

# **Laserový gravírovací stroj ovládaný prostřednictvím mikropočítačové jednotky Arduino**

Martin Heinz

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Heinz**  
Osobní číslo: **A21401**  
Studijní program: **B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**  
Specializace: **Průmyslová automatizace**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Laserový gravírovací stroj ovládaný prostřednictvím mikropočítačové jednotky Arduino**  
Téma práce anglicky: **A Laser Engraving Machine Controlled by an Arduino Microcontroller Unit**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vyberte vhodné snímače a akční členy pro realizaci gravírovacího stroje.
3. Provedte hardwarový návrh gravírovacího stroje a jeho řídicí jednotky na bázi mikropočítače.
4. Fyzicky zrealizujte laserový gravírovací stroj, včetně řídicí jednotky.
5. Ověřte funkci vytvořeného zařízení a vyhodnoťte jeho vlastnosti.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. Arduino.cc: Oficiální web vývojových desek Arduino [online]. Arduino S.r.l, c2022 [citováno 2023-11-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
2. LITECH. *Laserové značení* [online]. 2023 [citováno 2023-11-07]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/laserove-znaceni/>
3. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. MM speciál. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 9788026067801.
4. PAGÁČ, Marek. *Učebnice SolidWorks*. 2. vydání. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2020]. ISBN 978-80-270-8730-3.
5. SADOWSKI, Andrzej a KREHLIK, Rudolf. *Lasery v obrábění a metrologii*. Řada strojírenské literatury. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977.
6. VRBOVÁ, Miroslava. *Lasery a moderní optika*. Oborová encyklopedie. Praha: Prometheus, 1994. ISBN 8085849569.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

### **Prohlašuji, že**

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

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

V této práci byl vyroben gravírovací stroj s využitím diodového laseru řízeným mikropočítačovou jednotkou Arduino. Za použití 3D tisku a hliníkových profilů byla sestrojena mechanická konstrukce. Pohyb v 2D prostoru obstarávají krokové motory a pojízdné lineární vedení. Řízení pohybu a intenzity laseru je ovládáno jednotkou Arduino UNO osazené CNC Shieldem s firmwarem GRBL. V práci jsou popsány základní činnosti grafického programu „LaserGRBL“. Ten byl využit pro konfiguraci řízení a následné testování gravírovacího stroje. Na gravírovacím stroji bylo vyzkoušeno gravírování do borovicové desky a řezání do překližky o šířce 3 mm. Obě zkoušky ověřily přesnost a kvalitu gravírovacího stroje.

Klíčová slova:

Laser, krokový motor, Arduino, CNC, GRBL, gravírování

## **ABSTRACT**

In this work, an engraving machine was fabricated using a diode laser controlled by an Arduino micro-computer unit. Using 3D printing and aluminium profiles, a mechanical structure was constructed. Motion in 2D space is provided by stepper motors and a mobile linear line. The motion and intensity control of the laser is controlled by an Arduino UNO unit axed by a CNC Shield with GRBL firmware. The basic operations of the graphical program "LaserGRBL" are described in the paper. It was used for control configuration and subsequent testing of the engraving machine. The engraving machine was tested for engraving into pine board and cutting into plywood with a width of 3 mm. Both tests verified the accuracy and quality of the engraving machine.

Keywords:

Laser, stepper motor, Arduino, CNC, GRBL, engraving

Chci poděkovat panu Ing. Petru Dostálkovi, Ph.D. za možnost pracovat na mnou vybraném tématu, které mi bylo blízké.

Děkuji panu doc. Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D. za 3D tisk dílů do mého projektu.

Děkuji Dorotě Víchové, která mně vždy byla ochotna pomoci a motivovat.

Děkuji své rodině za podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>11</b>
<b>2 LASER.....</b>	<b>13</b>
2.1 PRINCIP LASERU .....	13
2.1.1 Interakce fotonu a elektronu.....	13
2.1.2 Metastabilní hladina .....	14
2.1.3 Inverze populace .....	15
2.1.4 Stimulovaná emise .....	15
2.1.5 Rezonátor .....	16
2.1.6 Polopropustné zrcadlo .....	16
2.2 TYPY LASERŮ .....	16
2.2.1 Podle skupenství aktivního prostředí .....	17
<b>3 TECHNOLOGIE LASEROVÉHO ZNAČENÍ.....</b>	<b>20</b>
3.1 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ .....	20
3.2 PROCESY LASEROVÉHO ZNAČENÍ.....	21
<b>4 KROKOVÉ MOTORY.....</b>	<b>24</b>
4.1 PRINCIP KROKOVÉHO MOTORU .....	24
4.2 TYPY KROKOVÝCH MOTORŮ.....	25
<b>5 MIKROPOČÍTAČOVÁ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....</b>	<b>27</b>
5.1 ARDUINO UNO .....	27
5.2 CNC SHIELD .....	28
5.3 MODUL DRV8825 .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>32</b>
<b>6 ELEKTRONICKÉ KOMPONENTY.....</b>	<b>33</b>
6.1 LASER .....	33
6.2 KROKOVÝ MOTOR .....	34
6.3 NAPÁJECÍ ZDROJ.....	35
<b>7 MECHANICKÁ KONSTRUKCE.....</b>	<b>36</b>
7.1 SOLIDWORKS.....	36
7.2 HARDWAROVÝ NÁVRH .....	36
7.2.1 Pohyb lineárního vedení.....	37
7.2.2 Osa y.....	38
7.2.3 Osa x.....	39
7.2.4 Osa z.....	40
<b>8 ŘÍZENÍ GRAVÍROVACÍHO STROJE .....</b>	<b>41</b>
8.1 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ „LASER GRBL“.....	41
8.1.1 Instalace GRBL programu .....	41
8.1.2 GRBL konfigurace .....	42
<b>9 REALIZACE .....</b>	<b>47</b>

<b>10</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....</b>	<b>49</b>
10.1	GRAVÍROVÁNÍ.....	49
10.2	ŘEZÁNÍ.....	51
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>60</b>



## ÚVOD

Technologie gravírování slouží k vytvoření nápisu, loga nebo obrázku. V dnešní době nahrazuje gravírování ruční rytí. K utvoření přesného a trvanlivého poznačení se využívá laseru, ten dokáže povrch materiálu roztavit a odpařit. Pro tvorbu 2D obrazců gravírovací stroj využívá dvouosé konstrukce. Výběr materiálu pro gravírování podléhá vlastnostem laseru, konkrétně výkonu a vlnové délce laserového paprsku.

Osvědčenou metodou je také mechanické gravírování. Tento způsob využívá rotačních nástrojů pro odstraňování materiálu. Nástroj má možnost pohybu ve třech osách, což umožňuje tvorbu složitějších 2D a 3D obrazců.

Dalším způsobem gravírování je za pomoci chemického leptání. Tato metoda využívá chemikálií k odstranění části povrchu materiálu za účelem utvoření vzoru, nápisu nebo obrazu. Využívá se především pro jemné a složité detaily, kterých by bylo obtížné nebo nemožné dosáhnout mechanickými metodami. Z tohoto důvodu je vhodný pro výrobu plošných spojů, mikročipů a elektronických komponent.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a zhotovit laserový gravírovací stroj. Gravírovací stroj bude určen pro vypalování do nekovových materiálů pomocí laserového paprsku. Celý stroj bude řízen mikropočítačovou jednotkou Arduino. Pro řízení rozhraní bude využit softwarový program „LaserGRBL“. Poslední důležitou částí této práce bude ověření funkčnosti gravírovacího stroje.

Tento gravírovací stroj bude primárně určen na gravírování do nekovových materiálů jako je dřevo, plast, tkanina. Pro gravírování do kovových materiálů by musel být použit silnější laser nebo by musela být zvýšena pohltivost světla povrchu materiálu černým nátěrem. U gravírování do průhledných materiálů jako je například sklo se používají lasery s UV paprskem. Vlnová délka použitého laseru v této práci je ve viditelném spektru světla, proto by muselo být obdobně jako u kovů využito speciálních nátěrů pro zachycení laserového paprsku, který by jinak v průhledném materiálu nebyl zaznamenán.

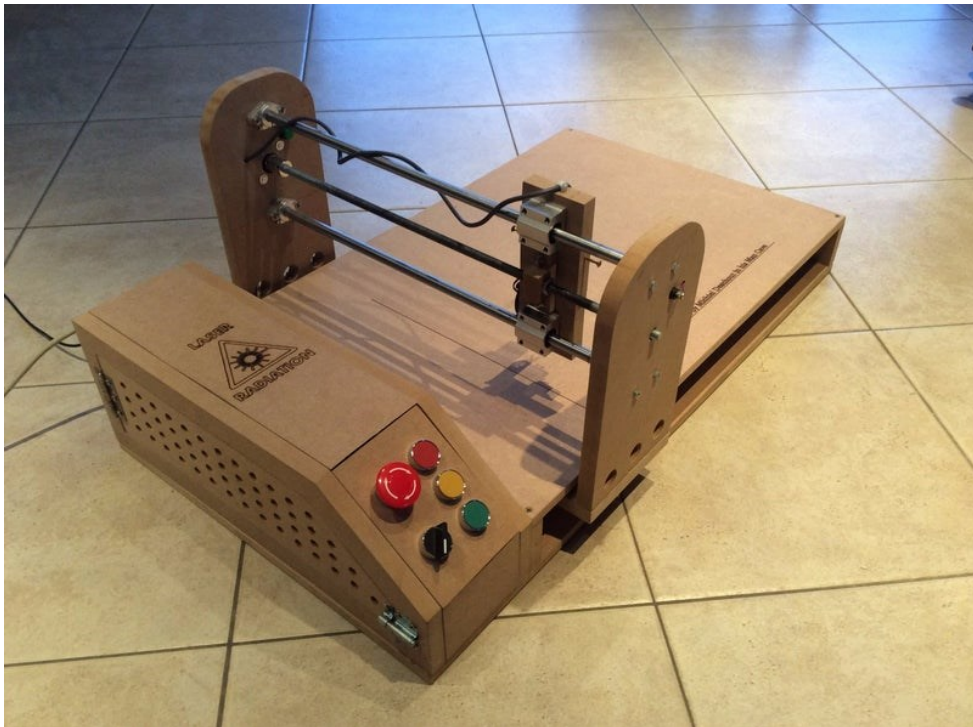
S využitím takového laserového gravírovacího stroje bude možné vytvářet velmi detailní popis na téměř jakýkoliv materiál. Ať už je to označení loga firmy na výrobek, dekorativní gravírování nebo informační štítky u dveří, vždy se bude jednat o vysoce trvanlivé poznačení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Na internetu lze najít mnoho inspirace pro návrh gravírovacího stroje, ať už se jedná o zdroj z internetového obchodu nebo domácího projektu. Většinou byl každý návrh něčím výjimečný.

Autor článku „Arduino Laser Engraver Wood Design!“ použil k sestavení svého gravírovacího stroje dřevěnou překližku. S laserem o výkonu 1,8 W dokáže přezat papír nebo gravírovat na všechny různé druhy dřeva. Pro stabilní pohyb využil kotvících tyčí a krokových motorů NEMA 17 s točivou šroubovicí. Řízení celého stroje provádí jednotka Arduino Uno s pomocí kontrolérů krokových motorů. Pracovní plocha stroje je 500x380 mm. [25]



Obrázek 1 – Laser engraver [25]

Gravírovací stroj typu „Aufero laser 1“ je si možné koupit ve formě stavebnice od výrobce „Ortur“. Na tento model lze připevnit laser s výkonem od 1,4-5,5 W. S pracovní plochou 18x18 cm dokáže gravírovat jak do nekovových materiálů, tak do obarvených kovových materiálů. Mechanická konstrukce se skládá ze dvou hliníkových profilů. Osa s laserem je vůči druhé ose ukotvena k druhé ose jen na jedné straně. Stroj využívá software „Laser-GRBL“ pro řízení. [26]



Obrázek 2 – Aufero laser 1 [26]

## 2 LASER

Název laser je vytvořen ze spojení „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ neboli v překladu „Zesilování světla stimulovanou emisí záření“. Obecně laser je optický zesilovač, který generuje elektromagnetické záření pomocí procesu stimulované emise fotonů, který můžeme popsat pomocí zákonů kvantové fyziky. [22]

### 2.1 Princip laseru

Princip laseru představuje poměrně komplexní koncept, který využívá široké spektrum fyzikálních poznatků. Spojením poznatků, může vzniknout světlo, které se obvykle v přírodě nevyskytuje. [4]

#### 2.1.1 Interakce fotonu a elektronu

V planetárním modelu atomu kolem jádra (protonu) krouží záporně nabitě elektrony. Každé dráze přísluší přesné množství určité energie, tzv. energetická hladina. Čím je dráha vzdálenější od jádra, tím je jeho energetická hladina větší, jelikož na překonání přitažlivé síly protonu bylo nutné vykonat větší práci. Za normálních podmínek se atom nachází v co nejmenším energetickém kvantovém stavu, tj. dráha elektronu je nejbližší jádru, takový stav se nazývá základní stav. U atomu v základním stavu zaujímají všechny elektrony nejnižší energetické hladiny, příslušné drahám o nejmenších poloměrech.[1]

#### *Absorpce (pohlcení)*

Vletí-li foton do elektronu, elektron foton absorbuje a přesune se (excituje) na vyšší energetickou hladinu, přitom letící foton musí mít přesně stejnou energii, která je potřebná k přesunu elektronu na jinou vyšší energetickou hladinu. [1]

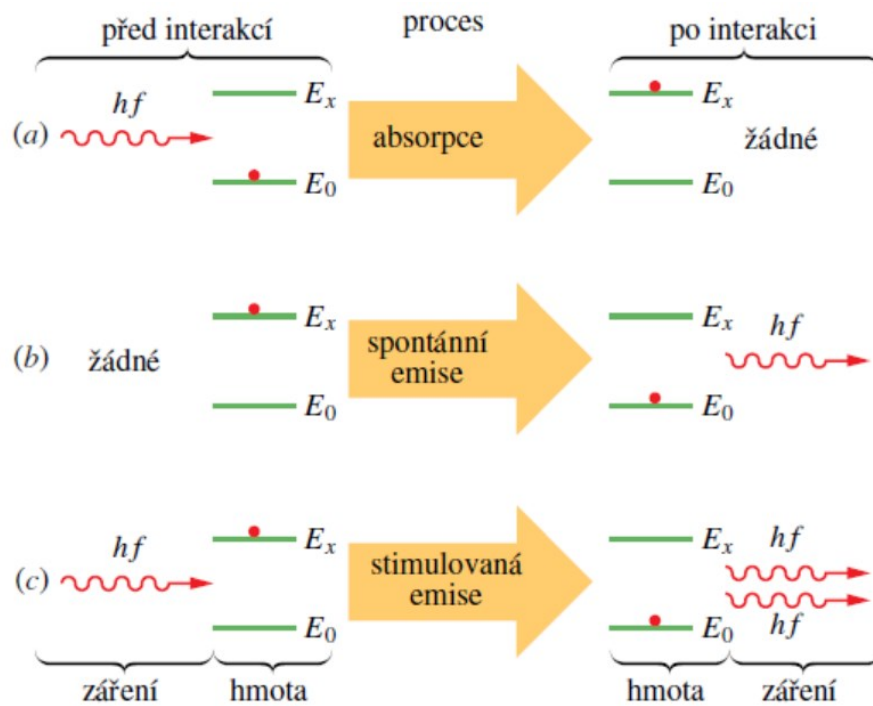
#### *Spontánní emise (samovolné vyzáření)*

Excitovaný elektron je ve vyšší hladině určitou dobu. Snaží se dostat do základního stavu. Při spontánní emisi se elektron přesune do nižší energetické hladiny a vyše foton o stejné energii, ale náhodným směrem pryč. [1], [14]

#### *Stimulovaná emise (vynucené vyzáření)*

Stimulovaná emise nastává, když foton dopadne na elektron s vyšší energií, což způsobí jeho přechod do stavu s nižší energií a vyzáření fotonu. V důsledku toho jsou uvolněny dva

fotony, které mají stejný směr, vlnovou délku a fázové posunutí, čímž vytvářejí jednu vlnu s dvojnásobnou amplitudou a dvojnásobnou energií. [1], [14]

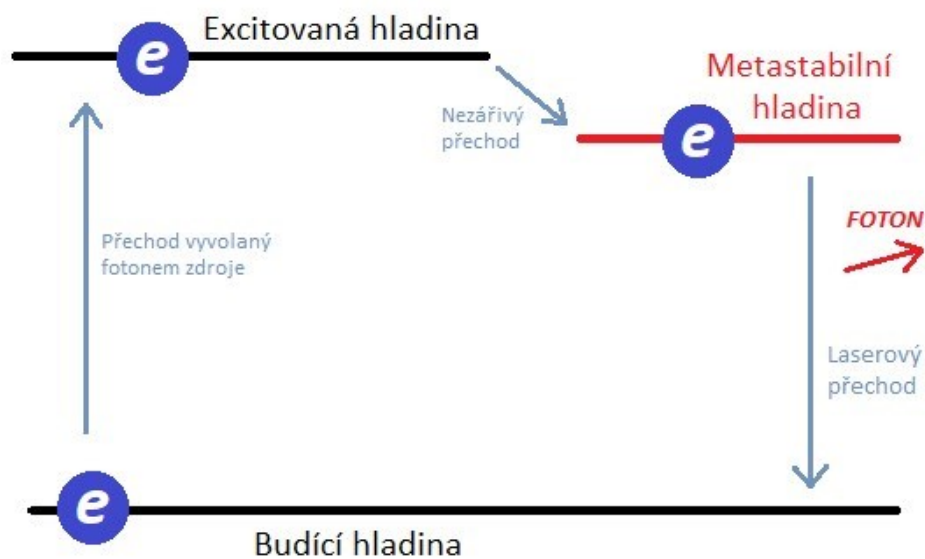


Obrázek 3 – Interakce fotonu a elektronu [2]

### 2.1.2 Metastabilní hladina

Laser využívá aktivní prostředí k tvorbě paprsku. Aktivní prostředí musí být tvořeno prvky, které obsahují tzv. metastabilní hladiny. Narazí-li foton do takového atomu, elektron excituje na vyšší energetickou hladinu a poté spadne na metastabilní hladinu. Rozdíl mezi metastabilní hladinou a ostatními energetickými hladinami je, že na metastabilní hladině elektron setrvává mnohonásobně déle. Tím pádem bude zajištěna stimulovaná emise. [3]

Na obrázku 4 je vyobrazen přechod elektronu z excitované hladiny na metastabilní hladinu.



Obrázek 4 – Přechody elektronu aktivního prostředí (foto Heinz)

### 2.1.3 Inverze populace

Inverze populace nastává, když je na metastabilní hladině atomu více elektronů než na základní hladině. Zdroj dodává energii ve formě fotonů, které excitují elektrony na vyšší a následně na metastabilní hladinu. Tím se vytvoří převaha elektronů na metastabilní hladině, která čeká na stimulující foton. Jakmile tento foton přiletí, donutí všechny elektrony k sestoupení na základní hladinu a k vypuštění jednoho fotonu. Tyto fotony se spojí v jednu vlnu s větší amplitudou, zesilující tak světlo. Směr laserového paprsku určuje směr letu stimulujícího fotonu. Po návratu elektronu na základní hladinu zdroj opět pošle další foton a cyklus se opakuje. [3]

### 2.1.4 Stimulovaná emise

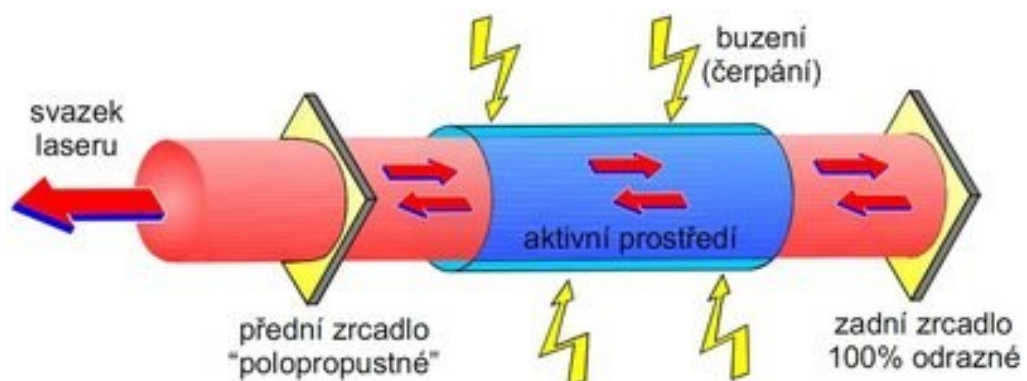
Prozatím bylo vše prováděno na jednom atomu. Pokud však vezmeme v úvahu, že letící zesílený foton nemá určený směr, zjistíme, že laser ještě není schopen fungovat. Nyní zvýšíme počet atomů, třeba milionkrát. V každém atomu proběhne stejná interakce, všechny elektrony jsou nyní na metastabilní hladině a čekají. Stimulující fotony přiletí ke každému atomu, který následně vypustí zesílené fotony, avšak každý ve vlastním směru. Letící fotony působí jako stimulující fotony pro ostatní, což způsobí, že ostatní elektrony se vrátí zpět a vypustí fotony, které se přidají k těm stimulujícím. Tyto fotony se dále zesílí, což vede ke zvýšení intenzity světla. Nicméně laser stále nefunguje, protože se fotony šíří ve všech směrech. [3]

### 2.1.5 Rezonátor

Rezonátor se skládá ze dvou zrcadel, z nichž jedno zrcadlo je polopropustné. Obě zrcadla jsou vzájemně rovnoběžná. Foton, který letí mimo osu zrcadel, buď hned vyletí, nebo se jen párkrát odrazí a vyletí. Ale s velkou pravděpodobností mnoho letících fotonů, bude právě letět rovnoběžně s osou zrcadel. Tyto fotony se na sebe začnou „nabalovat“. Tím pádem bude ubývat fotonů letících mimo osu rezonátoru. Vnikne exponenciální nárůst rovnoběžně letících fotonů, protože budou stimulovat čím dál tím více elektronů do rovnoběžného směru. Tomu právě napomáhá již zmíněná metastabilní hladina, která zabrání samovolnému uvolnění špatným směrem, naopak elektrony v metastabilní hladině čekají na stržení rovnoběžným směrem. Špatně letící fotony tedy vymizí skoro úplně. [3]

### 2.1.6 Polopropustné zrcadlo

Jakmile vlna dosáhne určité energetické úrovně, projde skrz polopropustné zrcadlo, a tak vznikne laserový paprsek. Po vyzáření paprsku se atomy vrátí do základního stavu a děj se znovu opakuje. [3]



Obrázek 5 – Obecné schéma laseru [1]

## 2.2 Typy laserů

Ačkoli všechny lasery fungují na principu stimulované emise, rozdělují se podle konstrukce a vlastností. Kritéria pro jejich rozdělení do skupin můžeme volit různá, jako například:

- **Skupenství aktivního prostředí:** pevná látka, kapalina, plyn, polovodič
- **Vlnová délka:** submilimetrové, infračervené, viditelné světlo, ultrafialové, rentgenové
- **Excitace (buzení):** optickým zářením, elektrickým polem, chemickou reakcí
- **Počet energetických hladin:** dvou, tří a vícehladinové



- **Režim práce:** pulzní, kontinuální

Prakticky rozdělení podle skupenství aktivního prostředí zůstává pořád stejné. U ostatních kritérií se s vývojem stále doplňují a mění. [3]

### 2.2.1 Podle skupenství aktivního prostředí

#### **Pevnolátkové lasery**

Pevnolátkové lasery představují významnou část laserových systémů využívaných v různých průmyslových odvětvích a vědeckých aplikacích. Jejich aktivní prostředí je tvořeno krystalickými materiály, které jsou excitovány především opticky. Tyto lasery jsou schopny pracovat v široké škále režimů a pod různými provozními podmínkami, což je činí velmi flexibilními a univerzálně použitelnými. Díky své stabilitě a snadné údržbě jsou pevnolátkové lasery oblíbenou volbou pro mnoho aplikací. [3]

Mezi nejznámější pevnolátkové lasery patří rubínový laser, který je sestaven ze syntetického rubínu. Další široce využívaným typem je Nd:YAG laser, který využívá jako prostředí monokrystal yttrium aluminium granátu (YAG dopovaný atomem neodymu (Nd)). Nd:YAG laser emituje infračervené světlo a najde uplatnění zejména v chirurgii, strojírenství a spektroskopii. [3]

Excitace aktivního prostředí pevnolátkového laseru probíhá opticky buď pomocí laserových diod nebo pomocí výbojek. Zatím co excitace pomocí laserových diod poskytuje vyšší účinnost a kvalitu svazku, excitace pomocí výbojek může vykazovat nižší účinnost a vyžadovat rozsáhlejší chlazení kvůli tepelným ztrátám. [5]

#### **Kapalinové lasery**

Kapalinové lasery využívají jako aktivní prostředí roztoky různých organických barviv. Díky kombinacím těchto barviv a metodám nelineární optiky je možné generovat světlo o širokém spektru vlnových délek viditelného a infračerveného záření. Hlavním využitím těchto laserů je oblast pro analytické účely. Nicméně, kapalinové lasery trpí krátkou životností aktivního prostředí, která je způsobena teplem a světlem, což omezuje jejich použitelnost a vyžaduje pravidelnou údržbu. [3]

#### **Plynové lasery**

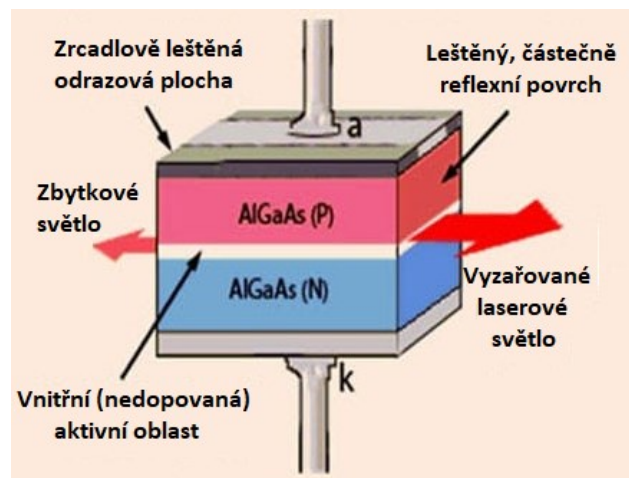
Plynové lasery patří mezi důležité typy laserů využívané v průmyslových a vědeckých aplikacích. Jejich aktivní prostředí je tvořeno atomy, ionty nebo molekulami plynu. Excitace

probíhá obvykle elektrickým výbojem ve zředěném plynu, ačkoli optická excitace se používá výjimečně. Plynové lasery jsou známé svými vynikajícími parametry díky homogennímu prostředí, ale jejich výkon bývá obvykle menší.

Mezi nejznámější plynové lasery patří helium-neonový laser, který září červeně a zeleně a nachází uplatnění zejména ve vědě a vojenském průmyslu. V průmyslu a medicíně je často využíván CO<sub>2</sub> laser, který emituje infračervené záření. Dalšími typy jsou například argonový laser, poskytující modré nebo zelené světlo. [3], [6]

### Polovodičové lasery

Polovodičové lasery představují aktuálně nejčastěji využívaný typ laserů. Jejich jádrem je laserová dioda, která se vyznačuje extrémně malými rozměry. Tato kompaktnost představuje výhodu, ovšem její větší divergence oproti jiným typům laserů může být vnímána jako nevýhoda. Účinnost laserové diody může dosahovat až 50 % a její výkon je snadno regulovatelný změnou elektrického proudu. Díky těmto charakteristikám nachází laserové diody své uplatnění zejména v oblasti výpočetní techniky. [3]



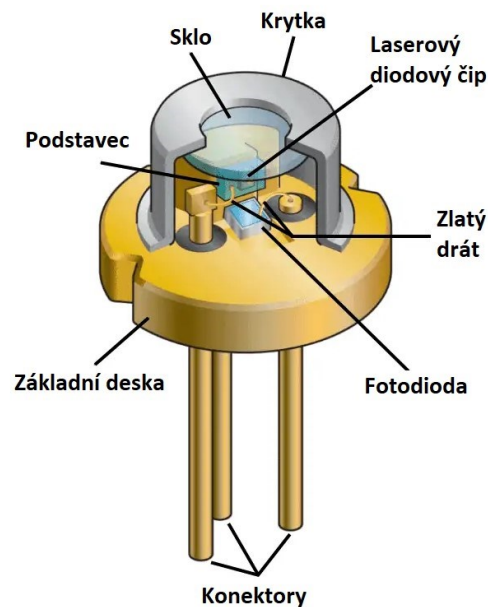
Obrázek 6 – Struktura laserové diody [8]

Laserová dioda se skládá ze tří polovodičových vrstev typu P, typu N a vnitřní vrstva je tvořena PIN strukturou.

Jako polovodičový materiál se používá arsenid galia GaAs s přidávkem trojmocných a pětimocných příměsí, jako je selen a hliník, vytvářející polovodič typu P a N. Vnitřní vrstva je nedopovaná čistá vrstva arsenidu galia GaAs.

Aktivní vrstvou polovodičového laseru je vnitřní PIN vrstva, která je umístěna mezi vrstvami typu P a typu N. Ve vnitřní vrstvě vzniká světlo. Vnitřní vrstva zvětšuje šířku přechodu PN

a tím zajišťuje větší počet rekombinací elektronů s dírami a také zvyšuje generaci fotonů. Aktivní oblast je obklopena částečně odrazivým materiálem, který sbírá a směřuje fotony jedním směrem. [8]



Obrázek 7 – Laserová dioda v pouzdře [9]

Laserová dioda je umístěna v konstrukci kovového pouzdra. Konstrukce má celkem tři vývody, dva z nich vedou na anodu a katodu. Třetí vývod je připojen na fotodiodu, která snímá intenzitu světla vycházející leštěným zadním koncem. Pro řízení intenzity laseru je nutná externí elektronika využívající zpětnou vazbu z fotodiody. Další částí konstrukce je čočka, která soustředí vysoce výkonný paprsek do jediného bodu. [9]

### 3 TECHNOLOGIE LASEROVÉHO ZNAČENÍ

Laserové značení je technologie sloužící k vytváření neodstranitelného grafického či jiného motivu na povrchu označeného předmětu. Tento motiv vzniká tepelným působením laserového paprsku, který odstraňuje vrstvu materiálu určité tloušťky nebo jej povrchově kalí a tím je vytvořen vizuální efekt. Tento efekt lze navíc změnami parametrů paprsku měnit. Tato technologie laserového značení se vyznačuje vlastnostmi, které ji kvalitativně odlišují od dosud používaných metod (např. sítotisk, mechanické ražení), a které řeší nevýhody těchto tradičních technologií. [10]

Laserové značení představuje vizuální modifikaci povrchu materiálu. Klíčovou charakteristikou pro značení je jeho schopnost absorbovat laserový paprsek. Optimalizace absorpce paprsku lze dosáhnout úpravou vlnové délky použitého laseru. Pokud je paprsek odražen od povrchu materiálu nebo je předmět průhledný pro danou vlnovou délku, stává se označování materiálu obtížným. Pro dosažení optimálního označení je nezbytné, aby laserový paprsek byl absorbován materiálem v několika mikronech, což umožní vytvoření jedinečného označení. [11]

#### 3.1 Vlastnosti materiálů

Gravírovací stroje umožňují vytvářet předměty pomocí laserového řezání a značení různých materiálů, včetně dřeva a dalších. Různé typy laserových strojů jsou vhodné pro různé materiály, a je důležité vybrat stroj kompatibilní s použitým materiálem. Některé materiály mohou reagovat na laser různě, mohou například uvolňovat toxické výpary, a proto je důležité vybírat vhodné materiály pro řezání laserem. [16]

##### **Dřevo**

Dřevo je jedním z nejpoužívanějších materiálů pro laserové značení. Lze ho řezat a gravírovat v různých tloušťkách a tvarech v závislosti na výkonu a rychlosti laseru. Avšak dřevo je hořlavý materiál a může způsobit nečekané spáleniny. [16]

##### **Plast**

Plast, jako akrylát nebo plexisklo, je běžným materiálem pro laserové řezání a gravírování. Laser vytváří hladké hrany a lesklý povrch, což umožňuje tvorbu uměleckých děl podobných sklu, jako jsou ozdoby, nápisy nebo šperky. Při práci s plastem je důležité zkontrolovat jeho

složení kvůli možné přítomnosti toxických látek, které se při zahřátí laserem mohou uvolňovat. Je dobré vždy větrat při řezání plastů laserem. [16]

### **Kov**

Pro gravírování na kovový materiál je nezbytné použít specifické typy laserů, což může ztížit proces. Aby byla zlepšena absorpce laserového paprsku na lesklém povrchu kovového materiálu, lze aplikovat povlak, který snižuje odrazivost materiálu. [16]

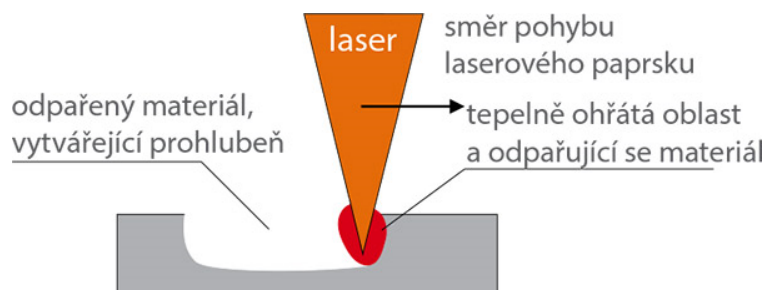
### **Kůže, tkanina**

Kůže a tkanina mají velmi podobné vlastnosti chování při gravírování. Laserové gravírování do těchto materiálů lze považovat za formu digitální výšivky. [16]

## **3.2 Procesy laserového značení**

### **Gravírování**

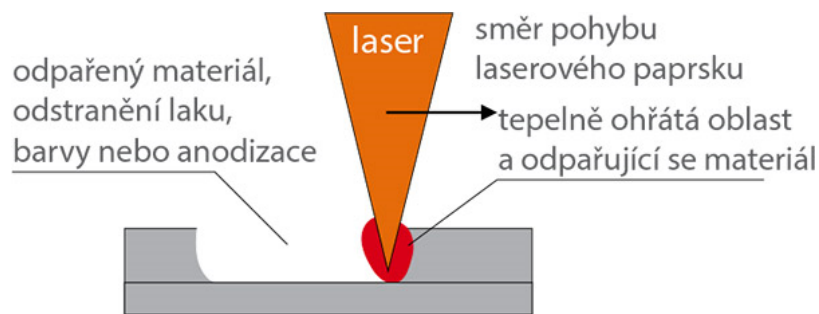
U gravírování se povrch materiálu vlivem laserového paprsku roztaví a odpaří. Tento způsob vytvoří velmi trvanlivé značení a lze jej použít téměř u všech materiálů. [11], [12], [13]



Obrázek 8 – Gravírování materiálu laserem [11]

### **Odstraňování povlaku materiálu**

Laser je absorbován povrchem materiálu a barva na jeho povrchu je odpařena a provede kontrastní značení na materiálu. Při tomto procesu odstraní laserový paprsek částečně nebo úplně horní vrstvy nanesené na substrátu. Výsledný kontrast vznikne v důsledku různých barev vrchní vrstvy a podkladu. [11], [12]

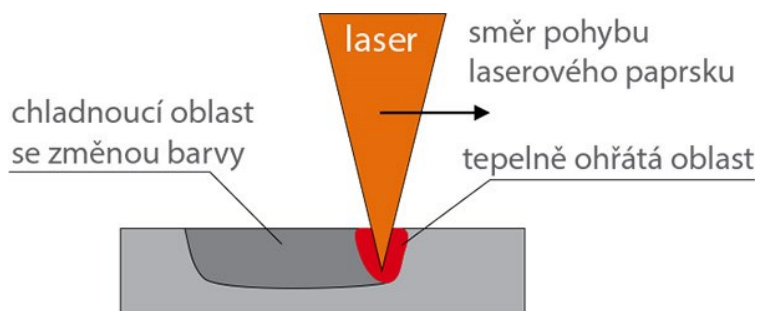


Obrázek 9 – Odstraňování povlaku laserem [11]

### Termodynamický proces

Při barvení materiálu laserem dochází k chemické reakci způsobené teplem generovaným laserovým paprskem. Tato reakce vytváří různé barevné odstíny v závislosti na složení materiálu. Například u světlého plastového materiálu mohou částičky sazí vytvářet výrazné tmavé označení. [11], [12]

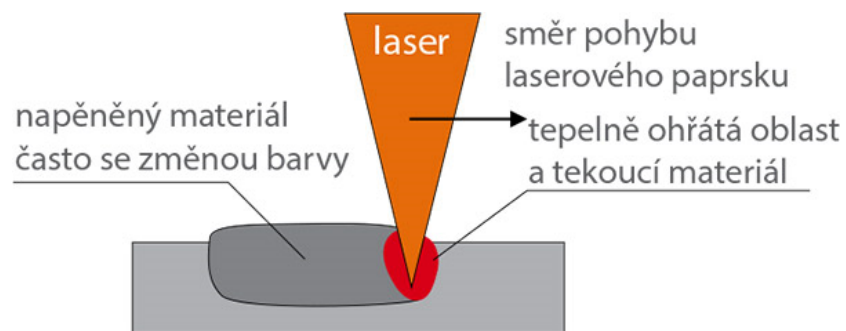
Laser modifikuje povrch materiálu svými tepelnými vlastnostmi, čímž mění nebo přerušuje molekulové vazby. Výsledná změna materiálu obvykle vede k odlišné barvě, aniž by došlo k odpaření materiálu. Například na černém plastu může vzniknout šedé písmo. Tento proces umožňuje přímé značení na plastech, při kterém se mění barva povrchu. [11], [12]



Obrázek 10 – Termodynamický proces [11]

## Pěnění

Během procesu pěnění laser taví materiál a vytváří plynové bubliny, které rozptylují světlo. Výsledkem je změna barvy označeného místa. Materiál začne pění díky lokálnímu zahřátí a uvolňování plynu. Například černý plast se změní na bílý a pěna se vytvoří nad povrchem plastu. Bublínky plynu zachycené v rozteklém plastu vytvářejí napěnění materiálu, které mění lom světla a barvu povrchu. [11], [12]



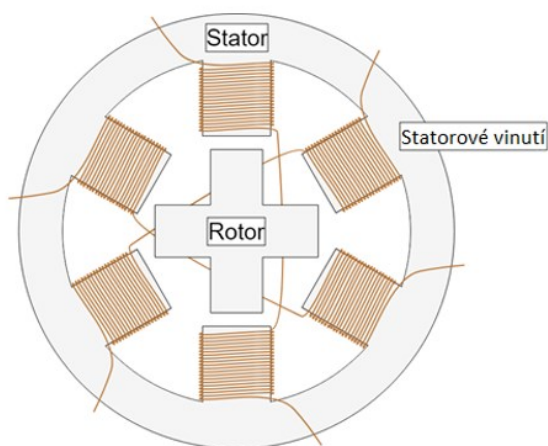
Obrázek 11 – Pěnění materiálu laserem [11]

## 4 KROKOVÉ MOTORY

Krokové motory představují specifický typ bezkartáčového synchronního stejnosměrného motoru, který se odlišuje tím, že otáčky jsou rozděleny na pevný počet kroků. Každý krok odpovídá určitému úhlu rotace, což umožňuje přesné polohování. Tento princip je založen na segmentovaném zmagetovaném rotoru a statoru s elektromagnetickými cívkami. Krokové motory nalézají uplatnění tam, kde je klíčová přesná kontrola polohy, a kde nízké náklady na provoz a jednoduchost provozu představují výhodu. [15]

### 4.1 Princip krokového motoru

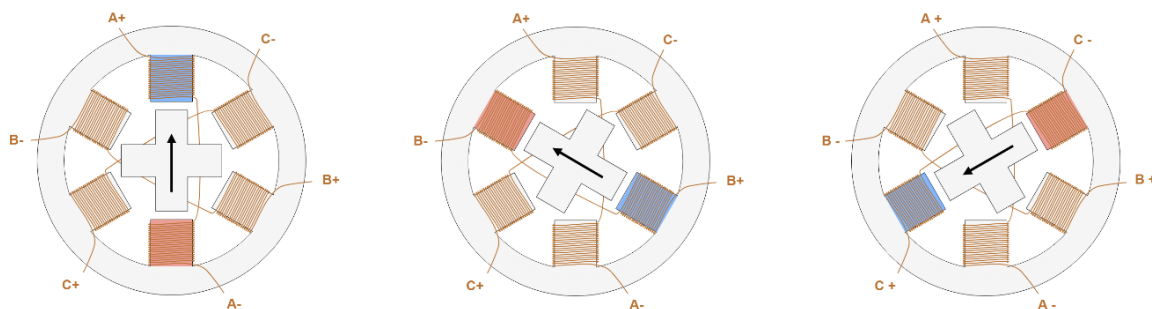
Krokové motory, stejně jako ostatní typy elektromotorů, se skládají ze stacionární části (statoru) a pohyblivé části (rotoru). Stator je vybaven zuby, na které jsou připojeny cívky, zatímco rotor může být buď permanentní magnet, nebo obsahovat železné jádro s proměnnou reluktancí. Princip funkce krokového motoru spočívá v tom, že napájením jedné nebo více fází statoru proudem vytvoří cívky magnetické pole, které rotor následuje. Postupným přepínáním různých fází lze otáčet rotorem o pevný úhel, což umožňuje dosažení požadované konečné polohy. V diagramu průřezu motoru, zobrazeném na obrázku 12, je rotor reprezentován železným jádrem s proměnnou reluktancí. [15]



Obrázek 12 – Průřez krokového motoru [15]

Na obrázku 13 je demonstrován princip fungování krokového motoru. Po zapnutí napájení cívky A se rotor vyrovná s magnetickým polem, které vytváří. Při aktivaci cívky B se rotor otočí o  $60^\circ$  ve směru hodinových ručiček, aby se zarovnal s novým magnetickým polem. Tento proces se opakuje i při aktivaci cívky C. Barevné značení statorových zubů na obrázcích signalizuje směr magnetického pole generovaného statorovými vinutím. [15]





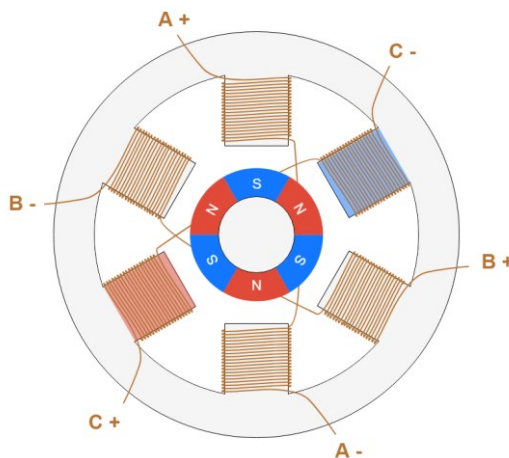
Obrázek 13 – Kroky krokového motoru [15]

## 4.2 Typy krokových motorů

Existuje mnoho typů krokových motorů, jejichž výkon a chování jsou určovány konstrukčními detaily, včetně konfigurace rotoru a statoru. Tyto detaily nejen ovlivňují rozlišení, rychlost a točivý moment motoru, ale také způsob řízení. Kritériem pro klasifikaci typů krokových motorů je způsob jejich konstrukce a počet fází potřebných pro napájení cívek. Každý typ se odlišuje rozlišením a dosahovaným točivým momentem, což reflektuje různé cílové aplikace a požadavky na výkon. [15]

### Krokový motor s trvalým magnetem

Rotor krokového motoru je permanentní magnet, který je orientován na magnetické pole generované statorovým obvodem. Tato konstrukce zajistí vysoký točivý moment a detenční moment, což umožní motoru odolávat změnám polohy i při absenci napětí v cívce, avšak s menší rychlostí a rozlišením ve srovnání s jinými typy motorů. [15]



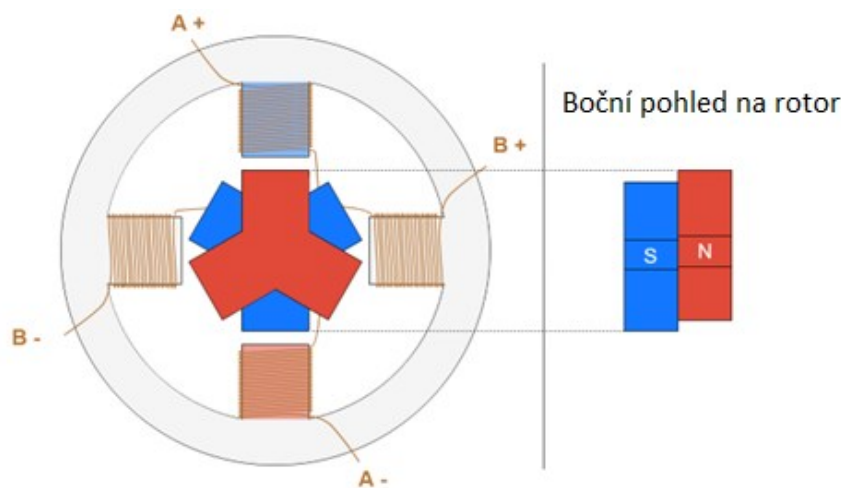
Obrázek 14 – Průřez krokového motoru s pevným magnetickým polem [15]

### Krokový motor s proměnlivou reluktancí

Rotor je vyroben ze železného jádra a má specifický tvar, který mu umožňuje vyrovnat se s magnetickým polem. Při tomto řešení je dosažení vyšších otáček a rozlišení snazší, avšak točivý moment, který vyvíjí, je často nižší a nenabízí žádný detenční moment. [15]

### Hybridní krokový motor

Tento typ rotoru v sobě kombinuje prvky obou konstrukčních variant, tj. s permanentními magnety i s proměnnou reluktancí. Rotor je konstruován se dvěma čepičkami, které mají střídavé zuby a jsou axiálně namagnetizovány. Tato specifická konfigurace umožňuje motoru využívat výhod obou variant, konkrétně dosahovat vysokého rozlišení, rychlosti a točivého momentu. Avšak tato vyšší úroveň výkonu vyžaduje složitější konstrukci, a tudíž i vyšší náklady. Obrázek 15 ukazuje zjednodušený příklad konstrukce tohoto motoru. Když je aktivována cívka A, zub s N-magnetem na jedné čepičce se zarovná s odpovídajícím zubem statoru s S-magnetem. Současně díky konstrukci rotoru dojde k zarovnání zubu S-magnetizované čepičky se zubem N-magnetizované čepičky statoru. Skutečné motory jsou samozřejmě složitější, s větším množstvím zubů, než je znázorněno na obrázku, avšak princip činnosti krokového motoru zůstává stejný. Vysoký počet zubů umožňuje motoru dosahovat extrémně malých kroků, až o velikosti  $0,9^\circ$ . [15]

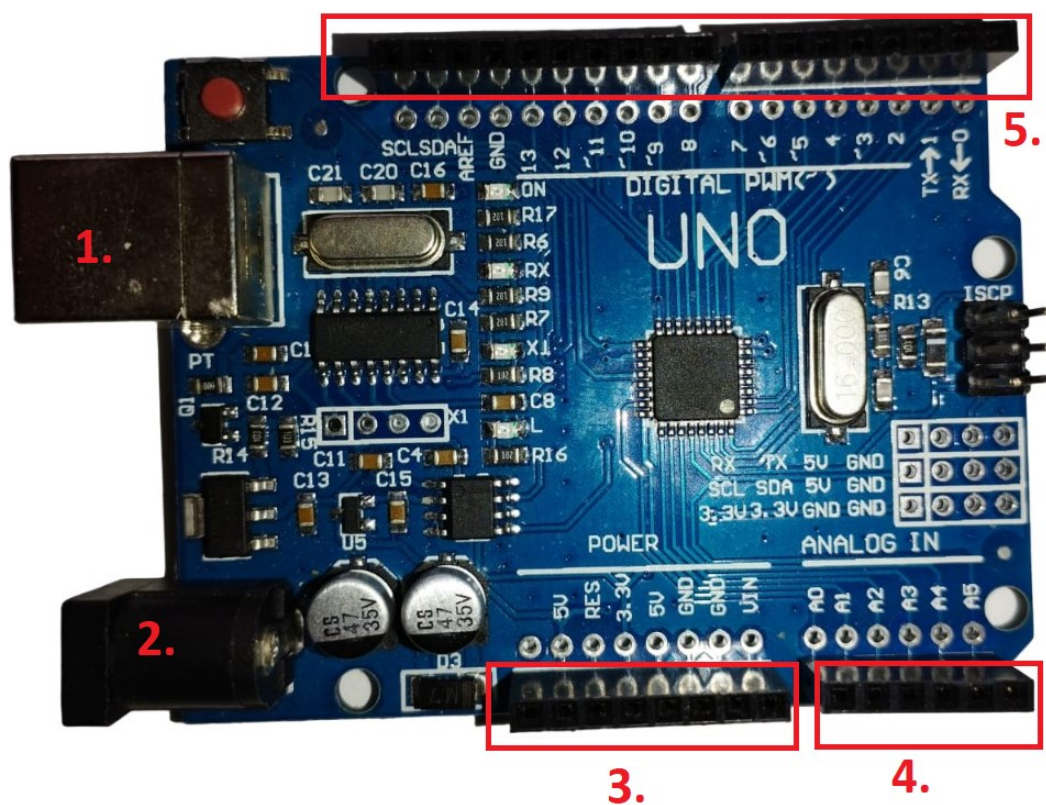


Obrázek 15 – Průřez hybridního krokového motoru [15]

## 5 MIKROPOČÍTAČOVÁ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

### 5.1 Arduino UNO

Arduino je open-source platforma pro elektroniku, spojující snadno použitelný hardware a software. Deska je založená na mikrokontroléru ATmega328P, který disponuje 14-ti digitálními vstupně/výstupními piny, z nichž 6 lze využít k výstupu PWM signálu, dále je vybaven 6-ti analogovými vstupy. Pro snadné programování stačí připojit desku do počítače skrz USB konektor. Napájet jednotku lze přímo přes USB konektor, nebo také pomocí napájecího portu. Díky stabilizátoru se na napájecí konektor může připojit napětí v rozmezí 7-12 V. [17]

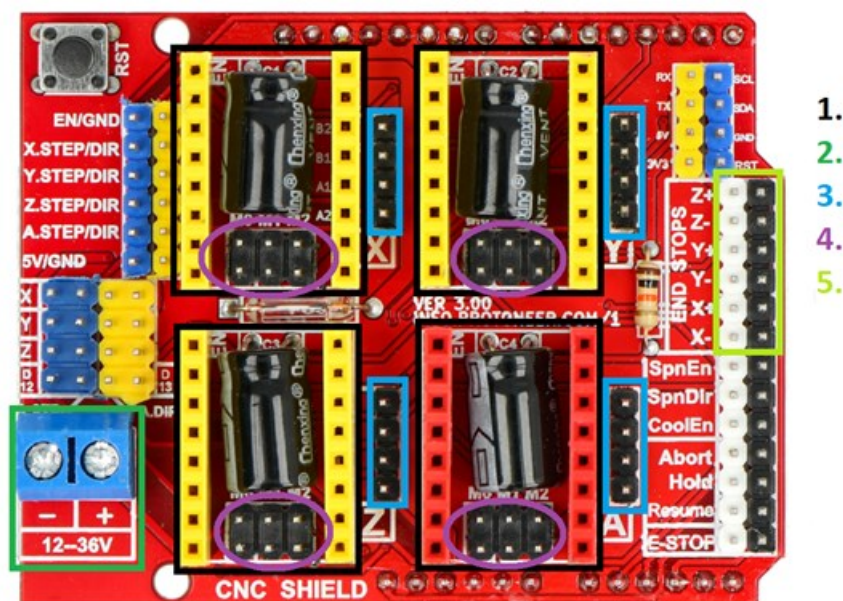


Obrázek 16 – Arduino UNO (foto Heinz)

1. USB port (Programovací a napájecí port)
2. Napájecí konektor (7-12 V)
3. Napájecí piny (RES, VIN, GND, 3,3 V, 5 V)
4. Analogové vstupní piny (A0-A5)
5. Digitální vstupy/výstupy (D2-D13)

## 5.2 CNC Shield

CNC Shield je open-source hardware používaný k řízení krokových motorů, který je schopen ovládat 4 krokové motory najednou. Umožňuje snadné propojení s motory skrz 4 pinový konektor. S napájením 12–36 V je ideální pro široké spektrum aplikací, jako je 3D tiskárna a CNC stroje. CNC shield je schopen řídit krokové motory s velkou přesností a rychlostí. [20]

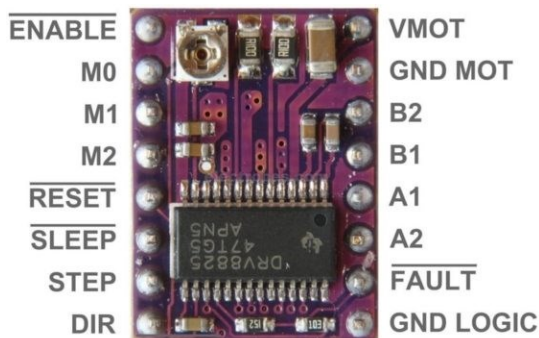


Obrázek 17 – CNC Shield [20]

1. Čtyři patice pro drivery (ovladače) krokových motorů
2. Napájecí svorkovnice pro 12-36 V
3. Výstupní pinová pole pro připojení krokových motorů
4. Čtyři sloty pro mikrokrokování
5. Vstupní pinové pole pro koncové spínače

### 5.3 Modul DRV8825

Kontrolér DRV8825 slouží pro snadné ovládání krokových motorů. Je vybaven nastavitelným omezením proudu, nadteplotní ochranou a šesti možnostmi rozlišení mikrokroků. Pracuje s napětím 8,2-45 V. A do každé cívky v motoru dokáže dodat až 2,5 A. [18]



Obrázek 18 – Zapojení pinů ovladače DRV825 [18]

#### Napájecí piny

VMOT a GND MOT jsou napájecí piny pro motor. Na tyto piny lze připojit napětí mezi 8,2 V a 45 V. Modul nemá samostatný napájecí pin pro logiku, protože DRV8825 využívá napájení motoru a vnitřního regulátoru napětí 3V3. Je vhodné však propojit zem mikrokontroleru s vývodem GND LOGIC. [18], [19]

#### Mikrokrokování

Kontrolér DRV8825 disponuje třemi vstupy pro nastavení rozlišení, které jsou označeny jako M0, M1 a M2. Nastavením správných logických úrovní na těchto vstupech je možné nastavit motory na jedno ze šesti možných krokových rozlišení. [18], [19]

Tabulka 1 – Nastavení mikrokrokování [18]

M0	M1	M2	Nastavení
LOW	LOW	LOW	Celý krok
HIGH	LOW	LOW	$1/2$ kroku
LOW	HIGH	LOW	$1/4$ kroku
HIGH	HIGH	LOW	$1/8$ kroku
LOW	LOW	HIGH	$1/16$ kroku
HIGH	LOW	HIGH	$1/32$ kroku
LOW	HIGH	HIGH	$1/32$ kroku
HIGH	HIGH	HIGH	$1/32$ kroku

### **Ovládací piny**

Vstupní piny STEP a DIR slouží k řízení krokového motoru. Vstup STEP řídí kroky motoru. Reaguje na HIGH impulsy. Motor se pootočí o tolik kroků, kolik HIGH impulsů zaznamená. Vstup DIR řídí směr otáčení motoru. Pokud je na něm logická hodnota HIGH, motor se otáčí ve směru hodinových ručiček, když je LOW, otáčí se proti směru hodinových ručiček. [18], [19]

### **Piny pro řízení stavů napájení**

Piny ENABLE, RESET, a SLEEP slouží pro řízení stavů napájení. Všechny tři piny se aktivují přivedením logické hodnoty LOW. Pin ENABLE slouží pro zapnutí kontroléru. Ve výchozím zapojení je pin nastaven na hodnotu LOW. Pokud přivedeme na pin SLEEP LOW, kontrolér se přepne do režimu spánku, čímž se minimalizuje spotřeba zařízení. Pin RESET slouží k inicializaci interní řídicí logiky. Během resetu jsou výstupy H-můstků deaktivovány. [18], [19]

### **Výstupní piny**

Modul má k dispozici 4 výstupní piny označené jako B2, B1, A2 a A1. Tyto vývody jsou určeny k připojení libovolného bipolárního krokového motoru s napětím od 8,2 V do 45 V. Každý výstupní pin modulu má schopnost dodat motoru proud až 2,2 A. [18], [19]

### **Chybový pin**

Výstupní pin FAULT se nastaví na hodnotu LOW vždy, když jsou H-můstky FET vypnuty z důvodu aktivace nadproudové ochrany nebo tepelného vypnutí. Vývod FAULT je propojen s pinem SLEEP. Když je výstup FAULT LOW, celý čip je vypnut, a zůstane vypnut, dokud není buď RESETován, nebo dokud není odebráno a znovu přivedeno napětí motoru VMOT. [18], [19]

### **Chlazení**

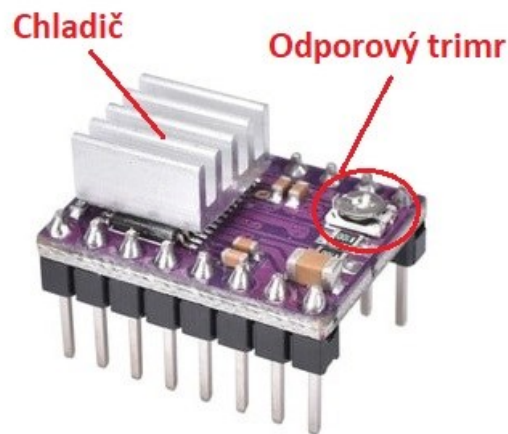
Výkonové ztráty v H-můstcích mohou způsobit přehřátí integrovaného obvodu. Pro zamezení přehřívání obvodu, je doporučen maximální pracovní proud o velikosti 1.5 A bez chladiče a 2,5 A s použitím přídavného chladiče. [18], [19]

### **Nastavení mezního proudu**

Pro nastavení proudového omezení cívkami motoru slouží odporový trimr osazený na desce kontroléru.

Z rovnice (1) se může vypočítat hodnota napětí mezi GND a běžcem trimru ( $U_{ref}$ ), která musí být poloviční oproti proudu, na který je motor dimenzován (*omezení proudu*). Pokud je krokový motor dimenzován na 0,35 A,  $U_{ref}$  musí být nastaveno na 0,17 V. [18], [19]

$$U_{ref} = \frac{\text{omezení proudu}}{2} \quad (1)$$



Obrázek 19 – DRV825 [18]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

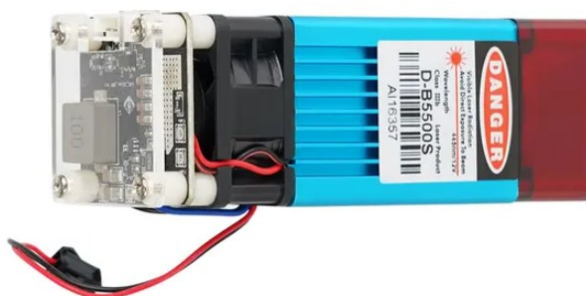


## 6 ELEKTRONICKÉ KOMPONENTY

Hlavní podmínku, kterou musí gravírovací stroj splňovat je řezat a gravírovat do nekovových materiálů. Pro tento parametr musí být výkon laserového paprsku v rozmezí 5-10 W. Poté se od velikosti a nákladů na pohyb laseru po ose x a y odvíjel výběr krokových motorů. Po vypočítání spotřeby energie byl také vybrán vhodný zdroj napětí, který dokáže dodat energii do laseru a k pohonu krokových motorů.

### 6.1 Laser

Jako zdroj laserového paprsku byl vybrán diodový laser o výkonu 5,5 W. Tímto výkonem dokáže gravírovat a řezat do nekovových materiálů, jako je dřevo, plast. Dalším výhodným parametrem vybraného laseru je 12 V napájení a jednoduché ovládání intenzity paprsku pomocí PWM signálu. Při maximální intenzitě laser odebírá až 3,5 A. Jako další parametr je jeho vlnová délka  $450\pm 5$  nm, díky které má paprsek modrou barvu. Všechny parametry laserového paprsku jsou uvedeny v tabulce 2.



Obrázek 20 – Diodový laser TTS-55 [21]

Tabulka 2 - Parametry laseru

Parametr	Hodnota
Model	TTS
Rozměr	40x40x100 mm
Napájecí napětí	12 V
Maximální proud	3,5 A
Příkon	40 W
Světelný výkon paprsku	5500 mW
Vlnová délka	$450\pm 5$ nm
Zaostřená vzdálenost	23 mm

## 6.2 Krokový motor

Pro pohon po ose x a ose y byly zvoleny dva krokové motory typu Nema 17. Označení Nema 17 je standardizované a označuje rozměry pouzdra krokového motoru. Konkrétně číslice 17 indikuje rozměr příruby, který činí 1,7 palce (42 mm). Tato standardizace umožňuje snadné a kompatibilní použití těchto motorů v různých aplikacích. Jednou z hlavních výhod těchto motorů je jejich schopnost poskytovat přesné a rychlé otáčky, což je zásadní pro aplikace, jako je pohyb os x a y v zařízeních jako jsou 3D tiskárny nebo CNC stroje. Všechny parametry krokového motoru jsou uvedeny v tabulce 3.



Obrázek 21 - Krokový motor Nemo 17 [21]

Tabulka 3 - Parametry krokového motoru

Parametr	Hodnota
Model	42SHDC1088Z-15B
Rozměr	42,2x42,2x34,5 mm
Jmenovitý proud	1,5 A
Krok	1,8°±0,09°
Statický moment	≥340 mN.m

### 6.3 Napájecí zdroj

Protože na svorkách CNC Shieldu může být 12-36 V a na svorkách laseru musí být 12 V, byl vybrán spínaný zdroj elektrické energie o napětí 12 V a proudu 5 A. Zdroj dodává gravírovacímu stroji dostatečný výkon na provoz.



Obrázek 22 – Zdroj napětí (foto Heinz)

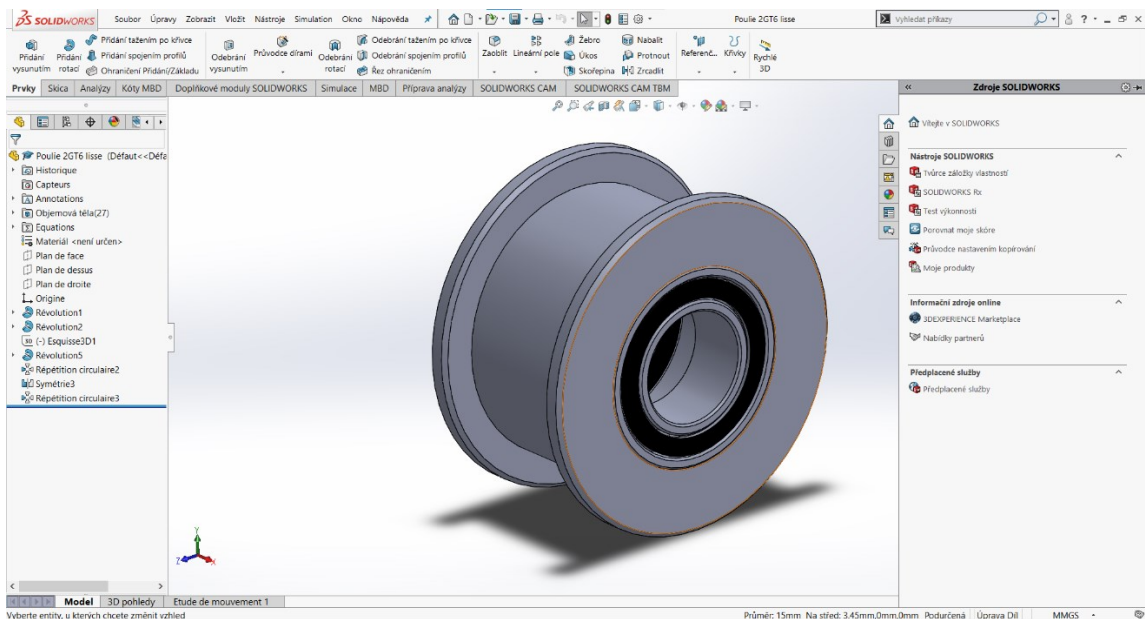
## 7 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Před samotnou fyzickou realizací gravírovacího stroje byl nejprve proveden důkladný hardwarový návrh jeho konstrukce pomocí programu Solidworks. Tento proces zahrnoval vytvoření modelu gravírovacího stroje tak, aby bylo dosaženo optimálního designu a funkčnosti. Tento návrh je důležitým krokem pro minimalizaci potenciálních problémů a zároveň umožňuje vytvoření CAD modelů pro díly, které budou vytištěny na 3D tiskárně.

### 7.1 Solidworks

Solidworks je software pro počítačovou podporu navrhování výrobků. Jedná se tedy o tzv. CAD systém (CAD je zkratka anglického termínu Computer Aided Design, který znamená doslova „počítačem podporované konstruování“). [21]

Z hlediska způsobu práce s digitálními daty je SolidWorks parametrickým objemovým a povrchovým modelářem, postaveným na technologii grafického jádra Parasolid, u něhož tvorba modelů vychází z jednotlivých prvků. [21]



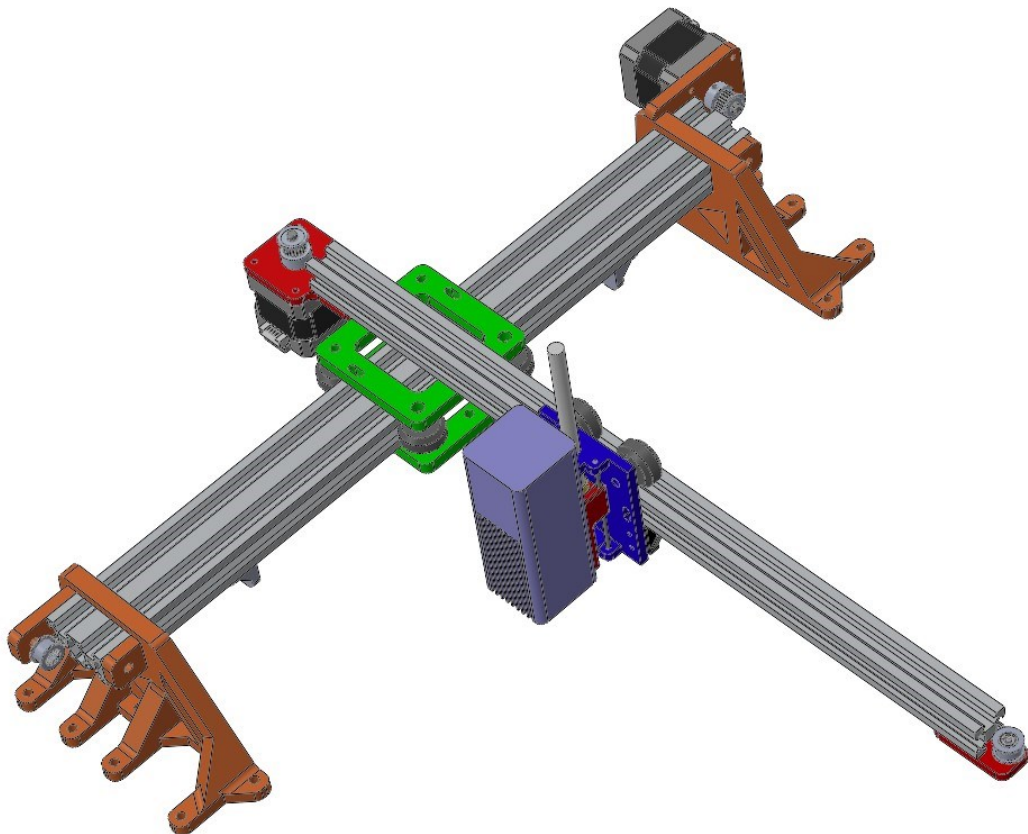
Obrázek 23 – Prostředí CAD programu Solidworks (foto Heinz)

### 7.2 Hardwarový návrh

Samotný hardwarový návrh gravírovacího stroje byl proveden pomocí programu Solidworks. Prvním krokem bylo vytvoření základních dílů, jako je laserová hlava a hliníkové profily, které tvoří strukturální základ stroje. Některé komponenty, jako je například krokový motor, byly volně dostupné na internetu.

Postupně byly tyto díly integrovány do sestavy, přičemž každá komponenta byla pečlivě umístěna a propojena tak, aby vytvořila funkční a stabilní konstrukci gravírovacího stroje.

Na obrázku 24 se nachází kompletní návrh gravírovacího stroje. Tato mechanická konstrukce je koncipována tak, že laser se pohybuje po ose x, která je upevněna k ose y jen na jednom konci. Osa z zde slouží pro zaostření laserového paprsku.



Obrázek 24 – Mechanická konstrukce gravírovacího stroje (foto Heinz)

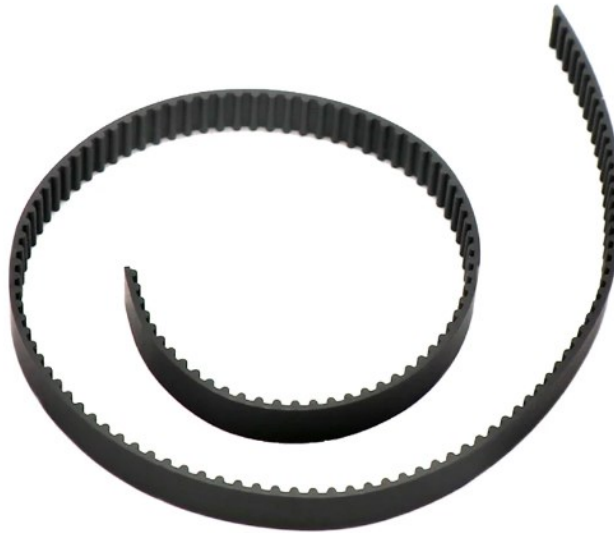
### 7.2.1 Pohyb lineárního vedení

Lineárního vedení osy x a y tvoří hliníkové profily, které na sobě mají zářezky, do kterých zapadají pojezdová kolečka. Ilustrační obrázek takového lineárního vedení je na obrázku 25.

Pohyb lineárního vedení je zprostředkován ozubenými pásy GT2 (viz. Obrázek 26). Výhodou tohoto řemene je jeho rozměrová stabilita při namáhání. Při napínání nedochází ke změnám jeho rozměrů. Rozteč mezi jednotlivými zuby pásu jsou 2 mm a šířka pásu je 6 mm.



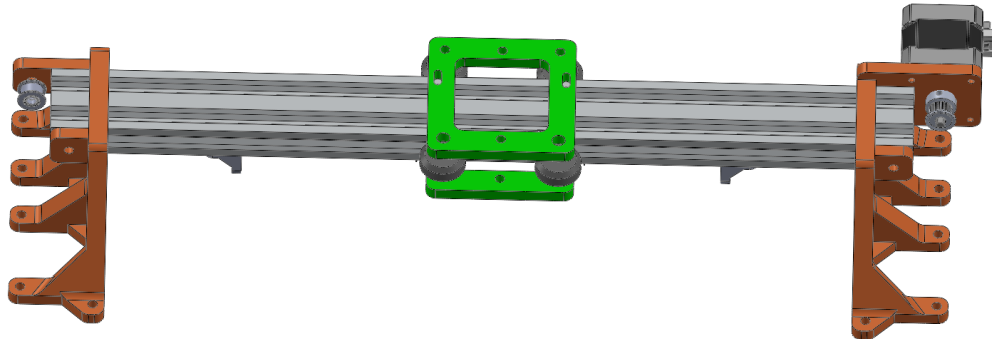
Obrázek 25 – Lineární vedení [20]



Obrázek 26 – Ozubený řemen GT 2 [20]

### 7.2.2 Osa y

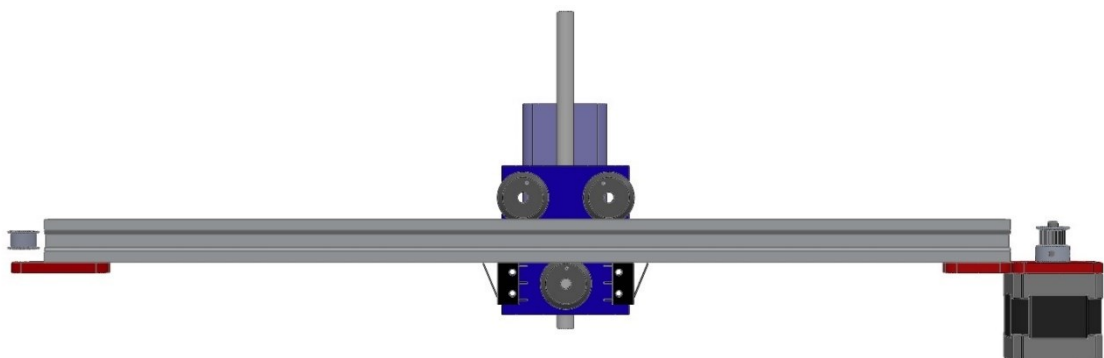
Mechanickou konstrukci osy y lze vidět na obrázku 24. Skládá se z pevného hliníkového profilu 2040 na kterém je pojízdňé lineární vedení. Toto lineární vedení je ze spodní strany vybaveno koncovými spínači. Koncové spínače jsou spínány pomocí připevněných dorazů. Celá osa y a zbytek gravírovacího stroje je ukotven pomocí stabilních noh. Tyto nohy lze pevně připevnit šrouby k podložce. Tím se zvýší stabilita celého stroje. Ozubený řemen, který na obrázku 27 chybí, vede skrz ozubené kolečko na motoru a kolečko na opačné straně. Konce řemenu jsou připevněny k lineárnímu vedení. Pomocí 3D tisku byly vytvořeny kotvící nohy (na obrázku 27 díly obarveny oranžově), lineární vedení (na obrázku 27 díl obarven zeleně).



Obrázek 27 – Mechanické konstrukce osy y (foto Heinz)

### 7.2.3 Osa x

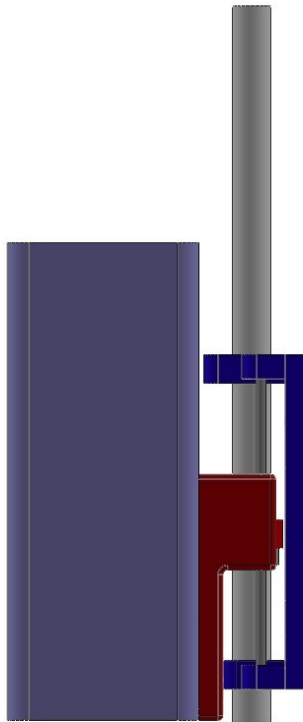
Osa x je tvořena hliníkovým profilem 2020. U strany krokového motoru je osa x připevněna k ose y. Na lineárním vedení osy x se nachází koncové spínače a laserový modul. Ozubený řemen je umístěn stejným principem jako u osy y. Na obrázku 28 je vyobrazena konstrukce osy x. Na 3D tiskárně jsou vytisknuty červeně obarvené díly, které slouží pro držení krokového motoru a otočného kolečka a modře obarvený díl, na kterém je upevněn modul laseru.



Obrázek 28 – Mechanická konstrukce osy x (foto Heinz)

#### 7.2.4 Osa z

Osa z slouží pro zaostření laserového paprsku. Skládá se ze dvou dílů. První díl je připevněn k modulu laseru a druhý díl k lineárnímu vedení osy x. Oba tyto díly se vůči sobě dokáží pohybovat pomocí otočné šroubovice. Na obrázku 29 se nachází konstrukce osy z. Červeně a modře obarvený díl je vytisknut na 3D tiskárně.



Obrázek 29 – Mechanická konstrukce osy z (foto Heinz)

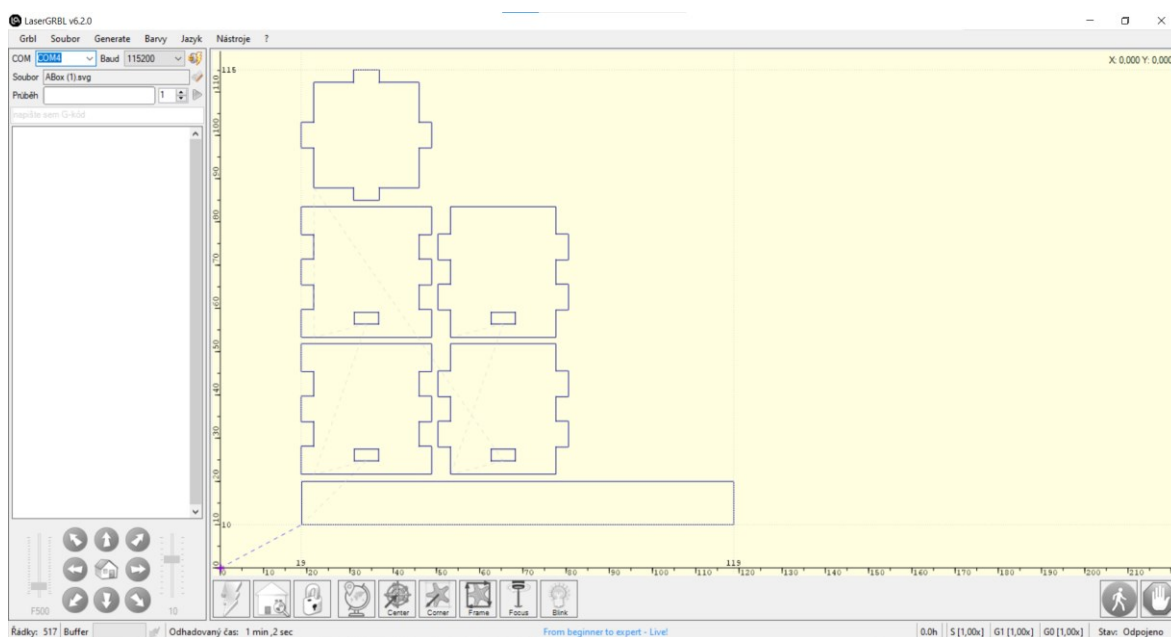


## 8 ŘÍZENÍ GRAVÍROVACÍHO STROJE

K řízení gravírovacího stroje je zapotřebí řídicí jednotky, firmwaru a grafického prostředí. Řídicí jednotkou je mikropočítačová vývojová deska Arduino UNO osazená CNC Shieldem. Do Arduina je nahrán volně dostupný firmware GRBL, který slouží pro řízení CNC strojů. Pomocí grafického programu „LaserGRBL“ bude možno generovat G-kódy interpretující obrázky. G-kód (geometrický kód) poskytuje CNC stroji informace o jeho pohybu v kartézském souřadnicovém systému.

### 8.1 Programové vybavení „Laser GRBL“

Program „LaserGRBL“ je open-source program, který v základní principu dokáže z obrázků vytvořit G-kódy. Tento program je oblíbený díky jeho jednoduchosti a dostupnosti. Na obrázku 30 lze vidět prostředí programu.

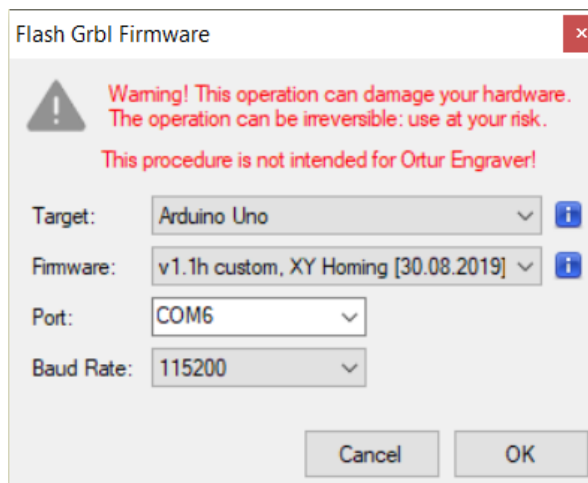


Obrázek 30 - Prostředí LaserGRBL (foto Heinz)

#### 8.1.1 Instalace GRBL programu

Před samotnou prací s gravírovacím strojem je nutné správně nainstalovat firmware GRBL. Aby bylo možné provést instalaci, musí být Arduino propojeno s PC pomocí USB portu. Instalační okno se nachází v záložce „Nástroje“ s názvem „Flash Grbl firmware“. V okně je nutné nastavit do jaké jednotky se bude firmware nahrávat, která verze GRBL firmwaru se nahraje, na kterém portu je připojeno Arduino a jaká přenosová rychlost se bude používat.

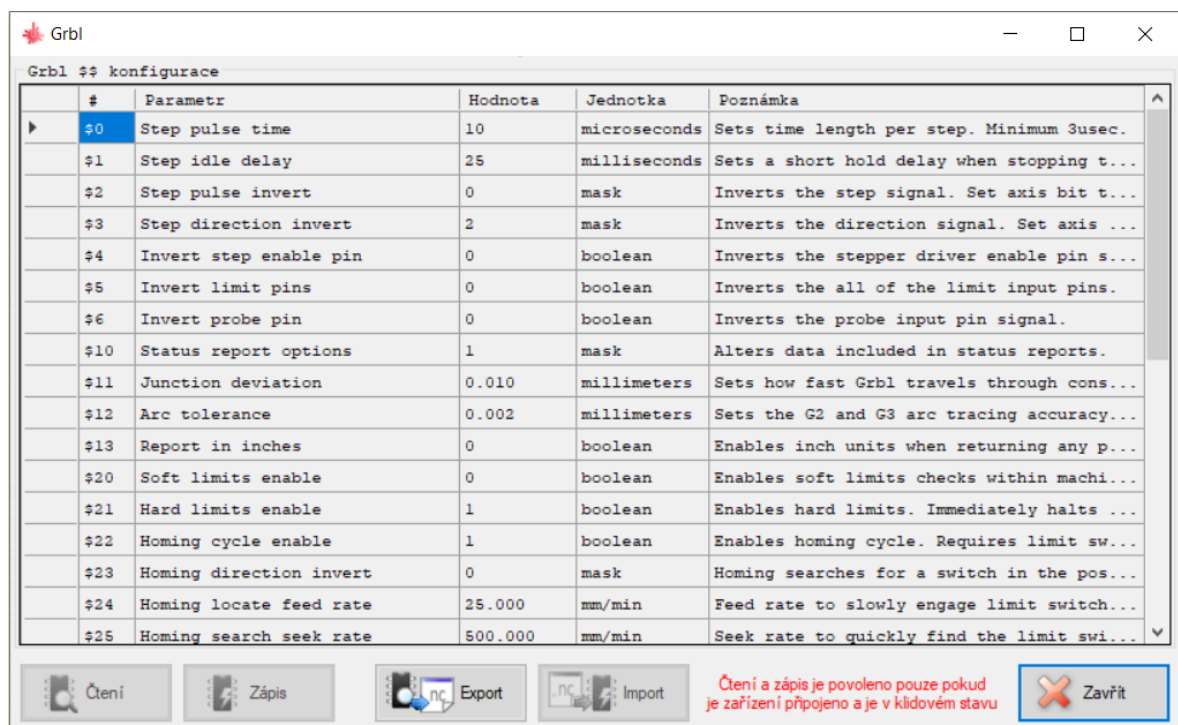
Na obrázku 31 je instalační okno pro jednotku Arduino UNO s firmwarem pro laserový gravírovací stroj.



Obrázek 31 - Okno pro instalaci GRBL firmwaru (foto Heinz)

### 8.1.2 GRBL konfigurace

GRBL konfigurace je potřebná pro správné fungování gravírovacího stroje. Pomocí GRBL konfigurace je možné nastavit důležité parametry. Pro případný zápis konfigurace je nutné mít připojenou jednotku Arduino s nahráním GRBL firmwarem. GRBL konfigurace se nachází v záložce „GRBL“ pod názvem „GRBL konfigurace“ (viz na obrázku 33).



Obrázek 32 – Okno pro konfiguraci GRBL firmwaru (foto Heinz)

**\$0 – Step pulse**

Tento parametr určuje délku krokového impulsu, který je přiveden na driver krokového motoru. Výchozí nastavená hodnota je 10  $\mu$ s. Pokud je čas příliš krátký, kontrolér nemusí impuls zaznamenat. Naopak pokud by byl čas příliš dlouhý, docházelo by k překrývání impulsů. [23]

**\$1 - Step idle delay**

Tento parametr udává dobu, po kterou GRBL zpožďuje vypnutí kontrolérů krokových motorů po dokončení pohybu. Pokud je hodnota nastavena na maximálních 255 ms, kontroléry krokových motorů budou vždy zapnuté a budou si udržovat svou polohu, tím se zabrání případným ztrátám kroků. [23]

**\$2 – Step port invert**

Toto nastavení slouží pro invertování krokových pulzů, tzn., že dokáže invertovat signály které jsou přivedeny na pin STEP kontroléru. V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty pro invertování os x a y. [23]

Tabulka 4 – Nastavení invertování signálu STEP [23]

Nastavená hodnota	Maska	Invertování osy x	Invertování osy y
0	00000000	N	N
1	00000001	Y	N
2	00000010	N	Y
3	00000011	Y	Y

**\$3 – Direction port invert**

Pomocí tohoto parametru se nastavuje směr otáčení krokových motorů, přímo ovlivňuje pin kontroléru DIR. Nastavená hodnota ovlivňuje invertování stejným způsobem, jako je uvedeno v tabulce 4. [23]

**\$4 - Step enable invert**

Tento pin invertuje signál do pinu ENABLE. Tudiž dokáže vypnout (0) nebo zapnout (1) kontrolér. [23]

### **\$5 - Limit pins invert**

Tento parametr určuje logiku koncových spínačů. Koncové spínače mohou být buď spínací nebo rozpínací. [23]

### **\$10 - Status report**

Toto nastavení určuje, jaká data jsou zpětně hlášena v reálném čase do ovládacího programu. Výchozí hodnota je nastavena na 1. Lze však zapnout mnohem rozsáhlejší diagnostiku. Nicméně čím více dat je posíláno, tím může docházet k větší latenci. Proto je v běžném provozu doporučeno používat minimum těchto dat. V tabulce 5 jsou uvedena všechna data. [23]

Tabulka 5 – Nastavení zpětně hlášená data [23]

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Poloha laserové hlavy	1
Pracovní pozice	2
Plánovač vyrovnávací paměti	4
RX vyrovnávací paměť	8
Koncové spínače	16

Při zadání součtu dvou hodnot může dojít k hlášení dvou parametrů zároveň, například hodnota 3 zajistí diagnostiku pracovní pozice a polohy laserové hlavy. [23]

### **\$11 - Junction deviation**

Tento parametr udává brždění motorů. Pokud se dráha nástroje blíží ke změně směru, je potřeba, aby motor začal včas brzdit a tím předešel ztrátě kroků. Obecně platí, že čím větší je nastavená hodnota, tím rychleji bude stroj najíždět do změny směru. Aby nedocházelo ke ztrátě kroků, je dobré tuto hodnotu snížit. [24]

### **\$12 – Arc tolerance**

Toto nastavení definuje, s jakou přesností budou vykreslovány kruhové objekty. Prakticky není možné aby se nástroj pohyboval v kruhu, vždy se bude pohybovat po křivkách. Je snahou mít tuto hodnotu co nejmenší. Čím bude hodnota \$12 menší, tím bude kruhový pohyb přesnější, protože se bude skládat z většího počtu křivek, avšak to povede k vyššímu výpočetnímu zatížení a to může zpomalit proces. [24]

**\$13 - Report inches**

Tento parametr udává, v jakých jednotkách bude mikrokontrolér posílat počítači pozici. Defaultní nastavení je v mm, zadáním hodnoty 1 se nastavení změní na palce. [23]

**\$20 - Soft limits**

Udává zapnutí (1), nebo vypnutí (0) softwarových koncových spínačů. Při zapnutí je důležité mít správně nastaven pracovní prostor. Při vyjetí nástroje mimo tento prostor dojde k zastavení stroje. [24]

**\$21 - Hard limits**

Parametr slouží k předejití havarijního stavu, jako je zabránění pohybu stroje mimo jeho možnosti pohybu. Pro tuto funkci musí stroj mít umístěné koncové spínače. Při každém pohybu GRBL firmware kontroluje, zda není sepnut koncový spínač. K zapnutí se musí zadat 1, a pro vypnutí 0. [24]

**\$22 - Homing cycle**

Při zapnutí (1) tohoto parametru dojde vždy před spuštěním procesu k nastavení referenčního bodu. Referenční bod se hledá pomocí koncových spínačů a to v těch nejvzdálenějších bodech (x+, y+) stroje. Tato funkce může zabránit ztrátě poslední pozice, např. při nečekanému výpadku napájení. [24]

**\$23 - Homing dir invert**

Tato funkce udává, kterým směrem budou osy hledat referenční bod. Defaultně je hledání bodu nastaveno v nejvyšších číslech (x+, y+). Pro inverzi směru hledání bodu, lze použít tabulku 5. [24]

**\$24 - Homing feed, \$25 - Homing seek**

Parametrem \$25 je určena rychlost (mm/min) pro hledání referenčního bodu. Po nález referenčního bodu se stroj pohybuje rychlostí \$24 (mm/min). Rychlost \$24 je pomalejší z důvodu přesnějšího hledání bodu. [23]

**\$26 - Homing debounce**

Definuje prodlevu pro ochranu před zámkity mechanických spínačů. Před ustáleným sepnutím se spínač mnohokrát sepne, proto je důležité určit dostatečně krátkou prodlevu, která eliminuje tyto zámkity [23]

**\$32 - Laser mode**

Tento parametr přepíná mezi prací s vřetenem (0) a laserem (1). [24]

**\$100, \$101 – [X,Y] steps/mm**

Tento parametr udává rozlišení jednotlivých os. Určuje kolik kroků odpovídá vzdálenosti jednoho milimetru. Pro přesný výpočet hodnoty lze využít online kalkulatory. [24]

**\$110, \$111 – [X,Y] Max rate, mm/min**

Určuje maximální rychlost pohybu na jednotlivých osách. [24]

**\$120, \$121 – [X,Y] Acceleration, mm/sec<sup>2</sup>**

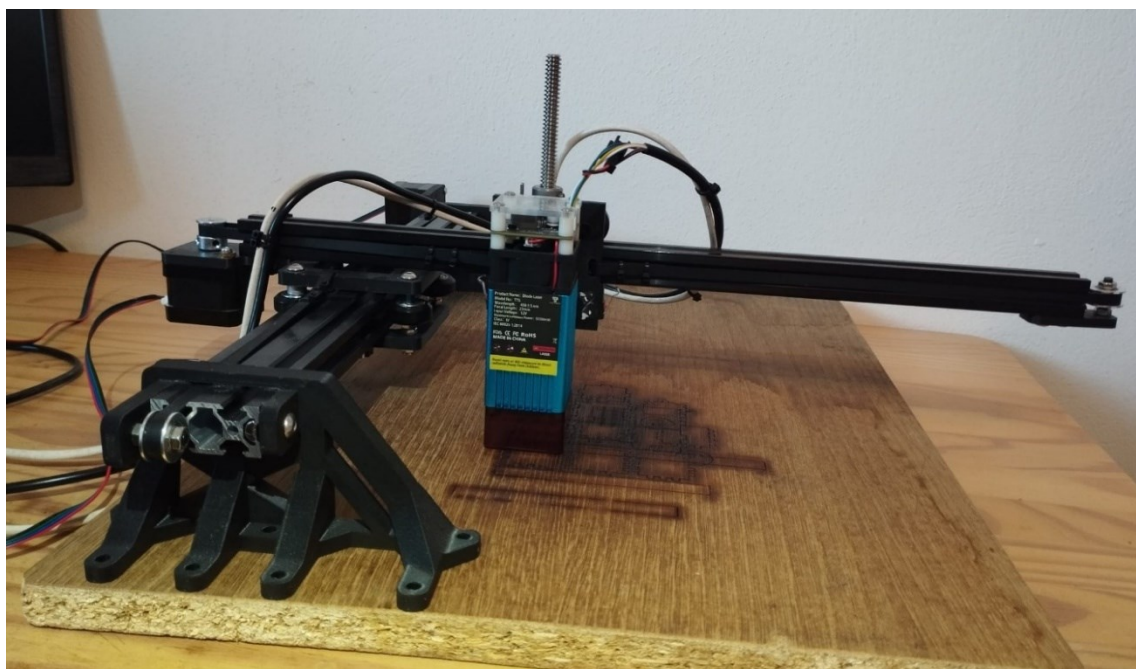
Tento parametr udává zrychlení os. Při nastavení vysoké akcelerace, budou krokové motory ztrácet kroky. Kalibrace se provádí experimentálně. [24]

**\$130, \$131 – [X,Y] Max travel, mm**

Tento parametr definuje velikost pracovní plochy. Pro správnou funkci musí být zapnut parametr \$20. [24]

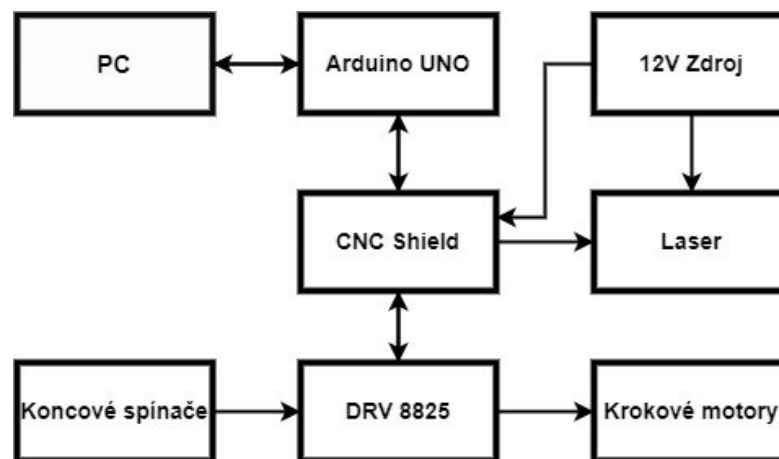
## 9 REALIZACE

Pro sestavení mechanické konstrukce bylo nejprve třeba vytisknout díly na 3D tiskárně. Bylo využito univerzálního materiálu ABS s výbornou tepelnou odolností. Kvůli neznalosti pevnosti materiálu se musel několikrát upravovat návrh tištěných dílů. Po vtištění všech dílů byla sestavena základová spodní osa y. Nejprve bylo na hliníkový profil 2040 připevněno čtyř-kolečkové lineární vedení, poté byl krokový motor s ozubeným kolečkem upevněn na první nohu šrouby. Ke druhé noze bylo upevněno hladké ložiskové kolečko. S využitím T matek byly obě nohy přichyceny k drážkám hliníkového profilu 2040. K pojezdu na ose y byl s využitím T matek kolmo připevněn lehčí hliníkový profil 2020. Na něj bylo uchyceno tří-kolečkové lineární vedení. Využitím dílů vytištěných na 3D tiskárně byl připevněn pomocí šroubů z jedné strany osy x připevněn krokový motor s ozubeným kolečkem a z druhé strany osy x bylo připevněno ložiskové hladké kolečko. Na zadní straně laseru byl připevněn navržený díl, na kterém byla přišroubována matka. Celá tato sestava byla ukotvena k tří-kolečkovému lineárnímu vedení za pomoci dvou železných tyčinek o průměru 2 mm a vodící šroubovice T8. Vodící šroubovice byla zajištěna shora i ze spodu stavěcími kroužky. Koncové spínače byly ukotveny do předem navržených děr zespod čtyř-kolečkového a tří-kolečkového lineárního vedení. Ozubený řemen byl na obou osách upevněn stejným způsobem. Řemen byl natažen mezi ozubené a ložiskové kolečka, konce řemenů byly připevněny k lineárnímu vedení s využitím stahovacích pásků.



Obrázek 33 - Pohled na sestavený gravírovací stroj (foto Heinz)

Po dokončení mechanické konstrukce stroje, byla zapojena elektronika. Zapojení elektroniky gravírovacího stroje je díky CNC Shieldu intuitivní a jednoduché. Jednotlivé vstupy či výstupy jsou nachystány pro zapojení pomocí pinů a svorkovnic. Samotný CNC Shield je položen na mikropočítačové jednotce Arduino UNO, která dostává příkazy od počítače, dále byl Shield osazen dvěma kontroléry krokových motorů, a to pro osu x a y. Na kontrolérech krokových motorů byl nastaven pomocí odporových trimérů proud do cívek krokových motorů. Krokové motory byly připojeny na pinová pole CNC Shieldu. Zároveň koncové spínače byly připojeny na pinové pole CNC Shieldu (x+, x-, y+, y-). Napájení 12 V bylo přivedeno na svorky CNC Shieldu a laseru. Na pinech koncových spínačů osy z (z+, z-) je vyveden PWM signál, který slouží pro řízení intenzity laserového paprsku. Na tyto piny je laser připojen. Kompletní schéma zapojení gravírovacího stroje je na obrázku 34.



Obrázek 34 – Schéma zapojení gravírovacího stroje (foto Heinz)

Poté bylo potřeba uvést do provozu software. Do mikropočítačové jednotky Arduino byl nahrán GRBL firmware. Následovala jeho konfigurace. Byla nastavena maska pro parametr orientování os. Byl zapnut parametr pro aktivaci krokových snímačů. Parametrem \$32 byl zapnut režim dynamického výkonu laseru. Parametr rozlišení os (\$100, \$101) byl vypočítán pomocí online kalkulatoru. V tabulce 6 lze vidět konfigurace GRBL firmwaru, ostatní parametry zůstaly v defaultním nastavení.

Tabulka 6 – Nastavená konfigurace GRBL firmwaru

#	Parametr	Hodnota	Jednotka
\$3	Step direction invert	2	mask
\$21	Hard limits enable	1	boolean
\$32	Laser-mode enable	1	boolean
\$100	X-axis travel resolution	162.325	step/mm
\$101	Y-axis travel resolution	154.250	step/mm

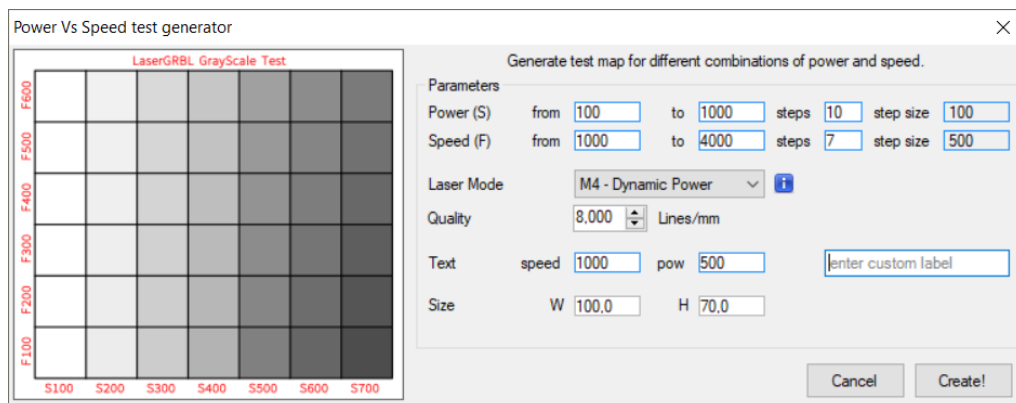


## 10 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

Tato kapitola je zaměřena na ověření funkčnosti. Gravírovací stroj byl odzkoušen pro funkci gravírování a řezání.

### 10.1 Gravírování

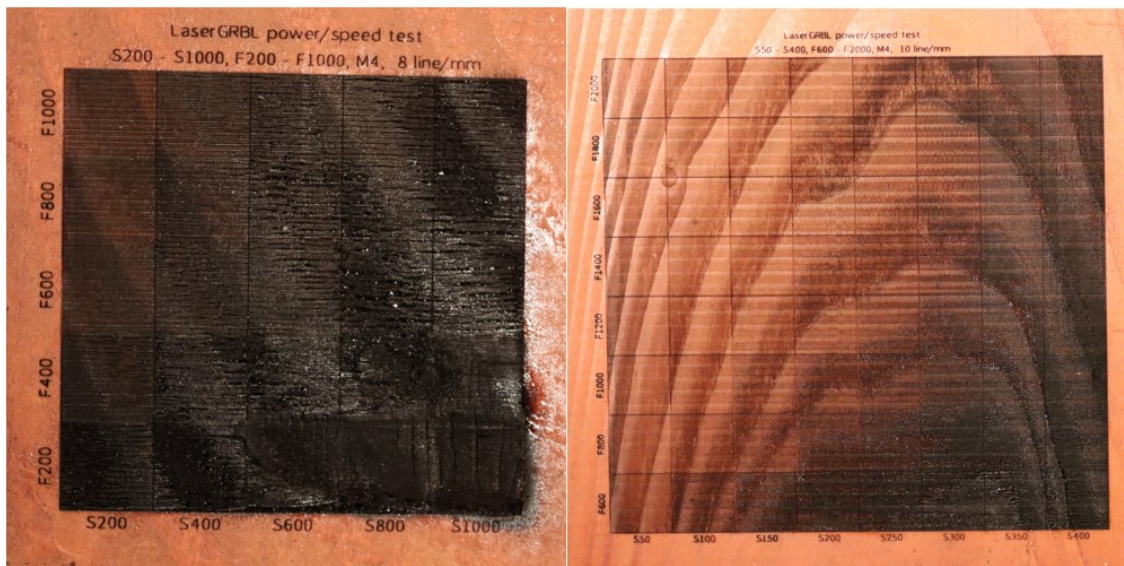
Před samotným gravírováním nelze opomenout důležitost otestování rychlosti a výkonu. Rychlost se týká rychlosti pohybu laseru po povrchu materiálu, zatímco výkon představuje intenzitu laseru. Správné nastavení rychlosti a výkonu zajišťuje hloubku, čistotu a účinnost gravírování. Test výkonu a rychlosti lze provést pomocí programu „LaserGRBL“ v záložce „Generate“ pod názvem „Power vs Speed test“. Na obrázku 35 je okno, ve kterém se nastavují rozsahy parametrů pro testování výkonu a rychlosti pohybu laseru.



Obrázek 35 – Okno pro nastavení parametrů na test výkonu a rychlosti (foto Heinz)

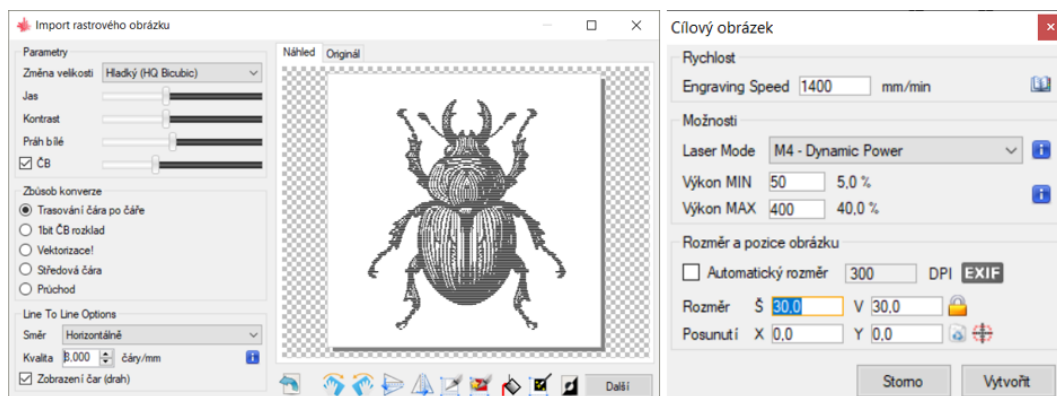
Na obrázku 36 lze na levé části vidět test rychlosti v širokém rozsahu na modřínové desce. Rozsah rychlosti byl od 200-1000 mm/min a rozsah síly byl 20-100%. Z obrázku 36 je patrné, že při nízké rychlosti a vysokém výkonu povrch desky příliš zuhelnatěl. Naopak při rychlosti 800-1000 mm/min a výkonu 20-40 % je gravírování nejkvalitnější.

Druhý test, viditelný na pravé části obrázku 36, byl proveden v detailnějším rozsahu. Rozsah rychlosti byl 600-2000 mm/min a rozsah výkonu 5-40 %. Oproti prvnímu testu bylo zvýšeno rozlišení gravírování z 8 čar/mm na 10 čar/mm. Z výsledného testování lze zjistit maximální možnou rychlost pohybu laseru, která je 1400 mm/min, protože při vyšších rychlostech se odstín povrchu nemění. Toto testování je důležité pro následné nastavení parametrů G-kódu v programu „LaserGRBL“.



Obrázek 36 – Testování rychlosti a výkonu gravírovacího stroje na modřínové desce (rychlost – F, Výkon - S) (foto Heinz)

Před vygravírováním obrázku je nutné jej nahrát a nastavit parametry. V programu „Laser-GRBL“ pod záložkou „Soubor“ se nachází „Otevřít soubor“. Tímto se otevře průzkumník souborů, ve kterém se vybere potřebný obrázek. Po potvrzení souboru s obrázkem se otevře okno pro nastavení režimu gravírování (viz obrázek 37 levá část). V tomto okně se nastaví způsob konverze, orientace čar a rozlišení čar. Kliknutím na tlačítko „Další“ se otevře okno s parametry pro nastavení rychlosti a výkonu laseru, jeho režim a rozměr obrázku (viz obrázek 37 pravá část).



Obrázek 37 – Okno pro nastavení parametrů gravírovaného obrázku (foto Heinz)

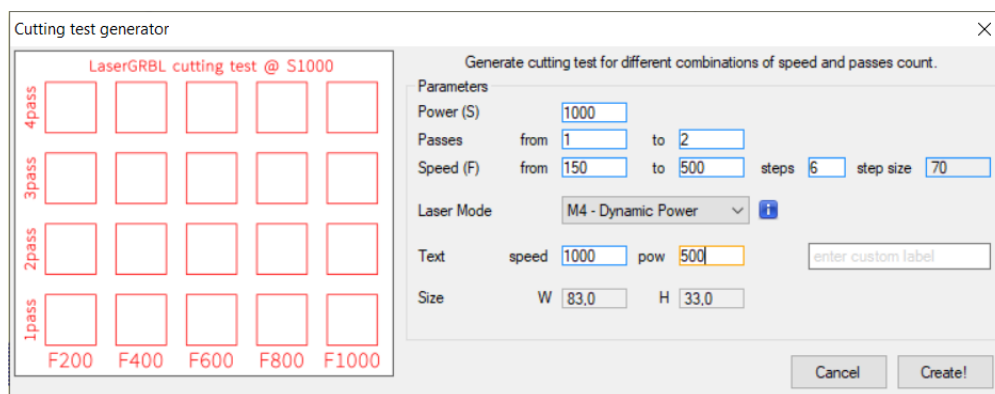
Gravírování obrázku 38 probíhalo horizontálním trasováním čáru po čáře s rozlišením 8 čar/mm. Aby gravírování proběhlo s co nejvyšší účinností, byla rychlost laseru nastavena na maximální rychlost 1400 mm/min. Z pravé části obrázku 36 byl vybrán odstín, který vznikl při 40% výkonu laseru. Rozměr vygravírovaného brouka na obrázku 38 je 30x30 mm.



Obrázek 38 – Vygravírovaný obrázek na modřínové desce (foto Heinz)

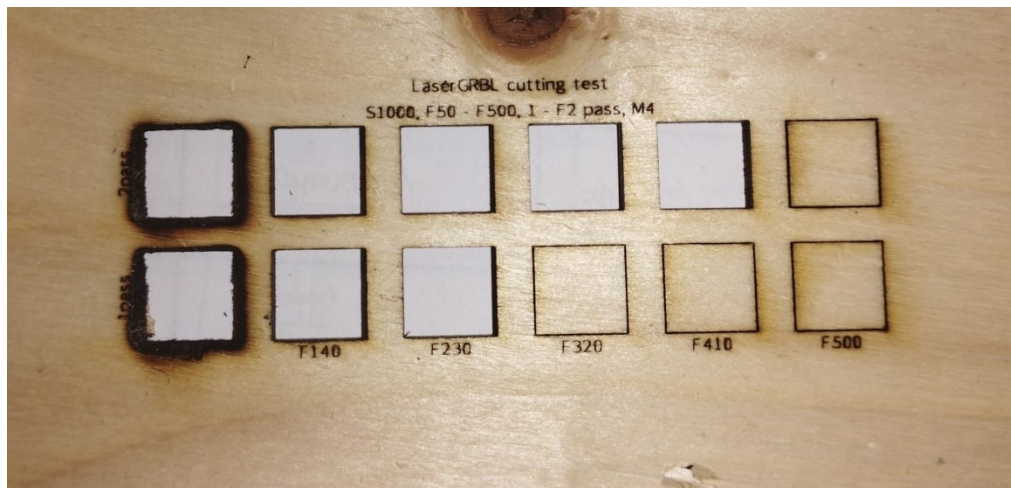
## 10.2 Řezání

Stejně jako gravírování byl nejprve proveden test řezání. Při tomto testu se výkon laseru obvykle nastaví na 100 % a zkouší se průnik laseru do materiálu při různých rychlostech a počtu opakování. Takový test se nachází v programu „LaserGRBL“ pod záložkou „Generate“. Po kliknutí na „Cutting test“ se otevře okno pro nastavení parametrů tohoto testu (viz obrázek 39). Jedním z parametrů je také počet opakování řezání.



Obrázek 39 - Okno pro nastavení parametrů na test řezání (foto Heinz)

Na obrázku 40 je provedený test řezání překližky o šířce 3 mm. Při plném výkonu laseru byl rozsah rychlosti od 150-500 mm/min. Příliš nízká rychlost zapříčinila opálení okrajů.



Obrázek 40 – Testování řezání překližky o šířce 3 mm (foto Heinz)

Na webové open-source stránce „<https://boxes.hackerspace-bamberg.de>“ se nachází generátor G-kódů krabic psaný v jazyce python. Tato stránka byla pro vyřezání krabičky na obrázku 41 využita. Vyřezaná krabička má rozměry 30x30x50 mm a byla řezána při rychlosti, vyplývající z testu, 230 mm/min.



Obrázek 41 – Vyřezaná krabička z překližky o šířce 3mm (foto Heinz)

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zhotovit laserový gravírovací stroj. Gravírovací stroj je určen pro vypalování do nekovových materiálů pomocí laserového paprsku. Celý stroj je řízen mikropočítačovou jednotkou Arduino. Pro řízení rozhraní je využit počítačový program „LaserGRBL“.

Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány obecné principy funkce použitých akčních a řídicích členů, jako je laser, krokový motor a jednotka Arduino. Dále jsou zde stručně popsány vlastnosti materiálů a procesy laserového značení. Součástí teoretické části byla také rešerše existujících projektů, která poskytla cenné poznatky hlavně pro konstrukci stroje.

Praktická část se věnuje výběru vhodných komponent, jako je vypalovací laser a pohybové aparáty. Důležitým bodem pro zhotovení je hardwarový návrh dvouosého stroje, bez kterého by nebylo možné provést následnou fyzickou realizaci. Návrh byl proveden v prostředí „Solidworks“. Dále je v praktické části popsáno softwarové vybavení „LaserGRBL“, které slouží pro konfiguraci a řízení stroje. Konečná část se věnuje montáži a zhodnocení výsledků gravírovacího stroje.

Při sestavování gravírovacího stroje bylo využito technologie 3D tisku. Návrhy dílů z 3D tisku musely být z důvodu neočekávaně malé pevnosti materiálu během procesu realizace mnohokrát měněny. Následně je v kapitole o realizaci popsáno elektronické zapojení akčních členů s řídicí jednotkou Arduino UNO osazené CNC Shieldem. V poslední řadě před uvedením stroje do provozu byl do řídicí jednotky nahrán firmware GRBL. Po konfiguraci tohoto firmwaru byl stroj funkční.

V poslední kapitole praktické části byl gravírovací stroj důkladně otestován v činnostech gravírování a řezání. Gravírováno bylo do modřínového dřeva. Tento materiál byl nejprve důkladně vyzkoušen výkonnostně rychlostním testem. Mimo přibližnou maximální rychlost laseru byly zjištěny důležité parametry pro další tvorbu na tomto materiálu. Dále byl stroj prověřen v řezné zkoušce na 3 mm široké překližce.

Celkovým výstupem této bakalářské práce je plně funkční laserový gravírovací stroj, který je schopen provádět gravírování na různých nekovových materiálech (dřevo, papír, plast,...).

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOŘÁN, Pavel. LASERY A OPTIKA. *SERIÁL NA TÉMA LASERY - ZÁKLADNÍ PRINCIP LASERU A JEJICH DĚLENÍ* [online]. 2013, [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [2] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. Brno : Praha : VUTIUM: Prometheus, 2000. ISBN 8021418680 81-7196-213-9.
- [3] SADOWSKI, Andrzej a Rudolf KREHLIK. *Lasery v obrábění a metrologii*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [4] KACHTÍK, Lukáš. *Lasery a vše o něm* [online]. 2011 - 2013 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: [http://lasery.wz.cz/o\\_webu.html](http://lasery.wz.cz/o_webu.html)
- [5] KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás* [online]. 2004 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>
- [6] NOVÁK, Miroslav. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Průmyslové lasery (4) - Hlavní typy laserů v průmyslové praxi* [online]. 2012 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi>
- [7] LEONARDO TECHNOLOGY. *Možné dělení typů a druhů laserů* [online]. 2022 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/mozne-deleni-typu-a-druhu-laseru>
- [8] ELECTRON TEST EQUIPMENT. *What Is a Laser Diode* [online]. 2018 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.electrontest.com/what-is-a-laser-diode/>
- [9] ELECTRICAL TECHNOLOGY. *What is a Laser Diode? Construction, Working, Types and Applications* [online]. © 2024 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: [https://www.electricaltechnology.org/2022/08/laser-diode.html#google\\_vignette](https://www.electricaltechnology.org/2022/08/laser-diode.html#google_vignette)
- [10] LITECH. *Laserové značení* [online]. 2023 [citováno 2023-11-07]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/laserove-znaceni/>

- [11] LEONARDO TECHNOLOGY. *Procesy laserového značení* [online]. © 2002 - 2022 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/laser/procesy-laseroveho-znaceni>
- [12] NOVÁK, Lukáš. MEGABLOG. *Základy laserového značení* [online]. 2013 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/zaklady-laseroveho-znaceni/>
- [13] LASER DEKOR. *Gravírujeme* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <http://www.laserdekor.cz>
- [14] VRBOVÁ, Miroslava. *Lasery a moderní optika*. Oborová encyklopedie. Praha: Prometheus, 1994. ISBN 8085849569
- [15] FIORE, Carmine. *Stepper Motors Basics: Types, Uses, and Working Principles* [online]. © 2002 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: <https://www.monolithicpower.com/stepper-motors-basics-types-uses>
- [16] WINNIE, Li. *The Complete Laser Cutting Materials List* [online]. 2024 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.xtool.com/blogs/xtool-academy/laser-cutting-materials-list>
- [17] Arduino.cc: Oficiální web vývojových desek Arduino [online]. Arduino S.r.l, c2022 [citováno 2023-11-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [18] HOW TO ELECTRONIC. *How to Control Stepper Motor with DRV8825 Driver & Arduino* [online]. 2023 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://how2electronics.com/control-stepper-motor-with-drv8825-driver-arduino/>
- [19] ARDUINO. *Control Stepper Motor with DRV8825 Driver Module & Arduino* [online]. [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>
- [20] FECKO, Branislav; VINCE, Tibor a DARÁK, L. Design and realization of a feeder part of the automated production line. 2020.
- [21] PAGÁČ, Marek. Učebnice SolidWorks. 2. vydání. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2020]. ISBN 978-80-270-8730-3.
- [22] Laser [online]. 2023 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Laser>

- [23] BREILER, Joacim. Grbl v1.1 Configuration [online]. © 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration#2--step-port-invert-mask>
- [24] KOŘÍNEK, Lukáš. Konfigurace firmware GRBL [online]. 2017 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.sakul.cz/konfigurace-firmware-grbl/n/>
- [25] ANONYM. Arduino Laser Engraver Wood Design! [online]. © 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Engraver-Wood-Design/>
- [26] ORTUR. Aufero Laser 1 [online]. © 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://ortur.tech/auferolaser1/>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CNC	Computer Numerical Control
PWM	Pulse Width Modulation
CAD	Computer Aided Design
PC	Personal Computer
ABS	Akrolonit, Butadien, Styren
V	Volt
A	Ampér
W	Watt
mm	Milimetr
nm	Nanometr
mN.m	Milinevtonmetr
step/mm	Krok na milimetr
mm/min	Milimetry za minutu
μs	Mikrosekunda
ms	Milisekunda

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Laser engraver [25] .....	11
Obrázek 2 – Aufero laser 1 [26] .....	12
Obrázek 3 – Interakce fotonu a elektronu [2] .....	14
Obrázek 4 – Přechody elektronu aktivního prostředí (foto Heinz).....	15
Obrázek 5 – Obecné schéma laseru [1] .....	16
Obrázek 6 – Struktura laserové diody [8].....	18
Obrázek 7 – Laserová dioda v pouzdře [9].....	19
Obrázek 8 – Gravírování materiálu laserem [11] .....	21
Obrázek 9 – Odstraňování povlaku laserem [11] .....	22
Obrázek 10 – Termodynamický proces [11] .....	22
Obrázek 11 – Pěnění materiálu laserem [11].....	23
Obrázek 12 – Průřez krokového motoru [15] .....	24
Obrázek 13 – Kroky krokového motoru [15] .....	25
Obrázek 14 – Průřez krokového motoru s pevným magnetickým polem [15].....	25
Obrázek 15 – Průřez hybridního krokového motoru [15].....	26
Obrázek 16 – Arduino UNO (foto Heinz) .....	27
Obrázek 17 – CNC Shield [20].....	28
Obrázek 18 – Zapojení pinů ovladače DRV825 [18] .....	29
Obrázek 19 – DRV825 [18].....	31
Obrázek 20 – Diodový laser TTS-55 [21] .....	33
Obrázek 21 - Krokový motor Nemo 17 [21] .....	34
Obrázek 22 – Zdroj napětí (foto Heinz).....	35
Obrázek 23 – Prostředí CAD programu Solidworks (foto Heinz).....	36
Obrázek 24 – Mechanická konstrukce gravírovacího stroje (foto Heinz) .....	37
Obrázek 25 – Lineární vedení [20] .....	38
Obrázek 26 – Ozubený řemen GT 2 [20] .....	38
Obrázek 27 – Mechanické konstrukce osy y (foto Heinz).....	39
Obrázek 28 – Mechanická konstrukce osy x (foto Heinz).....	39
Obrázek 29 – Mechanická konstrukce osy z (foto Heinz).....	40
Obrázek 30 - Prostředí LaserGRBL (foto Heinz).....	41
Obrázek 31 - Okno pro instalaci GRBL firmwaru (foto Heinz).....	42
Obrázek 32 – Okno pro konfiguraci GRBL firmwaru (foto Heinz).....	42

Obrázek 33 - Pohled na sestrojený gravírovací stroj (foto Heinz) .....	47
Obrázek 34 – Schéma zapojení gravírovacího stroje (foto Heinz).....	48
Obrázek 35 – Okno pro nastavení parametrů na test výkonu a rychlosti (foto Heinz) .....	49
Obrázek 36 – Testování rychlosti a výkonu gravírovacího stroje na modřínové desce (rychlost – F, Výkon - S) (foto Heinz) .....	50
Obrázek 37 – Okno pro nastavení parametrů gravírovaného obrázku (foto Heinz)...	50
Obrázek 38 – Vygravírovaný obrázek na modřínové desce (foto Heinz) .....	51
Obrázek 39 - Okno pro nastavení parametrů na test řezání (foto Heinz) .....	51
Obrázek 40 – Testování řezání překližky o šířce 3 mm (foto Heinz).....	52
Obrázek 41 – Vyřezaná krabička z překližky o šířce 3mm (foto Heinz) .....	52

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Nastavení mikrokrokování [18] .....	29
Tabulka 2 - Parametry laseru .....	33
Tabulka 3 - Parametry krokového motoru .....	34
Tabulka 4 – Nastavení invertování signálu STEP [23].....	43
Tabulka 5 – Nastavení zpětně hlášená data [23].....	44
Tabulka 6 – Nastavená konfigurace GRBL firmwaru .....	48