



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH A ZHOTOVENÍ GRAVÍROVACÍHO LED LASERU

DESIGN AND MANUFACTURE OF AN ENGRAVING LED LASER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Adam

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Tomáš Adam**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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

Návrh a zhotovení gravírovacího LED laseru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh a zhotovení prototypu gravírovacího LED laseru.

Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnotit současný stav nekonvenčních technologií obrábění.
2. Porovnat vlastnosti paprskových nekonvenčních technologií.
3. Navrhnout prototyp gravírovacího LED laseru.
4. Porovnat výkonnost a přesnost navrženého prototypu oproti konvenčním laserům.
5. Spočítat náklady na stavbu gravírovacího LED laseru.

Seznam doporučené literatury:

- BENKO, B. a kol. Laserové technologie. Bratislava: Technická universita, 2000. ISBN 80-227-1425-9.
- DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II. 2. vyd. CERM Brno, 7/2004. 237s. ISBN 80-214-2683-7.
- PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování. Plzeň: Škoda-welding, 2009.
- TURŇA, M. Speciálne metódy zvarovania. ALFA Bratislava, 1989. ISBN 80-05-000097-9.
- KOUKAL, J. a kolektiv. Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- AMBROŽ, O. a kolektiv. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771--1-0.
- BARTÁK, J. a kolektiv. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Ostrava: Zeross, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá zhodnocením dosahovaných parametrů nekonvenčních metod obrábění a jejich současného využití v praxi. Dále je v práci proveden návrh konstrukce a stavba prototypu laserového gravírovacího zařízení. Na zařízení je provedeno několik testů, které jsou po vyhodnocení porovnány s možnostmi podobných zařízení. Celá konstrukce je navržena tak, aby nebylo potřeba žádného speciálního vybavení a výroba mohla být provedena v každé dílně.

Klíčová slova

nekonvenční metody obrábění, gravírování, LED laser, gravírovací stroj, CNC řízení

ABSTRACT

The thesis deals with the evaluation of achieved parameters of unconventional machining methods and their current use in practice. In addition, the design and construction of the prototype of the laser engraving device is carried out. Several tests are performed on the device and are compared with similar devices after evaluation. The entire construction is designed so that no special equipment is needed and the construction could be done in each workshop.

Key words

unconventional machining methods, engraving, LED laser, engraving machine, CNC control

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADAM, T. Návrh a zhotovení gravírovacího LED laseru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh a zhotovení gravírovacího LED laseru vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použité literatury, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 4.5. 2018

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu mé práce, panu Ing. Jaromíru Dvořákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval mé rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání	9
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
Úvod	9
1 Nekonvenční metody obrábění	10
1.1 Charakteristika nekonvenčních metod obrábění	10
1.2 Elektroerozivní obrábění	11
1.3 Anodomechanické obrábění	12
1.4 Elektrochemické obrábění	12
1.4.1 Elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu	13
1.4.2 Elektrochemické obrábění rotující elektrodou	14
1.4.3 Elektrochemické leštění	14
1.5 Chemické obrábění	15
1.6 Ultrazvukové obrábění	16
2 Paprskové nekonvenční metody obrábění	17
2.1 Obrábění paprskem laseru	17
2.1.1 Laser s plynným aktivním prostředím	18
2.2.1 Polovodičový laser	18
2.3 Obrábění vodním paprskem s abrazivem	19
2.4 Obrábění paprskem plazmy	20
2.5 Srovnání paprskových NMO	21
3 Gravírovací LED laser	22
3.1 Návrh konstrukce první verze	22
3.2 Návrh konstrukce druhá verze	23
3.3 Volba vhodného pohonu	24
3.3.1 Princip krokového motoru	24
3.4 Řešení posuvů	25
3.5 Řízení gravírovacího laseru	25
3.6 Prostředí LaserGRBL	26
3.7 Celkové sestavení prototypu	27
4 Dosahované parametry prototypu laseru	28
4.1 Test gravírování do balsy	28
4.2 Test gravírování do papíru	28
4.3 Test gravírování do dřeva	29
4.4 Test gravírování do překližky	30
4.5 Porovnání dosahovaných parametrů s konvenčními lasery	30
5 Zhodnocení nákladů	31
5.1 Kalkulace celkových nákladů	31
Závěr	32
Seznam použité literatury	

ÚVOD

Ve všech odvětvích průmyslu, kde se setkáme s hromadnou výrobou, je potřeba výrobky nějakým způsobem identifikovat. K tomuto účelu lze využít gravírovací zařízení, které dokáže velmi rychle daný kus označit například výrobním číslem nebo datumem. Pod pojmem gravírovací stroj si můžeme představit zařízení, která využívají různých principů, jak z povrchu výrobku odebrat materiál.

Práce je zaměřena na výrobu prototypu gravírovacího zařízení, kde se jako gravírovací médium použije LED laser. Největší důraz bude kladen na nízké náklady celého projektu, protože si vše financuji sám. Právě z tohoto důvodu jsem zvolil LED laser, který je pro mě cenově dostupnější než například CO₂ trubice s větším výkonem.

V návrhu jsem se inspiroval z různých internetových zdrojů, kde je podobná problematika řešena, dále z mých znalostí získaných při práci s CNC stroji a studiem na střední a vysoké škole. Jedná se o první prototyp a doposud jsem s podobnými projekty měl jen malé zkušenosti, takže je zde velký prostor pro chyby, ale i pro poznání nových možností a získání mnoha zkušeností.

Nejprve bude v práci provedeno shrnutí nekonvenčních metod, mezi které se řadí i gravírování paprskem laseru. Následně porovnáám jejich možnosti využití a dosahované parametry oproti konvenčním metodám využívaných v praxi.



Obr. 1 Ukázka gravírování textu [1].

1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Nekonvenční metody obrábění jsou v dnešní době stále častěji řešeným tématem. S vývojem nových materiálů, které dosahují vysoké houževnatosti, pevnosti, tvrdosti apod., také s rostoucími požadavky na zkracování strojních časů, lepší jakost povrchu a rozměrovou přesnost. Splnit tyto požadavky konvenčními metodami je velmi obtížné, proto je nutno zvolit jiné metody, pomocí kterých bude možné tyto požadavky realizovat [2].

U těchto metod se nesetkáme se standardním řezným nástrojem, který by měl definované základní pracovní části (hřbet, čelo, ostří, břit atd.) nebo nástrojové úhly. Během obrábění nedochází k tvorbě třísky (ve smyslu definice podle standardních metod, např. frézování, soustružení atd.), protože úběr materiálu je převážně realizován účinky tepelnými, chemickými, případně i mechanickými nebo jejich kombinací [3].

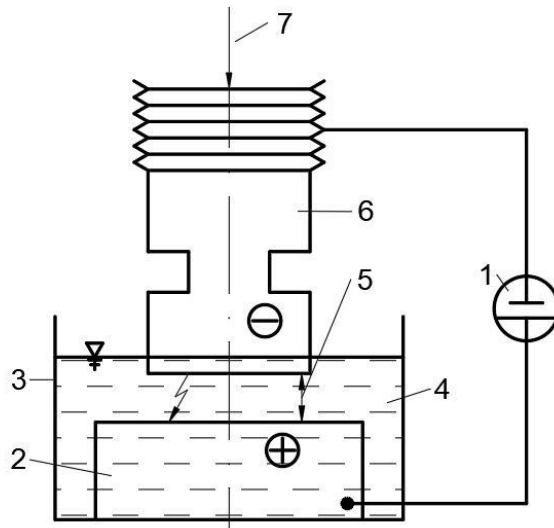
1.1 Charakteristika nekonvenčních metod obrábění

Pro NMO (nekonvenční metody obrábění) je charakteristický velký rozsah parametrů, jak z hlediska technologických podmínek, tak i z hlediska výstupu příslušných procesů. Při NMO se často využívají CNC řídicí systémy, které umožňují výrazně rozšířit oblasti jejich využití. CNC systémy pro NMO mají přednost v řízení cyklu pohybů a úběru materiálu. Příslušné stroje jsou standardně řízeny ve třech osách. CNC stroje pro NMO mohou například pracovat s elektrodou, která má kulové zakončení jako fréza a jejich práce je podobná pracím frézovacích strojů [3]. Níže jsou uvedeny hlavní charakteristiky NMO [3]:

- Možnosti a dosahované parametry obrábění nejsou závislé na mechanických vlastnostech obráběného materiálu.
- Nástroj nemusí být tvrdší než obráběný materiál, i zvláště tvrdé materiály se dají obrábět nástroji z poměrně měkkých materiálů.
- NMO umožňují provádění složitých technologických operací, jako obrábění děr i vnějších tvarů se zakřivenou osou, obrábění děr složitých tvarů, tvarových dutin v materiálech o vysokých mechanických vlastnostech.
- Umožňují zavádění plné mechanizace a automatizace, čímž začlení dané operace do výrobní linky.
- Dochází ke zlepšení technologičnosti konstrukce a sériovosti výroby se současným omezením výroby zmetků a snížením náročnosti daných operací.
- U některých NMO dochází současně s výrobou tvaru také ke změnám vlastností povrchové vrstvy obrobku, zejména zvýšení únavové pevnosti, zvýšení odolnosti proti korozi apod.

1.2 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění je soubor metod s jedním společným znakem, materiál je odebrán pomocí periodicky se opakujících elektrických, popřípadě obloukových výbojů. Princip metody je naznačen na obrázku 2. Vlastní proces probíhá tavením a vypařováním velmi malých kulovitých dutých částic materiálu, které jsou z oblasti obrábění odplavovány pomocí dielektrické kapaliny [2].



1 – generátor, 2 – obrobek, 3 – pracovní vana,
4 – pracovní kapalina, 5 – pracovní mezera,
6 – nástrojová elektroda, 7 – posuv nástrojové
elektrody

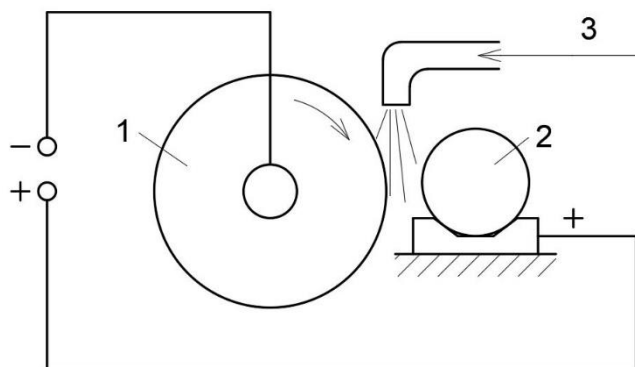
Obr. 2 Princip elektroerozivního obrábění [2].

Z pohledu fyziky je tento proces poměrně složitý. Obrábění probíhá mezi elektrodami vzdálenými od sebe jiskrovou mezerou o velikosti 0,01–0,5 mm a ponořenými v dielektriku. V místě nejintenzivnějšího elektrického napětového pole vzniká výboj, který vytváří vodivý kanál umožňující přechod jiskry mezi obrobkem a nástrojem. Teplo produkované každou samostatnou jiskrou stačí k roztavení malého objemu materiálu, na povrchu zůstávají mikroskopické krátery. Celkový proces se skládá ze všech impulzních výbojů statisticky rozložených po celé ploše [3].

Elektroerozi lze charakterizovat několika hlavními parametry, které jsou tvar a velikost energie impulzů, pracovní mezera a dielektrická kapalina. Do pracovního okruhu se dodává stejnosměrný proud v pulzech, které mají čtvercový průběh. Když je elektroda od obrobku oddálena, napětí má obvykle hodnotu 100 V, jakmile se elektroda přiblíží, nastane ionizace oddělující kapaliny a při výboji následujícím po přiblížení a ionizaci napětí klesne na nižší hodnotu. Materiál je narušen při každém výboji, na obrobku i elektrodě se vytvoří kráter. Aby byly částice z místa narušení odplaveny proudící kapalinou je nutné dodržovat dobu vypnutí (přerušení), doba přerušení musí být delší než doba deionizace, aby nedocházelo k opakovanému tvoření výboje v jednom místě. Nástroj je neustále přibližován k ploše obrobku posuvným mechanismem a současně vibruje. Vibrační pohyb umožňuje vznik výboje a vytváří vhodné podmínky pro odstranění zplodin odebraného materiálu a výměnu dielektrické kapaliny v mezeře. Hlavní výhodou této metody je vysoká přesnost a díky bezsilovému obrábění možnost zhotovit mikrootvory o průměru až 0,015 mm. Elektroerozivní obrábění často nahrazuje i broušení, jelikož je možné dosáhnout drsnosti Ra 0,2. Výroba je poměrně čistá a díky nízkému pracovnímu příkonu stroje, který se pohybuje mezi 10–15 kWh i ekologicky přijatelná [2].

1.3 Anodomechanické obrábění

Tato metoda se nachází na rozhraní elektroerozivního a elektrochemického obrábění. Jelikož zde probíhají oba procesy zároveň, zařazení do jedné či druhé skupiny je prováděno na základě energetických parametrů. Princip metody je naznačen na obrázku 3. Při elektroerozivní metodě se používají vyšší napětí a proudy, k úběru materiálu dochází elektrotermickým účinkem. U elektrochemické metody se použijí nižší hodnoty napětí a proudu. Další složkou úběru je elektrolyza, jelikož jsou zde vhodné podmínky dochází k elektrochemickému rozpouštění. Celkový úběr pak závisí zejména na použití vhodného druhu elektrolytu, teplotě tavení a mechanických parametrech procesu. Proces probíhá za vysokých teplot, kde je roztavený kov odváděn z místa obrábění rotujícím nástrojem. Celý pracovní prostor je zaplaven provozní kapalinou, která má funkci izolátoru a chladiče. V místě, kde nástroj svým pohybem naruší izolační vrstvu dojde k výboji (přeskočení jiskry) a odebrání materiálu [3].



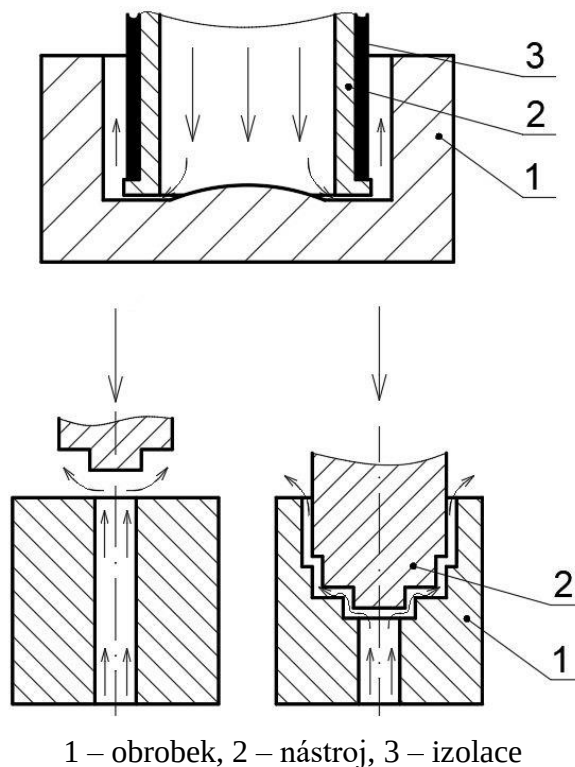
1 – nástroj, 2 – obrobek, 3 – přívod pracovní kapaliny

Obr. 3 Princip anodomechanického obrábění [2].

Anodomechanické obrábění má hlavní uplatnění při řezání tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů, tenkostěnných trubek, pro vyřezávání profilů a pro tvarové broušení nástrojů ze slitin tvrdých karbidů. Jako zdroj elektrické energie se používá usměrňovač střídavého proudu o nízkém napětí a výkonu desítek kW. Nástroj je pás, ocelový kotouč nebo drát. Pracovní médium bývá vodní sklo nebo borax [3].

1.4 Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění je řízený proces oddělování materiálu anodickým rozpouštěním v elektrolytu, kdy obrobek je anoda a nástroj katoda. Nástroje pro elektrochemické obrábění jsou uvedeny na obrázku 4. Elektrolyt prochází mezerou mezi nástrojem a obrobkem, kdy stejnosměrný proud o nízkém napětí nataví materiál na obrobku. Tuto metodu lze použít pro obrábění řady součástí včetně těch, které není možné obrobit standartními metodami. Jedná se o materiály tvrdé, jako je kalená ocel, žárupevné slitiny, tvarované plochy, hluboké díry a obrábění součástí s malou tuhostí, které by se účinkem řezných nebo upínacích sil mohly při klasickém obrábění deformovat. Proud má velikost 50–20 000 A s proudovou hustotou 10–100 A/cm² a napětím 8–30 V. Mezera mezi nástrojem a obrobkem je 0,2–0,8 mm. Elektrolyt proudí touto mezerou rychlostí 30–60 m/s a je odváděn čerpadlem, které vyvíjí tlak 70–2 800 kPa. Teplota elektrolytu se mění od 24–65 °C. Rozpouštění materiálů závisí na hustotě elektrického proudu. Její přílišné zvyšování vede ke snížení množství odebíraného materiálu. To je způsobeno usazováním oxidů na povrchu elektrod, které vytvářejí pasivační vrstvu, zabráňující dalšímu rozpouštění materiálu. Tuto vrstvu je potřeba odstraňovat přiváděním elektrolytu do místa obrábění [3], [4].



Obr. 4 Nástroje pro elektrochemické obrábění [2].

Pokud dojde k zvolení nevhodného složení elektrolytu nebo podmínek obrábění, hrozí vznik mezikrystalické koroze, která se projeví snížením únavové pevnosti materiálu obráběné součásti. Nevhodné vyústění děr a štěrbin pro přívod elektrolytu do pracovní mezery způsobí víření elektrolytu, které ovlivní rovnoměrné vyplavování oxidů a nečistot z oblasti obrábění. Zde jak bylo zmíněno výše dojde k usazování oxidů a u obráběné součásti se sníží rozměrová přesnost [3].

Při elektrochemickém obrábění vzniká poměrně velké množství kalů, skládajících se převážně z hydroxidů a oxidů rozpouštěných kovů. Je nutné elektrolyt čistit, což probíhá většinou kontinuálně, filtrací, usazovací a odstředivou metodou. Při výrobě na více strojích vznikají potíže s ekologickým odstraněním vzniklých odpadů, protože kaly jsou bohaté na látky, které mohou být základem pro tvorbu nebezpečných jedů [3].

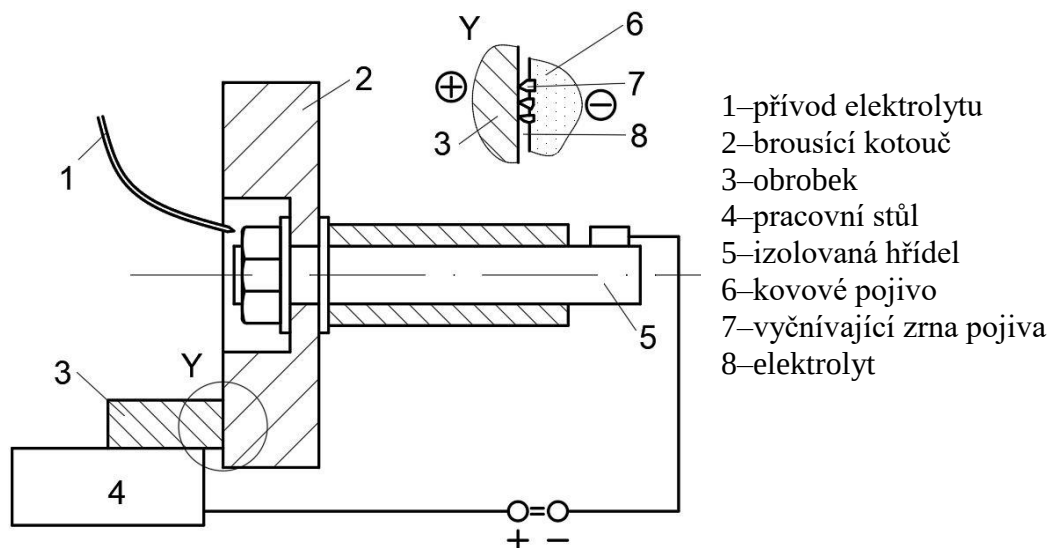
1.4.1 Elektrochemické obrábění v proudícím elektrolytu

Tato metoda nachází největší uplatnění při hloubení dutin složitých tvarů v těžkoobrobitelných materiálech. Používá se také pro speciální aplikace obrábění vnějších ploch komplikovaných tvarů, např. výroba turbínových lopatek [3].

Při obrábění je nástroj od obrobku oddělen pracovní mezerou 0,05–2 mm, skrze kterou proudí elektrolyt rychlostí 10–50 m/s pod tlakem až 2,5 MPa. Rychlost přísunu elektrody do oblasti obrábění závisí na složitosti obráběné plochy, pracovním proudem atd. Nástroj musí být vyroben se speciální korekcí tvaru, protože obrobená plocha nekopíruje tvar funkční plochy nástroje. Další možnost je nanést izolaci tak, aby se zabránilo zvýšenému úběru materiálu na přilehlých plochách obrobku. Funkční plochy nástroje jsou většinou leštěny [3].

1.4.2 Elektrochemické obrábění rotující elektrodou

Tato metoda kombinuje konvenční broušení spojené s elektrochemickým účinkem, viz. obrázek 5. Kde obrábění brusným kotoučem nepřekračuje 10 % úběru materiálu. Přednost této metody spočívá ve velkém úběru materiálu při zachované vysoké přesnosti obrábění. Hlavní využití nachází při obrábění materiálů vysoké tvrdosti nebo nástrojů ze slinutých karbidů, lze také obrábět materiály náchylné k tepelnému poškození, které se nedají brousit klasickými metodami [2].



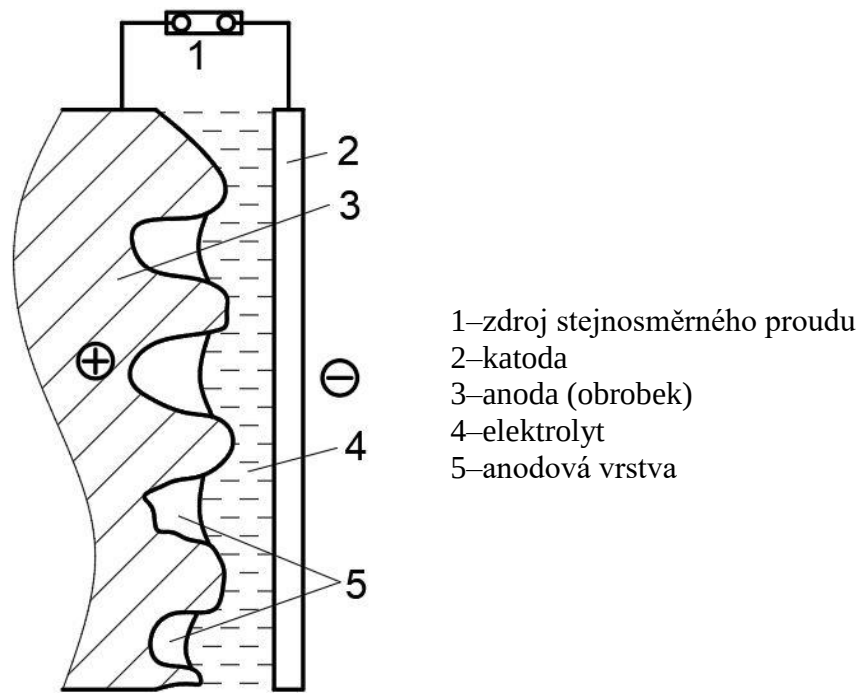
Obr. 5 Schéma elektrochemického obrábění rotující elektrodou [2].

Při obrábění je obráběná součást připojena na kladný pól (anoda), na záporný pól brousící kotouč (katoda). Z detailu Y na obrázku 5 vyplývá, že pracovní mezeru tvoří zrna brusiva, které vyčnívají z elektricky vodivého pojiva kotouče. Zrna brusiva odstraňují vrstvu oxidů, vzniklou na povrchu anody v důsledku pasivačních jevů elektrolytického rozpouštění. Pojivo nástroje tvoří nejčastěji slitiny mědi, jako brusivo se používá oxid hlinitý pro ocel a pro velmi tvrdé oceli nebo slinuté karbidy diamant [2].

Na podobném principu pracuje metoda elektrochemického honování. Honovací hlava je osazena elektricky nevodivými brousícími lištami, nejčastěji z Al_2O_3 , SiC nebo diamantu v keramické vazbě. Nástroj je připojen na záporný pól stejnosměrného zdroje, obráběná součást je připojena na kladný pól. Největší výhodou této metody je až šestinásobné zvýšení produktivity práce [2].

1.4.3 Elektrochemické leštění

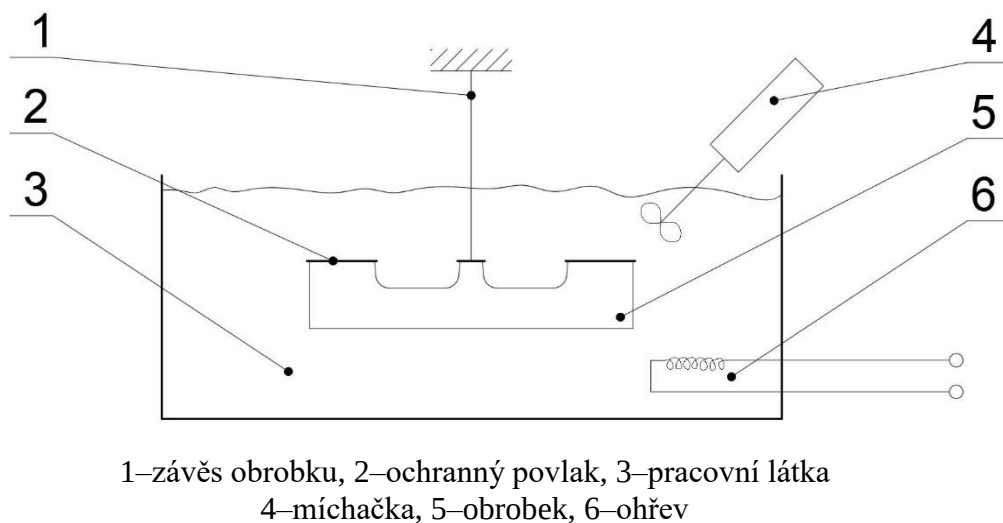
Při procesu elektrochemického leštění dochází k anodickému rozpouštění materiálu. Obrobek (anoda) i elektroda (katoda) jsou ponořeny v elektrolytu. Na obrázku 6 je mikroskopický pohled na povrch obráběného materiálu, kde v prohlubních dochází k usazování produktů vzniklých anodovým rozpouštěním. Na vrcholcích nerovností vzniká pouze tenký film. Anodová vrstva v prohlubních klade velký elektrický odpor, což zapříčiní vyšší hodnotu hustoty proudu v místech výstupků. Rozpouštění probíhá intenzivněji na výstupcích, které se postupně vyhlazují, až dojde k vyhlazení povrchu materiálu. Produktivita metody závisí na teplotě a složení elektrolytu, hustotě proudu, na umístění obrobku v elektrolytu a druhu materiálu obrobku [2].



Obr. 6 Schéma elektrochemického leštění [2].

1.5 Chemické obrábění

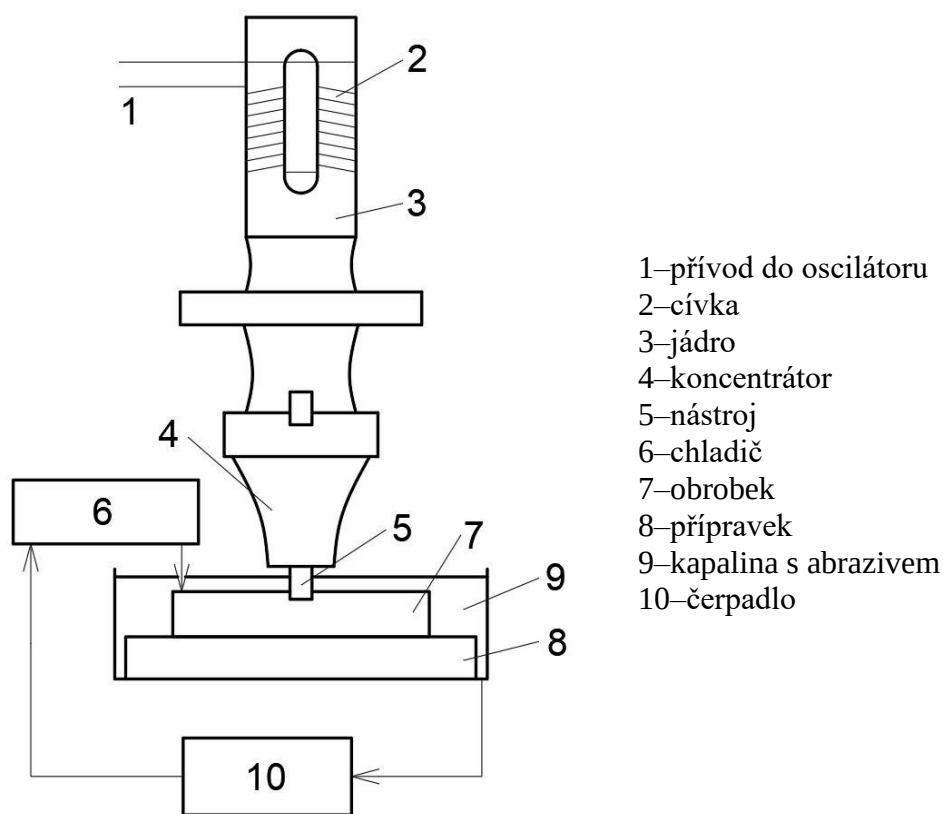
Při chemickém obrábění se materiál odstraňuje ponořením do chemické lázně, kde dochází k řízenému odleptávání vybraných ploch. Princip zobrazený na obrázku 7 je podobný jako při korozi nebo chemickém rozpouštění kovů. Plochy, které nemají být leptány, se musí chránit speciálním ochranným povlakem. Rychlost leptání se pohybuje okolo 0,01–0,08 mm/min, proto je tato metoda vhodná především pro úběr velmi malých tloušťek z rozměrných obrobků. Snadno lze obrábět součásti složitých tvarů. Pracovní prostředí je tvořeno kyselinou nebo hydroxidem. V praxi má základní proces mnoho podob, např.: chemické frézování kapes nebo obrysů, fotochemické obrábění, chemické leštění atd. Chemické obrábění má široké využití v kosmonautice, kde je většina kovových dílů vyráběna touto metodou [5].



Obr. 7 Schéma elektrochemického leštění [17].

1.6 Ultrazvukové obrábění

Ultrazvukové obrábění využívá mechanického účinku abrazivních zrn, které jsou rozkmitány nástrojem na ultrazvukovou frekvenci 20–30 kHz. Schéma principu metody je zobrazeno na obrázku 8. Kmitavým pohybem dojde v kapalině ke vzniku kavitace, která společně s chemickým účinkem kapaliny zvyšuje účinnost obrábění. Zrna mají velkou kinetickou energii, díky které narušují celistvost obráběného povrchu, kavitací jsou opotřebovaná zrna rychle vyměňována za nová. Kapalné prostředí umožňuje šíření ultrazvukové energie do místa obrábění. Jako kapalina se používá voda, benzín, petrolej nebo líh. Nejlepší výsledky jsou dosahovány s použitím vody. Za brusivo se používá karbid bóru, elektrokorund či karbid křemíku. Ultrazvukové obrábění je vhodné pro tvrdé a křehké materiály (sklo, keramiky, křemík), pro měkké materiály tato metoda není vhodná z důvodu ulpívání zrn abraziva v materiálu. Koncentrace brusiva bývá 30 až 40 % hmotnosti kapaliny v závislosti na tvrdosti obráběného materiálu. Obrobitelnost materiálu je úměrná jeho tvrdosti a křehkosti [2].



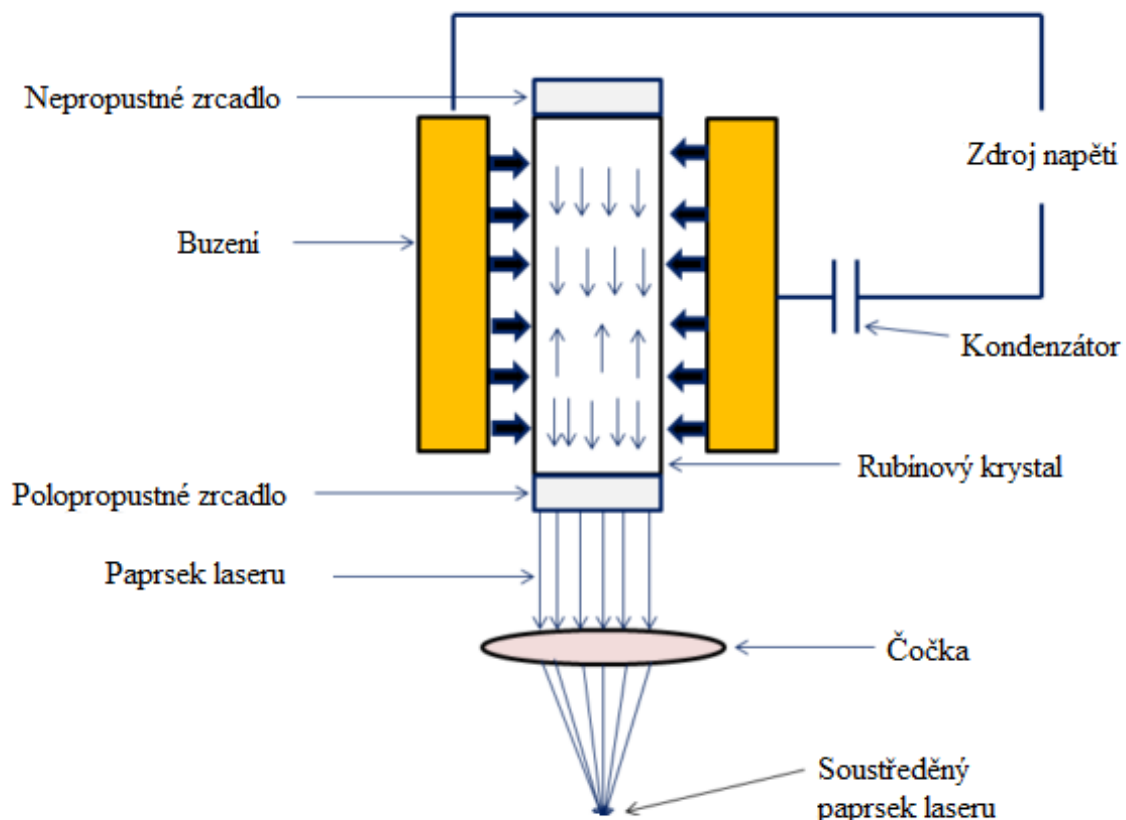
Obr. 8 Princip ultrazvukového nárazového broušení [2].

2 PAPRSKOVÉ NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Paprskové metody jsou nejrozšířenějšími nekonvenčními metodami, zejména pak laserové, jako alternativu lze uvést metodu vodního paprsku s abrazivem. Mají své nezastupitelné místo v oblasti dělení a řezání materiálu, kde vynikají svou vysokou přesností, účinností a možností aplikace na širokou škálu materiálů jak kovových, tak nekovových. Řezání laserovým paprskem lze s výhodou využít pro dělení materiálů kovových, zde je jeho účinnost až desetinásobná, oproti řezání vodním paprskem s abrazivem. Při potřebě dělit a řezat materiály nekovové, vysoce abrazivní nebo kompozitní, už ale laser není vhodný a vodní paprsek s abrazivem zde získává jistou formu monopolu [6].

2.1 Obrábění paprskem laseru

Každé laserové zařízení se skládá ze tří základních částí. První je aktivní prostředí, které se liší podle typu zařízení, může být plynné, kapalné nebo pevné. Další části jsou buzení a rezonanční systém. Rezonátor je skleněná dutina, ve které je vložena aktivní látka. Ve většině případů tvoří rezonátor dvě zrcadla. Jedno nepropustné a druhé polopropustné. Na obrázku 9 je uvedeno laserové zařízení s rubínovým krystalem (pevné aktivní prostředí). Princip spočívá v uvedení aktivního prostředí do nerovnovážného stavu, kdy jsou buzením elektrony atomu přesunuty na vyšší energetické hladiny. Následně se přesouvají zpět na nižší a vyzáří foton. Foton je vyzářen náhodným směrem, ale vzhledem k vysokému počtu atomů, jsou některé vyzářeny ve směru kolmém na zrcadla rezonátoru. Tyto fotony začnou strhávat další tak, aby se pohybovaly stejným směrem, čímž dochází k zvyšování počtu fotonů letících v požadovaném směru. Když je dosaženo určité úrovně záření, polopropustné zrcadlo se otevře a dojde k vyzáření paprsku [7].



Obr. 9 Princip laseru s pevným aktivním prostředím [18].

2.1.1 Laser s plynným aktivním prostředím

Laserový paprsek je tvořen v plynném prostředí, což může být argon, hélium nebo neon. V praxi mají největší využití trubice s oxidem uhličitým. Záření, generované tímto typem laseru, se nachází daleko v infračervené oblasti s vlnovou délkou 10,6 μm . Pouze CO₂ lasery mají dostatečný rozsah výstupního výkonu 1–30 kW a v současné době dosahují poměrně vysoké účinnosti. Pro laserové zařízení je nezbytný dopravní systém zrcadel. Přestože má paprsek CO₂ laseru malou objemovou hustotu, jedná se o vysoce výkonné laserové systémy. Důležitý je také přívod procesní kapaliny s chladícím účinkem a přívod pracovní směsi plynů, která kromě oxidu uhličitého obsahuje dusík a hélium. Daná složitost systému vyžaduje pravidelnou kontrolu a údržbu. Na obrázku 10 je ukázka dělení materiálu laserem. Navzdory náročnosti provozu má CO₂ laser své místo především v oblastech, kde se pracuje s velkými tloušťkami plechů [7].



Obr. 10 Řezání CO₂ laserem [19].

2.2.1 Polovodičový laser

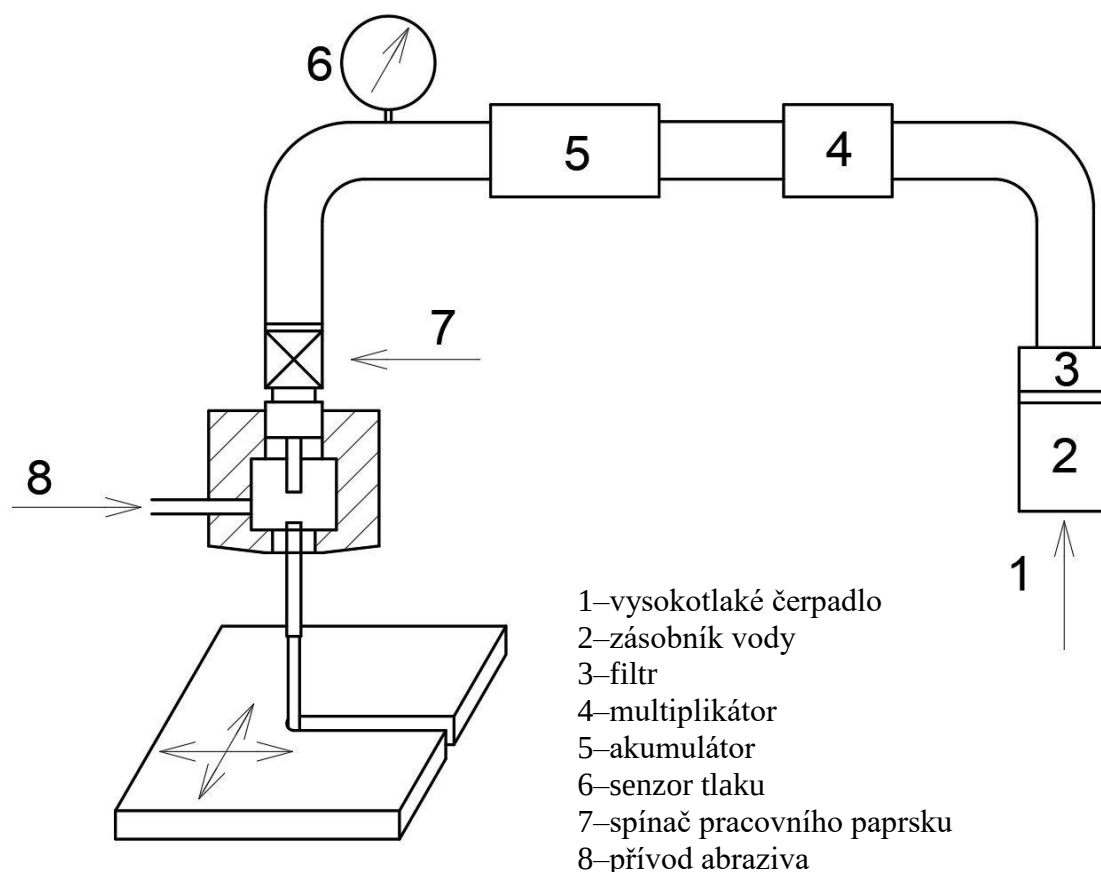
Laserová dioda, známá také jako polovodičový laser, je v porovnání s ostatními typy laserů mnohonásobně kompaktnější. Jedná se o polovodičovou součástku, která generuje monochromatické záření. Funkce je podobná jako u jiných laserových systémů, aktivní prostředí zde tvoří polovodičový přechod. Na obrázku 11 je laserová dioda, jejíž rozměry nepřesahují 10 mm. Malá velikost je výhodná pro použití ve výpočetní technice, zároveň ale dochází k větší rozbíhavosti paprsku než u ostatních laserů [8].



Obr. 11 Laserová dioda [20].

2.3 Obrábění vodním paprskem s abrazivem

Metoda se používá pro řezání materiálu, pomocí velmi tenkého vodního paprsku s abrazivem. Úběr materiálu obrobku probíhá působením mechanicko-fyzikálních jevů. Pro zvýšení výkonosti dělení se jako abrazivo používají zrna granátu, což umožňuje řezání i velmi tvrdých materiálů. Obrázek 12 ukazuje schéma zařízení. Princip řezání lze popsat následujícím způsobem. Voda je tlakována čerpadlem do komory, kde se mísí s abrazivem. Poté je směs vody a abraziva usměrněna a ustálena v trysce. Výsledkem je paprsek, který má dostatečně velkou energii, aby přerezal i velmi tvrdé materiály [9].

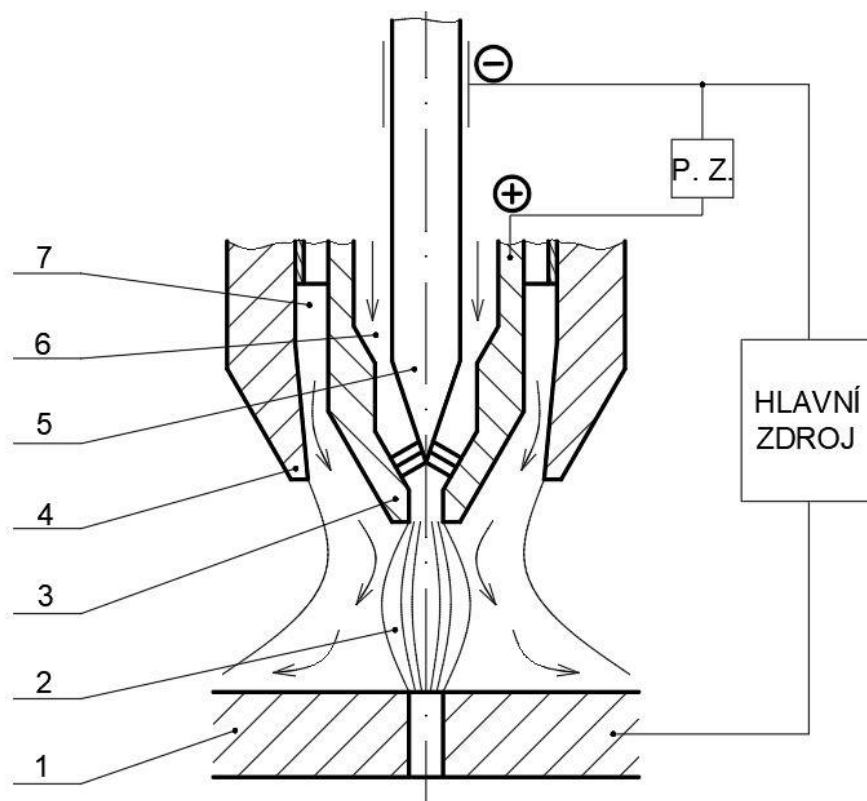


Obr. 12 Schéma dělení materiálu vodou [2].

Lze také využít vodní paprsek bez abraziva, ten se používá pro dělení nekovových materiálů (grafitové kompozity, lamináty, sklotextil atd.). Pracovní tlaky dosahují 500 MPa i více pro vodní paprsek s abrazivem. U čistého paprsku pak až 1 000 MPa. Velkou výhodou je možnost vícesměrného řezání s nulovým poloměrem zaoblení. Také odpadá nutnost předvrtávání děr pro opracování vnitřního tvaru. Obráběním nevzniká téměř žádné teplo a materiál není tepelně ovlivněn. Při řezání se do okolí neuvolňuje žádný prach. Tuto metodu lze poměrně jednoduše začlenit do automatizovaných systémů a povrch opracované plochy dosahuje dobrých jakostí i při vícenásobných řezech [2].

2.4 Obrábění paprskem plazmy

Obrábění paprskem plazmy je proces, který se využívá k dělení materiálu. Při řezání dochází k tavení kovu pomocí koncentrovaného plazmového oblouku s vysokou kinetickou energií. Jak je vidět na obrázku 13, elektrický oblouk se vytvoří mezi obrobkem a wolframovou elektrodou. Plazma vzniká průchodem stlačeného plynu hořákem, kde se ohřeje na vysokou teplotu a ionizuje. Plazmové oblouky dosahují teplot okolo 25 000 °C a lze běžně řezat ocelové plechy tloušťky 50–150 mm [9].



1–obrobek, 2–vnější oblouk, 3–měděná tryska,
4–měděná špička, 5–wolframová elektroda,
6–plazmový plyn, 7–ochranný plyn.

Obr. 13 Schéma plazmového hořáku [21].

Dosahované parametry řezání ovlivňují použité plyny, ty lze dle funkce rozdělit do následujících skupin [3]:

- plazmové, které přímo tvoří plazmový paprsek–Ar, Ar + H₂, He, N₂, CO₂, vzduch,
- fokusační, které zužují paprsek vystupující z trysky plazmového hořáku–Ar, Ar + H₂, Ar + N₂, N₂,
- ochranné, které ochraňují oblast tavení materiálu před vlivy atmosféry–Ar.

Proces obrábění je velmi intenzivní, takže i přes vysokou teplotu se tepelně ovlivněná vrstva pohybuje maximálně okolo hodnot 1 mm. Povrch po obrábění není příliš kvalitní, mívá šikmé a zaoblené hrany. Použitím moderních metod dělení plazmou lze tyto nežádoucí jevy eliminovat. Pozor je nutné dát na „zápaly“ vznikající při prvotním propálení materiálu, ty musí být korigovány, aby nedocházelo ke vzniku vrubu na řezané kontuře [3], [6].

2.5 Srovnání paprskových NMO

Z tabulky 1 lze vyvodit závěr, že nejvhodnější metodou pro dělení materiálu je vodní paprsek, který je v mnoha kategoriích lepší než ostatní metody. Nejsou zde však zohledněny všechny vlastnosti daných technologií. Jednoduše prohlásit, že řezání vodou je nejlepší, by nebylo přesné. Lze říct, že metoda dělení vodním paprskem je nejuniverzálnější, ale jsou aplikace kde tato metoda není vhodná, nebo nedosahuje takové výkonosti jako třeba řezání laserem [9].

Tabulka 1: Srovnání metod řezání materiálu [9]. Zelené označení jako nejlepší řešení.

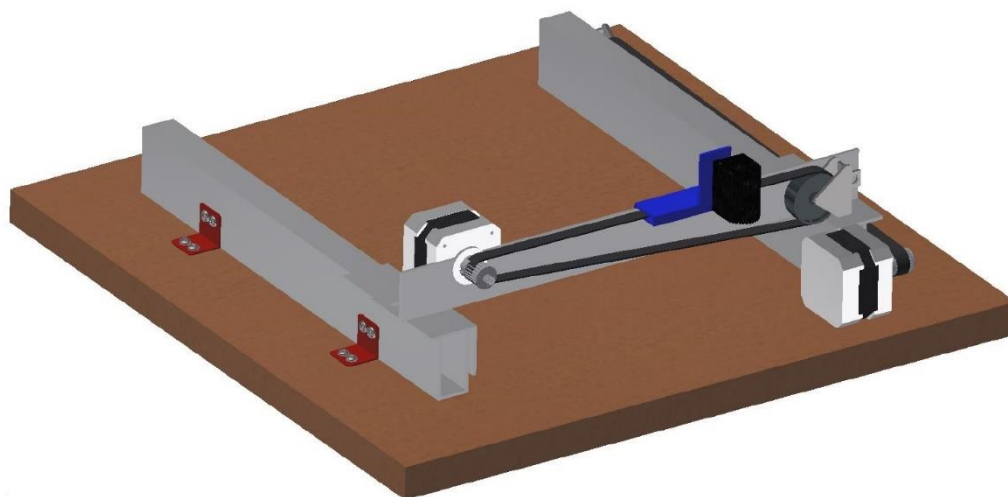
Metoda řezání	Vodní paprsek	Laser	Paprsek plazmy
Rychlost	nízká	vysoká	vysoká
Tloušťka materiálu	tlusté a tenké	tenké a střední	střední a tlusté
Velikost detailů	malé, velké a komplikované	malé, velké a komplikované	velké a jednoduché
Vhodné materiály k obrábění	většina pevných	homogenní bez reflexního povrchu	kovy a vodivé materiály
Zkorodované materiály	velmi dobré	dobré	průměrné
Kompozity	ano	ne	ne
Kalení materiálu	ne	ano	ano
Tepelná deformace	bez	pouze malá oblast	širší oblast
Nebezpečné výpary	ne	ano	ano
Vícevrstvé řezání	možné	nemožné	nemožné
Přesné řezání	přesné	velmi přesné	průměrné
Vytváření otřepů	minimální	ano	ano
Provozní náklady	vysoké	nízké	nízké

3 GRAVÍROVACÍ LED LASER

Při návrhu gravírovacího laseru se vycházelo z nejjednoduššího způsobu řízení, tzv. kartézského systému, který využívá většina 3D tiskáren čtvercového tvaru. Jedná se o samostatný pohyb ve třech lineárních osách, kdy má každá osa svůj vlastní pohon. Pro gravírovací laser byl z důvodu úspory financí počet os zredukován na dvě. Jelikož doostření laserového paprsku lze pohodlně provést ručně, odpadá nutnost třetí osy [10].

3.1 Návrh konstrukce první verze

Prvotní návrh laseru byl realizován s co nejmenší spotřebou hliníkových profilů, kde se vedení osy X vsadilo pouze do dvou obdélníků přichycených k základně. Výhodou této konstrukce byla možnost gravírovat i na součásti větších rozměrů, které by se vsunuly z boku do pracovního prostoru stroje. Toto uspořádání se po několika testech funkčnosti ukázalo jako velmi nevhodné. Z důvodu nestability a velmi častého vzpříčení při pojezdu osy X bylo jasné, že konstrukce musí mít bytelnější rám, pro zajištění rovnoběžnosti obdélníkových profilů při pojezdu. Na obrázcích 15 a 16 lze vidět model a zhotovenou první verzi prototypu.



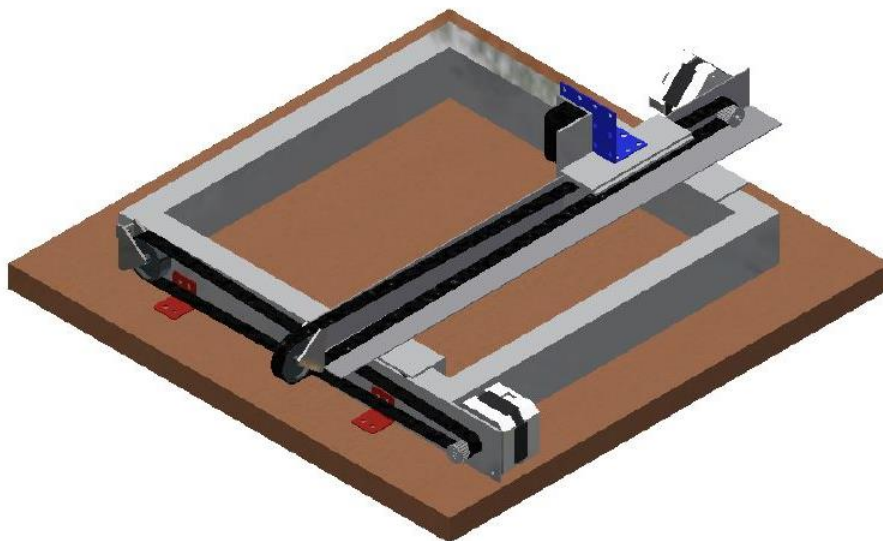
Obr. 15 Model první verze konstrukce.



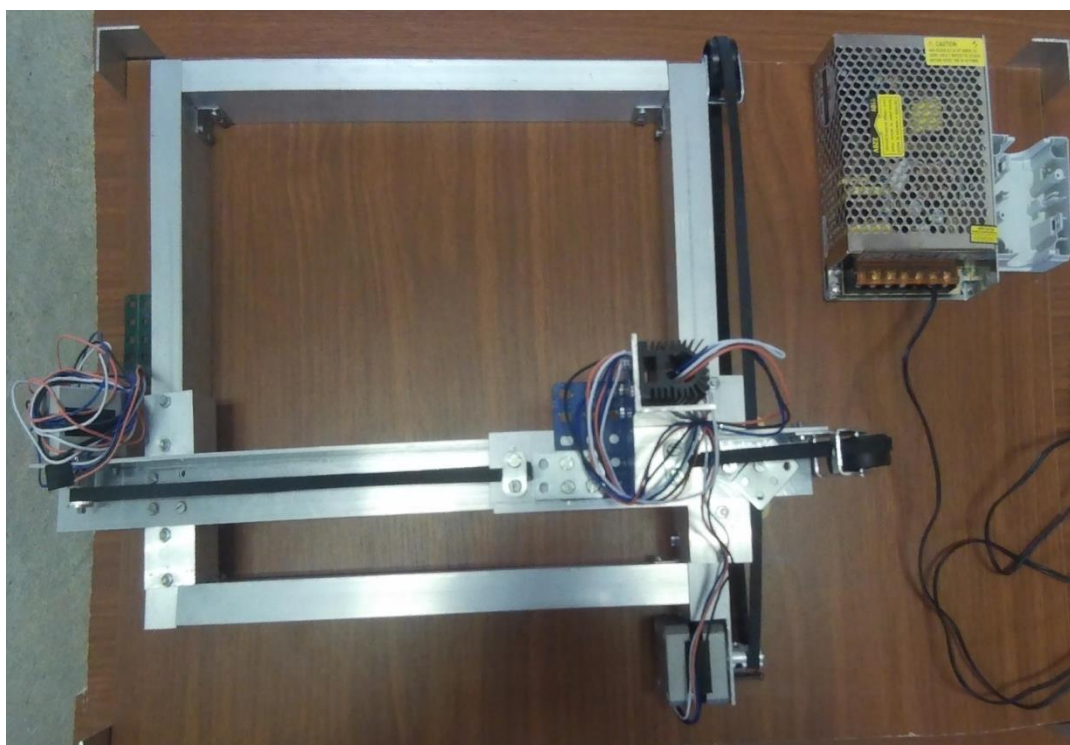
Obr. 16 Foto první verze konstrukce.

3.2 Návrh konstrukce druhá verze

Po několika neúspěšných testech první verze se celý projekt musel vrátit zpět k návrhu modelu. Nedostatky první verze odstranil návrh robustnějšího čtvercového rámu, který zabezpečil dostatečnou rovnoběžnost obdélníkových profilů a eliminoval vzpříčení pojezdu. Na obrázku 17 je model vylepšené konstrukce a na obrázku 18 jeho provedení s již umístěným zdrojem napětí. Dále, pro zachování možnosti gravírovat na součásti, které se nevejdou do pracovního prostoru zařízení, byly všechny prvky umístěny na rám. Díky této úpravě lze celé zařízení bez větších problémů přemístit.



Obr. 17 Model druhé verze konstrukce.

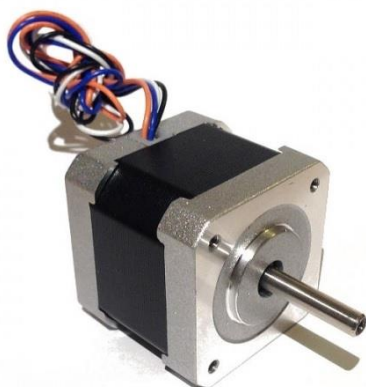


Obr. 18 Foto druhé verze konstrukce.

3.3 Volba vhodného pohonu

Jeden z hlavních požadavků na pohon pro gravírovací laser je schopnost posuvu po velmi malých úsecích, protože gravírování probíhá po jednotlivých čarách a obrázky s vyšší kvalitou dosahují hustoty až 10 čar na jeden milimetr. Volba vhodné hustoty je závislá na materiálu, do kterého se pálí, a také na rychlosti gravírování (hodnota 10 čar/mm byla uvedena jako orientační). Pro zařízení s tímto požadavkem na posuv je nejvhodnější použít krokové motory, které jsou běžně schopny otočení o $1,8^\circ$ na jeden krok, což tento požadavek dostatečně splňuje [11].

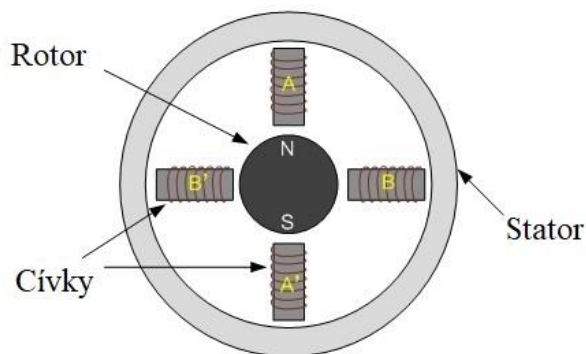
Požadavky na motor nejsou při gravírování velké, nedochází zde ke styku obrobku s nástrojem a nevznikají zde žádné řezné síly. Motor musí mít pouze dostatečný výkon pro překonání sil vzniklých tíhou konstrukce. Byl zvolen krokový motor SX17-1003LQCEF (na obrázku 19), od firmy MICROCON, se statickým kroutícím momentem 0,3 Nm. Při napájecím proudu do 2 A nedochází u tohoto motoru k výraznému zahřívání a není potřeba chladit [11].



Obr. 19 Motor SX17-1003LQCEF [22].

3.3.1 Princip krokového motoru

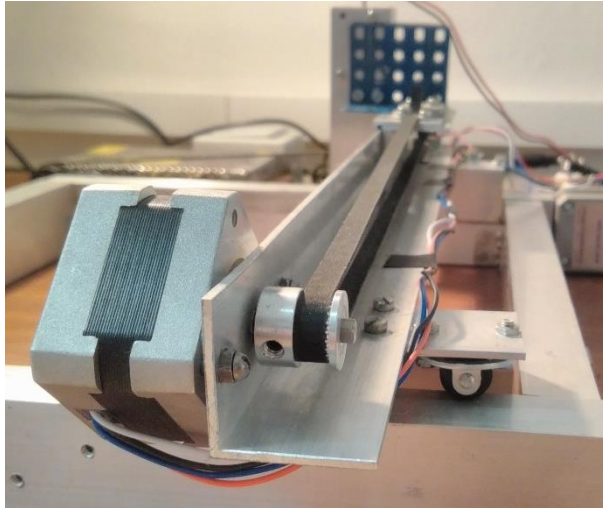
Krokový motor se chová podobně jako běžný elektromotor, který převádí elektrickou energii na energii mechanickou. Motor převádí elektrické pulzy na specifický rotační pohyb. Tento pohyb vytvořený každým pulzem je přesný a opakovatelný, díky těmto vlastnostem jsou tyto motory efektivní a velmi často využívané pro polohovací pohyby. Jak je vidět na obrázku 20 rotační pohyb zajišťuje zapínání a vypínání jednotlivých cívek. V praxi se nejčastěji používá metoda, kdy jsou napájeny obě fáze najednou a mění se pouze jejich polarita. Touto metodou lze získat o 40 % větší kroutící moment, než když jsou fáze napájeny střídavě [12].



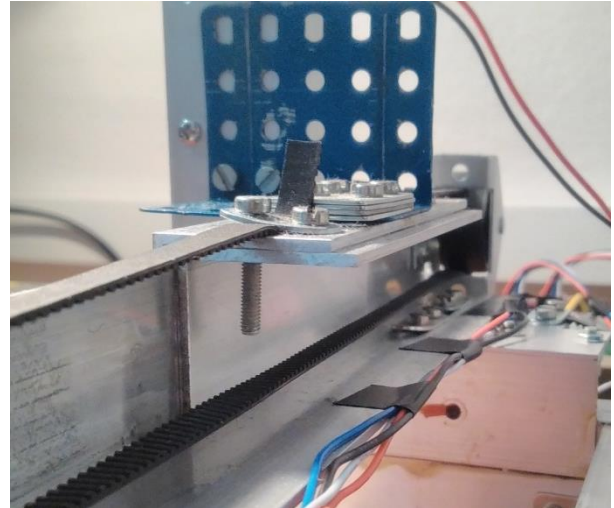
Obr. 20 Schéma krokového motoru [23].

3.4 Řešení posuvů

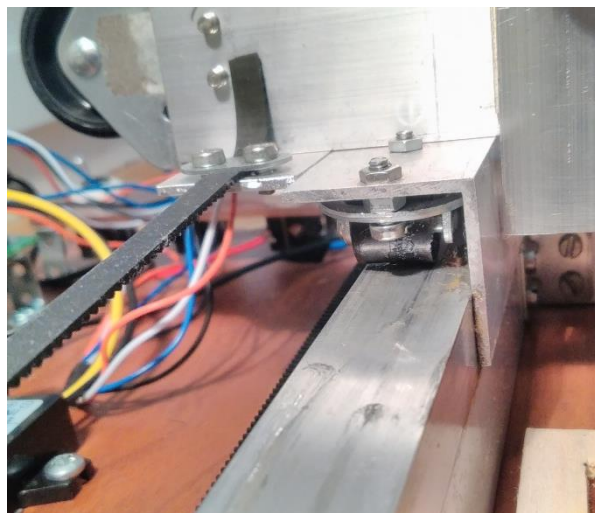
Pro pohyb jednotlivých os byly vybrány, pro nízké pořizovací náklady, ozubené řemeny. Manipulace s nimi je poměrně jednoduchá a řemenice pro krokové motory jsou snadno dostupné. Zvážena byla také možnost využití pohybových šroubů, které mají vyšší přesnost pohybu, ale celkově by tato metoda vedla ke zvýšení nákladů. Vedení pak bylo navrženo kluzně valivé, kde kluzná část zabezpečuje polohu vedení a valivé elementy nesou tíhu suportu. Na obrázcích 21–24 je řešení konstrukce pro osu X a Y.



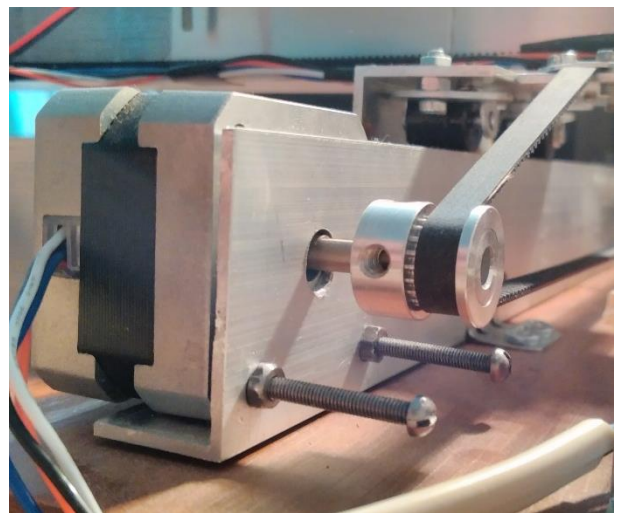
Obr. 21 Osa Y–Motor.



Obr. 22 Osa Y–Suport.



Obr. 23 Osa X–Suport.



Obr. 24 Osa X–Motor.

3.5 Řízení gravírovacího laseru

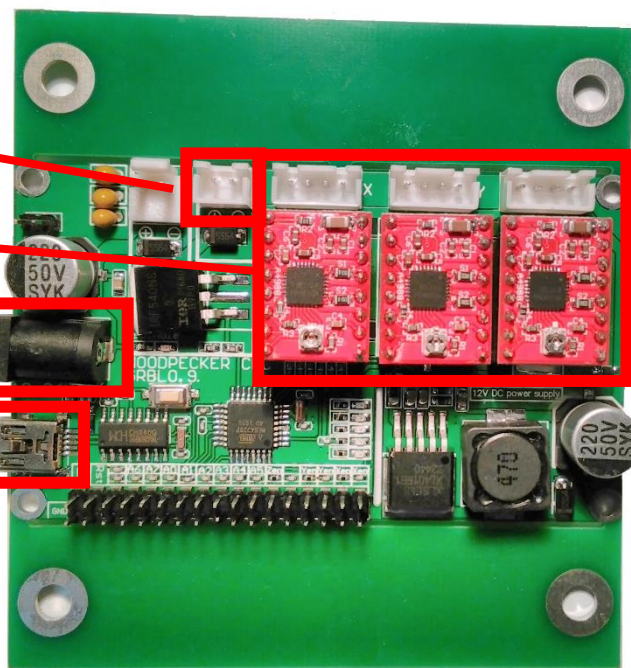
Řízení laseru zajišťuje program spolu s ovládací deskou. Byl zvolen freeware program LaserGRBL. Program posílá přes USB port data, které deska překládá a zároveň tak zabezpečuje ovládání krokových motorů a laserové hlavy. Celé zařízení je napájeno ze stejnosměrného zdroje 12 V, výstup pro laser má taktéž 12 V, laser o výkonu 1,5 W má ale napájení 5 V. Zde byl zařazen převodník stejnosměrného napětí. V prvotním návrhu měla deska výstup pro laser 5 V, během testování však došlo k poškození desky a nová deska, která se nakonec ukázala jako mnohem lepší řešení, má výstup již zmíněných 12 V. Deska s popisem hlavních částí je na obrázku 25.

Konektor pro laserovou hlavu

Konektory pro motorky s drivery

Napájecí konektor

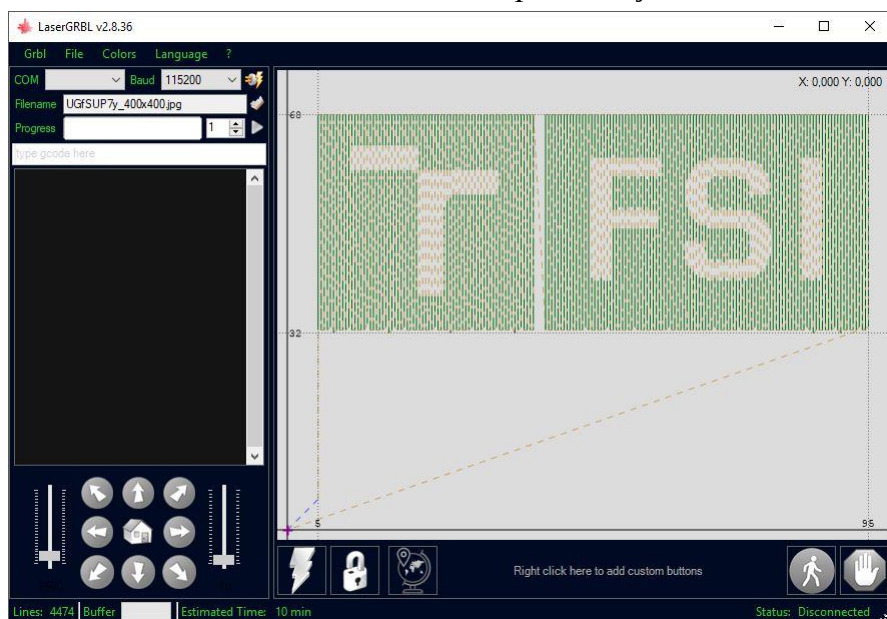
MINI USB konektor pro PC



Obr. 25 Ovládací deska.

3.6 Prostředí LaserGRBL

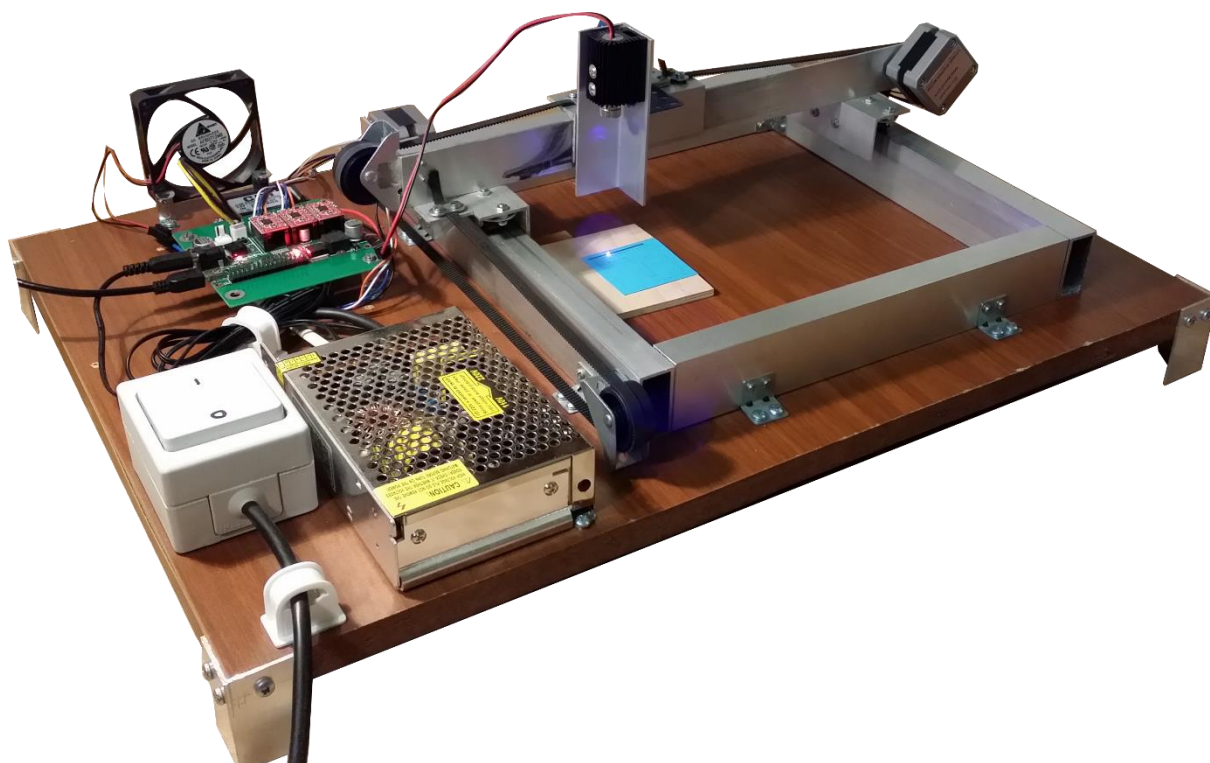
LaserGRBL nachází své využití u tzv. DIY (do it yourself) laserů, které oproti profesionálním průmyslovým laserům nemají vlastní ovládací software. Jedná se o jeden z nejlepších G kód streamerů pro laser, s možností převodu rastrového obrázku do G kódu. Je vhodný všude tam, kde jsou kladeny požadavky na jednoduchost ovládání a pohodlnou práci. V základu lze gravírování pomocí LaserGRBL rozdělit na vektorové a rastrové. Při vektorovém se zvolený obrázek rozloží na čáry ohraničující jednotlivé oblasti tzn. gravírovány budou pouze obrysy, možné je také zvolit výplň těchto oblastí, což se podobá rastrovému gravírování, ale výsledky nejsou tak kvalitní. Vektorové gravírování je vhodné pro jednoduché obrázky jako jsou různé kliparty apod. Rastrové gravírování využívá plný potenciál laseru a také má větší možnosti nastavení. Obrázek je zde složen z jednotlivých čar, které laser postupně projíždí. Z tohoto plyne nevýhoda ve větší časové náročnosti. Ukázka prostředí je na obrázku 26 [13].



Obr. 26 Prostředí LaserGRBL [13].

3.7 Celkové sestavení prototypu

Po vyřešení všech problémů s konstrukcí byl celý prototyp sestaven, zapojena elektronika a chlazení základní desky. Způsob sestavení a celkový vzhled byl volen s ohledem na praktičnost. Během testování funkčnosti docházelo ke změnám umístění jednotlivých prvků, tak aby byl výsledek optimální a nedocházelo při chodu stroje k zachytávání přívodních kabelů pro laser a pohon osy Y. Prozatím nebylo řešeno krytování ani bezpečnostní prvky chránící před laserovým zářením. Zařízení nemá příliš velký výkon a riziko zranění laserem je minimální. Na obrázku 27 se nachází finální sestavení prototypu.



Obr. 27 Celkové sestavení prototypu.

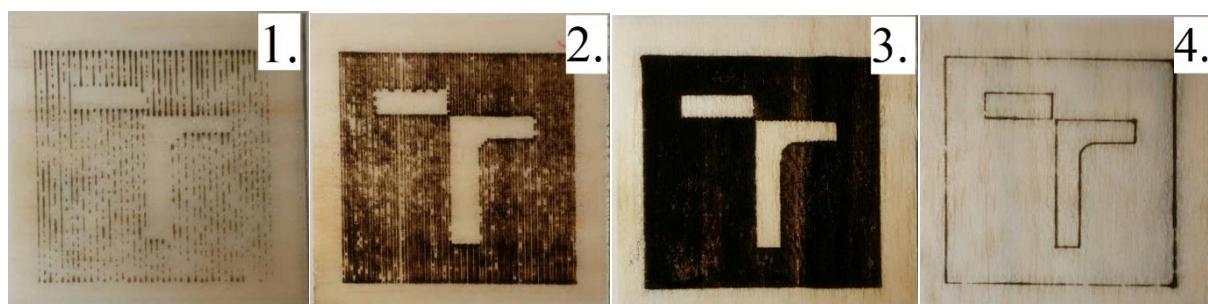
4 DOSAHOVANÉ PARAMETRY PROTOTYPU LASERU

Hodnotit dosahované parametry gravírování není obecně jednoduché. Je třeba brát v potaz zvolenou metodu gravírování, časovou náročnost programu a velký vliv má také gravírovaný materiál. Proto bude provedeno několik testů, které po následném srovnání a vyhodnocení pomohou získat ucelený obraz možností gravírování.

Zvolené materiály podstoupí čtyři testy, kde v prvních třech půjde o zjištění vhodných parametrů pro rastrové gravírování, čtvrtý vzorek bude gravírován vektorovou metodou. Vektorovému gravírování zde není věnováno mnoho prostoru, protože jeho využití je spíše při dělení materiálu a použitý laser má příliš nízký výkon na to, aby propálil cokoliv jiného než papír.

4.1 Test gravírování do balsy

Gravírování do balsy je poměrně jednoduché, díky její malé hustotě dochází velmi rychle k odhoření potřebného materiálu. Tato vlastnost může být zároveň nevýhoda, kdy při špatném nastavení rychlosti gravírování dojde k vypálení příliš velké oblasti a výsledný obraz je slitý do sebe. Výsledky testů jsou na obrázku 28.



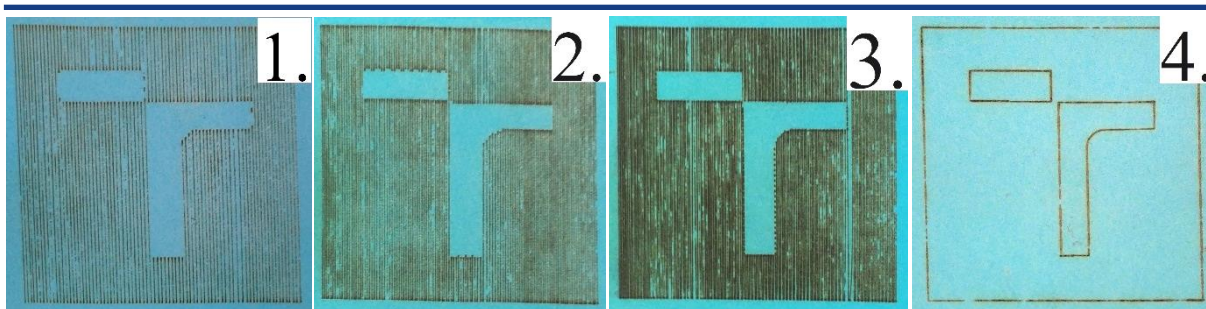
Obr. 28 Vzorky gravírování do balsy.

Tabulka 2: Parametry gravírování do balsy.

Materiál: Balsa		Gravírovaná oblast: 40x40 mm	
Vzorek	Rychlost posuvu [mm/min]	Počet průjezdů na jeden milimetr	Doba gravírování [min]
1	400	1	4
2	300	2	11
3	250	4	25
4	200	-	1

4.2 Test gravírování do papíru

Papír má oproti balse výhodu, že nedochází k vypalování oblastí okolo paprsku laseru. Obecně vykazuje podobné vlastnosti jako balsa a prořezat jej jde i poměrně slabým laserem. Speciální kategorií je bílý papír, který díky svým odrazovým vlastnostem odolá některým slabým LED laserům. Pro gravírování jsou tedy více vhodné barevné papíry s větší hustotou, u kterých nedochází k nežádoucímu propálení. Výsledky testů jsou na obrázku 29.



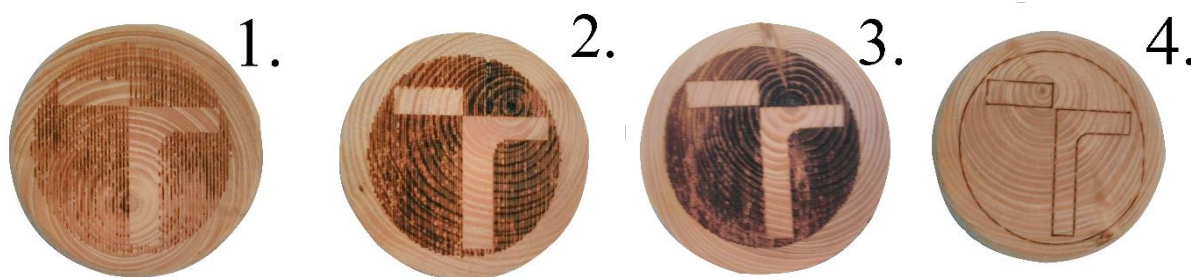
Obr. 29 Vzorčky gravírování do papíru.

Tabulka 3: Parametry gravírování do papíru.

Materiál: Papír		Gravírovaná oblast: 40x40 mm	
Vzorek	Rychlost posuvu [mm/min]	Počet průjezdů na jeden milimetr	Doba gravírování [min]
1	350	2	9
2	300	3	16
3	250	4	25
4	200	-	1

4.3 Test gravírování do dřeva

Dřevo je obecně materiál vhodný pro gravírování, gravírované obrázky vypadají dobře, nedochází k opalování okolí gravírované oblasti, jak bylo zmíněno výše u balsy. Na obrázku 30 lze pozorovat, že gravírování kolmo na letokruhy dřeva není zcela ideální a dochází k defektům. To může být zapříčiněno různou hustotou dřeva napříč letokruhy nebo zbytky pryskyřice přirozeně se vyskytující ve dřevě.



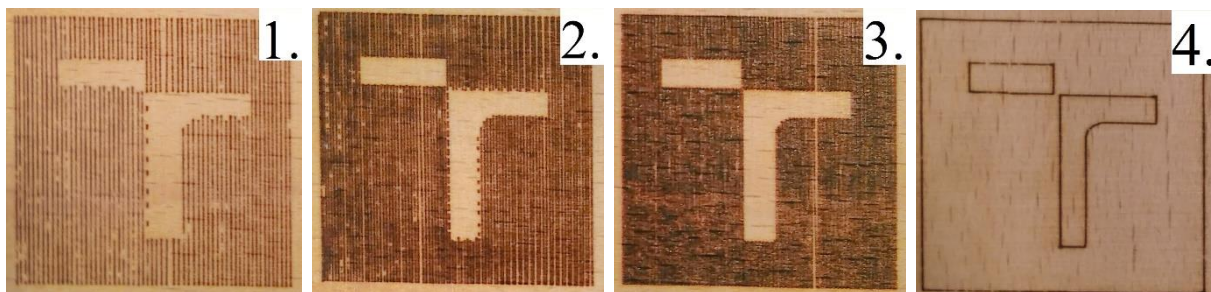
Obr. 30 Vzorčky gravírování do dřeva.

Tabulka 4: Parametry gravírování do dřeva.

Materiál: Dřevo		Gravírovaná oblast: Ø27 mm	
Vzorek	Rychlost posuvu [mm/min]	Počet průjezdů na jeden milimetr	Doba gravírování [min]
1	100	2	11
2	100	3	16
3	150	5	18
4	100	-	1

4.4 Test gravírování do překližky

Překližka je vhodnou náhradou pro gravírování do dřeva, jelikož neobsahuje žádné vady, které by mohly ovlivnit kvalitu gravírování, jak se stalo při testování dřeva výše. Další nespornou výhodou je i její nižší cena. Výsledky testů jsou na obrázku 31.



Obr. 31 Vzorky gravírování do překližky.

Tabulka 5: Parametry gravírování do překližky.

Materiál: Překližka		Gravírovaná oblast: 40x40 mm	
Vzorek	Rychlost posuvu [mm/min]	Počet průjezdů na jeden milimetr	Doba gravírování [min]
1	200	2	12
2	150	3	23
3	180	5	35
4	100	-	2

4.5 Porovnání dosahovaných parametrů s konvenčními lasery

Na českém trhu se vyskytuje poměrně velké množství firem, které nabízejí gravírovací lasery. Tyto výrobky se pohybují v cenové relaci 100 000–500 000 Kč [14], v závislosti na výkonu laseru, pracovní ploše a množství příslušenství. Většinou jsou osazeny CO₂ laserovou trubicí s výkonem 10–200 W s dosahovanou rychlostí gravírování okolo 600–1800 mm/min. Tyto lasery výrazně převyšují svým výkonem, ale i cenou zhotovený prototyp. Pokud by se veškeré parametry vydělily přibližně dvacetí, potom získané hodnoty odpovídající možnostem a ceně prototypu. Kde optimální rychlost gravírování je 100–150 mm/min a ceně okolo 2 500 Kč (cena bude podrobně rozebrána v kapitole 5) [15].

Další možností porovnání parametrů je s lasery dostupnými na zahraničních e-shopech, kde lze zakoupit zařízení v podobné cenové relaci jako byly náklady na výrobu prototypu. Zde není možné ověřit, zdali tyto lasery opravdu dosahují parametrů uvedených výrobcem. Dosahované rychlosti gravírování budou ve skutečnosti velmi podobné, protože pohon i výkon laseru se shodují. Liší se však pracovní plocha, kde prototyp umožňuje gravírovat v oblasti 150x150 mm a zařízení ve stejné cenové relaci mají většinou pracovní prostor 80x80 mm. Celkově se prototyp v porovnání s konkurencí v možnostech gravírování výrazně neliší. Dosahované parametry jsou dobré a lze je považovat za úspěch [16].

5 ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ

Návrh konstrukce byl zvolen s důrazem na dosažení co nejmenších nákladů a zároveň s přihlédnutím na využití pouze základních nástrojů, tak aby prototyp mohl zhotovit kdokoli i bez dobře vybavené dílny. Po zhodnocení ceny profilů, ze kterých se běžně realizují podobné projekty, vyšlo jako vhodnější zvolit levnější hliníkové profily (obdelník a úhelník). Pro zakoupení krokových motorů byla vybrána česká distribuce na úkor levějších motorů ze zahraničí. Kvalita a spolehlivý chod pohonu je důležitý pro funkci celého zařízení a tuto volbu lze argumentovat daleko vyšší spolehlivostí, garancí požadovaných parametrů a zárukou kvality. Při konstrukci a návrhu bylo využito stavebnice MERKUR, kde dále odpadla nutnost nákupu některých dílů. Největší část komponentů byla získána z portálu aliexpress.com, zde nebyla jiná volba než objednat díly ze zahraničí, protože na území ČR se komponenty jako laserová hlava nebo ovládací deska pro gravírovací laser nedají koupit nebo jen velmi obtížně a za vysokou cenu.

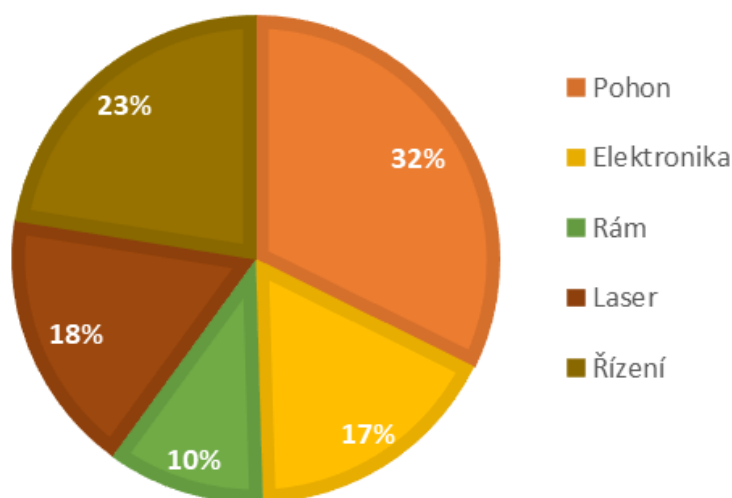
5.1 Kalkulace celkových nákladů

Při stavbě byly zaznamenávány ceny jednotlivých součástí, a následně rozděleny do pěti základních skupin. Podíl jednotlivých skupin na celkové ceně je zobrazen v grafu na obrázku 32 nebo je lze vyčíst z tabulky níže.

Z grafu je patrné, že nejdražší položkou byly krokové motory a příslušenství pro realizaci pohybu jednotlivých os, dále pak základní deska ovládající celé zařízení. Snížit cenu těchto součástí by bylo kontraproduktivní, protože jejich kvalita se následně promítne do celkové spolehlivosti a životnosti zařízení.

Tabulka 6: Seznam položek.

Pohon	856 Kč
Elektronika	458 Kč
Rám	278 Kč
Laser	464 Kč
Řízení	596 Kč
CELKEM	2 651 Kč



Obr. 32 Graf podílu nákladů jednotlivých skupin součástí.

ZÁVĚR

První část této práce se zabývá nekonvenčními metodami obrábění, kde bylo provedeno shrnutí jednotlivých metod, jejich možností obrábění a využití v praxi. Nekonenční metody nabízejí mnoho zajímavých možností, jak zlepšit nebo zlevnit výrobu. Mají své místo na trhu práce a postupně v některých oblastech vytlačují konvenční metody, které nedokážou dosáhnout na požadavky kladené novými výrobky. Dále se práce zaměřila na paprskové nekonvenční metody, a to zejména na dělení materiálu, které úzce souvisí s gravírováním. Byly porovnány technologie obrábění vodním paprskem, laserem a paprskem plazmy. Nejlepší, dle zjištěných poznatků, je pro svou univerzálnost metoda dělení vodním paprskem.

Hlavní část práce se týkala návrhu a konstrukce prototypu gravírovacího zařízení. Za velmi rozumnou cenu se podařilo sestavit funkční prototyp, který svými parametry splnil má očekávání. Během výroby se objevila řada problémů, které se podařilo za použití přiměřené síly nebo pilníku opravit. Konstrukce řešená pouze rozebíratelným spojením, zhotovení děr ruční vrtačkou a použití dílů získaných nejlevnější cestou, to vše ovlivnilo výslednou přesnost stroje, kde místy dochází k vychýlení laserové hlavy a tím k vadám v gravírovaném obrázku.

Součástí práce je i provedení několika testů. Možnosti gravírování zařízení jsou z nich zřejmé. Laser je schopen dělit papír, za určitých okolností i tenkou balsu (testováno na tloušťce 1 mm), gravírovat pak do většiny měkkých materiálů, které nejsou lesklé a jak už bylo zmíněno bílý papír tento laser není schopen dělit ani gravírovat. Zajímavé je, že na stránkách výrobce laserové hlavy jsou uvedeny některé možnosti, třeba možnost gravírovat bílý papír, kterých daný LED laser není schopen dosáhnout.

Největší problém byl způsoben elektronikou a obecně propojením zařízení s počítačem. Jak bylo řečeno, jedna ovládací deska se při testování poškodila. Nejdelší čas zabralo hledání vhodného softwaru pro řízení. Freeware programy většinou mají pouze omezené možnosti ovládání a nastavení celého zařízení tak není možné. Až po několika pokusech byl použit program LaserGRBL, který disponuje dostatkem funkcí a umožnil uvedení prototypu do provozu.

V konstrukci stroje je mnoho míst pro zlepšení a další vývoj. Získané zkušenosti budou využity při realizaci dalšího projektu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Techno Engraving: The Making of a Name Tag [online]. In: . b.r. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: https://i.ytimg.com/vi/6R_910HyNP4/maxresdefault.jpg
- [2] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [3] In: HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část [online]. Brno, 2005 [cit. 2018-01-30].
- [4] KOZAK, Jerzy a Maria ZYBURA-SKRABALAK. Some Problems of Surface Roughness in Electrochemical Machining (ECM). Procedia CIRP [online]. Elsevier B.V, 2016, 42, 101-106 [cit. 2018-03-31]. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.198. ISSN 2212-8271.
- [5] FADAEI TEHRANI, A a E IMANIAN. A new etchant for the chemical machining of St304. Journal of Materials Processing Tech [online]. Elsevier B.V, 2004, 149(1), 404-408 [cit. 2018-03-31]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.02.055. ISSN 0924-0136.
- [6] SLANÝ, Martin, Jana DVOŘÁKOVÁ a Jaromír DVOŘÁK. Nekonenční technologie obrábění. TECHMAGAZÍN [online]. 2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/2332>
- [7] PAVLICA, Marek, Jana PETRU a Robert CEP. SELECTION OF THE OPTIMAL PARAMETERS FOR LASER CUTTING. Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering [online]. Hunedoara: Faculty of Engineering Hunedoara, 2015, 8(1), 73-76 [cit. 2018-03-31].
- [8] DAVIS, Nick. An Introduction to Laser Diodes. ALL ABOUT CIRCUITS [online]. 2017 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-laser-diodes/>
- [9] KRAJCARZ, Daniel. Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting. Procedia Engineering [online]. Elsevier Ltd, 2014, 69, 838-843 [cit. 2018-04-01]. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.03.061. ISSN 1877-7058.
- [10] Typy 3D tiskáren. MAKERS LAB [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>
- [11] MICROCON [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>
- [12] Stepper Motors: Principles of Operation. PC Control Learning zone [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.pc-control.co.uk/step-motor.htm>
- [13] LaserGRBL: Free Laser Engraving [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://lasergrbl.com/en/>
- [14] Heureka: Gravírovací lasery [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://www.heureka.cz/?h\[fraze\]=gravirovací%20laser](https://www.heureka.cz/?h[fraze]=gravirovací%20laser)

- [15] Megaflex: Řezání a gravírování dřeva [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.megaflex.cz/lasery/material/rezani-a-gravirovani-dreva/>
- [16] Aliexpress: Engraving laser [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20180324073901&SearchText=engraving+laser
- [17] CHEMICAL MACHINING. In: Mechanical Engineering [online]. 2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.mechanicalengineeringblog.com/wp-content/uploads/2015/05/01-CHEMICAL-MACHINING-PROCESS-UNCONVENTIONAL-MACHINING-PROCESS.jpg>
- [18] Laser Beam Welding. In: The Welding Master [online]. 2017 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.theweldingmaster.com/wp-content/uploads/2017/05/Laser-Beam-Welding-768x538.png>
- [19] High Power CO2 Laser Cutting Machine. In: HGTECH [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://en.hglser.com/rsource/images/201411/20141120104637616.jpg>
- [20] Dioda laserowa B-808-500-9. In: SEMICON [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: https://sklep.semicon.com.pl/_static_1497265630/_img/_pictures/_shop_mini/21068.jpg
- [21] DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [22] Krokový motor SX17-1005VLQCEF. In: Vše pro 3D tisk [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: https://www.vsepro3dtisk.cz/static/_cache/7/4/744bdea67e198221fdf7f2349777dff0.jpg
- [23] Permanent Magnet Type Stepper Motor. In: Wiki for you [online]. b.r. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://4.bp.blogspot.com/-lqMSSCLfE8Y/Tr-xxi-sEL8I/AAAAAAAAAAbc/8VxCnhYR7vw/s320/Permanent-Magnet-type-WikiF.gif>