14. listopadu 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. července 2015**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. listopadu 2014

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Lachmanovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří mé přítelkyni, celé mé rodině a všem blízkým kamarádům za neustálou duševní podporu především v průběhu studia na Technické univerzitě v Liberci.

ANOTACE

Bakalářská práce se zaměřuje na experimentální zjištění ohniskové vzdálenosti vláknového laseru JK400FL. Teoretická část práce se zabývá historií laseru a jeho principu fungování, základním rozdělením laserových přístrojů, a popisu technologií využívající laserový paprsek. V další sekci práce je popsán samotný laserový přístroj JK400FL, na kterém se prováděly veškeré operace spojené s touto prací. Závěrečná kapitola popisuje experiment zjištění optimální ohniskové vzdálenosti a ověření její správnosti vyřezáním základních tvarů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Laser, vláknový laser, řezací hlavice, ohnisková vzdálenost, nalezení ohniskové vzdálenosti

ANNOTATION

Bachelor Thesis focuses on finding of optimal focus length of JK400 Fiber Laser. Theoretical part includes history and principle of operation of the laser, classification of laser devices, technologies using laser beam. At next section of thesis is description of the JK400 Fiber Laser which made all operation described herein. Final chapter described finding of optimal focus length and its verification by cutting basic shapes.

KEY WORDS

Laser, fiber laser, cutting head, focus length, finding of optimal focus length

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Význam	Jednotka
	<i>Teplota</i>	$[^{\circ}\text{C}]$
	<i>Termodynamická teplota</i>	$[\text{K}]$
	<i>Hodina</i>	$[\text{h}]$
	<i>Plošná hustota výkonu</i>	$[\text{W}/\text{cm}^2]$
	<i>Výkon zařízení</i>	$[\text{W}]$
	<i>Napětí</i>	$[\text{V}]$
	<i>Proud</i>	$[\text{mA}]$
	<i>Modulační frekvence</i>	$[\text{kHz}]$
	<i>tlak</i>	$[\text{bar}]$
	<i>doba náběhu/poklesu</i>	$[\mu\text{s}]$
<i>Z_r</i>	<i>Rayleighova vzdálenost</i>	$[\mu\text{m}]$
<i>ω_0</i>	<i>Nejužší místo svazku</i>	$[\mu\text{m}]$
<i>D</i>	<i>Průměr svazku</i>	$[\mu\text{m}]$
<i>λ</i>	<i>Vlnová délka</i>	$[\text{nm}]$
<i>θ</i>	<i>úhel svazku laserového paprsku</i>	$[^{\circ}]$
<i>π</i>	<i>Ludolfovo číslo</i>	$[-]$

OBSAH

ÚVOD.....	13
1 LASER.....	14
1.1 Historie Laseru	14
1.2 Princip Laseru	14
1.3 Základní části laseru.....	14
1.3.1 Aktivní prostředí	15
1.3.2 Rezonátor	15
1.3.3 Další důležité části laseru	16
1.4 Základní rozdělení laserů	16
1.4.1 Rozdělení dle konstrukce laseru	16
1.4.2 Rozdělení podle dosahovaného výkonu	17
1.4.3 Rozdělení dle vlnové délky.....	17
1.4.4 Rozdělení podle použití	17
1.4.5 Rozdělení dle aktivního prostředí	18
2 VLÁKNOVÝ LASER	20
2.1 Dvouplášťová vlákna	21
2.2 Uplatnění vláknových laserů ve strojním průmyslu.....	21
2.2.1 Svařování laserem.....	22
2.2.2 Řezání laserem.....	22
2.2.3 Vrtání laserem.....	24
3 SEZNÁMENÍ S VLÁKNOVÝM LASEREM JK400FL	26
3.1 Ochrana proti zpětnému odrazu	26
3.2 Chlazení přístroje	26
4 INSTALACE ŘEZACÍ HLAVY	27
4.1 Montáž a demontáž vláknové koncovky.....	27

4.2	Připojení vedlejších dodávek.....	28
5	ELEKTRONIKA LASERU	30
5.1	Kapacitní snímač polohy	30
6	OPTIKA LASERU.....	32
6.1	Hloubka ostrosti.....	32
6.2	Aplikace hloubky ostrosti.....	33
6.3	Možnosti Rayleighovy vzdálenosti	33
6.3.1	JK50FL, JK100FL a JK200FL vláknové lasery.....	33
6.3.2	JK300FL a JK400FL vláknové lasery.....	34
7	PROCES NALEZENÍ SPRÁVNÉHO ZAOSTŘENÍ.....	35
7.1	Bezpečnost.....	35
7.2	Kontrola, zda paprsek opouští hlavici centrálně.....	35
7.3	Nalezení ohniskové vzdálenosti	36
8	POPIS VLÁKNOVÉHO LASERU JK400FL	38
8.1	Experimentální nalezení ohniskové vzdálenosti.....	38
8.2	Prořezávání materiálu	41
8.3	Ověření správnosti nalezené ohniskové vzdálenosti	43
8.3.1	Řezání dřevěného materiálu	43
8.3.2	Řezání kovového materiálu	45
	ZÁVĚR.....	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	47
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48

ÚVOD

Laserové technologie se zařazují do kategorie nekonvenčních technologií. Ačkoliv se jedná o nekonvenční technologii, je stále čím dál běžněji využívána v mnoha průmyslových odvětvích. Mezi nejvyužívanější průmyslové operace, které využívají laserového paprsku, lze zařadit především řezání a svařování. K řezání se nejčastěji využívá vláknových laserů.

Cílem bakalářské práce je nalezení optimální polohy ohniska. Ohnisková vzdálenost, spolu s dalšími faktory, hraje zásadní roli při kvalitě řezu. Práce řeší především správné nastavení řezací hlavice vláknového laseru JK400FL, a postup při experimentálním zjištění optimální polohy ohniska.

1 LASER

Laser funguje na principu přeměny světelné energie na energii tepelnou. Slovo Laser vzniklo složením počátečních písmen, které popisují funkci samotné technologie. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v doslovném překladu znamená zesílení světla pomocí stimulované emise záření. [3]

1.1 Historie Laseru

První funkční laser byl sestaven v roce 1960 v USA Theodorem H. Maimanem, avšak princip samotné laserové technologie popsal již v roce 1917 Albert Einstein. Předchůdcem laseru byl Maser, který pracoval na totožném principu jako laser, avšak na rozdíl od laseru generoval mikrovlnné záření. Laser se od svého vzniku rychle rozšířil do několika průmyslových odvětví jako např. do potravinového průmyslu, do medicíny, biologie, chemie či energetiky. Pouhý rok po sestrojení prvního laseru bylo jeho záření využito k léčení kožních a očních onemocnění. [3]

1.2 Princip Laseru

Laser můžeme rozdělit do tří hlavních částí, jimiž jsou zdroj energie, aktivní prostředí a rezonátor. Zdrojem energie je výbojka, která dodává do aktivního prostředí energii. Tato energie způsobí excitaci, jinými slovy dojde k vybuzení elektronů aktivního prostředí ze základní energetické hladiny na hladinu vyšší, což způsobí vypuzení většiny elektronů do vyšší energetické hladiny. V momentě, kdy dojde k přestupu elektronů na nižší energetickou hladinu, vyzáří se energie ve formě fotonů, které interagují s dalšími elektrony, čímž dojde ke spuštění stimulované emise fotonů. Tyto fotony jsou dále soustředěny do rezonátoru, který je tvořen aktivním prostředím a polopropustným a nepropustným zrcadlem. Zde dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu aktivním prostředím, které podporuje stimulovanou emisi, což má za následek zesilování toku fotonů. Výsledný laserový paprsek opouští rezonátor skrze polopropustné zrcadlo umístěné na výstupu celého zařízení. [1]

1.3 Základní části laseru

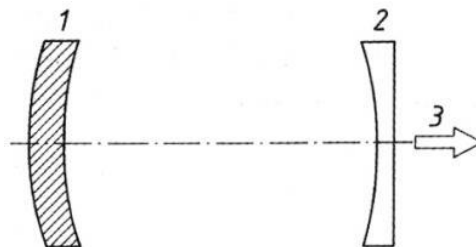
V této podkapitole o laserech se budu zabývat základním rozdělením části laseru. Každý laser musí obsahovat tyto základní části.

1.3.1 Aktivní prostředí

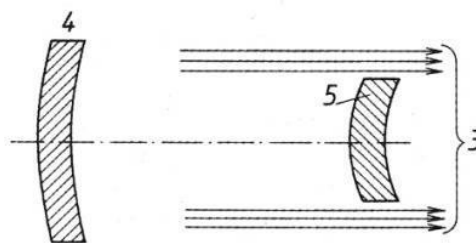
Jedná se o látku, která obsahuje dvě energetické hladiny elektronů, a to vyšší energetickou hladinu a nižší energetickou hladinu. Elektronů přeskakují z nižší hladiny na hladinu vyšší, a zpět na nižší hladinu. Lasery pracují na bázi stimulované emise. Tato stimulovaná emise přenáší elektrony z vyšší energetické hladiny na nižší energetickou hladinu aktivního prostředí. Z hlediska rozdělení aktivního prostředí rozdělujeme tuto látku do čtyř základních skupin. Plynové, pevnolátkové, diodové a kapalinové. [4]

1.3.2 Rezonátor

Rezonátor slouží k zesílení záření (elektromagnetických vln) vycházejících ze zdroje a z aktivního prostředí. V praxi se nejčastěji setkáváme s optickými rezonátory, konstrukčně řešenými nejméně dvěma zrcadly, zpravidla sférickými v konfokálně stabilním nebo konfokálně nestabilním uspořádáním. Tato zrcadla určují výslednou intenzitu a energetickou rozbíhavost laserového záření tak, že volíme různé průměry a zakřivení zrcadel. Zrcadla jsou převážně rovinná, mohou být i zakřivená. Stabilita záření je závislá na poloměru zakřivení zrcadel. Rezonátor je nedílnou součástí většiny laserů, avšak některé druhy laserů dokáží vyvinout velkou energii pouhým průchodem aktivního prostředí, aniž by rezonátor potřebovaly. Příkladem takových laserů může být třeba dusíkový laser nebo měděný laser. [1]



Obr. 1 Konfokální stabilní



Obr. 2 Konfokální nestabilní

1 – nepropustné zrcadlo, 2 – polopropustné zrcadlo, 3 – výstupní zařízení, 4 – zadní zrcadlo, 5 – přední zrcadlo [1]

1.3.3 Další důležité části laseru

Laserové zařízení musí být opatřeno budícím zařízením, které ovlivňuje pracovní režim. Způsob buzení závisí na laserovém médiu. Pevné laserové médium se budí silikonovými diodami nebo elektronkami, plynné médium je buzeno elektrickým výbojem pomocí stejnosměrného nebo střídavého proudu. [1]

Další důležitou částí laserového zařízení je chladicí zařízení. Během procesu vzniku laserového paprsku se odvádí velké množství nahromaděné nevyužité energie, která se nepřemění v záření, ale v teplo. Jako chladicí médium se užívá především voda, avšak výrobci laserových zařízení dodávají vzduchem chlazené lasery. [1]

1.4 Základní rozdělení laserů

Laserová zařízení jsou v dnešní době velmi široce využívána v mnoha průmyslových odvětvích. Je tedy potřeba vytyčit základní rozdělení laserů pro lepší orientaci. Lasery se dělí do mnoha podskupin, ať už podle výkonu, dle použití nebo konstrukce. V této kapitole vyzdvihnu pouze ty nejdůležitější charakteristické rysy laserů do základního rozdělení.

Lasery rozdělují podle:

- konstrukce laseru,
- výkonu,
- vlnové délky,
- podle použití,
- aktivního prostředí.

1.4.1 Rozdělení dle konstrukce laseru

Konstrukce laserového zařízení je zásadní v přenosu paprsku, a v zabezpečení vzájemné vazby mezi paprskem a dílcem. Laserová zařízení z hlediska konstrukce se dělí na tři základní typy:

- Konstrukce s pevnou laserovou hlavicí a pohyblivým stolem s upínkami pro obrobek. Pro tuto konstrukci je omezující tvar, velikost a hmotnost obrobku. [4]
- Konstrukce s pohyblivou laserovou hlavicí a nepohyblivým stolem pro obrobek je opatřena pouze malou laserovou hlavou s nízkým výkonem a malou řezací rychlostí. Tato konstrukce má výhodu minimálního omezení tvaru obrobku. [4]

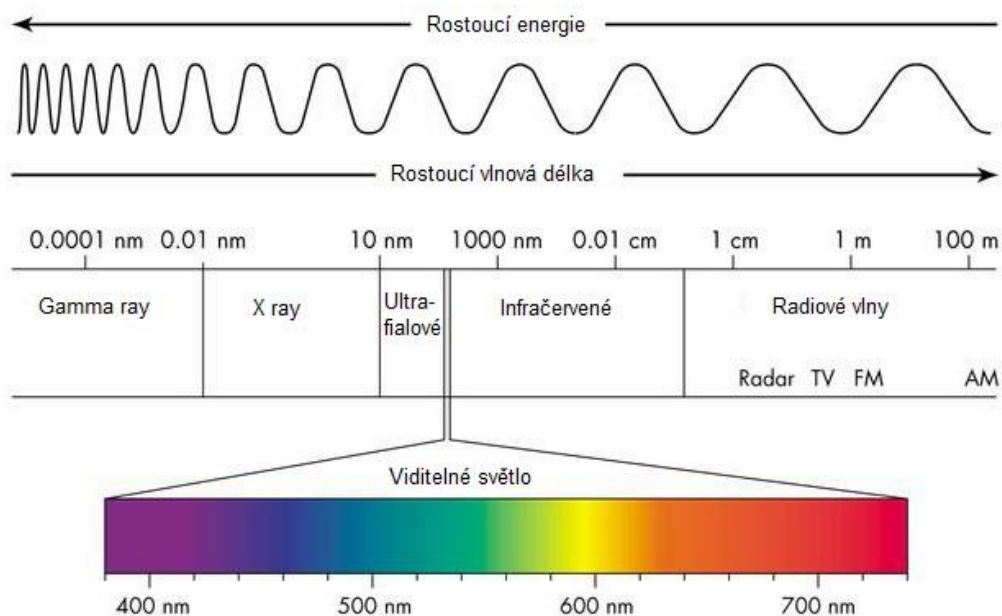
- Pro vysokou řeznou rychlost a úsporu prostoru je vhodná konstrukce pohyblivého paprsku, který je řízen zrcadly. Vysoká náročnost na nastavení celého systému je však jeho velkou nevýhodou. [4]

1.4.2 Rozdělení podle dosahovaného výkonu

Výkon laserů je v rozmezí Wattů až desítek kilo Wattů. Nízko výkonové lasery se využívají hojně k řezání dřevěných a nekovových materiálů či vrtání plastů a keramiky. Pro náročnější operace jako je svařování, obrábění a dělení především kovových materiálů jsou využívány vysoce výkonné lasery. Je důležité podotknout, že čím vyššího výkonu laserový parsek dosahuje, tím je nebezpečnější nejen pro lidské oko, ale i pro pokožku. Přímý pohled na paprsek, ale i jeho zrcadlový obraz může vést k vážnému poškození zrakového ústrojí. [4]

1.4.3 Rozdělení dle vlnové délky

Vlnová délka je rozhodující při volbě využití laseru. Spektrální oblast UV (ultra fialového záření) v rozmezí 10 – 400 nm je hojně využívána např. v očním lékařství.



Obr. 3 Vlnová délka [17]

1.4.4 Rozdělení podle použití

Používání laserového paprsku je dnes velmi běžnou záležitostí, ať už v potravinářském, strojírenském, lékařském či armádním průmyslu. Vzhledem k tématu bakalářské práce

zmiňují základní operace používání laseru pouze ve strojírenském průmyslu. Mezi základní operace patří např. úběr materiálu jako laserové čištění tenkých vrstev povrchů od oleje a plynů, mikroobrábění gravírování, přistřihování, renovace a rytí. Mezi další úběry materiálu patří i vrtání a řezání. Další základní operací ve strojírenství je spojování materiálů technologií svařování a pájení pomocí laserového paprsku. [4]

1.4.5 Rozdělení dle aktivního prostředí

A) Pevnolátkové lasery

Tyto lasery využívají rozptýlené ionty v krystalických nebo amorfních látkách. Nejrozšířenějším laserem v této skupině je Nd:YAG, jehož aktivním prostředím je yttrium aluminium granát. Pevnolátkové lasery se svou spektrální oblastí pohybují zpravidla v červené a infračervené oblasti, kde se hojně využívají ve strojírenství, stomatologii a chirurgii. [6, 7]

B) Kapalinové lasery

Aktivním prostředím jsou opticky buzené roztoky organických barviv. Vlnové spektrum, které kapalinové lasery pokrývají, se pohybuje mezi 300-1500 nm, a to pomocí několika typů barviv a využitím metod nelineární optiky. Přílišná toxicita a krátká životnost aktivního prostředí, které se účinkem tepla a světla rozkládá, je hlavní nevýhodou těchto laserů. Bývají často nahrazovány polovodičovými lasery [7]

C) Polovodičové lasery

Zdrojem laserového paprsku je polovodičová dioda, na jejímž PN přechodu dochází k přeměně elektrické energie na světelný paprsek. Výhodou těchto laserů je snadná nastavitelnost změnou elektrického proudu. S rostoucí teplotou paprsku roste i jeho vlnová délka (přibližně o 0,3 nm / 1 °C). Silnou nevýhodou tohoto typu laseru je nutnost jeho chlazení kapalným dusíkem na provozní teplotu 77 Kelvin. [2, 5, 6]

D) Plynové lasery

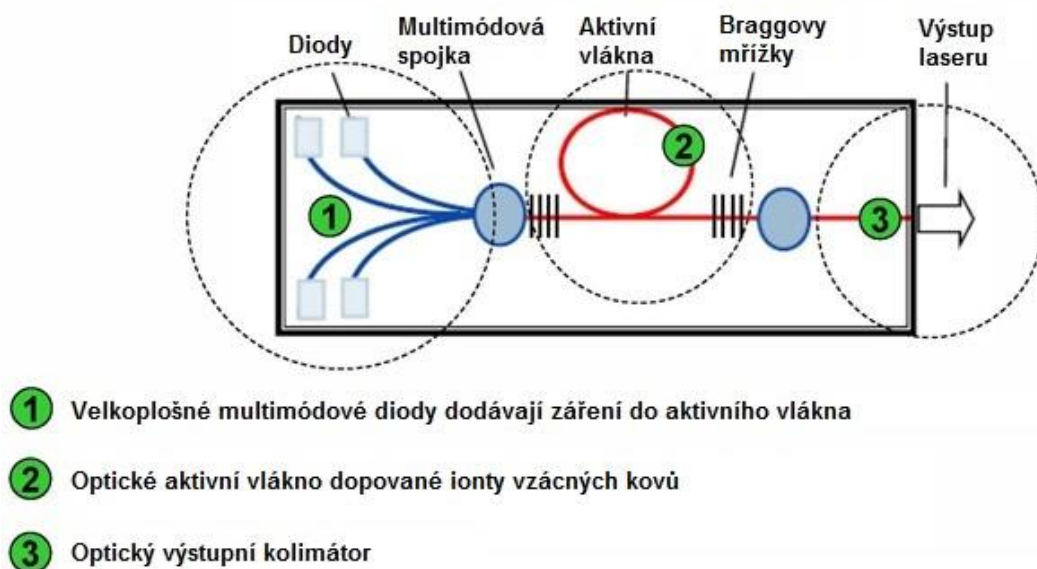
Hlavním zdrojem aktivního prostředí jsou atomy Helia a Neonu, ionty Arsenu, a molekuly CO₂ či jejich směsi v plynné fázi. Plynové lasery jsou nejčastěji buzeny

elektrickým výbojem za vysokého tlaku či expanzí horkého plynu. I přes dosahování poměrně malých výkonů, je účinnost plynových laserů poměrně vysoká, pohybující se v desítkách procent. Nejčastěji používaným laserem v této oblasti je CO₂ laser hojně zastoupený v lékařském odvětví. CO₂ laser je hlavním zdrojem ultrafialového záření.

[7]

2 VLÁKNOVÝ LASER

Technologicky nejmodernějším pevnolátkovým laserem je tzv. vláknový laser, jindy také nazývaný optický parametrický oscilátor (OPO). Aby bylo zařízení považováno za laserové, musí provádět proces stimulované emise. Vláknové lasery však nemusí nutně takové emise dosahovat, tudíž pojem optický parametrický oscilátor může být v mnoha případech přesnější. Aktivním prostředím vláknových laserů je samotné optické vlákno o tloušťce 6 μm dopované ionty lanthanoidů (vzácných kovů). K dopování optického vlákna se z těchto prvků nejvíce využívá Erbrium, Ytterbium a Neodym. Energie je do vlákna dodávána pomocí polovodičových diod, které jsou navázány přímo na optická vlákna. Optické vlákno slouží nejen jako aktivní prostředí, ale tvoří i vlastní rezonátor, v tomto případě Braggovy mřížky. Svazek laserového záření je pak z vlákna odveden optickým kolimátorem. [8]



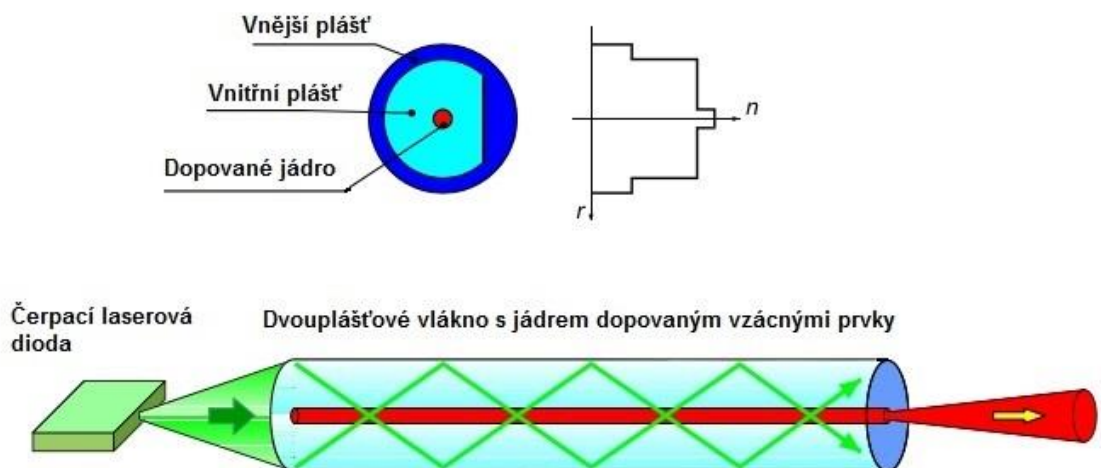
Obr. 4 Princip vláknového laseru [16]

Princip samotného vláknového laseru je velice jednoduchý, celý laser je tvořen v podstatě jen optickým vláknem. Mezi hlavní přednosti vláknových laserů patří vysoká účinnost (30%) a životnost (až 100.000h provozu), malé prostorové nároky, vysoká kvalita laserového svazku a široké spektrum využitelnosti. Oproti pevnolátkovým laserům mají tyto lasery větší stabilitu a provozní spolehlivost. Vzhledem k velké délce

aktivního prostředí mají lepší odvod tepla, a není zapotřebí chladicí zařízení. Vlnová délka je závislá na dopovaném materiálu. [8]

2.1 Dvouplášťová vlákna

Ke zvýšení výstupního signálu vláknových laserů posloužil výzkum, který proběhl koncem osmdesátých let, a to čerpání aktivního prostředí skrze plášť optického vlákna. Dvouplášťové aktivní vlákno se skládá z jádra, vnitřního pláště a vnějšího pláště. Jádro je dopováno prvky vzácných zemin schopnými laserového zesílení. Vnitřní plášť má nižší index lomu než jádro, takže jádro slouží jako vlnovod signálu. Vnitřní plášť má relativně velkou plochu průřezu, tudíž je schopno absorbovat velké množství optického výkonu z čerpacích diod. Čerpací záření, šířící se podél jádra, křížuje oblast dopovaného jádra a absorbuje tak ionty vzácného kovu. Tyto excitované ionty jsou pak schopny předat formou stimulované emise svou energii zesilovanému signálu. [13]



Obr. 5 Dvouplášťové vlákno [13]

2.2 Uplatnění vláknových laserů ve strojním průmyslu

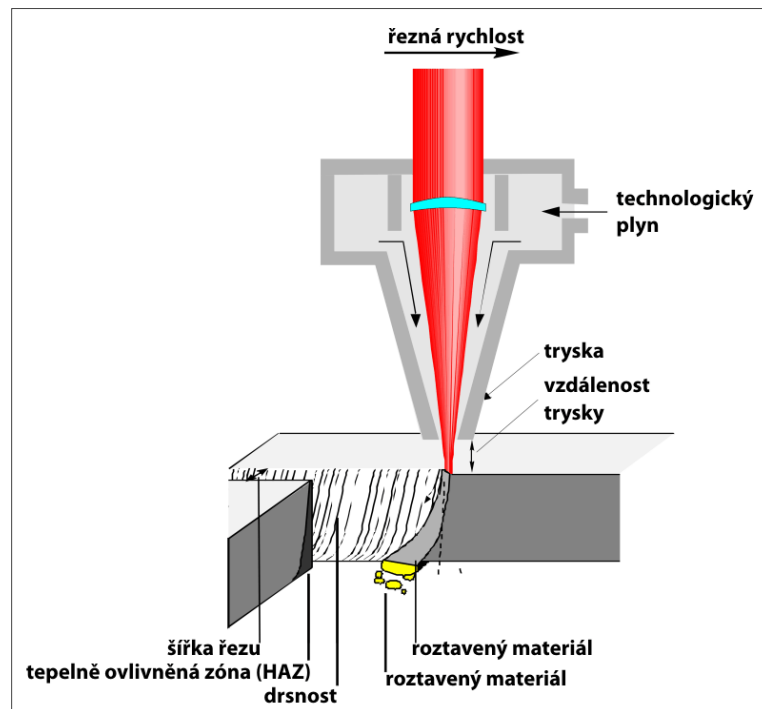
Laserový paprsek od svého vzniku našel velké uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Je schopen si poradit jak s nekovovými, tak s kovovými materiály. Ve strojním průmyslu se tak stal nepostradatelným pomocníkem pro základní technologické operace.

2.2.1 Svařování laserem

Při svařování laserem dochází k lokálnímu ohřevu materiálu o koncentraci výkonu až 10^{12}W/cm^2 . Rychlost ohřevu materiálu je mnohonásobně vyšší než odvod tepla do okolí. Tavení materiálu je soustředěné do požadovaného místa, a nedochází tak tepelnému poškození v okolí svařovaného místa. Přehřátý materiál se začne odpařovat, a vznikne dutina, na jejíchž stěnách je tenká vrstva taveniny. Při pohybu laseru tavenina uzavírá svarovou lázeň vlivem povrchového napětí. Do oblasti svaru se přivádí ochranná atmosféra, která zabraňuje oxidaci místa svaru. Nejčastěji využívaným plynem pro ochrannou atmosféru je Dusík nebo Argon. Hlavní výhody této technologie jsou především: absence přidaného materiálu, bezkontaktní proces, svařování zcela nesourodých materiálu jako kov keramika nebo kov plast. [8]

2.2.2 Řezání laserem

Nejrozšířenější a nejstarší technologií, která užívá laseru je laserové řezání. V dnešní době je možné řezání i ve 3D právě díky použití vláknových laserů. Metoda řezání materiálu pomocí laserového paprsku byla poprvé využita v 60. letech 20. století. Předchůdcem této metody je metoda řezání pomocí oxidu uhličitého CO_2 , která zahájila svou činnost v roce 1964. I po mnoha letech od svého vzniku patří tato metoda mezi ty nejefektivnější a nejsilnější ve své kategorii. Při řezání laserovou metodou dochází k oddělení materiálu pomocí soustředěného laserového paprsku doprovázený pracovním plynem, kterým může být např. kyslík O_2 . Pracovní plyn se zahřívá na vysokou teplotu, a tím slouží k odpaření či spálení odřezaného nežádoucího materiálu. Proces laserového řezání můžeme rozdělit do tří podskupin: [14]



Obr. 6 Princip řezání laserovým paprskem [14]

A) Sublimační řezání

Při sublimačním řezání dochází k sublimaci neboli odpařování materiálu z místa řezu. Je však potřeba vhodné nastavení parametrů laseru jako je volba čočky a ohnisková vzdálenost, aby intenzita záření byla co nejvyšší, a docházelo tak k úplnému odpaření materiálu. Z řezu je pak potřeba vzniklé páry eliminovat. K tomu slouží přidavné asistenční plyny. Tyto technologické plyny je potřeba volit tak, aby nedocházelo k poškození řezu vlivem oxidace. Převážnými asistenčními plyny jsou tedy dusík a argon. Výsledný řez je pak velmi kvalitní a hladký, a to i vzhledem k tomu, že při sublimačním řezání nedochází k tavení materiálu. [9]

B) Tavné řezání

Jinak také nazýváno fúzní řezání. Technologie využívá k oddělení materiálu pouze samotný laserový paprsek o vysoké teplotě, který materiál roztaví. Pod proudem inertního plynu, nejčastěji dusíku, je dále tento roztavený materiál odstraněn ze spáry řezu. Výsledná řezná hrana dominuje vysokou kvalitou, a není zapotřebí ji dále upravovat. Nevýhodou je velmi vysoká náročnost na výkon celého zařízení. Plynové laserové řezání, kdy použitý pracovní plyn obsahuje molekuly kyslíku, který

exotermicky reaguje se základním materiálem, je díky vzniku další energie účinnější. Problémem této metody je však tvorba rýh na příčném povrchu průřezu a okují na spodních hranách řezné linie. Výhodou fúzního řezání oproti ostatním metodám je naopak vyšší účinnost, tedy menší spotřeba energie na měrný objem odebraného materiálu. Tavné řezání je vhodné zejména k dělení barevných a nerezových kovů. [9,14]

C) Fotochemická ablace

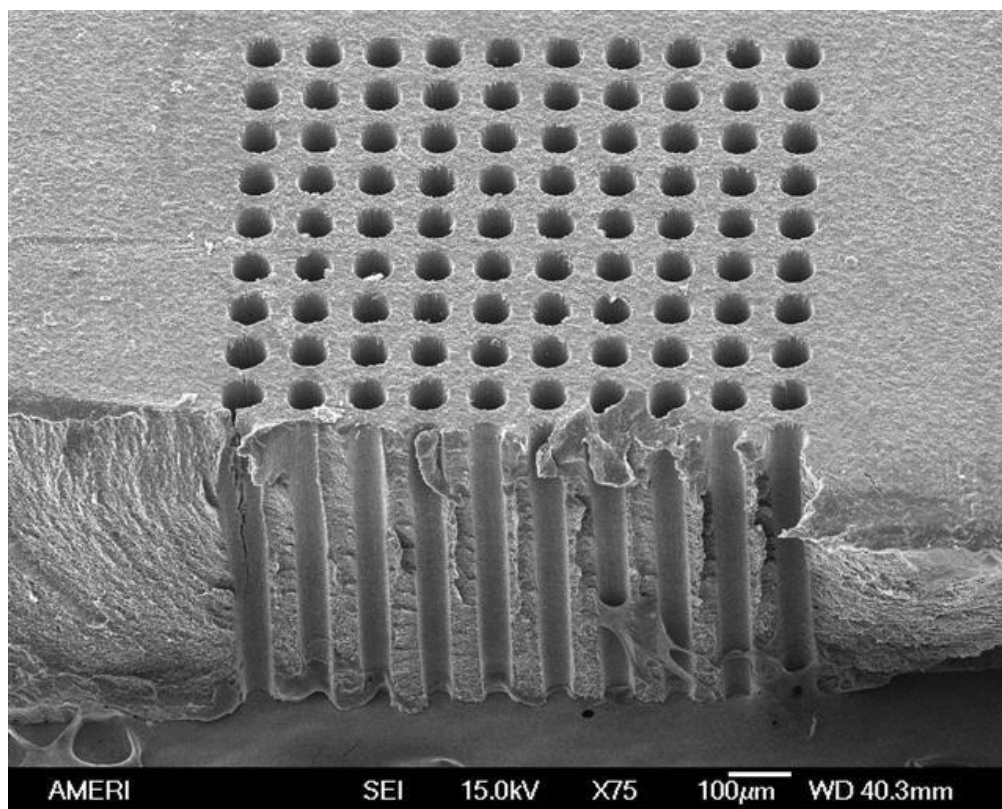
Při této metodě se využívá laserového záření v ultrafialovém spektru. Fotony vyzářené v tomto spektru dosahují energie, která je velmi blízká vazební energii molekul organických a keramických materiálů, tudíž se tato metoda používá právě k řezání těchto materiálů. Tato energetická souvislost má za výsledek absorpci ultrafialového záření do velmi tenké povrchové vrstvy organického či keramického materiálu v řádech submikronů. Organické materiály se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí, a v kombinaci s krátkými laserovými pulsy (v řádech nanosekund) této metody se tak dosahuje velice přesné řezné linie a minimálními tepelnými vlivy na okolí řezné linie. [14]

2.2.3 Vrtání laserem

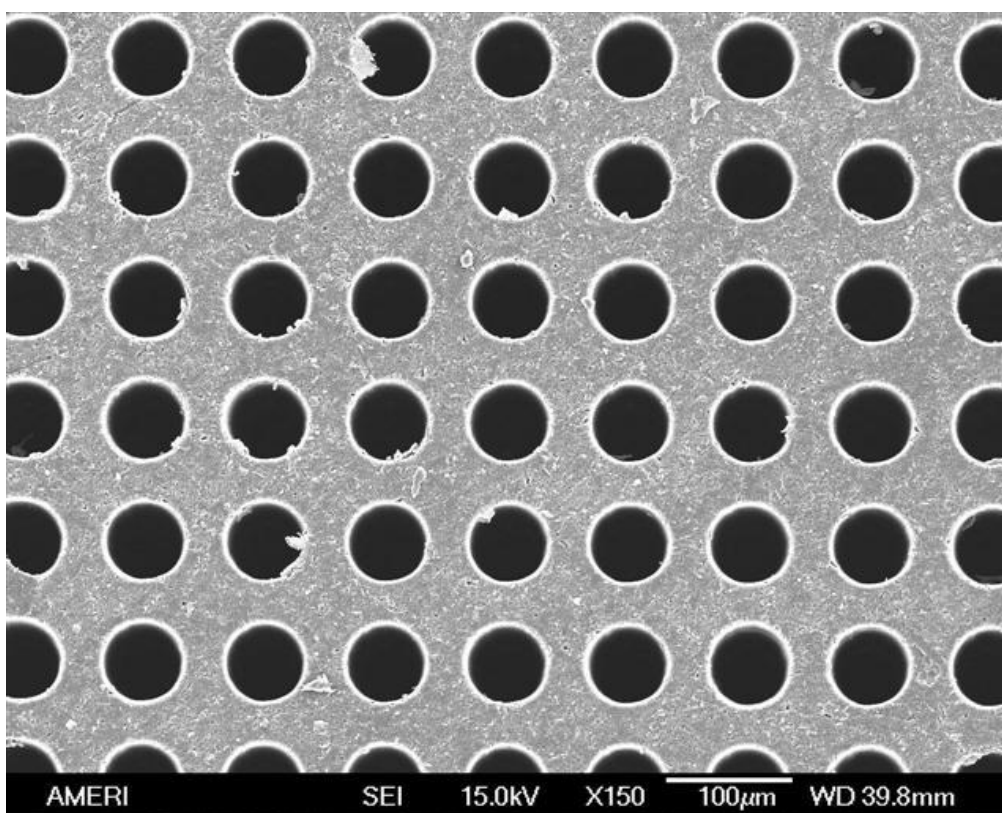
Metoda vrtání laserovým paprskem funguje na podobném principu jako sublimační řezání. Vlivem výkonného zaostřeného paprsku s vysokou hustotou energie se materiál roztaví a následně odpaří. Oproti běžnému mechanickému vrtání je tato metoda mnohem efektivnější a přesnější, a lze vrtat průměry v řádech μm . V závislosti na požadavcích výsledného průměru otvoru, kvality vrtu, tloušťce materiálu a řezné rychlosti, např. firma CIESSETRADE, zabývající se laserovým vrtáním, uvádí tyto tři základní metody laserového vrtání:

- Vrtání jedním impulzem – nejvyšší rychlost zpracování, až 1000 vrtů za sekundu
- Perkusní vrtání – pro průměry otvorů 20 až 1200 μm
- Trepanace – pokud je průměr paprsku menší než průměr požadovaného otvoru, používá se tato metoda, kdy je otvor vyříznut.¹

¹ Více o těchto metodách na stránkách podniku: <http://laser.ciessetrade.cz/>



Obr. 7 Ukázka vrtání laserovým paprskem do polyamidu – řez [15]



Obr. 8 Ukázka vrtání laserovým paprskem do polyamidu – půdorys [15]

3 SEZNÁMENÍ S VLÁKNOVÝM LASEREM JK400FL

Vláknový laser JK400FL je Ytterbiem dopovaný laser používaný pro celou řadu přesných řezacích, svařovacích a vrtacích aplikací. Svazek laserového paprsku je dopravován jedno-módovým optickým kabelem uzavřeným v ochranném krytu. K dispozici je také řada optimalizovaných procesních nástrojů jako jsou řezací hlavy, svařovací hlavy a galvanometrické skenovací hlavy. Řezací hlava má přímo vestavěné jemné nastavení ohniska změnou pozice čočky. Změnou kombinace ohniskových vzdáleností fokusačních a re-kolimačních čoček lze dosáhnout různé velikosti laserové stopy na obrobku. Pro řezání je možno dosáhnout velikosti stopy v rozmezí 8 - 60 μ m. [11]

3.1 Ochrana proti zpětnému odrazu

JK vláknový laser má schopnost monitorování zpětných odrazů paprsku. Tyto zpětné odrazy vznikají v momentě, kdy není laserový paprsek správně absorbován do obrobku, a část odraženého světla se může zpětně navázat do sestavy optického vlákna. Toto navázané světlo může poškodit zařízení z důvodu přehřívání. K ochraně proti tomuto zpětnému odrazu slouží tepelné detektory, které sledují množství zpětně odraženého záření a poskytují tak varování pro uživatele o tomto stavu. V krajních případech detektory provedou automatické vypnutí laseru dříve než by došlo k jeho poškození. [11]

3.2 Chlazení přístroje

Zařízení nabízí dvě možnosti chlazení, a to buď vodou, nebo vzduchem. Vodní chlazení vyžaduje pravidelnou dodávku čisté vody do oběhového chladiče. Voda nemusí být de-ionizovaná nebo destilovaná. Chlazení vzduchem probíhá ventilátory na zadní straně přístroje. Je důležité, aby přívod vzduchu k ventilátorům nebyl nijak omezen a byl zajištěn dostatečný přísun čistého chladného vzduchu. [11]

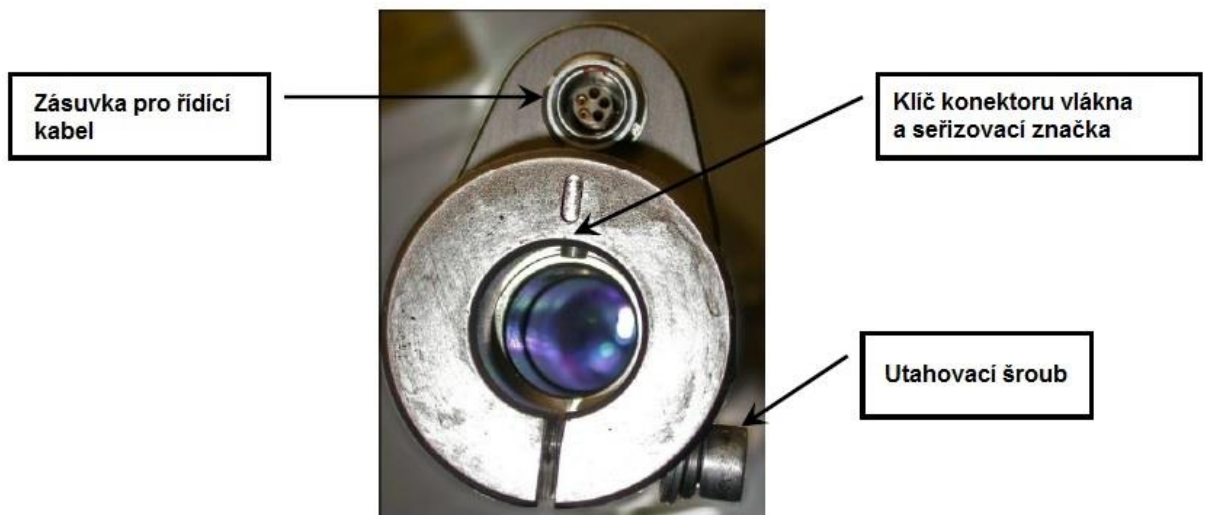
4 INSTALACE ŘEZACÍ HLAVY

Nyní je třeba správně postupovat při montáži řezací hlavy. V této kapitole shrnuji základní úkony potřebné ke správné montáži, aby nedošlo k poškození přístroje.

4.1 Montáž a demontáž vláknové koncovky

Při montáži terminátoru vlákna do konektoru procesního nástroje musí být terminátor správně orientován. V konektoru pro vlákno je klíč (viz obr. 9), jehož orientace musí být v souladu se slotem na terminátoru vlákna. Plně vložený terminátor vlákna je pak jištěný utahovacím šroubem na přijímači. Důležité je však, aby nedošlo k přetažení šroubu. Řídící kabel na terminátoru musí být připojen do konektoru na procesním nástroji, druhý konec kabelu je pak zapojen do zásuvky SK104 na zadním panelu laseru (Obr. 11).

Při demontáži terminátoru z procesního nástroje je nutné nejprve povolit jistící šroub, terminátor lze pak velmi snadno vytáhnout. Je třeba se vyvarovat vytrhnutí vlákna či vytáhnutí vedení. Po demontáži terminátoru by měla být okamžitě nasazena originální ochranná krytka. [11]



Obr. 9 Konektor procesního nástroje [11]



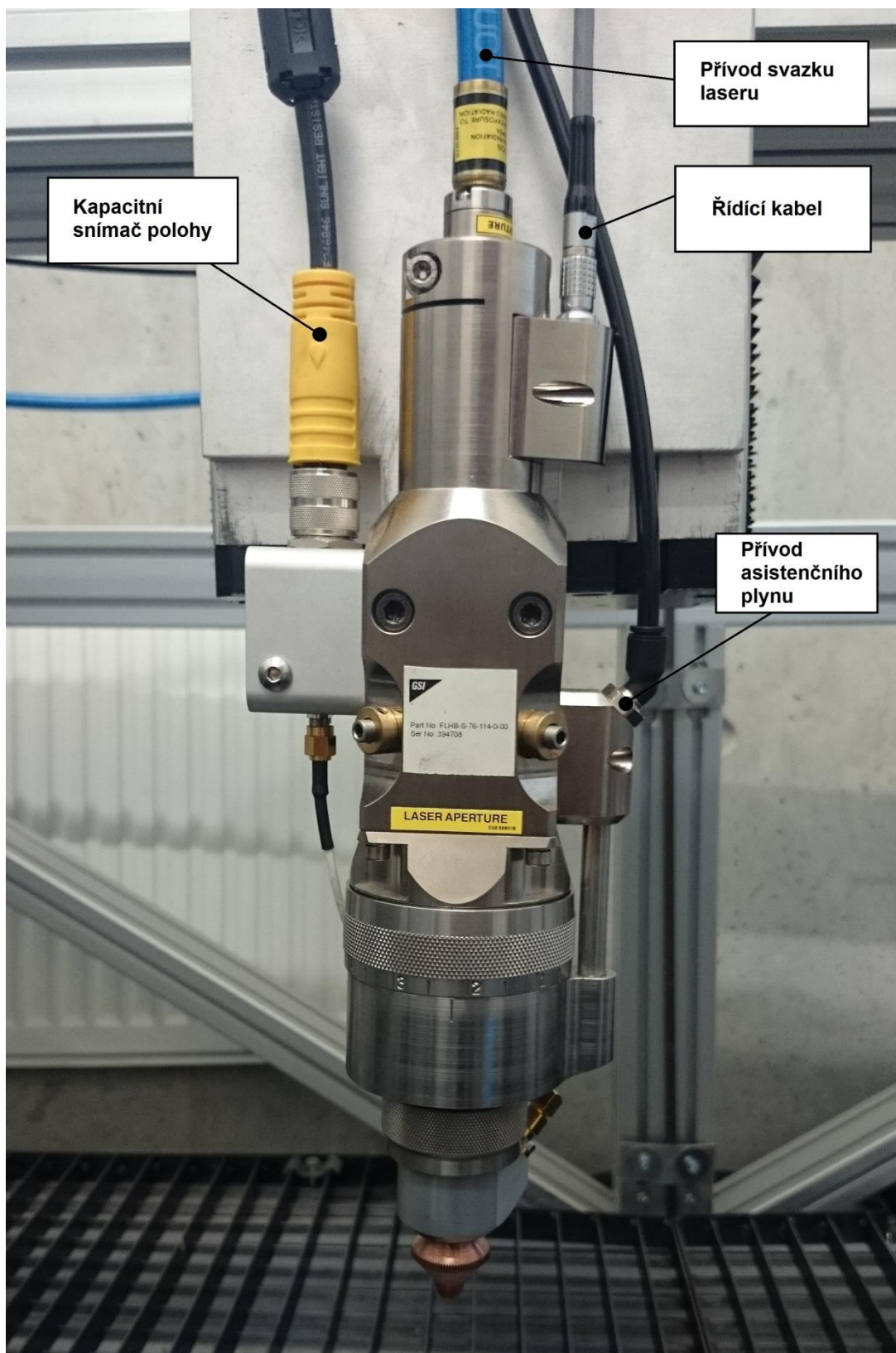
Obr. 10 Terminátor vlákna [11]



Obr. 11 Zadní panel zařízení [11]

4.2 Připojení vedlejších dodávek

- Zásuvka asistenčního plynu – hadička o vnějším průměru 6 mm navržena pro maximální tlak asistenčního plynu.
- Řídicí kabel (dodáván firmou GSI) – připojení k zadnímu panelu laseru (Obr. 11). [11]

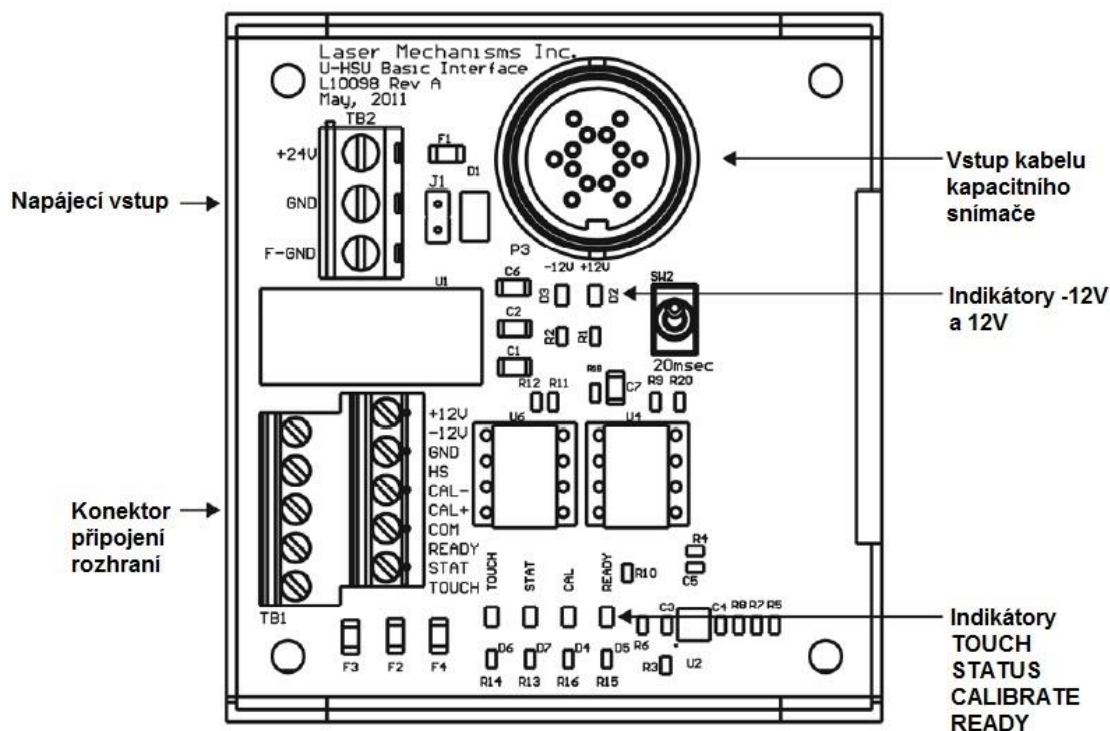


Obr. 12 Řezací hlava laseru JK400FL

5 ELEKTRONIKA LASERU

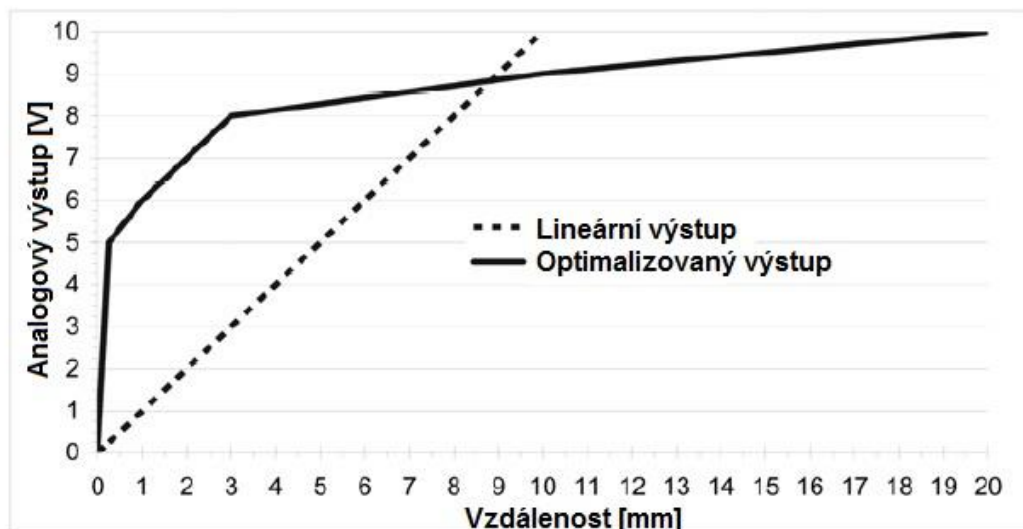
5.1 Kapacitní snímač polohy

Kapacitní snímač polohy je zařízení, které při procesu řezání určuje během posuvu materiálu vzdálenost hlavice laseru od řezaného materiálu. Z důvodu nerovných ploch řezaných materiálů je vzdálenost hlavice laseru od materiálu nekonstantní. Kapacitní snímání polohy nabízí dva způsoby odměřování: lineární a optimalizovaný. Lineární je na stupnici 1V/mm (neboli 1V=1mm, 2V=2mm). Optimalizovaný výstup nabízí exponenciální sklon křivky. Uživatel si může mezi těmito způsoby odměřování zvolit. Kapacitní snímač polohy je napájen vlastním rozhraním o napětí 24V a proudem 300mA. [12]



Obr. 13 Uživatelské rozhraní [12]

Pokud svítí indikátor *READY*, znamená to, že zařízení pracuje v pořádku. Jestliže indikátor nesvítí, značí to přehřátí hlavy nebo špatnou kalibraci sensoru. Indikátor *CALIBRATE* svítí při správné kalibraci sensoru. Signál *STATUS* se rozsvítí v momentě, kdy je sensor plně kalibrovaný, čili svítí-li kontrolka *CALIBRATE*. Při dotyku špičky hrotu hlavy s řezaným materiálem se rozsvítí indikátor *TOUCH*. [12]



Obr. 14 Graf výstupů [12]

Z grafu je patrné, že při řezání ze vzdáleností menší jak 1mm nad materiálem, je výhodnější nastavení optimalizovaného výstupu a to z důvodu možného zašumění signálu a jeho rozlišení.

Lineární výstup

0mm	0V
1mm	1V
2mm	2V
3mm	3V
4mm	4V
5mm	5V
6mm	6V
7mm	7V
8mm	8V
9mm	9V
10mm	10V

Optimalizovaný výstup

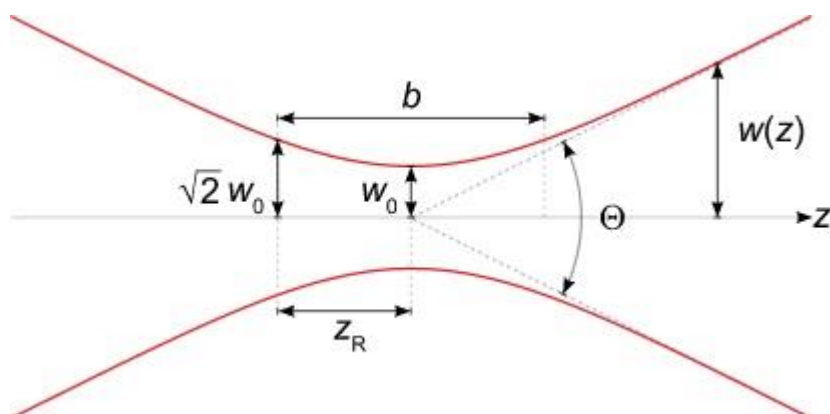
0mm	0V
0,25mm	5V
1mm	6V
2mm	7V
3mm	8V
10mm	9V
20mm	10V

Tabulka 1 Analogové výstupy [12]

6 OPTIKA LASERU

6.1 Hloubka ostrosti

Při soustředění paprsku od jednoho bodu na materiálu se nachází krátký úsek kolem nejmenšího průměru paprsku, kde se onen průměr mění jen v závislosti na vzdálenosti laserové hlavy od materiálu. Tato vzdálenost je vyznačena kótou b (viz Obr. 15), a obecně by se měl povrch obrobku nacházet ideálně v této vzdálenosti. [11]



Obr. 15 Gaussovský svazek [11]

Oblast, definovaná kótou b , je nazývána jako Rayleighova vzdálenost (nebo Rayleighova oblast, Z_R) laserového paprsku. Rayleighova vzdálenost je vzdálenost na ose svazku od nejužšího místa svazku do místa, ve kterém je plocha svazku rovna dvojnásobku plochy svazku v nejužším místě. [11]

Pro Gaussovský svazek, šířící se ve směru osy z , je Rayleighova oblast dána vztahem:

$$Z_R = \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda} = \frac{\omega_0}{\Theta}$$

kde λ je vlnová délka, ω_0 je nejužší místo svazku a Θ je úhel paprsku od počátku nejužšího místa.

Průměr svazku paprsku v jeho nejužším místě je dán:

$$D = 2\omega_0 = \frac{4\lambda}{\pi\Theta}$$

Je tedy zřejmé, že čím menší je průměr paprsku, jeho úhel narůstá, a Rayleighova hodnota se naopak zmenšuje.

6.2 Aplikace hloubky ostrosti

Rayleighova vzdálenost je tedy vhodná pro výpočty v rámci měření laserových paprsků. Porovnává silně soustředěný paprsek o vyšší optické intenzitě zaměření, a méně soustředěný paprsek s větší Rayleighovou vzdáleností, tedy větší hloubkou ostrosti. [11]

Použití výpočtů hloubky ostrosti je však orientační, a při nastavení požadované hodnoty Rayleighovy vzdálenosti by měl výpočet sloužit pouze jako výchozí bod v nastavení. Buď na jedné, nebo druhé straně Rayleighovy vzdálenosti průměr svazku vzroste o koeficient 1,4 a zároveň jeho plocha bude dvakrát větší. [11]

Nicméně, i tak je početní řešení Rayleighovy vzdálenosti užitečné v porovnání a předvídání hloubky ostrosti laserových paprsků. [11]

6.3 Možnosti Rayleighovy vzdálenosti

Řezací hlava vláknového laseru JK nabízí mnoho možností volby čoček či kolimace. Každá volba má za následek jinou velikost zaměřené oblasti svazku paprsku na materiálu, a tím i Rayleighovu vzdálenost. Tabulky níže ukazují závislost výstupních parametrů na volbě čočky o různých průměrech pro rozdílné řezací hlavy JK vláknových laserů. [11]

6.3.1 JK50FL, JK100FL a JK200FL vláknové lasery

Profil paprsku laseru má stejný Gaussovský průběh pro všechny typy řezacích hlav JK laserů. Průměry zaměřených oblastí paprsku laseru, v tabulce níže, jsou ty, které odpovídají oblasti, ve které je obsaženo 99,5% energie paprsku. Tyto průměry budou sice zhruba 1,6 krát větší než je často uváděna hodnota $1/e^2$ Gaussova svazku (který obsahuje pouze 86% energie laserového paprsku), ale budou více korespondovat s minimální šířkou řezné spáry v praxi. [11]

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
	25 mm	37	57	85
	35 mm	27	41	61
	50 mm	19	28	43
	76 mm	12	19	28
	114 mm	8	12	19

Tabulka 2 průměr paprsku zaměřené oblasti (μm) [11]

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
25 mm		350	808	1818
35 mm		178	414	928
50 mm		87	202	455
76 mm		38	87	197
114 mm		17	39	87

Tabulka 3 Rayleighova vzdálenost (μm) [11]

Typická kombinace pro řezání laserovým paprskem je 76 mm kolimace a 76 mm čočka. Při této volbě očekáváme minimální šířku řezné spáry okolo 20 μm (řezání tenkého materiálu za optimálních podmínek) s Rayleighovou vzdáleností menší než 100 μm . [11]

6.3.2 JK300FL a JK400FL vláknové lasery

Pro výkonnější vláknové lasery s větším průměrem laserového paprsku bude paprsek při stejné kombinaci čoček, jako v předchozím případě, dosahovat zcela rozdílných zaměřovacích průměrů, a tím i Rayleighovy vzdálenosti. Hodnoty pro výkonné lasery řady JK300FL a JK400FL jsou uvedeny v tabulkách níže. [11]

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
25 mm		60	92	138
35 mm		43	65	98
50 mm		30	46	69
76 mm		20	30	45
114 mm		13	20	30

Tabulka 4 průměr paprsku zaměřené oblasti (μm) [11]

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
25 mm		866	2000	4500
35 mm		442	1020	2296
50 mm		216	500	1125
76 mm		94	216	487
114 mm		42	96	216

Tabulka 5 Rayleighova vzdálenost (μm) [11]

7 PROCES NALEZENÍ SPRÁVNÉHO ZAOSTŘENÍ

Nyní budou v následujících podkapitolách uvedeny postupné pokyny k nalezení optimální ohniskové vzdálenosti, které jsou převzaty s cizojazyčného manuálu daného přístroje.

Řezací hlava je od výroby testována a konfigurována dle těchto parametrů:

- Ohnisková vzdálenost nastavena na hodnotu 0,1 mm od ústí trysky.
- Pozice svazku orientovaná ke středu ústí trysky. [11]

I přes nulové zásahy do nastavení laseru ze strany jeho uživatele je laser nastaven tak, aby řezací hlava prováděla správně veškeré základní řezací úkony. [11]

Následující instrukce navedou uživatele ke správné konfiguraci řezací hlavy pro specifické řezací operace, či pokud došlo ke změně původního nastavení. [11]

7.1 Bezpečnost

Při manipulaci s laserovým zařízením je třeba dbát základních bezpečnostních pokynů. Laserové zařízení musí být umístěno v místnosti s třídou bezpečnosti 1. Dveře laseru musí být při procesu plně zajištěny, a lidé v blízkosti musí mít nasazené schválené bezpečnostní brýle, aby nedošlo k poškození zraku při pohledu do laserového paprsku. [11]

7.2 Kontrola, zda paprsek opouští hlavici centrálně

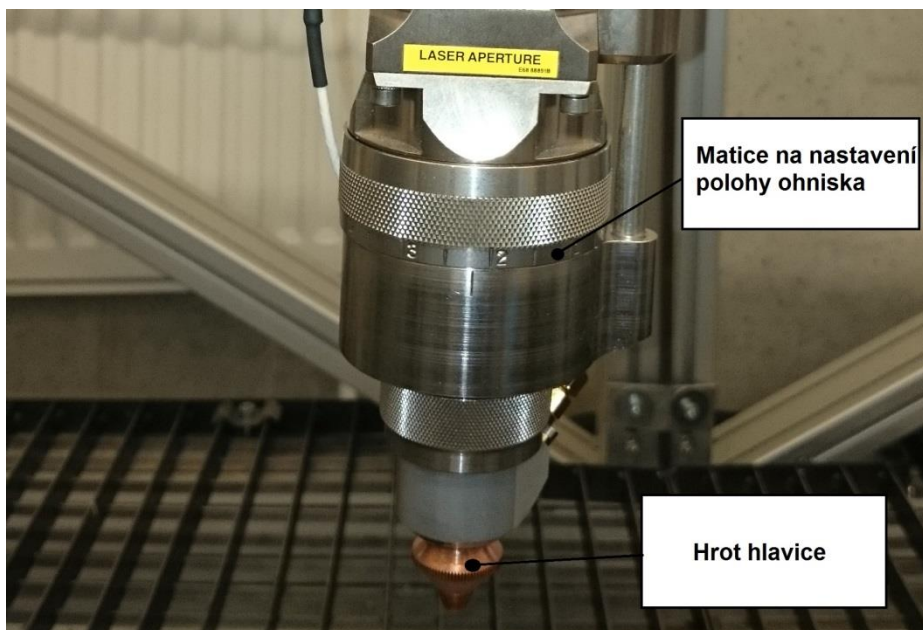
- Umístěte malou destičku kovového materiálu tak, aby ústí trysky řezací hlavy bylo od materiálu vzdáleno zhruba 0,5mm.
- Zapněte zdroj temnicí jednotky pro osvětlovací čočku, a nastavte jas.
- Zapněte dodávku asistenčního plynu, aby nedošlo k poškození ochranného skla rozstříkem a pilinami.
- Pracujte s laserem při nízkoenergetických pulzech (v modulačním módu, 20W, 10Hz, 20μs).
- Díky kameře můžete na monitoru spatřit malé záblesky, jak dopadá laserový paprsek na kovový materiál. Otáčením příslušných šroubů ke konfiguraci polohy

paprsku v rovině XY soustředíte laserový paprsek do středu kruhu zobrazeného na monitoru.

- Nyní zaaretujte šrouby ke konfiguraci paprsku v rovině XY.
- V případě, že zarovnání trysky je takové, že paprsek přesahuje strany trysky, laser může sám přerušit operaci. Opakujte operaci seřízení paprsku při nižším výkonu laseru. [11]

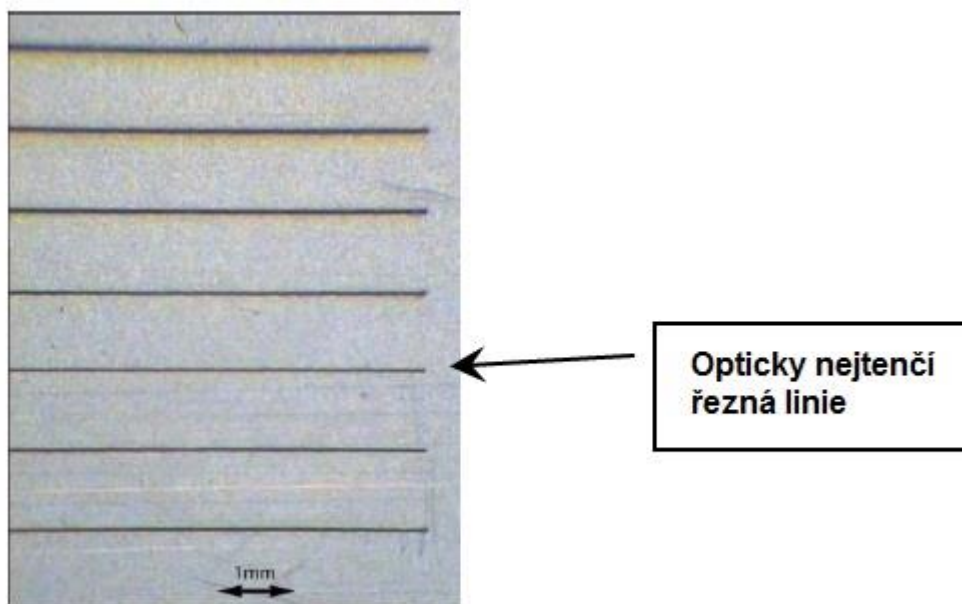
7.3 Nalezení ohniskové vzdálenosti

- Použijte tenkou destičku z nerezové oceli o tloušťce asi 100 μ m a připevněte ji.
- Nastavte vzdálenost hlavy od destičky na 0,1mm pomocí kapacitního snímače polohy.
- Nastavte laser na výkon 100W, 40 μ s a 5kHz a nastavte hodnotu asistenčního plynu na tlak 10 barů.
- Nastavte posuv obrobku na 1m/min, a udělejte řez o délce asi 10 mm. Přenastavte zaostření otočením regulačního kroužku na řezací hlavě o jeden dílek, a proveďte řez o stejné délce zhruba 1 mm pod předchozím řezem.
- Pokud se řezy viditelně ztenčují, opakujte proces, a pokračujte s nastavováním kroužku ve stejném smyslu otáčení jako nyní. Pokud se šířka řezu naopak zvětšuje, točte zaostřovacím kroužkem na opačnou stranu.



Obr. 16 Určující parametry zdvihu hlavice

- Pokud se přibližujete k optimálnímu nastavení zaostření, uvidíte tenké řezné linie na kovové destičce. Opakujte proces, dokud neuvídíte ztenčující se řeznou linii. Při dodržení stejného smyslu otáčení zaostřovacího kroužku se budou řezné linie neustále ztenčovat, což je správný krok k nalezení optimální ohniskové vzdálenosti laseru. Při neustálém točení nastavovacího kroužku ve stejném smyslu otáčení začne docházet k rozostření optiky, a řezné linie se začnou rozšiřovat. Viz (Obr. 17). [11]



Obr. 17 Řezy [11]

- Pro jemnější řezy a hledání přesnější ohniskové vzdálenosti otáčejte zaostřovacím kroužkem po menších dílkách. [11]

8 POPIS VLÁKNOVÉHO LASERU JK400FL

Výrobce neuvádí optimální ohniskovou vzdálenost laserového zařízení, rozhodl jsem se proto k jejímu experimentální nalezení. Zkoumané laserové zařízení disponuje 76 mm čočkou a 76mm kolimací. Z tabulek výrobce tedy vyplývá, že průměr paprsku v jeho nejuzším bodě je 30 μ m, a Rayleighova oblast je 216 μ m.

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
25 mm		60	92	138
35 mm		43	65	98
50 mm		30	46	69
76 mm		20	30	45
114 mm		13	20	30

Tabulka 6 průměr svazku laseru pro JK400FL [μ m] [11]

Kolimace	Volba čočky	50 mm	76 mm	114 mm
25 mm		866	2000	4500
35 mm		442	1020	2296
50 mm		216	500	1125
76 mm		94	216	487
114 mm		42	96	216

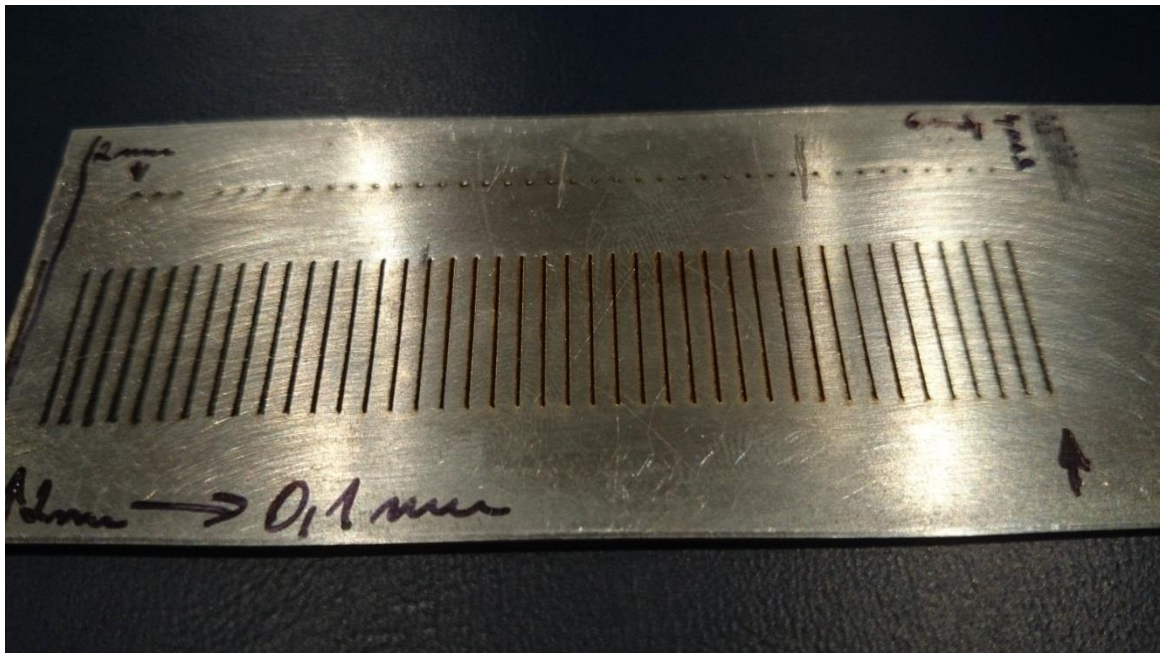
Tabulka 7 Rayleighova oblast pro JK400FL [μ m] [11]

8.1 Experimentální nalezení ohniskové vzdálenosti

Pro nalezení ohniskové vzdálenosti jsem se řídil danými instrukcemi od výrobce. Nyní uvedu postup mého experimentálního zjištění ohniskové vzdálenosti:

- Upnutí tenké destičky kovového materiálu do upínek.
- Nastavení laserového zařízení na parametry 100W, 40 μ s a 5kHz.
- Nastavení vzdálenosti hlavice laseru od materiálu na hodnotu 0,1mm pomocí kapacitního snímače polohy.
- Nastavení posuvu obrobku na hodnotu 1m/min.
- Provedení řezu o délce 20mm.
- Otočení regulačního kroužku na hlavici laseru o jeden dílek (zdvih hlavice o 0,1mm).
- Provedení dalšího řezu o délce 20mm.

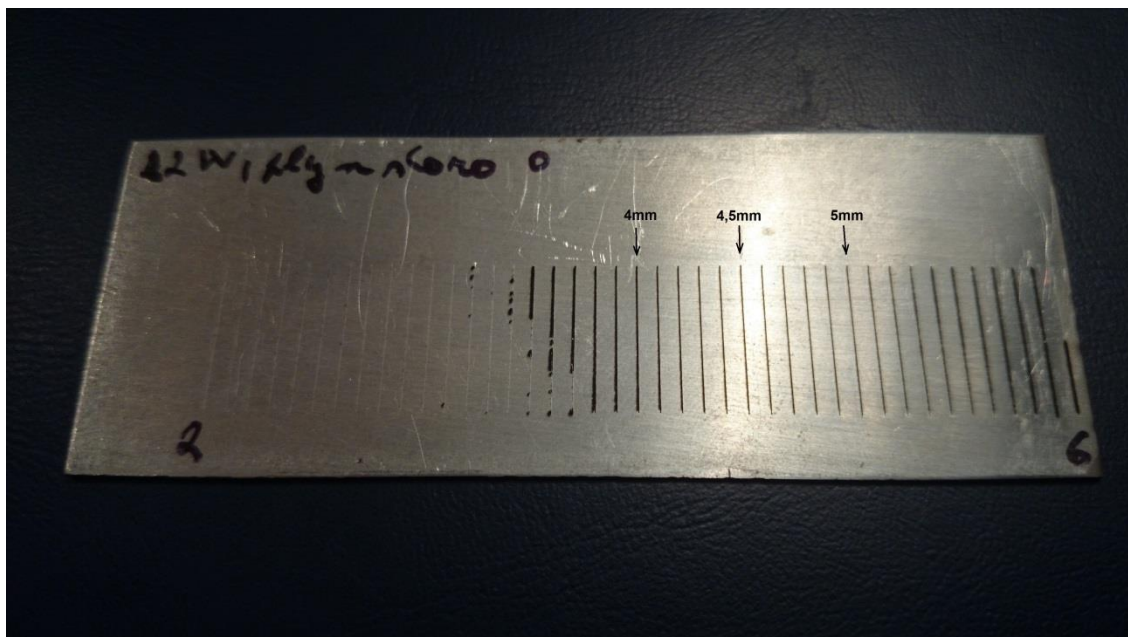
Takto jsem postupoval až maximálního zdvihu hlavy laseru. Výsledkem byla škála řezných linií, ze které opticky vyšlo najevo, že námi hledaná ohnisková vzdálenost se nachází někde mezi 2-6mm zdvihu hlavy. Provedl jsem tedy znovu další řezy se stejně nastavenými parametry na přístroji, tentokrát pro oblast 2-6mm zdvihu (viz Obr. 18).



Obr. 18 Řezy zdvihu 2-6mm, výkon 100W

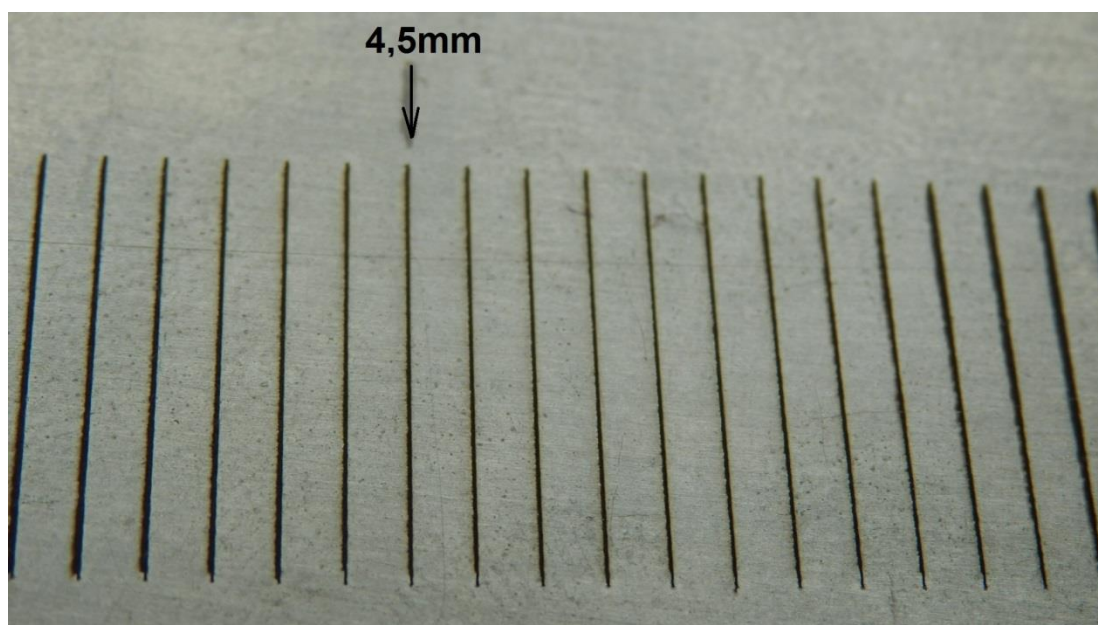
Při zkoumání výsledného vzorku jsem zúžil oblast optické vzdálenosti na oblast 4-5mm zdvihu hlavy laseru od řezaného materiálu. Řezy v oblastech 2-3mm a 5-6mm jsou velmi silné, a je tedy zřejmé, že v těchto oblastech se optimální ohnisková vzdálenost nenachází.

Dále byl proveden další experiment. Snížil jsem výkon laseru na hodnotu 42W. Při tomto výkonu nedošlo k zásadní změně řezné rýhy. Provedl jsem tedy další řezy. Na Obr. 19 je tento experiment znázorněn. Následně došlo k očištění několika řezů pro názornou ukázkou opravdu čistých řezů.



Obr. 19 Řezy zdvihu 2-6mm, výkon 42W

Při detailnějším zkoumání řezů v této oblasti jsem zpozoroval, že řezy ze vzdálenosti 4,4mm a 4,6mm jsou téměř totožné s optimálním řezem ze vzdálenosti 4,5mm, tudíž nelze s jistotou říci, že mnou zvolený řez je skutečně optimální ohnisková vzdálenost. Nicméně i tyto vzdálenosti jsou vhodné k řezání. Při těchto nastaveních nedochází k otřepům a řezy jsou kvalitní. Na Obr. 20 je znázorněn detailní řez pro 4,5mm ohniskovou vzdálenost.

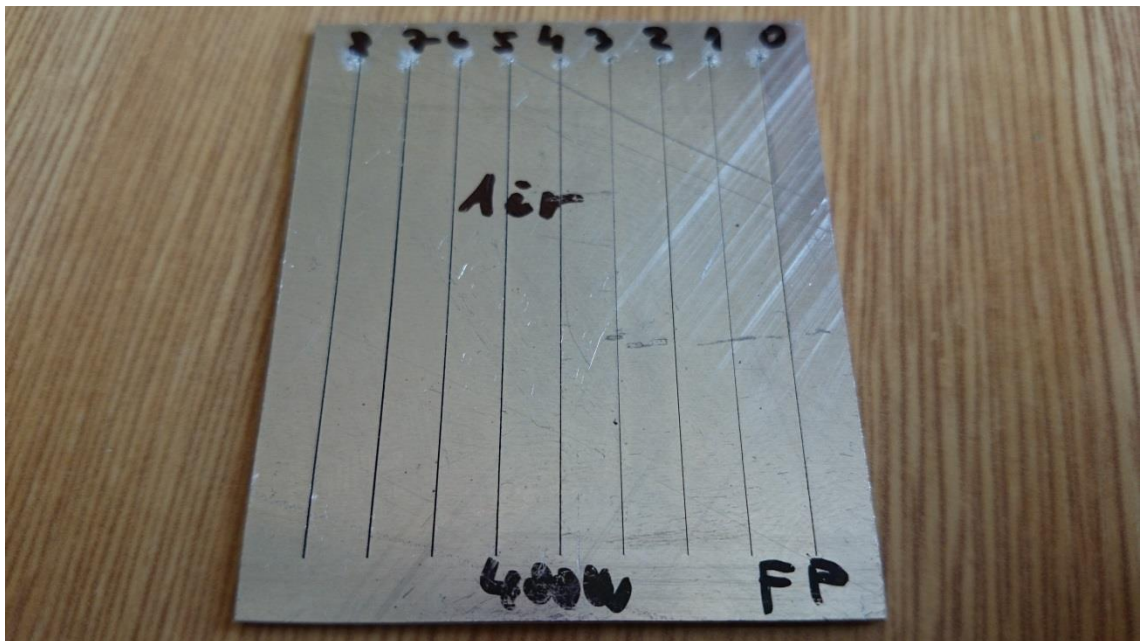


Obr. 20 Detail řezů

8.2 Prořezávání materiálu

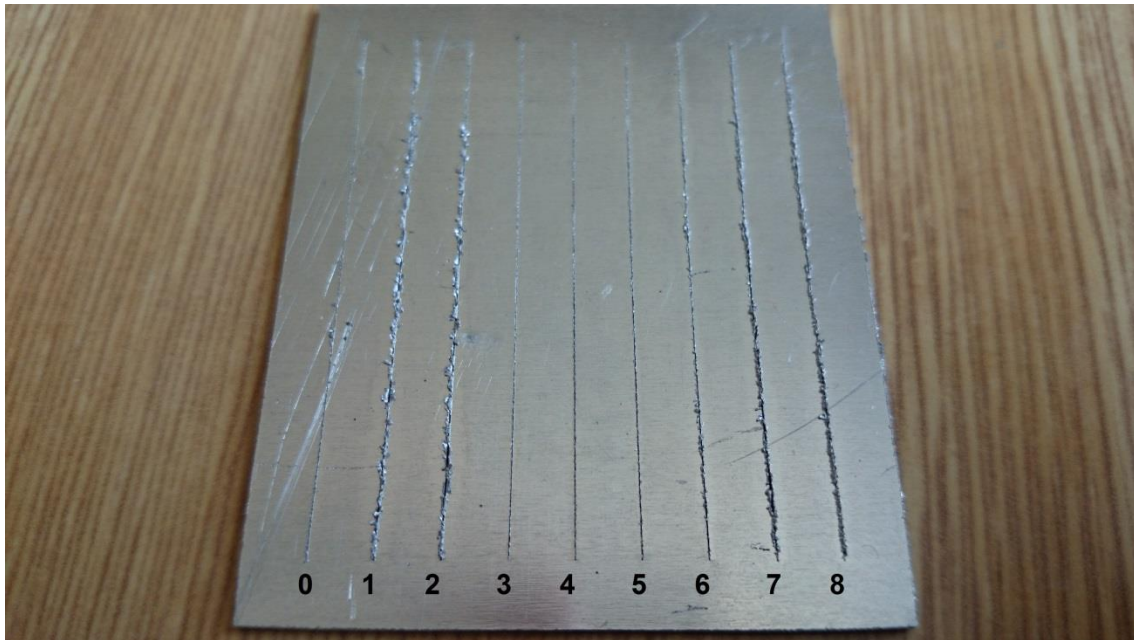
Dále jsem se soustředil na úplné prořezávání materiálu. Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda je optimální ohnisková vzdálenost, zjištěná při malých řezech, konstantní pro všechny řezací operace, čili vhodná i k úplnému prořezání materiálu. Řezací hlavice se umístila 1mm nad řezaný povrch a ohnisko se zaostřilo pod spodní hranu prořezávaného materiálu (nejníže je umístěno ohnisko při prořezávání, označeném na Obr. 21 jako řez „0“). Při každém přejetí se ohnisko zvedlo o 0,1mm, a při řezu č. 4 je ohnisko umístěno přímo na spodní hraně materiálu.

Jako řezací materiál byl použit hliník, asistenční plynem byl vzduch. Výkon laseru byl přenastaven na 400W z důvodu potřeby větší intenzity záření, posuvová rychlost v řezu byla 0,5m/min, aby došlo k úplnému prořezání.



Obr. 21 Prořezaný vzorek - horní strana

Při prvním pohledu na destičku hliníku je patrné, že rýha 3 je nejtenčí, což je zaostření 0,1mm pod řezaný materiál. Směrodatný je ovšem pohled na destičku z druhé strany (viz Obr. 22).



Obr. 22 Prořezaný vzorek - spodní strana

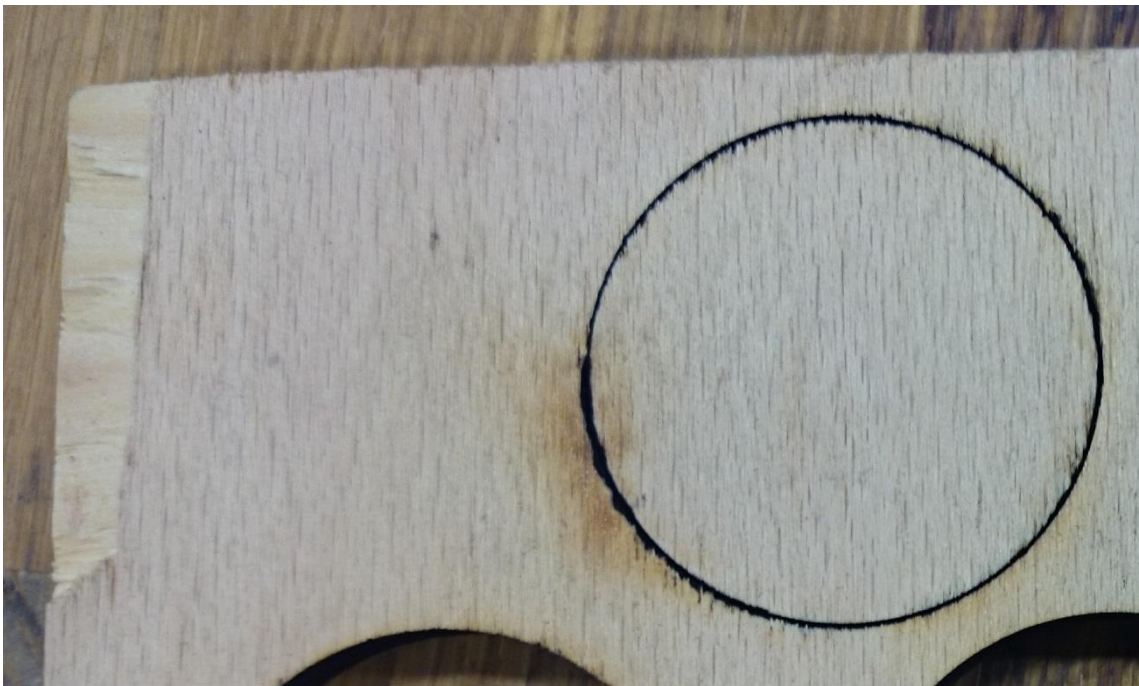
Na spodní straně vzorku jsou vidět otřepy vzniklé řezáním se špatnou ohniskovou vzdáleností. Na řezu označeném číslem 0 otřepy nejsou, neboť byly lehce strhnutelné prstem. Řezy označené číslem 3,4,5 jsou čisté a bez otřepů. Tyto řezy byly provedeny se zaostřením v toleranci 0,1mm okolo spodní hrany prořezávaného materiálu. Zjištěný závěr koresponduje s diplomovou prací Ing. Davida Kolkopa [18].

8.3 Ověření správnosti nalezené ohniskové vzdálenosti

Pro ověření optimální ohniskové vzdálenosti byly prováděny experimentální řezy na ověření správnosti polohy ohniska. K experimentu byly použity dva druhy materiálu: Dřevo a kov. Řezná rychlost byla nastavena na hodnotu 1m/min. Výkon laseru při řezání do dřeva byl 65W, a do kovu 200W. Řezání probíhalo při dodávce asistenčního plynu, (N_2 - kov, vzduch – překližka) o tlaku 10 barů.

8.3.1 Řezání dřevěného materiálu

První řez byl prováděn do překližky tloušťky 4mm. Ohnisková vzdálenost byla nastavena na *nesprávnou hodnotu*, což mělo za následek neúplné prořezání v dolní části materiálu (viz Obr. 24)



Obr. 23 Vrchní strana řezu – překližka, špatné ohnisko



Obr. 24 Spodní strana řezu – překližka, špatné ohnisko

Dalším krokem bylo řezání složitějšího profilu (část modelu letadla) do překližky, tentokrát se *správnou ohniskovou vzdáleností*.



Obr. 25 Řezání překližky, správné ohnisko

Z Obr. 25 je patrné, že při řezání nedošlo k poškození „vnitřku“ materiálu vlivem tepla či jinými nežádoucími faktory. Zvolením správné ohniskové vzdálenosti, vhodného posuvu a tlaku plynu lze dosáhnout kvalitních řezů bez otřepů či pálení materiálu.

8.3.2 Řezání kovového materiálu

Pro tuto řezací akci byla zvolena ocelová destička o tloušťce 2mm. Jedna hrana profilu byla řezána zjištěnou optimální ohniskovou vzdáleností, a hrana druhá při nesprávné ohniskové vzdálenosti. Na Obr. 26 je zřejmé, že při nesprávné ohniskové vzdálenosti vznikají na řezané hraně nežádoucí otřepy.



Obr. 26 Detail hrany při použití nesprávné ohniskové vzdálenosti



Obr. 27 Detail hrany při aplikaci optimální ohniskové vzdálenosti

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá experimentálním zjištěním optimální ohniskové vzdálenosti vláknového laseru JK400FL. Správná ohnisková vzdálenost, pro řezací operace vláknového laseru, hraje zásadní roli na kvalitě výsledného řezu. Práce zahrnuje jak teoretické postupy, tak samotné experimentální kroky ke zjištění optimální ohniskové vzdálenosti s reálnými výsledky. Po nalezení vzdálenosti ohniska od ústí trysky v nejnižším bodě následovalo ověření správnosti zjištěného ohniska vyřezáním základních tvarů do kovových a dřevěných materiálů. Při tomto procesu byly provedeny řezy se záměrně špatným nastavením polohy ohniska, a poté s optimálním nastavením polohy ohniska. Výsledkem je prokázání správnosti nalezené vzdálenosti ohniska od ústí trysky a jeho vliv na kvalitu řezu.

Správná poloha ohniska v materiálu při řezání je pouze jedním z mnoha dalších parametrů, které se podílí na kvalitě výsledného řezu. Společně se správným posazením ohniska je nutno věnovat pozornost správnému nastavení výkonu laserového zařízení, řezací rychlosti, druhu a tlaku asistenčního plynu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Kofokální stabilní	15
Obr. 2 Kofokální nestabilní	15
Obr. 3 Vlnová délka [17]	17
Obr. 4 Princip vláknového laseru [16]	20
Obr. 5 Dvouplášťové vlákno [13]	21
Obr. 6 Princip řezání laserovým paprskem [14]	23
Obr. 7 Ukázka vrtání laserovým paprskem do polyamidu – řez [15]	25
Obr. 8 Ukázka vrtání laserovým paprskem do polyamidu – půdorys [15]	25
Obr. 9 Konektor procesního nástroje [11]	27
Obr. 10 Terminátor vlákna [11]	28
Obr. 11 Zadní panel zařízení [11]	28
Obr. 12 Řezací hlava laseru JK400FL	29
Obr. 13 Uživatelské rozhraní [12]	30
Obr. 14 Graf výstupů [12]	31
Obr. 15 Gaussovský svazek [11]	32
Obr. 16 Určující parametry zdvihu hlavice	36
Obr. 17 Řezy [11]	37
Obr. 18 Řezy zdvihu 2-6mm, výkon 100W	39
Obr. 19 Řezy zdvihu 2-6mm, výkon 42W	40
Obr. 20 Detail řezů	40
Obr. 21 Prořezaný vzorek - horní strana	41
Obr. 22 Prořezaný vzorek - spodní strana	42
Obr. 23 Vrchní strana řezu – překližka, špatné ohnisko	43
Obr. 24 Spodní strana řezu – překližka, špatné ohnisko	44
Obr. 25 Řezání překližky, správné ohnisko	44
Obr. 27 Detail hrany při použití nesprávné ohniskové vzdálenosti	45
Obr. 28 Detail hrany při aplikaci optimální ohniskové vzdálenosti	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční technologie. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2008, (3) [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [2] NĚMEC, Michal. *Úvod do laserové techniky: Polovodičové lasery* [online]. Praha, 2014 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjn1/ult/11_polovodicove_lasery.pdf
- [3] KARAFIÁTOVÁ, Stanislava a Ivo LANGER. *Nekonvenční technologie: [učebnice]*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 164 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-7200-296-1.
- [4] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, viii, 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
- [5] KACHTÍK, Lukáš. Typy laserů. *Laser a vše o něm* [online]. 2010 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/uvod.html>
- [6] Lasery využívající pevné látky. REICHL, Jaroslav. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2008 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/786-lasery-vyuzivajici-pevne-latky>
- [7] ŠULC, Jan. Lasery a jejich aplikace. In: *Lasery a jejich aplikace* [online]. 2002 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>
- [8] NOVÁK, Miroslav. Laserový seriál. *HLAVNÍ TYPY LASERŮ POUŽÍVANÝCH V PRŮMYSLU* [online]. 2011 [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128#tab_lasery
- [9] POKORÁK, Milan. *OPTIMALIZACE LASEROVÉHO TAVNÉHO DĚLENÍ POVLAKOVANÝCH HLINÍKOVÝCH PLECHŮ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84331. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [10] Laserové řezání. *Centrum laserových a automatizačních technologií* [online]. 2005 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://laser.zcu.cz/wiki/laserove-rezani>
- [11] GSI GROUP - LASER DIVISION. *JK Fiber Laser: Installation and Operation Manual*. Rugby, Warwickshire, UK, 2010.
- [12] Laser Mechanisms Inc. FiberMini - operation manual, Michigan USA, 2011.
- [13] PETERKA, Pavel. Vlákenné lasery. *Věda kolem nás* [online]. 2014 [cit. 2015-06-28]. Dostupné z: http://www.vedakolemna.cz/miranda2/m2/sys/galerie-download/vkn_002_2014_web.pdf?0.4956516915733742
- [14] Laserové řezání. *Lasery a optika* [online]. 2011 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.lao.cz/pictures/jpg/lao_info_preview/serial/13.png
- [15] Laser Drilled Holes in Polyimide Wafers. *Valley Design* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://www.polyimide-substrates.com/laser-drilled-holes.htm>
- [16] Analyzing the potential of the solid-state laser. *The Fabricator* [online]. 2010 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/lasercutting/analyzing-the-potential-of-the-solid-state-laser>
- [17] Electro Magnetic Spectrum and Light. *9-fordham* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <https://9-fordham.wikispaces.com/Electro+Magnetic+Spectrum+and+light>
- [18] KOLKOP, David. *Technologie řezání laserem* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-07-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26869. Diplomová. Vysoké učení technické v Brně.