

Posouzení příležitostí a rizik výroby při práci s modelářskými lasery

Michal Čejka

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav krizového řízení

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Michal Čejka
Osobní číslo:	L22677
Studijní program:	B1022A020002 Management rizik
Specializace:	Management rizik
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Posouzení příležitostí a rizik výroby při práci s modelářskými lasery

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na dané téma bakalářské práce.
- Popište příležitosti spojené s využitím modelářských laserů.
- Identifikujte rizika práce s modelářskými lasery.
- Navrhněte opatření pro minimalizaci rizik.

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

Seznam doporučené literatury:

1. GUO, Chunlei a SINGH, Subhash Chandra. *Handbook of Laser Technology and Applications. Lasers Design and Laser Systems (Volume Two)*. Vydání: druhé. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 978-1-138-03262-0.
2. JOSHI, Shrikrishna Nandkishor; DIXIT, Uday Shanker; MITTAL, R. K. a BAG, Swarup. *Low Cost Manufacturing Technologies Proceeding of NERC 2022*. Singapore: Springer, 2022. ISBN 978-981-19-8451-8.
3. KATAYAMA, Seiji. *Fundamentals and Details of Laser Welding*. Osaka: Osaka University, 2020. ISBN 978-981-15-7932-5.
4. RUŽIAK, Ivan; IGAZ, Rastislav; KUBOVSKÝ, Ivan; TUDOR, Eugenia Mariana; GAJTANSKA, Milada; JANKECH, Andrej. *ANN Prediction of Laser Power, Cutting Speed, and Number of Cut Annual Rings and Their Influence on Selected Cutting Characteristics of Spruce Wood for CO₂ Laser Processing*. Materials. roč. 17, č. Journal Article, s. 3333, 2024. ISSN 1996-1944.
5. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk – teorie a praxe*. Grada, 2021. ISBN 978-80-271-4247-7.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucí bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Slavomíra Vargová, PhD.**
Ústav krizového řízení

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

Ing. et Ing. Jiří Konečný, Ph.D.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- 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(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne 2.5.2025

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu rizik spojených s obsluhou modelářských laserů. Tato práce je rozdělena na dvě části – část teoretickou a část praktickou. Teoretická část se věnuje představení samotné technologie, seznámení s jednotlivými částmi modelářských laserů a přiblížení možností, jak lze lasery využít. V praktické části jsou identifikována a analyzována rizika pomocí metod PNH a PHA s návrhem opatření pro minimalizaci zjištěných rizik. Povědomí o rizicích je získáno několikaletou zkušeností při obsluhování modelářského laseru K40.

Klíčová slova: laser, modelářský laser, gravírování, riziko, analýza rizik, nebezpečí

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on risk analysis associated with the operation of hobby lasers. The work is divided into two parts – a theoretical part and a practical part. The theoretical part presents the laser technology itself, introduces the individual components of hobby lasers, and outlines the various ways in which these lasers can be used. The practical part identifies and analyzes risks using the PNH and PHA methods and proposes measures to minimize the identified risks. Awareness of these risks is based on several years of experience in operating the K40 hobby laser.

Keywords: laser, desktop laser cutter, engrave, risk, risk analysis, hazard

Rád bych poděkoval všem, kteří mě během zpracování této bakalářské práce podporovali a motivovali. Především děkuji vedoucí práce za cenné rady, odborné vedení a ochotu při konzultacích. Mé díky patří také rodině a blízkým, kteří mi poskytovali potřebné zázemí, trpělivost a podporu po celou dobu studia včetně mojí přítelkyně, která mi byla během studia velkou a potřebnou oporou.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 LASEROVÉ GRAVÍRKY	15
1.1 OBECNÉ SEZNÁMENÍ.....	15
1.2 MODELÁŘSKÉ LASERY CO ₂	15
1.3 CO ₂ MODELÁŘSKÝ LASER K40.....	15
2 KOMPONENTY A PRVKY CO₂ LASERU	17
2.1 KONSTRUKCE MODELÁŘSKÝCH LASERŮ	17
2.2 LINEÁRNÍ VEDENÍ MODELÁŘSKÉHO LASERU	18
2.3 PRVKY ZAJIŠŤUJÍCÍ POHYB	19
2.3.1 Krokové motory	19
2.3.2 Servomotory	21
2.4 PRVKY PRO PŘENOS SÍLY	22
2.4.1 Řemen a řemenice	22
2.4.2 Šroub a matice (kuličkový šroub nebo trapézový šroub).....	23
2.4.3 Ozubený hřeben	24
2.5 ZDROJ LASEROVÉHO PAPRSKU.....	24
2.6 ZRCÁTKA LASERU	25
2.7 LASEROVÁ HLAVA.....	26
2.8 AIR ASSIST	27
2.9 PRACOVNÍ PLOCHA MODELÁŘSKÉHO LASERU	28
2.10 ŘÍDÍCÍ A KOMUNIKAČNÍ ELEKTRONIKA LASERU	29
2.11 ODSÁVÁNÍ LASERU.....	30
2.12 CHLAZENÍ LASERU	31
3 VYUŽITÍ MODELÁŘSKÝCH LASERŮ V PRAXI	32
3.1 ZDROJ PAPRSKU	32
3.2 OPTICKÝ VÝKON PAPRSKU	34
3.3 VELIKOST PRACOVNÍ PLOCHY	35
3.4 PŘÍDAVNÉ MODULY	36
3.4.1 Výškově nastavitelná pracovní plocha.....	36
3.4.2 Red dot	36
3.4.3 Rotační osy	37
3.4.4 Kamera	37
3.5 SHRUTÍ.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40

4	IDENTIFIKACE RIZIK.....	41
4.1	PNH A PHA - OBECNĚ.....	41
4.2	PARAMETRY PRO HODNOCENÍ RIZIK METODOU PNH.....	42
4.3	IDENTIFIKACE RIZIK PRÁCE S MODELÁŘSKÝMI LASERY	45
4.3.1	Konstrukce.....	45
4.3.2	Lineární vedení.....	45
4.3.3	Motory.....	46
4.3.4	Ozubený řemen.....	46
4.3.5	Laserový paprsek.....	47
4.3.6	Elektrické napájení	50
4.3.7	Odsávání.....	50
4.3.8	Ergonomie	51
4.4	SHRNUTÍ A VÝSLEDKY	52
5	NÁVRH OPATŘENÍ PRO MINIMALIZACI RIZIK	57
5.1	KONSTRUKCE	57
5.1.1	Bezpečnostní pokyny	57
5.1.2	Vizuální označení	57
5.1.3	Profily na ostrých hranách.....	58
5.1.4	Úprava konstrukce.....	59
5.2	LINEÁRNÍ VEDENÍ	60
5.2.1	Bezpečnostní pokyny	60
5.2.2	Bezpečnostní prvky	60
5.3	MOTORY.....	61
5.3.1	Bezpečnostní pokyny	61
5.3.2	Vizuální označení	61
5.3.3	Bezpečnostní kryty	62
5.3.4	Preventivní kontrola	62
5.4	OZUBENÝ ŘEMEN	63
5.4.1	Bezpečnostní pokyny	63
5.4.2	Bezpečnostní prvky	63
5.5	PAPRSEK.....	63
5.5.1	Bezpečnostní pokyny	63
5.5.2	Bezpečnostní prvky	64
5.6	ELEKTRICKÉ NAPÁJENÍ	64
5.6.1	Bezpečnostní pokyny	64
5.6.2	První pomoc	64
5.7	ODSÁVÁNÍ.....	64
5.7.1	Aplikace dveřního těsnění	65
5.7.2	Výroba dílu mezi ventilátor a tělo laseru	65
5.8	ERGONOMIE.....	65
5.8.1	Výškové umístění modelářského laseru	66

5.8.2 Osvětlení	66
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73

ÚVOD

Laserová technologie se v praxi hojně využívá v různých odvětvích zpracovatelského průmyslu pro zpracování kovových materiálů formou řezání, svařování, kalení, čištění, gravírování. Lasery se též využívají k lékařským zákrokům, měření vzdáleností, čtení čárových kódů, snímání polohy počítačové myši a také jako bezdrátová ukazovátka. Další velice rozsáhlé využití k přenosu dat v telekomunikacích za pomoci optických vláken a možná nejrozsáhlejší využití u zápisu a čtení disků CD, DVD a BlueRay, které jsou součástí rádií, počítačů a herních konzolí. Dále se využívají pro zpracování plastů, dřeva, kamene skla či keramiky, jako **modelářské lasery**, které ukrývají celou řadu nebezpečných a rizikových vlastností.

Pro bakalářskou práci je zvolen CO₂ modelářský laser s označením K40, který patří mezi typy strojů, které jsou též označovány jako laserové gravírky nebo laserové plotry. Cílem bakalářské práce je identifikovat rizika spojená s používáním CO₂ modelářských laserů, s označením K40, určených pro hobby a drobnou dílenskou výrobu. Práce se zaměří na seznámení se samotným strojem a jeho komponenty, dále pak na identifikaci a analýzu bezpečnostních hrozeb, které mohou vznikat při běžném používání těchto zařízení z pohledu obsluhy.

Dalším cílem je navrhnout vhodná preventivní opatření a technická doporučení, která povedou k minimalizaci pravděpodobnosti výskytu rizikových situací, případně k omezení jejich dopadů na uživatele modelářského laseru K40.

Tato práce bude vycházet především z praktických poznatků z několikaletého provozu modelářských laserů typu K40.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 LASEROVÉ GRAVÍRKY

Existuje mnoho druhů a typů modelářských laserů, které se od sebe mohou odlišovat drobnými i zásadními vlastnostmi. Tyto rozdíly mohou zahrnovat například typ použitého laserového zdroje, výkon zařízení, velikost pracovní plochy, přesnost zpracování, rychlost gravírování či možnosti rozšíření o doplňkové moduly.

1.1 Obecné seznámení

Samotné slovo LASER je zkratkou slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v překladu znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření. Jde o zdroj optického elektromagnetického záření. Světlo je vyzařováno ve formě úzkého paprsku a samotná viditelnost závisí na vlnové délce, která je spjatá se zdrojem paprsku. Za pomoci čočky je dále paprsek soustředěn do malého bodu, ve které se koncentruje výkon paprsku. (Katayama, 2020) (Zeman a, 2021)

1.2 Modelářské lasery CO₂

Modelářské lasery, též označované jako laserové plotry nebo laserové gravírky, jsou CNC stroje pro řezání a gravírování různých druhů materiálů. Systém, propojující veškeré komponenty stroje, umožňuje vedením laserového paprsku z trubice za pomoci přesného spínání a vypínání paprsku spolu s pohybem laserové hlavy, ovládané motory, umožňuje řezat či gravírovat různě složité tvary s velkou přesností. (Laserové plotry – co to je, jak fungují a k čemu se jsou?, 2022)

1.3 CO₂ modelářský laser K40

Modelářský laser K40, který můžeme vidět na obrázku 1, je jeden z mnoha druhů modelářských laserů a je pro něj typické složení barev, kdy pevné části krytu mají modrou barvu a otevíratelné části mají barvu bílou. Laser nabízí ve své základní sadě 40W CO₂ trubici, digitální nastavení výkonu s rozlišením 0,1% a pracovní plochu cca 200x300mm. Jeho celková délka je 80 cm, šířka 50 cm a výška bez nohou 26 cm. Tento modelářský laser se umísťuje na stůl nebo na přizpůsobenou konstrukci, pro pohodlnou vlastní práci. Váha toho modelářského laseru bez dalšího příslušenství je cca 20 kg. Barevným složením a na první pohled stejná, přesto však drobně odlišná verze tohoto modelářského laseru nedisponuje digitálním zobrazením nastaveného výkonu, ale potenciometrem s analogovým ukazatelem elektrického proudu při sepnutém paprsku. (THE Laser engraver, 2023)

(TactionTablet: Affordable Tactile Graphics Display, 2020) (Buyers guide to the Chinese K40 laser cutter, 2020)



Obrázek 1 Modelářský laser K40

(zdroj: vlastní)

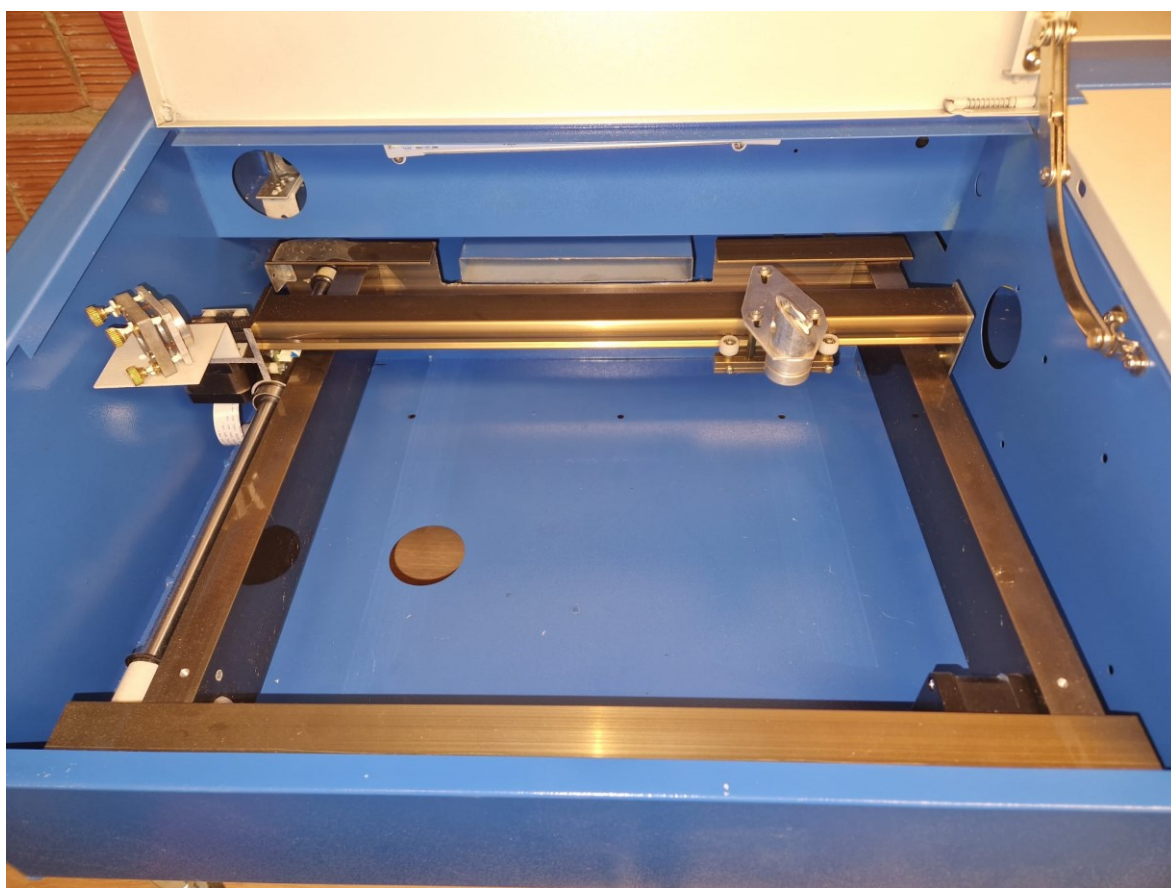
Tento modelářský laser má poměrně rozšířenou komunitu uživatelů, kteří své zkušenosti, poznatky, problémy i rady sdílejí hlavně pomocí skupin, nacházejících se na sociální síti Facebook. V těchto skupinách ale najdeme i uživatele, kteří své původní modelářské lasery upravují pro svou potřebu, za účelem dosáhnout větší pracovní plochy, zefektivnění odsávání prostoru laseru, výměny vnitřního rámu s dosažením větší tuhosti, zkrášení samotného vzhledu nebo implementace vlastních doplňků. Pro ovládání je součástí software a hardwarový klíč, který umožňuje software používat, nicméně je pro obsluhu stroje možné využít volně dostupný software s názvem „K40 Whisperer“, který lze získat na adrese www.scorchworks.com. Ten nabízí lepší uživatelské rozhraní a ovládá laser bez hardwarového klíče.

2 KOMPONENTY A PRVKY CO₂ LASERU

Modelářský laser se základem skládá z konstrukce, lineárního vedení (hliníkové profily, podepřené nebo nepodepřené tyče, kolejnice), prvků zajišťujících pohyb osy X a osy Y (krokové motory nebo servomotory), prvky pro přenos síly zajišťující pohyb (řemen, řetěz, trapézový nebo kuličkový šroub, ozubený hřeben), zdroj laserového paprsku, zrcátka, laserová hlava, stůl na položení řezaného či gravírovaného materiálu, řídicí elektronika, odsávání, chlazení.

2.1 Konstrukce modelářských laserů

Konstrukce modelářského laseru (Obrázek 2) tvoří pevný mechanický základ celého zařízení a zásadně ovlivňuje jeho stabilitu, přesnost a celkovou spolehlivost při práci. Obvykle se skládá z rámu, pohybových mechanismů, vodicích systémů, pracovní plochy, krytování a dalších součástí, přičemž všechny tyto části spolu tvoří pevně integrovaný celek.



Obrázek 2 Konstrukce modelářského laseru K40

(zdroj: vlastní)

Základem je rám, který bývá nejčastěji vyroben z ocelových nebo hliníkových profilů. U profesionálních laserů se používají silnostěnné ocelové konstrukce pro maximální tuhost a minimální vibrace, zatímco menší hobby lasery mohou mít jednodušší rám z lehkých hliníkových extrudovaných profilů. Hlavním účelem rámu je udržet přesnou geometrii stroje za všech provozních podmínek a poskytnout pevný podklad pro všechny ostatní komponenty.

Pracovní plocha bývá umístěna uvnitř konstrukce, pod pohybovým systémem. Může být pevná nebo výškově nastavitelná, aby bylo možné zaostřit laser na různé tloušťky materiálu. Povrch pracovní plochy bývá tvořen voštinovou nebo nožovou podložkou, která umožňuje odvod zplodin a podporuje materiál při řezu.

Celý stroj je zpravidla uzavřen v krytu – u některých modelů jen částečném, u jiných kompletním, s výklopným víkem. Kryt nejen chrání obsluhu před odraženým paprskem a zplodinami, ale také napomáhá k lepšímu odsávání. V krytu bývají zabudovány ovládací panely, displeje, bezpečnostní senzory, osvětlení a někdy i okénko s ochranným filtrem pro sledování práce laseru.

Součástí konstrukce bývá i prostor pro umístění laserové trubice, obvykle v zadní části stroje, a vedení paprsku pomocí zrcadel až do laserové hlavy. Dále konstrukce obsahuje držáky pro elektroniku, napájecí zdroje, chladicí a odsávací systémy, čímž vytváří kompaktní a funkčně propojený celek.

2.2 Lineární vedení modelářského laseru

Lineární vedení zajišťuje správný pohyb jednotlivých os ve svých směrech. Možností je mnoho, proto si tu uvedeme pouze několik nejčastěji používaných.

Hliníkový profil - U lehkých laserů s využitím diodového zdroje paprsku je využit hliníkový profil, který je v jednom směru slouží jako vedení portálu a samotný profil portálu zase slouží jako vedení hlavy laseru. Hliníkové profily jsou podepřeny pouze na koncích, a proto je nutné využívat pouze přijatelně těžké komponenty nebo případně správně profily dimenzovat proti průhybu. Pohyb po hliníkovém profilu zajišťuje sada tvarovaných koleček osazené ložisky, které se odvalují po protějšcích stranách profilu v drážce, nazývané v-slot.

Nepodepřené tyče – Jsou to kalené a přesně broušené ocelové válce, které zajišťují pohyb vozíku ve směru jedné osy. Vozík pro hladký, přesný a pevný pohyb obsahuje množství kuliček, které se po tyči odvalují a pomocí recyrkulační dráhy se opět vrací. Vozík

je uzavřený, což znamená, že nemůže být využit na tyče podepřené. Nepodepřené tyče bývají využity u laserových strojů s hliníkovým rámem pro pohyb na ose Z, která přibližuje či oddaluje řezací hlavu vzhledem k materiálu. (Linear Rails vs Linear Rods: Which is best for your application?, 2023)

Podepřené tyče – Funkce je stejná jako u nepodepřených tyčí, ale využívá se u strojů, kde by se nepodepřená tyč prohnout pod vahou konstrukce a osazených komponent. Tyč je totiž po celé své délce podepřena profilem, který je průběžně pomocí šroubů přichycený jak ke konstrukci, tak k samotné tyči. Jelikož podpírací profil znemožňuje použití vozíku uzavřeného, jsou pro tento způsob využité vozíky otevřené.

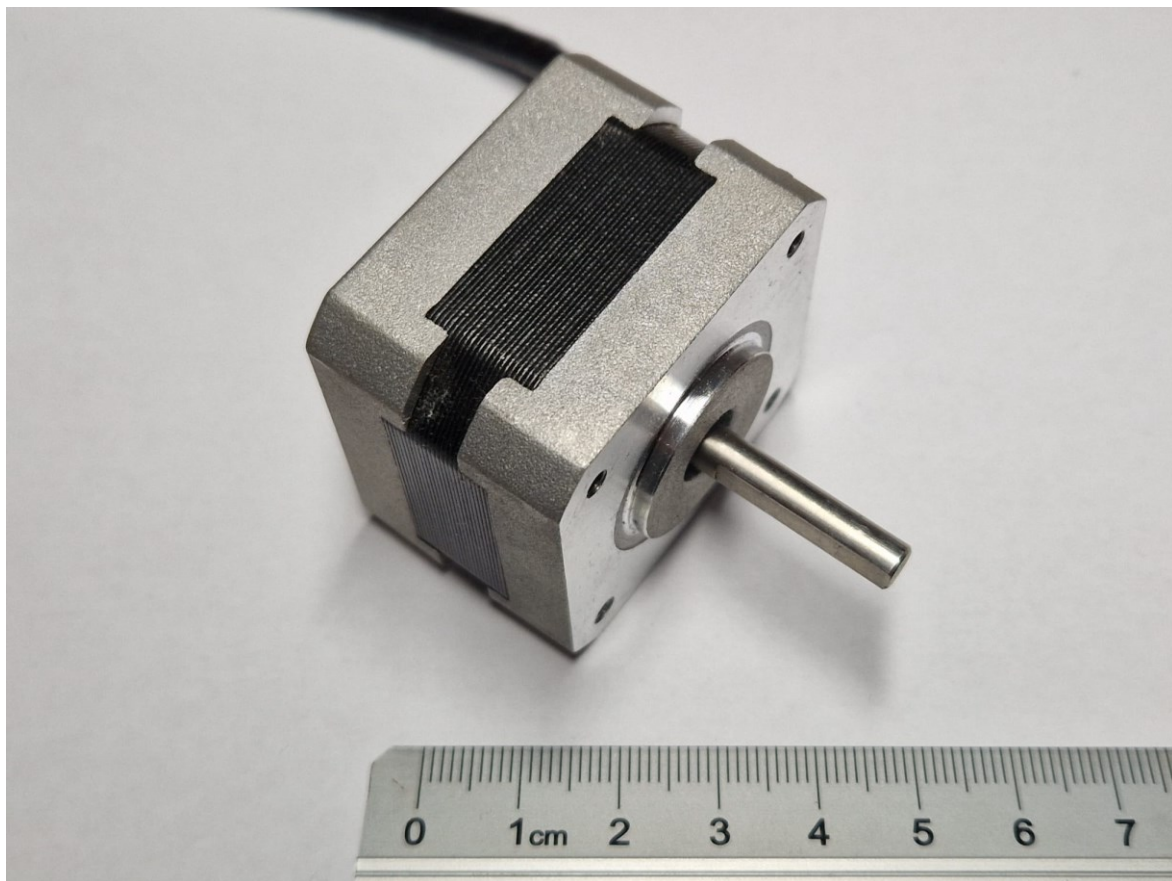
Kolejnice HIWIN – Ocelový přesný profil, s precizně broušenými vodícími drahami pro přesný pohyb vozíků, je nejpřesnější možností vedení osy stroje. Kolejnice jsou v závislosti na svém rozměru průběžně opatřeny montážními otvory, přes které se pomocí šroubů připevňují ke konstrukci. V některých případech jsou samotné kolejnice použity např. jako portál pro pohyb řezací hlavy bez použití dalšího profilu nebo rámu. (Linear Rails vs Linear Rods: Which is best for your application?, 2023)

2.3 Prvky zajišťující pohyb

Pohyb laserové gravírky zajišťují hlavně krokové motory nebo servomotory, které převádějí elektrické impulzy na přesné mechanické posuny. Oba typy motorů pohánějí osy stroje pomocí řemenů, ozubených hřebenů nebo kuličkových šroubů a umožňují přesný, plynulý a opakovatelný pohyb laserové hlavy.

2.3.1 Krokové motory

Krokový motor (Obrázek 3) je speciální druh elektrického motoru, který se otáčí prostřednictvím malých, přesně definovaných kroků. Každý tento krok představuje rotaci o konkrétní úhel, což umožňuje velmi přesné řízení polohy výstupní hřídele bez nutnosti využití zpětnovazebních snímačů. Na rozdíl od klasických elektromotorů, které se otáčejí plynule, krokový motor vykonává pohyb po jednotlivých krocích, kdy každý krok je výsledkem elektrického impulsu, dodaného do vinutí motoru. Tímto způsobem lze řídit nejen rychlost otáčení, ale především polohu, což je hlavní důvod, proč se krokové motory široce využívají v oblasti přesného strojírenství a automatizace.



Obrázek 3 Popisek obrázku

(zdroj: vlastní)

Krokové motory se nejčastěji rozdělují podle počtu fází a konstrukce vinutí na unipolární a bipolární, přičemž bipolární motory jsou obvykle výkonnější, ale vyžadují složitější elektronické řízení. Typickým rozlišením motoru je počet kroků na jednu úplnou otáčku. Nejběžnější motory mají 200 kroků na otáčku, což odpovídá kroku o velikosti $1,8^\circ$, ale dostupné jsou i motory s jemnějším rozlišením, případně s možností mikrokrokování, kdy elektronika rozdělí každý fyzický krok na menší dílčí části pro ještě jemnější pohyb. (Krokový motor – druhy a příklady aplikací krokových motorů, 2020)

Krokové motory jsou řízeny pomocí ovladače, který převádí digitální impulsy z řídicího systému (například z počítače nebo řídicí desky CNC stroje) na konkrétní proudy do vinutí motoru. Každý impuls způsobí pohyb o jeden krok vpřed nebo vzad. Ovladače často umožňují mikrokrokování, které zvyšuje plynulost pohybu, snižuje vibrace a zvyšuje přesnost řízení. Díky tomu se krokové motory staly nepostradatelnou součástí zařízení, kde je potřeba opakovat přesné pohyby – například v 3D tiskárnách, gravírovacích a řezacích laserech, automatizovaných výrobních linkách nebo v CNC strojích. V těchto aplikacích

se počítání kroků používá k určení pozice nástroje nebo stolu, bez nutnosti přídavných senzorů. (Krokový motor – druhy a příklady aplikací krokových motorů, 2020) (Microstepping Mode for Stepper Motor Control, 2007)

Mezi hlavní výhody krokových motorů patří jednoduchost řízení, relativně nízká cena, vysoká přesnost a schopnost udržet pevnou polohu i bez napájení, pokud je motor blokován mechanicky nebo elektromagneticky. Nevýhodou oproti servomotorům může být menší točivý moment při vyšších otáčkách a možnost ztráty kroků při přetížení, což může vést ke ztrátě přesnosti, pokud není implementována zpětná vazba. (Krokový motor – druhy a příklady aplikací krokových motorů, 2020)

Krokové motory jsou ideálním řešením v případech, kde je potřeba jednoduché, přesné a opakovatelné řízení pohybu, a právě proto se velmi často uplatňují v modelářských laserech, kde ovládají polohu os stroje s vysokou přesností. Bez nutnosti složité zpětné vazby umožňují pohyb laserové hlavy nebo pracovní plochy v definovaných drahách a tím přispívají k preciznímu výsledku při řezání nebo gravírování.

2.3.2 Servomotory

Servomotor je druh elektromotoru, který se od běžných motorů liší tím, že je vybaven zpětnovazebním systémem, který mu umožňuje přesně řídit nejen polohu, ale také rychlost a točivý moment. Zpětná vazba je zajišťována pomocí senzorů (nejčastěji inkrementálních nebo absolutních enkodérů, případně potenciometrů) které neustále sledují aktuální polohu hřídele motoru. Tato hodnota je průběžně porovnávána s cílovou pozicí zadanou řídicím systémem a v případě odchylky je výstupní signál motoru automaticky upraven tak, aby se co nejrychleji a nejpresněji dostal na požadovanou hodnotu. Tento uzavřený regulační obvod umožňuje velmi přesné, plynulé a spolehlivé řízení i při složitých pohybových operacích a rychlých změnách zatížení. (Servo motor, n.d.)

Díky své schopnosti reagovat na vnější podmínky a korigovat své chování v reálném čase jsou servomotory hojně využívány v náročnějších aplikacích, kde je kladen důraz na maximální přesnost a rychlost. Patří sem například robotická ramena, automatizované výrobní linky, přesné obráběcí stroje, pick-and-place systémy a další průmyslová zařízení. Na rozdíl od krokových motorů se servomotory nespolehají pouze na počet vyslaných kroků, ale díky měření skutečné polohy je riziko ztráty přesnosti minimální. To z nich činí vhodnější volbu pro aplikace, kde je vyžadována vysoká dynamika pohybu, vyšší výkon a větší spolehlivost i v dlouhodobém provozu.

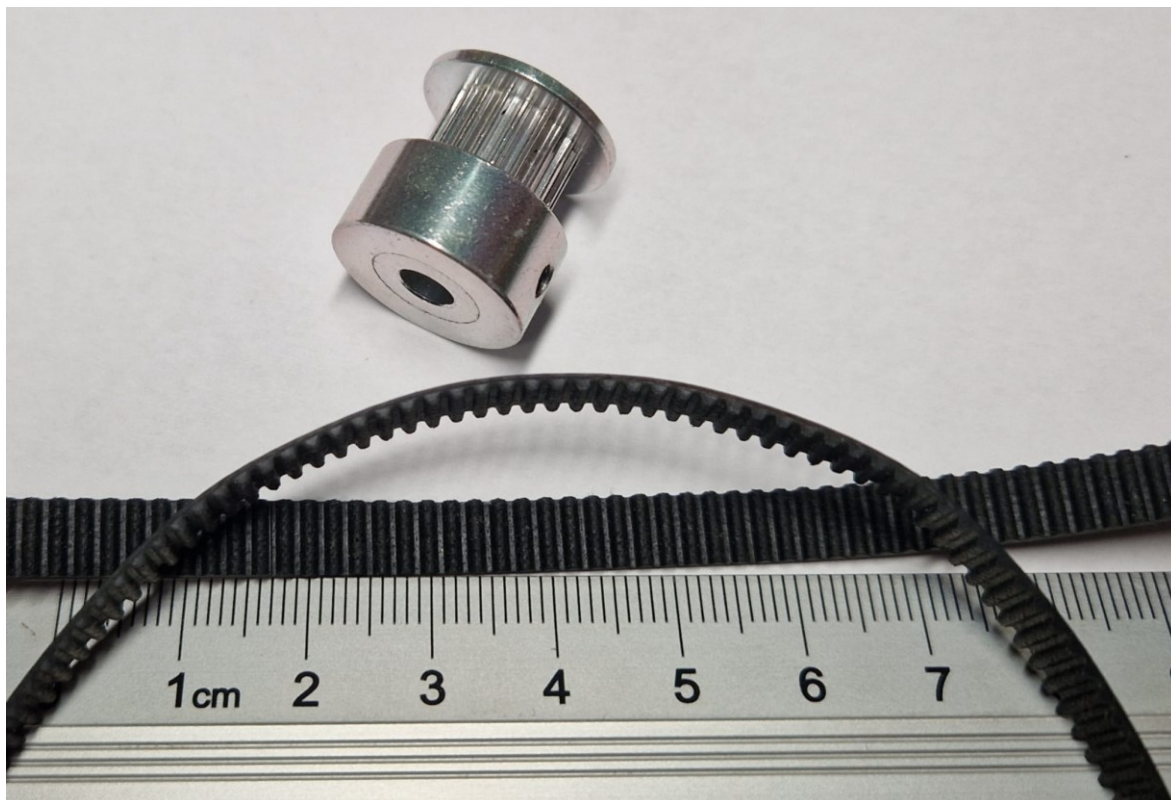
Servomotory mohou být buď stejnosměrné (DC), nebo střídavé (AC), přičemž AC varianty se používají především v profesionálních a průmyslových aplikacích kvůli své vyšší účinnosti, schopnosti pracovat při vysokých otáčkách a vyšší životnosti. Výhodou servomotoru je také možnost velmi plynulého chodu bez trhavého pohybu, což je důležité například při gravírování detailních vzorů nebo řízení plynulého pohybu nástroje. I když bývají složitější a dražší než krokové motory, jejich výkon, rychlost a přesnost z nich dělají neocenitelnou součást moderních automatizovaných systémů.

2.4 Prvky pro přenos síly

Přenos síly z motoru na pohyb osy je důležitý v mechanických systémech, jako jsou obráběcí stroje, robotická ramena nebo vozidla. K tomuto účelu se používají různé komponenty, které umožňují převod rotačního pohybu motoru na lineární nebo rotační pohyb osy.

2.4.1 Řemen a řemenice

Ozubený řemen s řemenicí (Obrázek 4) slouží k přenosu mechanické síly mezi krokovým nebo servomotorem a pohyblivou osou stroje. Řemen spojuje dvě řemenice – jednu upevněnou na hřídeli motoru a druhou na konci osy nebo vodícího systému. Díky zubovému profilu zajišťuje přesný záběr bez prokluzu, což je důležité pro správné a přesné polohování laserové hlavy při gravírování nebo řezání. Tento způsob přenosu umožňuje efektivní přenos síly i na delší vzdálenost a zároveň pomáhá tlumit nežádoucí vibrace, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu výstupu.



Obrázek 4 Řemenice a ozubený řemen

(zdroj: vlastní)

Ozubené řemeny jsou u hobby a modelářských laserů oblíbené zejména kvůli jejich nízké hmotnosti, cenové dostupnosti a jednoduché údržbě. Kromě toho je jejich montáž i výměna poměrně snadná, což z nich činí ideální volbu pro menší zařízení s otevřenou konstrukcí. V kombinaci s napínacím mechanismem lze dosáhnout velmi přesného pohybu.

Nevýhodou tohoto systému však může být možnost přeskočení zubů mezi řemenem a řemenicí, zejména při neodborné manipulaci, špatném napnutí nebo při náhlé kolizi v průběhu práce. V takovém případě může dojít k posunu souřadnic a výsledné zpracování materiálu nebude odpovídat původnímu návrhu. Je proto důležité dbát na pravidelnou kontrolu napnutí řemenů, kvalitu řemenic a celkovou kondici pohybového systému, aby byl zajištěn plynulý, přesný a spolehlivý chod laseru.

2.4.2 Šroub a matice (kuličkový šroub nebo trapézový šroub)

Tento systém převádí rotační pohyb motoru na lineární pohyb osy pomocí závitového šroubu a matice. Osa motoru je kolineární s osou šroubu. Přenos síly je zajištěn nejčastěji pomocí pružných spojek. Výhodou tohoto přenosu je vysoká přesnost a schopnost unést velké zatížení, ale nevýhodou je pomalejší rychlost pohybu.

2.4.3 Ozubený hřeben

Použití ozubeného hřebenu ve spojení s pastorkem, na který je přenášena síla motoru, je osvědčeným a efektivním řešením pro realizaci lineárního pohybu, zejména na delších osách strojů, kde by jiné typy převodů (např. trapézové nebo kuličkové šrouby) ztrácely výhody nebo byly příliš nákladné či náchylné k deformaci.

2.5 Zdroj laserového paprsku

CO₂ laserová trubice součást laserových gravírek a řezaček, která slouží jako zdroj samotného laserového paprsku. Jedná se o skleněnou nebo kovovou trubici naplněnou směsí plynů – především oxidem uhličitým (CO₂), dusíkem (N₂) a heliem (He). Tato směs plynů je aktivním médiem, ve kterém dochází k přeměně elektrické energie na světelnou ve formě laserového záření.

Princip fungování trubice spočívá v tom, že do ní je přivedeno vysoké napětí (v desítkách tisíc voltů) z napájecího zdroje. (Laserové plotry – co to je, jak fungují a k čemu se jsou?, 2022) Elektrický výboj uvnitř trubice ionizuje plyn a způsobí excitaci molekul CO₂. Tyto molekuly při návratu do základního energetického stavu emitují infračervené záření o vlnové délce 10,6 mikrometru. (Katayama, 2020). Toto záření se mezi dvěma zrcadly, která se nacházejí na koncích trubice, opakovaně odráží a zesiluje. Jedno z těchto zrcadel je polopropustné, takže část paprsku vychází ven z trubice jako výstupní laserový paprsek. (Guo a Singh, 2021) (Zeman b, 2021) (LASER: supernástroj člověka 21. století, n.d.)

Vzhledem k tomu, že CO₂ laserový paprsek je neviditelný (v infračerveném spektru), je pro míření často využíván pomocný červený paprsek (tzv. „red dot“). Samotný laserový paprsek se dále pomocí sady zrcadel nasměruje do laserové hlavy, kde je zaostřen čočkou do velmi úzkého bodu – právě v tomto ohnisku dochází ke gravírování nebo řezání materiálu.

CO₂ laserová trubice se musí chladit, protože při provozu vzniká značné množství tepla. K chlazení se nejčastěji používá vodní okruh s čerpadlem, případně specializovaný chladicí systém zvaný chiller. Nedostatečné chlazení může vést ke snížení životnosti nebo poškození trubice.

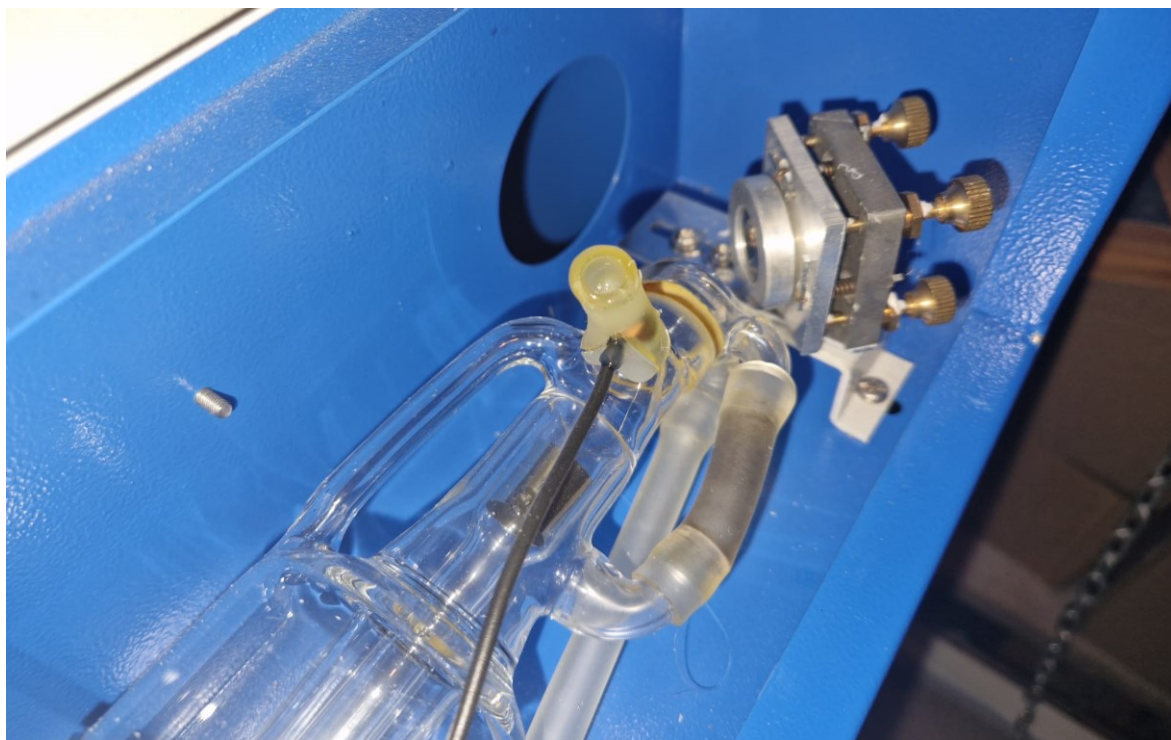
Životnost CO₂ laserových trubic se pohybuje obvykle mezi 1 000 až 3 000 hodinami v závislosti na kvalitě trubice, nastavení stroje a celkovém způsobu používání. Někteří prodejci dokonce uvádí životnost pouze 1000 až 1300 hodin. Postupem času trubice

ztrácí výkon, což se projevuje slabším paprskem a sníženou schopností gravírovat nebo řezat. Výměna trubice je běžnou součástí údržby těchto strojů.

CO₂ laserové trubice jsou dostupné v různých výkonnostních třídách, od malých 30 – 40 W trubic pro hobby lasery až po výkonné 130W nebo i silnější trubice pro průmyslové použití. Výkon trubice určuje, jak rychle a jak silné materiály je stroj schopen zpracovávat – od gravírování papíru či kůže až po řezání silného akrylu, dřeva nebo textilu.

2.6 Zrcátka laseru

Zrcátka u CO₂ modelářského laseru (Obrázek 5) odráží směřovaný laserový paprsek z laserové trubice do laserové hlavy, kde dochází k jeho zaostření a samotnému gravírování nebo řezání materiálu. Jelikož CO₂ laserová trubice generuje paprsek, který vychází pouze jedním směrem (obvykle v zadní části stroje), je nutné paprsek přesně navést do pohyblivé části gravírovacího laseru – tedy do laserové hlavy, která se pohybuje po osách X a Y.



Obrázek 5 Konec CO₂ trubice s prvním zrcadlem

(zdroj: vlastní)

K tomu slouží právě systém tří správně seřízených zrcadel. První zrcátko je umístěno blízko výstupu z laserové trubice a odráží paprsek o 90 stupňů směrem do stroje. Druhé zrcátko

je obvykle umístěno na pohyblivém portálu osy Y a dále přesměrovává paprsek do třetího zrcátka, které je již součástí samotné laserové hlavy. Třetí zrcátko nasměruje paprsek kolmo dolů, do zaostřovací čočky (fokusovací optiky), která jej koncentruje do úzkého bodu s vysokou energií. (Mirror alignment, 2019)

Aby stroj po celé své využitelné ploše fungoval správně, musí být zrcátka velmi přesně nastavena – tento proces se nazývá "zarovnání optiky" nebo "kalibrace zrcadel". I drobná odchylka může způsobit, že paprsek míjí čočku nebo není dostatečně ostrý, což se projeví slabým výkonem, nepřesným řezem nebo nerovnoměrným gravírováním.

Zrcátka jsou obvykle vyrobená z leštěného kovu (například molybdenu) nebo potaženého skla se zlatou reflexní vrstvou a jsou navržena tak, aby odolávala vysokému výkonu paprsku i dlouhodobému zahřívání. Jejich povrch musí být čistý a bez poškození, jinak se může paprsek rozptylovat, odrážet nesprávně nebo dokonce poškodit samotné zrcátko či čočku.

Ve výsledku tedy zrcátka slouží jako optický „vodič“ laserového paprsku skrz celý stroj a zajišťují, že paprsek dorazí přesně tam, kde má – do ohniska zaostřovací čočky, kde se ve formě koncentrované energie uplatní pro gravírování, řezání či značení různých materiálů.

2.7 Laserová hlava

Laserová hlava zajišťuje finální směřování a zaostření laserového paprsku na povrch materiálu. Je to místo, kde se paprsek, vedený přes soustavu zrcadel z laserové trubice, dostává do optického systému, který jej zaostří do velmi úzkého bodu. Právě v tomto ohnisku vzniká dostatečně vysoká hustota energie, která umožňuje efektivní gravírování nebo řezání materiálu.

Laserová hlava se skládá ze dvou hlavních částí – třetího zrcátka a zaostřovací čočky. Třetí zrcátko, upevněné ve svém držáku v horní části hlavy, odráží laserový paprsek kolmo dolů, kde se paprsek dostává do čočky umístěné v tzv. čočkovém držáku (lens tube). Tato čočka zaostří paprsek do malého bodu, který je ohniskem – tedy místem s maximální koncentrací energie.

Zaostřený paprsek následně dopadá na materiál, kde svým teplem vypaluje, odpařuje nebo propaluje jeho povrch v závislosti na výkonu, rychlosti posuvu a vlastnostech samotného materiálu. Kromě čočky a zrcátka obsahuje laserová hlava také vzduchovou

trysku, tzv. „air assist“. Tato tryska přivádí proud stlačeného vzduchu do místa řezu, čímž ochlazuje povrch, zlepšuje kvalitu řezu, omezuje hoření a odvádí vzniklé nečistoty mimo čocku, čímž chrání optiku před poškozením.

Laserová hlava je obvykle připevněna k pohyblivému systému stroje, který jí umožňuje pohybovat se po pracovní ploše v osách X a Y. Díky tomu se paprsek může přesně zaměřit na libovolný bod na materiálu, a to s vysokou přesností a opakovatelností.

Důležitým faktorem je i výška hlavy nad materiálem – vzdálenost mezi čockou a povrchem se označuje jako ohnisková vzdálenost. Pro dosažení ostrého a účinného řezu je potřeba správné zaostření. K tomu slouží různé metody ostření – například distanční měřky, autofokus systémy nebo ruční nastavení výšky hlavy.

2.8 Air assist

Air assist je důležitý pomocný systém využívaný u CO₂ laserových gravírek, jehož úkolem je přivádět proud stlačeného vzduchu přímo do místa, kde laserový paprsek zasahuje materiál. Tento zdánlivě jednoduchý mechanismus hraje klíčovou roli při zajištění čistoty, bezpečnosti i kvality samotného procesu gravírování a řezání. Proud vzduchu pomáhá okamžitě odvádět vznikající kouř, prachové částice a drobné zbytky materiálu, které vznikají při odpařování nebo spalování povrchu. Tím se nejen zajišťuje lepší viditelnost paprsku a přesnější práce stroje, ale především dochází k ochraně citlivých optických částí laserové hlavy, jako je zaostřovací čocka. Bez dostatečné vzduchové asistence by se čocka mohla rychle znečistit nebo dokonce poškodit ulpívajícími částicemi, což by vedlo k degradaci kvality řezu i vyšším provozním nákladům. (How Does Air Assist Help With Laser Cutting? SCULPFUN S9/S10 vs. XTOOL D1 PRO Tested, 2024)

Další důležitou funkcí systému air assist je ochlazování místa řezu. Laser generuje vysokou teplotu, která může způsobit zuhelnatění okrajů materiálu, nežádoucí ohoření nebo dokonce vznícení, zejména při práci s hořlavými materiály, jako je papír, překližka nebo EVA pěna. Proudící vzduch snižuje teplotu v oblasti řezání, čímž pomáhá udržet okraje řezu čisté, ostré a bez opálenin. Tento efekt je zásadní zejména při jemné práci a tvorbě detailních motivů, kde je potřeba co nejvyšší přesnost a estetická kvalita výstupu.

Systém air assist se obvykle skládá z malého kompresoru, který vytváří stlačený vzduch, dále hadičky, která tento vzduch vede do oblasti hlavy, a trysky, která je umístěna těsně pod čockou a směřuje proud vzduchu přesně do místa zásahu paprsku. Některé

moderní modelářské lasery umožňují elektronické řízení air assistu – například automatické spínání podle aktuálního režimu stroje nebo intenzity gravírování. V hobby sféře je běžná i úprava výchozího systému – například výměna slabého vzduchového čerpadla za silnější kompresor, čímž se zvýší účinnost proudění a tím i kvalita výsledků.

Správně navržený a dobře fungující air assist je tedy nedílnou součástí každého modelářského laseru, přispívá k prodloužení životnosti komponent, zvyšuje bezpečnost práce a zároveň výrazně zlepšuje vizuální kvalitu i čistotu zpracovávaného materiálu.

2.9 Pracovní plocha modelářského laseru

Pracovní plocha laseru slouží jako základna, na kterou se pokládá materiál určený k opracování. Její hlavní funkcí je poskytnout stabilní, rovnou a bezpečnou oporu během gravírování nebo řezání. Velikost pracovní plochy určuje maximální rozměr materiálu, který lze do stroje vložit, a tím i rozsah jednoho zpracovávaného projektu. U větších strojů může pracovní plocha dosahovat i více než jednoho metru na délku i šířku, zatímco menší hobby stroje mají plochy kolem několika desítek centimetrů.

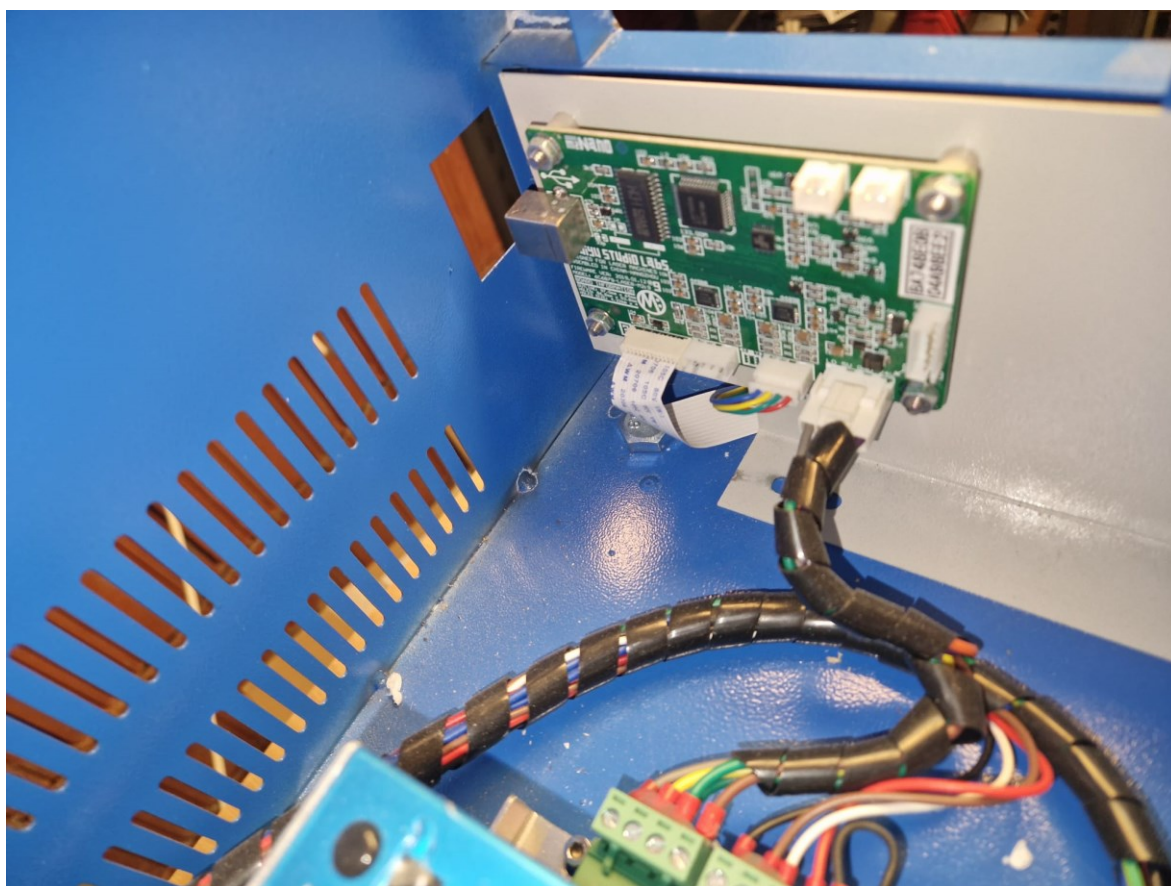
Podle typu použití může být pracovní plocha tvořena různými typy podložek. Nejčastěji se používají dva: voštinový stůl a nožový stůl. Voštinová (honeycomb) podložka připomíná strukturu včelí plástve a je ideální pro tenké materiály nebo jemnější práci, jako je řezání papíru, dřeva, akrylu nebo gravírování. Díky své perforované konstrukci umožňuje dobrý průchod laserového paprsku skrz materiál, omezuje zpětné odrazy a zároveň podporuje odsávání kouře a zplodin, což zajišťuje čistější a kvalitnější výsledek. Nožový stůl je tvořen soustavou kovových lamel nebo "čepelí" a je vhodný spíše pro silnější materiály nebo tam, kde je potřeba větší mechanická stabilita, například při řezání silného akrylu, dřeva či plastu.

U některých laserových strojů je pracovní plocha výškově nastavitelná – buď ručně pomocí kliky, nebo automaticky prostřednictvím motoru. Tato funkce umožňuje snadné a přesné nastavení ohniskové vzdálenosti mezi čočkou laseru a povrchem materiálu, což je velice důležité pro dosažení maximální kvality.

Kromě toho může být pracovní plocha vybavena upínacími prvky nebo magnety pro fixaci materiálu, aby se při práci neposouval. Důležitá je také čistota plochy – nánosy spálenin, zbytků lepidla nebo prachu mohou ovlivnit nejen kvalitu zpracování, ale i bezpečnost provozu.

2.10 Řídící a komunikační elektronika laseru

Řídící a komunikační elektronika (Obrázek 6) tvoří „mozek“ modelářského laseru – je to systém, který zajišťuje přesné ovládání všech částí stroje a zprostředkovává komunikaci mezi uživatelem (nebo počítačem) a samotným hardwarem laseru. Tento systém zahrnuje hlavní řídicí desku (řadič), krokové nebo servopohony, napájecí zdroje, ovládací panely, senzory a komunikační rozhraní.



Obrázek 6 Řídící deska CO₂ modelářského laseru K40

(zdroj: vlastní)

Základem je řídicí deska (control board), která přijímá data z počítače a převádí je na konkrétní pohyby os, zapnutí laseru a další instrukce. Tato deska zpracovává vektorové nebo bitmapové informace z grafických programů a překládá je do G-kódu nebo jiných instrukcí specifických pro daný typ stroje. Součástí řídicí desky je i mikroprocesor, který zajišťuje časování jednotlivých příkazů, synchronizaci pohybů a řízení výkonu laseru.

Přes krokové nebo servomotory pak elektronika ovládá pohyb os X a Y (případně i Z, pokud je stroj výškově stavitelný). Každý motor je řízen pomocí driveru (ovladače motoru),

který převádí signály z řídicí desky na elektrické impulsy – tím vzniká plynulý a přesný pohyb po pracovní ploše. Laserový paprsek je aktivován přes signály spínající zdroj laseru, který přivádí vysoké napětí do CO₂ trubice.

Důležitou součástí je také komunikační rozhraní – nejčastěji USB, síťové připojení (Ethernet) nebo Wi-Fi. Některé stroje umožňují i provoz z paměťové karty nebo přímo z dotykového displeje. Uživatel může pomocí ovládacího panelu na stroji nastavovat parametry jako síla laseru, rychlost pohybu, pozici hlavy, náhled grafiky či start úlohy.

Dále řídicí elektronika spolupracuje s různými senzory – například koncovými spínači (endstopy), které určují výchozí pozice os, senzory krytu (pro bezpečnost), senzorem teploty chladicí vody nebo čidlem detekce plamene. Všechny tyto komponenty zajišťují bezpečný provoz a automatickou ochranu v případě chyby.

Celý řídicí systém tak tvoří komplexní celek, který zajišťuje přesné, opakovatelné a bezpečné fungování modelářského laseru. Jeho správná konfigurace a kvalitní komponenty mají zásadní vliv na výkon, rychlost, přesnost i životnost celého stroje.

2.11 Odsávání laseru

Odsávání slouží k efektivnímu odvádění kouře, prachu a zplodin, které vznikají při řezání nebo gravírování materiálů. Při působení laserového paprsku na materiál dochází k jeho tepelnému rozkladu, spalování nebo odpařování, což uvolňuje různé částice, plyny a mikroskopické nečistoty. Tyto zplodiny mohou být nejen nepříjemně zapáchající, ale často i zdraví škodlivé a zároveň mohou znečišťovat optiku stroje a snižovat kvalitu výsledné práce.

Systém odsávání obvykle tvoří ventilátor, vzduchové hadice a filtrační jednotka nebo vývod ven z místnosti. Nejjednodušší variantou je přímé odsávání ven přes flexibilní hadici, která ústí například do okna nebo ventilačního otvoru. Tato varianta je účinná, ale je závislá na vhodném umístění stroje. Profesionálnější řešení představuje filtrační jednotka, která pomocí vícestupňové filtrace – často zahrnující HEPA filtr, aktivní uhlí a předfiltry – čistí vzduch od prachu, dýmu i pachů a umožňuje jeho bezpečný návrat zpět do místnosti. Takové jednotky jsou ideální tam, kde není možné nebo žádoucí odvádět vzduch ven.

Správné a dostatečně silné odsávání má několik výhod. Zajišťuje čisté pracovní prostředí, chrání zdraví obsluhy, zamezuje usazování nečistot uvnitř stroje a zabraňuje zakouření laserové optiky, což by vedlo ke ztrátě výkonu nebo poškození součástí. Kromě toho

odsávání zvyšuje bezpečnost, protože zplodiny některých materiálů jsou hořlavé a bez proudění vzduchu by mohlo dojít k jejich samovznícení.

V provozu je důležité pravidelně kontrolovat stav filtrů, průchodnost hadic i výkon ventilátoru, aby byl systém odsávání stále účinný. Odsávání je tedy nejen komfortní doplněk, ale naprosto zásadní prvek pro správné, bezpečné a kvalitní fungování každého modelářského laseru.

2.12 Chlazení laseru

Chlazení je důležité, protože laserová trubice při svém provozu generuje značné množství tepla. Pokud by teplota uvnitř trubice příliš stoupla, mohlo by dojít k jejímu přehřátí, ztrátě výkonu nebo dokonce k trvalému poškození. Proto je účinný chladicí systém nezbytný pro spolehlivý a dlouhodobý provoz laserového zařízení.

Nejběžnějším způsobem chlazení CO₂ laserové trubice je vodní chlazení. Trubice je obklopena vodním pláštěm, kterým proudí chladicí kapalina – obvykle čistá destilovaná voda, aby se zabránilo tvorbě vodního kamene a koroze. Tato voda je neustále čerpána pomocí čerpadla a odvádí teplo z trubice ven ze stroje. Jednodušší systémy využívají nádržku s vodou a ponorné čerpadlo, které vodu cirkuluje, zatímco profesionálnější systémy používají takzvané chillery – kompaktní jednotky s aktivním chlazením, které nejen vodu čerpají, ale i udržují její teplotu na optimální úrovni pomocí kompresoru a chladiče.

Správná teplota chladicí vody by se měla pohybovat ideálně mezi 15 až 25 °C. Pokud je voda příliš teplá, snižuje se účinnost chlazení a trubice se přehřívá. Naopak příliš studená voda, například při použití nevhodných kapalin nebo chlazení v chladném prostředí, může způsobit kondenzaci nebo poškození trubice. Proto některé chladicí jednotky obsahují i funkce hlídání teploty, alarmy nebo automatické vypnutí v případě poruchy.

Pravidelná údržba chladicího systému zahrnuje výměnu vody, čištění hadic a filtrů a kontrolu čerpadla nebo chilleru. Kvalitní chlazení tak výrazně prodlužuje životnost laserové trubice, zajišťuje stabilní výkon a celkově přispívá k bezpečnému a bezproblémovému provozu modelářského laseru.

3 VYUŽITÍ MODELÁŘSKÝCH LASERŮ V PRAXI

Modelářské lasery nacházejí široké praktické využití v domácích dílnách, malovýrobě i mezi hobby tvůrci. Jsou ideální pro gravírování a řezání tenkých materiálů, jako je překližka, akryl, kůže, papír, textil nebo karton. Díky své kompaktní velikosti a dostupné ceně jsou vhodné pro výrobu drobných dekorací, personalizovaných dárků, razítek, prototypů nebo detailních modelů. Uživatelé je často využívají v oblasti DIY projektů, výroby šperků, výukových pomůcek nebo i malých podnikatelských aktivit.

Modelářské lasery se mohou lišit v mnoha ohledech, ať už jde typ zdroje paprsku, optický výkon, pracovní plochu nebo přídatné moduly a parametry těchto částí mohou zvýhodňovat stroj pro specifické využití.

3.1 Zdroj paprsku

Modelářské a stolní lasery lze rozdělit do tří nejznámějších kategorií podle typu zdroje paprsku – CO₂ lasery, diodové lasery a vláknové (fiber) lasery. Každý z těchto typů má své specifické vlastnosti a je vhodný pro různé materiály i způsoby využití.

CO₂ lasery používají jako zdroj paprsku skleněnou trubici (Obrázek 7) naplněnou směsí plynů, nejčastěji oxidem uhličitým, dusíkem a heliem. Po excitaci této směsi vzniká infračervený laserový paprsek o vlnové délce kolem 10,6 mikrometru (Katayama, 2020), který se pomocí soustavy tří zrcadel přenáší do laserové hlavy. V hlavě je následně zaostřen pomocí čočky na povrch materiálu. Výběrem vhodné čočky lze ovlivnit, jaké materiály je možné zpracovávat – například čočka s delším ohniskem se lépe hodí pro řezání silnějších materiálů jako je karton, papír nebo pěněný EVA materiál. Naopak krátkoohnisková čočka je vhodná pro detailní gravírování a přesné řezání tenkých materiálů, například překližky, MDF desek nebo kůže. Další materiály vhodné pro zpracování jsou například tkaniny na bázi polymerů, kterých je tímto způsobem řezání na svém okraji netřepí. (Joshi et al., 2022). U některých materiálů, jako je sklo, keramika či kámen, lze s CO₂ laserem dosáhnout pouze gravírování. Pomocí speciálních přípravků – například kovových past – je možné gravírovat také na kovové povrchy, jako je hliník nebo nerezová ocel, přestože tento typ laseru sám o sobě kovy běžně řezat nedokáže. Kvalitu zpracování významně ovlivňuje i celá řada dalších parametrů, jako je výkon samotné laserové trubice, použité zaostření, efektivita air assistu nebo správné nastavení rychlosti posuvu a intenzity.

Obrázek 7 Zdroj paprsku CO₂ modelářského laseru K40*(zdroj: vlastní)*

Diodové lasery fungují na principu polovodičového zdroje paprsku, přičemž samotný laserový zdroj je integrován přímo v hlavě. Díky tomu odpadá potřeba zrcátek a optických drah, což zjednodušuje konstrukci stroje i jeho údržbu. Výkon těchto laserů se obvykle pohybuje v rozmezí 5 až 10 wattů, přičemž výkonnější varianty využívají skládání více paprsků do jednoho za pomoci optických členů. Výhodou je nižší hmotnost celé hlavy (do ní jsou vedeny pouze napájecí vodiče a hadička pro air assist) což snižuje mechanické zatížení portálu a zajišťuje lepší stabilitu při pohybu. Pokud by se například portál vlivem vyšší hmotnosti prohnul, u CO₂ laseru by to mohlo narušit přesnost vedení paprsku přes zrcátka. U diodového laseru tento problém nevzniká, protože laserový paprsek je vysílán přímo z hlavy. Kromě běžných materiálů, jako je dřevo, papír nebo kůže, umožňují diodové lasery i gravírování nerezové oceli bez potřeby speciálních past. S rostoucím výkonem laseru se zlepšuje kvalita výsledného značení i zkracuje doba zpracování. Další výhodou diodových laserů bývá jejich otevřená konstrukce bez krytu, která sice zvyšuje riziko šíření dýmu nebo rozptýleného záření, ale zároveň umožňuje laser snadno umístit přímo na větší či atypický materiál mimo pracovní plochu stroje. Nevýhodou pak bývá právě absence krytu a integrovaného odsávání, které je nutné řešit samostatně.

Vláknové (fiber) lasery představují samostatnou kategorii s odlišným principem fungování. Laserový paprsek je zde generován ve vláknovém zesilovači a veden optickým vláknem přímo do laserové hlavy, která umožňuje extrémně rychlé a přesné řízení směru paprsku. Tyto lasery pracují s vlnovou délkou kolem 1064 nanometrů, což je činí ideálními

pro zpracování kovů, ať už jde o gravírování, značení nebo dokonce jemné řezání tenkých kovových fólií. Vláknové lasery jsou schopné trvale označovat nerezovou ocel, hliník, titan nebo mosaz s vysokou rychlostí a precizností. Díky vysoké účinnosti mají relativně nízkou spotřebu energie a prakticky nevyžadují žádnou údržbu, protože optické vlákno je uzavřené a bez volných optických součástí. Nevýhodou je, že nejsou vhodné pro organické materiály jako dřevo, plast, papír či kůže, protože jejich vlnová délka není těmito materiály dobře absorbována. Fiber lasery jsou tak ideální volbou pro průmyslové značení a přesné technické gravírování na kovové součástky, nástroje nebo identifikační štítky.

Každý typ laseru má tedy své přednosti a hodí se pro jiné úlohy. Zatímco CO₂ lasery dominují ve zpracování organických materiálů, diodové lasery bodují svou jednoduchostí, kompaktností a částečnou schopností pracovat s kovem. Fiber lasery pak zaujímají pozici specializovaného nástroje pro vysoce přesné zpracování kovových materiálů a značení v profesionální sféře.

3.2 Optický výkon paprsku

Rozdíly v použití různých optických výkonů modelářských laserů jsou důležité při výběru vhodného zařízení pro konkrétní aplikace. Optický výkon, tedy množství energie vyzařované laserovým paprskem směrem k materiálu, přímo ovlivňuje hloubku řezu, rychlost gravírování, rozsah zpracovatelných materiálů i výslednou kvalitu práce. Nízké výkony, například v rozmezí 1 až 5,5 W, jsou typické pro základní diodové lasery. Tyto lasery se nejlépe hodí pro jemné gravírování do dřeva, papíru, kůže, plastu či nerezové oceli. Zvládnou i lehké řezy do tenkých materiálů, avšak hloubka řezu je omezená a zpracování tvrdších nebo silnějších materiálů bývá časově náročné či zcela nemožné.

Střední výkony, například u CO₂ laserů s výkonem kolem 40 – 60 W, umožňují nejen gravírování, ale také efektivní řezání překližky, MDF, akrylu, EVA pěny či kůže do tloušťky několika milimetrů. Tyto lasery jsou běžně využívány v hobby segmentu a mezi drobnými výrobci, protože představují dobrý kompromis mezi cenou, velikostí zařízení a univerzálností použití. Umožňují také větší pracovní plochu, delší provoz bez přerušení a širší volbu materiálů.

Výkonnější CO₂ lasery s výkonem nad 80 W nebo dokonce 130 W a více se hodí pro profesionální použití. Umožňují rychlé a hluboké řezy do silných materiálů, práci s většími objekty a vyššími nároky na produktivitu. Tyto výkony jsou užitečné například v sériové výrobě nebo při zpracování větších formátů dřeva, akrylu či plastů. S vyšším výkonem roste

i schopnost gravírovat do tvrdších povrchů, i když i zde hraje roli použitá čočka, air assist nebo rychlost posuvu.

Obecně platí, že čím vyšší optický výkon, tím širší jsou možnosti zpracování materiálů a to jak z hlediska tloušťky, tak rychlosti. Zároveň ale vyšší výkon neznamená automaticky lepší výsledek, protože při jemné práci může nadměrná energie způsobit přepálení nebo rozmazání detailů. Proto je vždy důležité zohlednit nejen výkon samotný, ale i charakter práce, typ materiálu a konstrukční vlastnosti samotného zařízení.

3.3 Velikost pracovní plochy

Bez ohledu na použitý zdroj laserového paprsku hraje v celkovém využití modelářského laseru zásadní roli velikost pracovní plochy, která přímo určuje, jaký typ výrobků je možné na zařízení efektivně zpracovávat. Čím větší je pracovní plocha, tím širší jsou možnosti, především co se týče rozměrnějších projektů, složitějších kompozic nebo vícenásobného zpracování více kusů najednou.

Větší pracovní plocha umožňuje gravírovat a řezat rozsáhlé motivy, například nástěnné obrazy, architektonické modely, výseky z papíru nebo kartonu, a to bez nutnosti komplikovaného posouvání materiálu. Je ideální pro uživatele, kteří pracují s velkoformátovými předlohami nebo potřebují efektivně vyrábět větší množství kusů v jednom cyklu, například při sériové výrobě šablon, reklamních poutačů nebo dekoračních panelů.

Naopak menší pracovní plochy, typické pro kompaktní modely jako je K40, se hodí spíše pro drobnou a precizní práci. Tyto lasery excelují v detailním gravírování památečních předmětů, medailí, klíčenek, personalizovaných dárků, krytů na telefony, štítků nebo drobných dřevěných dekorací. Jsou ideální pro kreativní tvorbu, výrobu jedinečných předmětů na zakázku nebo v rámci malého podnikání. Díky své kompaktnosti a rychlému nastavení se hodí i pro tvorbu prototypů nebo zakázky s častými změnami motivů.

Z hlediska praktičnosti platí, že menší modelářské lasery bývají mobilnější a levnější, ale za cenu omezeného prostoru. Větší zařízení zase nabízejí vyšší produktivitu a univerzálnost, ale vyžadují více místa, silnější chlazení a často i profesionálnější přístup obsluhy. Výběr velikosti pracovní plochy by tak měl vycházet především z typu plánovaných projektů a potřeb konkrétního uživatele.

3.4 Přídavné moduly

Pro některé specifické využití laserů je možné dokoupit a využívat vhodná přídavná zařízení, která mohou pracovat přímo v součinnosti s původním modelářským laserem nebo samostatně. Mezi taková zařízení můžeme zařadit například výškově nastavitelné pracovní plochy, red dot, rotační osy, kamery.

3.4.1 Výškově nastavitelná pracovní plocha

Použití výškově nastavitelné pracovní plochy na laserové gravírce přináší výrazné zvýšení flexibility při zpracování materiálů různé tloušťky a tvaru. Tento systém, často označovaný jako Z-osa, umožňuje měnit vzdálenost mezi laserovou hlavou a materiálem bez nutnosti složitého nastavování celé konstrukce. Tím se výrazně usnadňuje zaostřování laserového paprsku, což je zásadní pro dosažení kvalitního řezu i gravírování. Při správném zaostření má totiž paprsek minimální průměr a maximální energii soustředěnou do jediného bodu, což se přímo promítá do čistoty hrany a hloubky řezu.

Výškově stavitelná plocha umožňuje například snadné přizpůsobení polohy pro gravírování na vysoké předměty, jako jsou krabičky, dřevěné bloky, víka nebo lahve umístěné v rotační ose. Umožňuje ale i lepší manipulaci při zaostřování na velmi tenké materiály, kde záleží na přesnosti v řádu desetin milimetru. Změna výšky může být řešena ručně pomocí kličky, šroubového mechanismu nebo automaticky pomocí krokového motoru, který se ovládá ze softwaru.

Výhodou je také možnost přizpůsobit výšku v závislosti na použité čočce s různou ohniskovou vzdáleností, protože každá vyžaduje jinou vzdálenost od materiálu. Díky tomu může uživatel rychle měnit způsoby použití stroje bez zdlouhavé přestavby. Celkově výškově nastavitelná pracovní plocha zvyšuje komfort práce, rozšiřuje možnosti využití gravírky a přispívá ke kvalitnějším výsledkům, zejména při práci s rozměrnějšími nebo atypickými předměty.

3.4.2 Red dot

„Red dot“ neboli červený bod je pomocný zaměřovací systém používaný u modelářských laserů, především těch s CO₂ technologií. Slouží k vizuálnímu označení místa, kam laserový paprsek dopadne.

Tento systém obvykle tvoří malý červený laserový diodový modul, který je buď integrován přímo do laserové hlavy, nebo umístěn samostatně a opticky se sloučí

s neviditelným paprskem pomocí polopropustného zrcátka (beam combiner). Výsledkem je viditelný červený bod, který kopíruje dráhu skutečného laserového paprsku a umožňuje uživateli přesné umístění výchozího bodu gravírování nebo řezu.

Red dot výrazně usnadňuje práci, zejména při ručním polohování materiálu, nastavování nulového bodu nebo při kontrole okrajů pracovní oblasti pomocí tzv. „frame“ režimu, kdy se hlava pohybuje po obrysu zvoleného motivu bez spuštění laseru. Tento prvek je tedy velmi užitečný při přípravě výroby a zvyšuje jak bezpečnost, tak přesnost práce s laserem.

3.4.3 Rotační osy

Použití rotační osy na modelářském laseru rozšiřuje možnosti zařízení o zpracování válcových nebo kruhových objektů, jako jsou sklenice, lahve, termosky, hrnky, trubky nebo válečkové díly. Rotační osa funguje jako doplňkový pohybový modul, který nahradí jednu z lineárních os – obvykle osu Y – a umožní otáčet obrobkem kolem jeho podélné osy. Gravírování nebo řezání tak probíhá po obvodu objektu, přičemž laserová hlava se pohybuje podél osy X a současně se válec pomalu otáčí.

Tento způsob gravírování je velmi přesný a umožňuje vytvářet motivy, které plynule obepínají celý předmět bez viditelných spojů nebo deformací. Umožňuje také personalizaci dárkových a reklamních předmětů, což je velmi žádané například u skleněných pivních pullitrů, dřevěných dýmek, kovových lahví nebo plastových tubusů. Některé rotační osy pracují s gumovými válci, které otáčejí předmětem třením, jiné využívají sklíčidla pro pevné uchycení obrobku, zejména pokud je těžší nebo nesymetrický.

Připojení rotační osy bývá u moderních laserů jednoduché a umožňuje její rychlou montáž a demontáž podle potřeby. Softwarová podpora většiny běžných programů navíc umožňuje snadné nastavení parametrů a přizpůsobení návrhu válcovému tvaru. Díky rotační ose se z běžný modelářský laser stává mnohem univerzálnějším nástrojem, který najde uplatnění i v zakázkové výrobě a personalizaci produktů s vyšší přidanou hodnotou.

3.4.4 Kamera

Kamera nad pracovní plochou modelářského laseru představuje moderní a velmi praktické vylepšení, které výrazně zjednodušuje práci se strojem a zvyšuje přesnost umístění motivů. Kamera bývá zpravidla umístěna nad středem pracovní plochy a snímá aktuální uspořádání materiálu v reálném čase. Tím umožňuje uživateli přesně vidět, kde se materiál nachází,

a přímo v softwaru jednoduše umístit grafiku nebo text na požadované místo – například přesně do středu předmětu, do připraveného výřezu nebo mezi okraje nepravidelného tvaru.

Tato funkce se využívá zejména při gravírování na již předem vyrobené nebo potištěné předměty, jako jsou krabičky, přívěsky, visáčky nebo dárkové předměty, kde záleží na přesném umístění. Kamera také pomáhá při opakovaném zpracování stejného motivu – například při dosazení gravury do několika stejných kusů v různých polohách na ploše. Některé systémy s kamerou umožňují i automatickou detekci obrysů materiálu, což dále urychluje přípravu výroby.

Výhodou je nejen zvýšení přesnosti, ale i úspora času – odpadá nutnost měřit vzdálenosti nebo si pomáhat papírovými šablonami. Kamerový systém tak činí práci s modelářským laserem pohodlnější, intuitivnější a profesionálnější, a to i pro méně zkušené uživatele.

3.5 Shrnutí

V následující tabulce (Tabulka 1) se nachází shrnutí materiálů vhodných či nevhodných zpracovávat na modelářského laseru K40.

Tabulka 1 Vhodnost použití materiálů na laseru K40

Materiál	Gravírování	Řezání
Překližka	Ano	Ano
Dřevo	Ano	Ano
Papír	Ano	Ano
Lepenka	Ano	Ano
Plexisklo (PMMA)	Ano	Ano
Polykarbonát	Ne	Ne
Textil	Ano	Ano
Kůže	Ano	Ano
Pěnový papír	Ano	Ano
PVC	Ne	Ne
Guma (razítková)	Ano	Ano
ABS plast	Ne	Ne
Kovy	Pouze s laserovou značící pastou	Ne

(zdroj: vlastní)

Tabulka neřeší maximální řezanou tloušťku materiálu, protože tento parametr souvisí s dalšími vlastnostmi, jako je stáří CO2 trubice, čistota optiky, rychlost, zaostření, výkon nebo kvalita samotného materiálu.

V následující tabulce (Tabulka 2) se nachází shrnutí jednotlivých specifikací modelářských laserů a k nim přiřazené výhody a případně i nevýhody.

Tabulka 2 Specifikace výhod a případných nevýhod doplňků

Specifikace	Výhody	Nevýhody
Malá pracovní plocha	Nízká hmotnost, nižší pořizovací cena, jednodušší údržba	Zpracování menších dílů
Velká pracovní plocha	Zpracování velkých výrobků nebo velkého počtu malých výrobků	Laser zabírá velký prostor
Výškově nastavitelná pracovní plocha	Velká variabilita	
Red dot	Možnost rychlého a přesného polohování	
Rotační osa	Zpracování válcových nebo kuželových výrobků (např. hrnky, sklenice, propisky, trubky, tyče	
Kamera	Přesné a rychlé polohování	

(zdroj: vlastní)

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 IDENTIFIKACE RIZIK

Identifikace rizik je prvním krokem v oblasti řízení bezpečnosti práce, jehož účelem je cíleně a systematicky odhalit veškerá možná nebezpečí na pracovišti, a na jejich základě navrhnout preventivní opatření s cílem snížit pravděpodobnost úrazů, havárií nebo jiných škodlivých událostí.

4.1 PNH a PHA - obecně

V rámci této práce budou společně využity metody PNH (Posuzování nebezpečí a hodnocení rizik) a PHA (Preliminary Hazard Analysis – předběžná analýza ohrožení), které představují systematické nástroje sloužící k identifikaci, analýze a hodnocení rizik spojených s provozem zařízení, konkrétně modelářského laseru. Použití těchto metod umožní komplexní přístup k odhalení potenciálně nebezpečných situací pro obsluhu modelářského laseru, posouzení jejich závažnosti a pravděpodobnosti výskytu, což následně vytvoří základ pro návrh účinných preventivních opatření.

PHA (Preliminary Hazard Analysis – předběžná analýza ohrožení) je metoda používaná v počátečních fázích návrhu zařízení nebo systému. Cílem je identifikovat potenciální nebezpečí a situace, které by mohly ohrozit bezpečnost. PHA pracuje s omezeným množstvím informací, často na základě předběžných dat nebo zkušeností, a slouží k rozhodnutí, zda je nutné provést podrobnější analýzy nebo okamžitá preventivní opatření.

PNH (Posuzování nebezpečí a hodnocení rizik) je obecný přístup, který zahrnuje systematickou identifikaci potenciálních nebezpečí v dané oblasti, určení jejich pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí (P), možné následky ohrožení (N) a názor hodnotitele či hodnotitelů (H). Společným součinem jednotlivých hodnot zjistíme celkovou míru rizika (R).

4.2 Parametry pro hodnocení rizik metodou PNH

Pravděpodobnost výskytu určitého nebezpečí (P) budeme posuzovat na škále od 1 do 5, která je popsána v následující tabulce (Tabulka 3), přičemž každá úroveň reprezentuje slovní specifikaci pravděpodobnosti.

Tabulka 3 Pravděpodobnost výskytu a existence nebezpečí

P	Pravděpodobnost výskytu
1	Nahodilá
2	Nepravděpodobná
3	Pravděpodobná
4	Velmi pravděpodobná
5	Trvalá

(zdroj: vlastní zpracování dle formuláře od vedoucí práce)

Možné následky ohrožení (N) posoudíme rovněž na škále od 1 do 5, popsanou v následující tabulce. (Tabulka 4)

Tabulka 4 Možné následky ohrožení

N	Možné následky ohrožení
1	Poškození zdraví bez pracovní neschopnosti
2	Absenční úraz (s pracovní neschopností)
3	Vážnější úraz vyžadující hospitalizaci
4	Těžký úraz a úraz s trvalými následky
5	Smrtelný úraz

(zdroj: vlastní zpracování dle formuláře od vedoucí práce)

Názor hodnotitele (H), stejně jako předchozí hodnoty, budeme posuzovat na škále od 1 do 5, popsanou v následující tabulce. (Tabulka 5)

Tabulka 5 Názor hodnotitelů

H	Názor hodnotitelů
1	Zanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení
2	Malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení
3	Větší, zanedbatelný vliv na míru ohrožení a nebezpečí
4	Velký a významný vliv na míru ohrožení a nebezpečí

5	Více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí
---	---

(zdroj: vlastní zpracování dle formuláře od vedoucí práce)

Součinem jednotlivých hodnot vypočteme celkové riziko (R), které za pomoci následující tabulky (Tabulka 6) zařadíme do rizikového stupně, se kterým souvisí míra rizika, což je jednoduché slovní zhodnocení rizika.

Tabulka 6 Míra rizika

Rizikový stupeň	R	Míra rizika
I.	> 100	Nepříjatelné riziko
II.	51 - 100	Nežádoucí riziko
III.	11 - 50	Mírné riziko
IV.	3 - 10	Akceptovatelné riziko
V.	< 3	Bezvýznamné riziko

(zdroj: vlastní zpracování dle formuláře od vedoucí práce)

Pro celkovou přehlednost budeme zaznamenávat do následujícího formuláře (Obrázek 8), který je přímo přizpůsobený pro tuto práci.

(zdroj: vlastní)

4.3 Identifikace rizik práce s modelářskými lasery

Modelářské lasery jsou sice ve srovnání s průmyslovými stroji výkonově podstatně slabší, což může vést k mylnému dojmu, že jejich provoz je zcela bezpečný. Ve skutečnosti však i tyto zařízení skrývají řadu potenciálních rizik. Jejich laserový paprsek může při neodborné manipulaci způsobit vážná poranění, například popáleniny, poškození zraku nebo mechanické úrazy v důsledku pohyblivých částí. Z těchto důvodů je důležité přistupovat k jejich obsluze s maximální opatrností a důsledně dodržovat všechna bezpečnostní pravidla a pokyny uvedené výrobcem.

4.3.1 Konstrukce

Konstrukce modelářského laseru je obvykle tvořena kombinací plechových ocelových dílů a různých řezaných profilů, které tvoří rám, krytování a nosné části celého zařízení. Plechové díly jsou často řezány laserem nebo mechanicky stříhány a následně ohýbány do požadovaných tvarů, přičemž ne vždy dochází k dokonalému začistění hran. Na některých místech tak mohou zůstat ostré nebo špatně zaoblené hrany, což představuje riziko pro obsluhu. Při manipulaci se strojem, například při výměně materiálu, čištění nebo údržbě, může dojít k nechtěnému kontaktu s těmito hranami a následnému poranění. Typicky se jedná o drobné řezné rány nebo oděrky, což následně může bez ošetření rány způsobit výskyt infekce. Toto riziko se zvyšuje zejména v méně přístupných částech konstrukce, kde je obsluha nucena sahát do stísněných prostorů, a tam ostré hrany nejsou na první pohled viditelné.

4.3.2 Lineární vedení

Lineární vedení na modelářském laseru se na první pohled může jevit jako zcela bezpečná a nenápadná část konstrukce. Na rozdíl od pohyblivých ozubených částí nebo laserového paprsku nepůsobí nijak hrozivě. Avšak právě toto zdání může vést k podcenění potenciálního rizika. Vodicí tyče, po kterých se pohybuje laserový portál, jsou často hladké, přístupné a nechráněné. Pokud při manipulaci, kontrole stroje nebo při zakládání materiálu obsluha nechtěně položí ruku, prsty nebo zápěstí přes vodící tyč, hrozí nebezpečí. Laserový portál, poháněný krokovými motory, může nečekaně zahájit pohyb v důsledku spuštěného programu, resetu nebo nesprávné manipulace, a tím způsobit přímáčknutí části ruky.

Síla motorů, byť relativně malá, je v kombinaci s pákovým efektem dostatečná k tomu, aby způsobila bolestivé zranění, jako je pohmoždění měkkých tkání, sevření prstu nebo

v krajních případech i jeho zlomeninu prstu. Navíc vzhledem k tomu, že pohyb portálu bývá plynulý a někdy poměrně tichý, nemusí si obsluha blížícího se nebezpečí ihned všimnout.

Navíc po přímáčknutí ruky laserovým portálem zůstávají motory stále aktivní a pod proudem, protože řídicí deska laseru je nadále drží v přesně určené poloze, aby se zachovala stabilita celého systému a nenarušila se přesnost gravírování nebo řezání. To znamená, že motory vyvíjejí stálý odpor vůči jakémukoliv pohybu, čímž udržují portál pevně na místě. Tento stav však může v případě sevření ruky výrazně zkomplikovat snahu o okamžité uvolnění sevřeného místa, protože portál klade fyzický odpor a není možné jej jednoduše odtlačit ručně. Bez okamžitého zásahu, například nouzového vypnutí napájení nebo přerušení signálu do motorů, tak může dojít k vážnějšímu poranění způsobenému nejen samotným přímáčknutím, ale i dlouhodobým tlakem portálu na tkáň.

4.3.3 Motory

Jedním z hlavních nebezpečí krokových motorů, jakožto samostatně zohledňovaných komponent je tepelná zátěž. Při delším provozu, zejména v prostředí s nedostatečným chlazením nebo ventilací, se mohou krokové motory výrazně zahřívat. Povrchová teplota motorů může dosahovat i více než 60 °C, což už představuje riziko popálení při nechtěném kontaktu. Tento problém je častější u strojů bez aktivního chlazení motorů, kde teplo nemá možnost efektivně unikat, což je právě případ modelářského laseru K40.

Nezanedbatelné riziko spočívá také v elektrické části, neboť jsou krokové motory napájeny vyššími proudy, a v případě poruchy izolace nebo nevhodné manipulace při zapnutém zařízení hrozí riziko elektrického úrazu. V neposlední řadě může dojít i k poškození samotných motorů při kolizi s překážkou, což může vést k náhlému, neřízenému pohybu stroje a ohrozit tím obsluhu.

4.3.4 Ozubený řemen

Ozubené řemeny a řemenice na modelářských laserech představují specifická rizika, která mohou být při nepozornosti obsluhy velmi nebezpečná. Hlavním nebezpečím je samotný pohyb řemenu v kombinaci s rotací řemenic. Pokud se například volný kus oblečení, šňůrka, rukáv nebo dokonce prsty dostanou do blízkosti pohybujícího se řemene, může dojít k jejich zachycení a vtáhnutí do mechanismu. Tento rychlý a nekontrolovaný pohyb může způsobit vážná poranění, od odřenin až po pohmožděniny a v krajním případě i zlomeninu prstu.

Dalším rizikem je možnost poranění ostrými hranami řemenic nebo přetrženým řemenem. V případě, že řemen není správně napnutý, může při náhlém pohybu přeskočit nebo dokonce prasknout. Přetržený řemen se může šlehnutím stát nebezpečným a způsobit poranění v okolí. Nesprávně napnutý nebo opotřebovaný řemen navíc snižuje přesnost stroje a zvyšuje riziko zablokování pohybových částí, což může vést k nečekaným zastavením a tím i k dalším nehodám.

V oblasti údržby hrozí nebezpečí při manipulaci s napnutým řemenem bez odpojení napájení. Pokud motor náhle nečekaně zareaguje na povel z řídicí elektroniky, může dojít k pohybu řemene a následnému zranění.

4.3.5 Laserový paprsek

Laserový paprsek modelářských laserů představuje jedno z největších přímých rizik pro obsluhu. I když se často jedná o zařízení s relativně nízkým výkonem ve srovnání s průmyslovými lasery, nebezpečí pro lidské zdraví zůstává značné. Laserový paprsek CO₂ laserů je neviditelný, pracující v infračerveném spektru, což znamená, že obsluha si nemusí být vědoma přímého ohrožení až do okamžiku, kdy dojde k poranění.

Nejvážnější riziko představuje poškození očí. Lidské oko je extrémně citlivé na světelnou energii a jakýkoli přímý pohled do paprsku nebo jeho odraz od lesklých povrchů může vést k trvalému poškození oka. U silnějších paprsků může dojít k okamžitému oslepnutí nebo k vypálení trvalé slepé skvrny v zorném poli. Protože poškození sítnice bývá bezbolestné a nevratné, je toto riziko obzvláště závažné.

Dalším rizikem je popálení kůže. Pokud by paprsek dopadl přímo na kůži, dokáže na malém místě velmi rychle zahřát tkáň na vysokou teplotu, což vede ke vzniku popálenin. I krátkodobý zásah paprskem může způsobit povrchové poškození kůže, bolestivé spáleniny a v krajním případě hlubší poškození tkáně.

Nepřímým rizikem je také možnost způsobení požáru od nezaměřeného nebo nekontrolovaného paprsku, který může zasáhnout hořlavé materiály v okolí a tím ohrozit nejen zdraví, ale i život obsluhy například vdechnutím toxických zplodin nebo vznikem popálenin při evakuaci.

Obsluha je nejvíce ohrožena při neodborné manipulaci, například při seřizování optiky, při otevřeném krytu během provozu nebo při nedodržení bezpečnostních zásad, jako je nošení ochranných brýlí certifikovaných pro danou vlnovou délku laseru. Právě

absence adekvátní osobní ochrany nebo nedostatečné zabezpečení pracovního prostoru může významně zvýšit pravděpodobnost úrazu.

Prvotní seřízení - Při prvotním seřizování paprsku, například při výměně nebo úpravě komponent, jako jsou zrcátka nebo čočky, dochází k přímé manipulaci s optickou cestou laseru, což významně zvyšuje riziko poranění obsluhy. Pokud není paprsek správně zachycen a veden, může se neočekávaně odrazit od povrchu zrcadla či jiného optického prvku a zasáhnout obsluhu.

Další rizikovou situací je, že při seřizování může dojít k nechtěnému aktivování laserového výstřelu v okamžiku, kdy je obsluha příliš blízko optických prvků, případně když není správně nastavena pozice pracovního stolu. Pokud obsluha nevěnuje maximální pozornost poloze svých rukou nebo těla vůči optické cestě, vystavuje se přímému zásahu paprsku či jeho odrazu, který působí extrémní lokální zahřátí a vážné popáleniny.

Toto nebezpečí je způsobeno absencí krytu, kterým by paprsek procházel a bránil tak jeho nekontrolovanému šíření do okolí, čímž by chránil obsluhu před přímým nebo odraženým zásahem laserového paprsku. Během seřizování optických komponent, jako jsou zrcátka nebo čočky, je laserový paprsek často aktivní a nezajištěný, což výrazně zvyšuje riziko, že při špatném nastavení nebo nečekaném odrazu dojde k jeho nebezpečnému vychýlení mimo zamýšlenou dráhu. Stačí drobná nepřesnost v natočení zrcátka, nečekaný pohyb ruky nebo neúmyslné pohnutí konstrukcí, aby paprsek zasáhl nechráněnou část těla obsluhy, zejména oči nebo odkrytou pokožku.

Riziko poranění laserovým paprskem při manipulaci s optickými částmi je tedy značné a obsluha je v těchto chvílích nejvíce zranitelná, protože jakákoli drobná chyba nebo nepozornost může mít vážné zdravotní následky.

Pozicování dílů - Situace, kdy je paprsek správně seřízen od laserové trubice přes všechna zrcadla až do laserové hlavy, a tedy nehrozí jeho nekontrolovaný odraz do okolí, stále nepředstavuje úplné odstranění všech rizik pro obsluhu. Přestože je dráha paprsku pevně stanovena a laser je zdánlivě bezpečný pro běžnou činnost, dochází v praxi často k momentům, kdy je nutné provést jemné polohování nebo přesné umístění gravírovaného či řezaného předmětu na pracovní plochu. V těchto případech obsluha musí fyzicky manipulovat s materiálem a následně ověřit jeho správné umístění pomocí krátkého výstřelu laserového paprsku, často nazývaného "testovacím pulsem".

Právě v tomto okamžiku dochází k nebezpečné situaci. Pokud není dostatečně zajištěn pracovní postup nebo pokud obsluha jedná zbrkle, nepozorně nebo v časovém presu, může se stát, že v okamžiku výstřelu bude část její ruky – například prsty nebo dlaň – umístěna přímo v trajektorii paprsku. Vzhledem k vysoké energii i krátkého impulsu paprsku CO₂ laseru může dojít k okamžitému poranění.

Riziko je o to větší, že při takovém testovacím výstřelu je paprsek často spuštěn ručně obsluhou pomocí softwarového příkazu nebo mechanického tlačítka, kdy není aktivována žádná dodatečná bezpečnostní kontrola, zda je oblast pod hlavou skutečně volná. Kromě popálenin je zde také možnost zranění hlubších struktur v prstech či ruce, pokud by byl použit vyšší výkon nebo by paprsek na kůži působil déle než zlomek sekundy. Obsluha si přitom mnohdy nemusí být ani vědoma, že ruka je v nebezpečné oblasti, zejména pokud se soustředí na přesné polohování materiálu a nevěnuje dostatečnou pozornost trajektorii paprsku.

Poranění pod hlavou - Přímo pod hlavou modelářského laseru, kde je paprsek soustředěn pomocí zaostřovací čočky do velmi úzkého bodu, vzniká jedna z nejnebezpečnějších oblastí celého stroje. Na rozdíl od rozptýleného nebo částečně odraženého paprsku je zde energie koncentrována na velmi malou plochu, což výrazně zvyšuje jeho schopnost okamžitě poškodit jakýkoliv materiál, včetně lidské tkáně. Paprsek v tomto bodě dosahuje maximální hustoty výkonu a je schopen během zlomku sekundy proříznout nebo gravírovat materiály jako papír, plasty, kůži, dřevo, sklo, keramiku nebo kámen. Při neúmyslném kontaktu s lidskou rukou nebo jinou částí těla tak hrozí okamžité a vážné popálení, hluboké tepelné poranění nebo amputace měkkých tkání v místě zásahu.

Nebezpečí se navíc zvyšuje v situacích, kdy obsluha provádí jemné nastavení, výměnu materiálu nebo korekce během procesu výroby a není si plně vědoma toho, že laser je aktivní, připravený k výstřelu nebo dokonce v chodu. V některých případech může dojít ke spuštění laseru z důvodu chyby v softwaru, nesprávného pokynu od obsluhy nebo kvůli nechtěnému kontaktu s ovládacími prvky. Přítomnost silného, zaostřeného paprsku pod hlavou představuje riziko i v případě, že se materiál při výrobě nečekaně posune a obsluha se jej snaží rychle upravit, často reflexivně a bez uvědomění si aktuálního stavu stroje.

V oblasti pod laserovou hlavou tedy dochází ke koncentraci nejvyššího potenciálu nebezpečí z hlediska fyzického zranění.

4.3.6 Elektrické napájení

Modelářské lasery představují určité riziko úrazu elektrickým proudem, které může mít vážné zdravotní dopady na obsluhu. Elektrické napájení těchto zařízení je běžně řešeno pomocí síťového napětí, které je transformováno a dále upravováno pro napájení jednotlivých komponent, jako jsou krokové motory, řídicí elektronika a zejména vysokonapěťové zdroje pro CO₂ laserové trubice. Právě tyto vysokonapěťové části jsou nejkritičtější z hlediska nebezpečí zásahu elektrickým proudem. Laserová trubice a její napájecí zdroj běžně pracují s napětím několika tisíc voltů, což je hodnota schopná způsobit nejen vážné popáleniny, ale i okamžitou fibrilaci srdce, zástavu dechu nebo smrt.

Nebezpečí zásahu elektrickým proudem hrozí nejčastěji při servisních zásazích, výměně komponent, poruchách zařízení nebo při nedbalé manipulaci, například pokud dojde k poškození izolace vodičů nebo k nechtěnému dotyku živých částí. Obsluha se přitom nemusí vždy přímo dotknout živého vodiče. V případě vysokonapěťových částí je možné, že dojde k elektrickému průrazu i přes menší vzdálenost nebo přes povrchově znečištěné, vlhké či mastné části zařízení. Kromě okamžitého ohrožení života může slabší elektrický zásah způsobit i sekundární zranění, například pádem, úderem do okolních částí konstrukce nebo jinou nehodou způsobenou šokem.

Další rizikovou oblastí jsou vnitřní napájecí moduly, které mohou obsahovat kondenzátory schopné akumulovat elektrickou energii i po odpojení zařízení ze sítě. Nedostatečné vybití těchto prvků může vést k tomu, že se obsluha při následné manipulaci stane cílem nečekaného elektrického výboje. Tento jev je zvláště nebezpečný u modelů, které nemají automatické vybíjení kondenzátorů.

Úraz elektrickým proudem na modelářském laseru tedy může mít různou závažnost, od lehkého brnění končetin přes vážné popáleniny kůže až po ohrožení základních životních funkcí. Obsluha je navíc vystavena riziku psychického šoku a stresové reakce těla, které mohou zhoršit její schopnost rychle reagovat na vzniklou krizovou situaci. Vzhledem k tomu, že modelářské lasery jsou často provozovány v domácích podmínkách nebo v malých dílnách, kde nemusí být dodrženy všechny profesionální standardy elektroinstalace, je riziko elektrického úrazu reálné a nelze ho podceňovat.

4.3.7 Odsávání

Nezapojené, poškozené nebo nedostatečně odsávání na modelářských laserech představuje vážné ohrožení zdraví obsluhy. Při gravírování a řezání různých materiálů může vznikat

velké množství kouře, jemných prachových částic a chemických zplodin. Pokud tyto škodliviny nejsou efektivně odváděny z pracovního prostoru, obsluha je nucena je přímo vdechovat. Dlouhodobé vystavování se těmto látkám může vést k řadě zdravotních problémů, které se nemusí projevit ihned, ale vyvíjejí se postupně.

Nejčastějším akutním důsledkem je podráždění dýchacích cest. Obsluha může pociťovat škrábání v krku, kašel, dušnost, pálení očí a podráždění nosní sliznice. Některé chemické složky, zejména při spalování syntetických materiálů, mohou obsahovat toxické a karcinogenní látky, které představují dlouhodobé riziko vzniku vážných onemocnění, včetně rakoviny dýchacích cest.

Dalším významným problémem je celkové zhoršení komfortu práce. Bez správného odsávání se pracovní prostor rychle naplní kouřem, což vede ke snížení viditelnosti a zvýšení psychické zátěže obsluhy. Dlouhodobá práce v zakouřeném prostředí může způsobovat bolesti hlavy, únavu, sníženou koncentraci a celkový pokles pracovní výkonnosti. Obsluha je pak náchylnější k chybám, což může zvýšit riziko pracovních úrazů.

V některých případech může dojít také k přímému podráždění pokožky a očí v důsledku usazování jemného prachu obsahujícího chemické látky.

4.3.8 Ergonomie

Správná ergonomie při práci s modelářským laserem je velmi důležitá pro zajištění pohodlí, snížení fyzické únavy a minimalizaci rizika dlouhodobých zdravotních problémů obsluhy.

Výškové umístění modelářského laseru - Vzhledem k tomu, že modelářský laser K40 není vybaven vlastní podstavnou konstrukcí a běžně se umísťuje na stůl nebo jinou vhodnou podpěru, je nutné při jeho instalaci zohlednit i ergonomii práce. Nevhodná výška umístění (příliš nízko nebo naopak vysoko) může vést k výraznému snížení uživatelského komfortu a zároveň představuje riziko vzniku únavy, bolestí zad, krční páteře nebo jiných zdravotních obtíží při dlouhodobém používání.

Při nízkém umístění je obsluha nucena se často ohýbat nebo pracovat v předklonu, čímž dochází k přetěžování bederní části zad. Naopak příliš vysoké postavení zařízení může způsobovat napětí v ramenou a krku a zároveň ztěžuje manipulaci s materiálem i kontrolu nad pracovním prostorem. Ideální výška laseru by měla odpovídat přirozené poloze obsluhy, tedy tak, aby se pracovní plocha nacházela přibližně v úrovni loktů při vzpřímeném postoji.

Zároveň je důležité, aby podpůrná konstrukce byla stabilní, pevná a nabízela dostatek prostoru pro pohodlný přístup z více stran. Kromě bezpečnosti a přesnosti práce je důležitá i ochrana zařízení před vibracemi a nechtěným pohybem, což může mít negativní vliv na kvalitu gravírování nebo řezání.

Osvětlení - Slabé nebo nerovnoměrné světlo může vést k vizuální únavě, chybné interpretaci detailů na ovládacích prvcích či pracovním materiálu a ke zvýšenému napětí očí. To nejen zvyšuje pravděpodobnost provozní chyby, například nesprávného upnutí materiálu nebo chybného nastavení parametrů laseru, ale také zvyšuje riziko mechanického úrazu nebo kontaktu s horkými či pohyblivými částmi zařízení. Dlouhodobá práce v nevhodně osvětleném prostředí navíc vede k celkové fyzické nepohodě, zhoršení držení těla a zvýšené únavě, čímž se dále zvyšuje pravděpodobnost pracovního úrazu.

4.4 Shrnutí a výsledky

Modelářské lasery, jako případ modelu K40, s relativně nízkou pořizovací cenou, nejsou prodávány v dokonalé kvalitě a rozdíly kvality se mohou lišit i mezi samotnými jednotlivými lasery K40. Z toho důvodu je hodnocení jednotlivých hodnot metody PNH subjektivní a nemusí se shodovat s hodnocením jiných uživatelů či pozorovatelů.

Výsledek kombinované metody PNH a PHA, kterým je vyplněný formulář na dalších stranách (Obrázek 9, 10, 11) zřehledňuje výskyt jednotlivých nebezpečí, souvisejících nehodových událostí, možných příčin a následků, preventivních opatření a opatření navržených pro snížení rizikovosti práce s modelářským laserem, která jsou dále rozvedená v kapitole 5. Pro celkový přehled výsledků identifikovaný rizik jsou dále výsledky zobrazeny v grafu (Obrázek 12), ze kterého lze vyčíst počet pozic v různých rizikových kategoriích. Pozice v grafu (Obrázek 12) odpovídají pořadovým číslům v přechozí tabulce (Obrázek 9, 10, 11).

P.č.		Nebezpečí	Nehodová událost (Co? Kde?, Kdy?)	Popis scénáře				Odhad rizika					Datum: duben 2025	Poznámky
				Možná příčina	Možný dopad	Preventivní opatření	Navržená opatření	P	N	H	R	MR		
1	Mechanické		poranění ostrými hranami při manipulaci uvnitř laseru	nepozornost	odřenina	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.umístění vizuálního označení 3.lemovací profily 4.konstrukční úpravy	3	1	1	3	V.		
2	Mechanické		poranění ostrými hranami při manipulaci uvnitř laseru	nepozornost	řezná poranění	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.umístění informativního piktogramu 3.označení ostrých hran 4.lemovací profily 5.konstrukční úpravy	2	1	2	4	IV.		
3	Mechanické		přímáčknutí ruky lineárním vedením při manipulaci uvnitř laseru	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	pohmoždění	1. uživatelský manuál přikazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků	2	1	1	2	V.		
4	Mechanické		přímáčknutí ruky lineárním vedením při manipulaci uvnitř laseru	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	zlomenina prstu	1. uživatelský manuál přikazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků	2	2	3	12	III.		
5	Tepečná		popálení o horký krokový motor při manipulaci uvnitř laseru	nepozornost	popálení	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.umístění informativního piktogramu 3. montáž bezpečnostních prvků	3	1	2	6	IV.	dosažení vysoké teploty motoru je podmíněno dlouhou dobou pracovního procesu a nemusí nastat vůbec	
6	Mechanické		zachycení ruky ozubeným řemenem při manipulaci uvnitř laseru	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	odřenina	1. uživatelský manuál přikazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků	2	1	2	4	IV.		

Obrázek 9 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 1. část

(zdroj: vlastní)

Nehodová událost (Co? Kde?, Kdy?)			Popis scénáře					Datum: duben 2025				
P.č.	Nebezpečí		Možná příčina	Možný dopad	Preventivní opatření	Navržená opatření	Odhad rizika				Poznámky	
							P	N	H	R		
		zachycení ruky ozubeným řemenem při manipulaci uvnitř laseru	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu		1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
7	Mechanické			pohmoždění			2	1	2	4	IV.	
		zachycení ruky ozubeným řemenem při manipulaci uvnitř laseru	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu		1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
8	Mechanické			zlomenina prstu			2	2	2	8	IV.	
		popálení nebo zásah paprskem při seřizování optiky	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu		1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
9	Záření			popálení kůže paprskem			2	1	2	4	IV.	
		popálení nebo zásah paprskem při seřizování optiky	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	poškození zraku vlivem zásahu okapaprskem	1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
10	Záření			oka paprskem			2	4	2	16	III.	
		popálení nebo zásah paprskem při seřizování optiky	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	ztráta zraku vlivem zásahu oka paprskem	1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
11	Záření			oka paprskem			2	4	2	16	III.	
		popálení nebo zásah paprskem při seřizování polohování materiálu	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	popálení kůže paprskem	1. uživatelský manuál příkazuje pracovat pouze s uzavřenými kryty 2. nouzové vypnutí stroje v případě nehody	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.implementace bezpečnostních prvků						
12	Záření			záleží na dalších faktorech			2	1	2	4	IV.	
		úraz elektrickým proudem při kontaktu s tělem laseru	absence zemního vodiče, nedodržení uživatelského manuálu	obsluhy (tělesná hmotnost, zdravotní stav, svařovací citlivost, vlhkost kůže)	1. uživatelský manuál příkazuje obecně pracovat podle provozních předpisů 2. uživatelský manuál zakazuje neprofesionálním strojím rozebrat	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.školení první pomoci						
13	Elektrické			úraz elektrickým proudem při kontaktu s tělem laseru			2	3	3	18	III.	

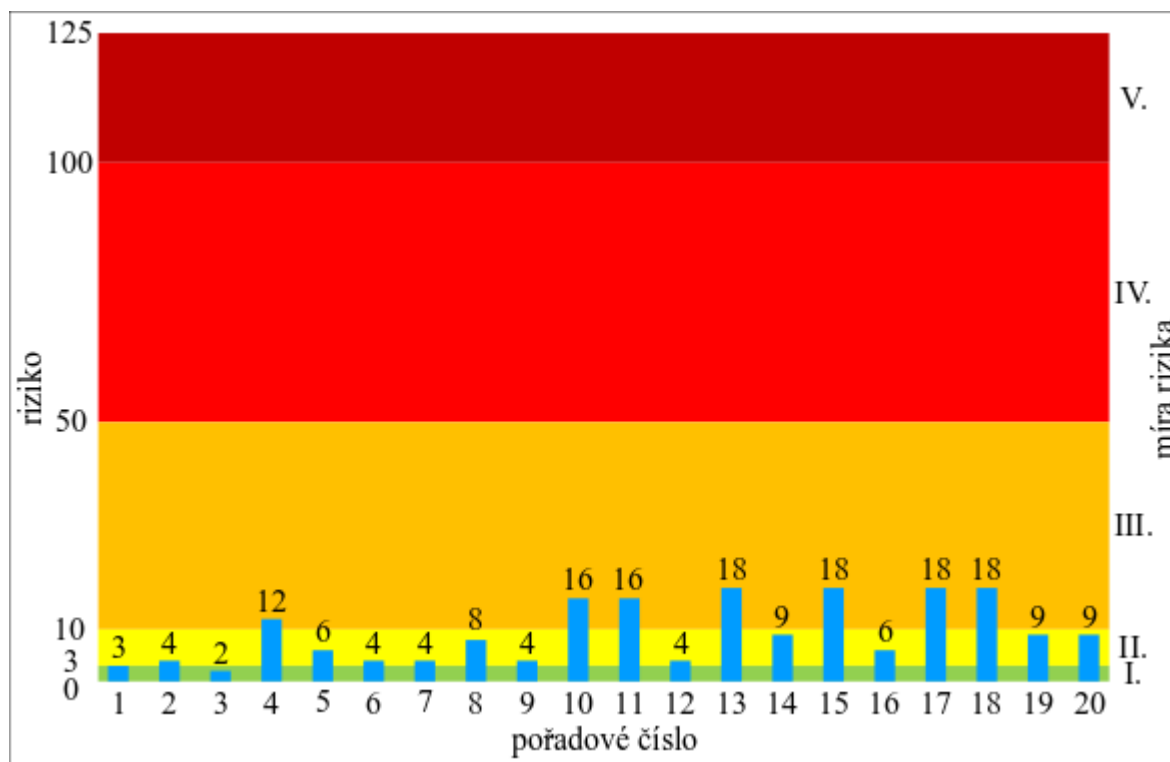
Obrázek 10 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 2. část

(zdroj: vlastní)

P.č.	Nebezpečí	Nehodová událost (Co? kde?, kdy?)	Popis scénáře				Odhad rizika					Datum: duben 2025	
			Možná příčina	Možný dopad	Preventivní opatření	Navržená opatření	P	N	H	R	MR	Poznámky	
				záleží na dalších faktorech obsluhy (tělesná hmotnost, zdravotní stav, svalová citlivost, vlhkost kůže)	1. uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů 2. uživatelský manuál zabývá neprofesionálům stroj rozebírat	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.školení první pomoci	1	3	3	9	IV.		
14	Elektrické	úraz elektrickým proudem při kontaktu s poškozeným vodičem	poškození vodičů uvnitř modelářského laseru	záleží na dalších faktorech obsluhy (tělesná hmotnost, zdravotní stav, svalová citlivost, vlhkost kůže)	1. uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů 2. uživatelský manuál zabývá neprofesionálům stroj rozebírat	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.školení první pomoci	1	3	3	18	III.		
15	Elektrické	úraz elektrickým proudem při servisním zásahu (např. při kontrole nebo výměně komponent)	nedbalost, nedodržení uživatelského manuálu	záleží na dalších faktorech obsluhy (tělesná hmotnost, zdravotní stav, svalová citlivost, vlhkost kůže)	1. uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů 2. uživatelský manuál zabývá neprofesionálům stroj rozebírat	1.vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu 2.školení první pomoci	2	3	3	18	III.		
16	Nebezpečí materiálů	dýchací obtíže nebo i pálení očí při práci s modelářským laserem	netěsnost odsávacího zařízení	škrábání v krku, kašel, dušnost pálení očí	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů, konkrétněji ergonomii	1. kontrola těsnosti odsávání 2. aplikace těsnění 3. aplikace dílu mezi odsáváním a tělo laseru	3	1	2	6	IV.		
17	Ergonomie	špatné výškové umístění modelářského laseru	příliš nízké umístění modelářského laseru	bolest bederní části zad	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů, konkrétněji ergonomii	1. výškové umístění podle obsluhy laseru 2. využití výškově nastavitelného stolu	3	2	3	18	III.		
18	Ergonomie	špatné výškové umístění modelářského laseru	příliš vysoké umístění modelářského laseru	napětí v ramennou a krku	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů, konkrétněji ergonomii	1. výškové umístění podle obsluhy laseru 2. využití výškově nastavitelného stolu	3	2	3	18	III.		
19	Ergonomie	nedostatečné osvětlení při práci s modelářským laserem	nedostatečné osvětlení	nadměrný stres a nepohodlí při práci	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů, konkrétněji ergonomii	1. instalace dostatečného osvětlení nad pracovním modelářského laseru	3	1	3	9	IV.		
20	Ergonomie	blikající osvětlení při práci s modelářským laserem	stář osvětlení	bolest hlavy	uživatelský manuál přikazuje obecně pracovat podle provozních předpisů, konkrétněji ergonomii	1. výměna osvětlení na pracovním modelářského laseru	3	1	3	9	IV.		

Obrázek 11 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 3. část

(zdroj: vlastní)



Obrázek 12 Graf rizik převzatý z formuláře

(zdroj: vlastní)

Nevyšší zjištěná hodnota rizika je 18, což spadá do míry rizika III., tedy jako mírné riziko, které je interpretováno jako „Mírné riziko, i když není nutnost opatření tak závažná jako u rizik kategorie II. Bezpečnostní opatření nutno zpravidla realizovat dle zpracovaného plánu podle rozhodnutí vedení podniku. Prostředky na snížení rizika musí být implementovány ve stanoveném časovém období. Je-li toto riziko spojeno se značnými nebezpečnými následky, musí se provést další zhodnocení, aby se přesněji stanovila pravděpodobnost vzniku úrazu, jako podklad pro stanovení potřeby dosažení zlepšení a snížení rizika.“ (dle formuláře od vedoucí práce).

Modelářský laser je tedy podle subjektivního hodnocení relativně bezpečný, nicméně je vhodné zavést opatření alespoň formou vytvoření doplňujícího bezpečnostního předpisu.

5 NÁVRH OPATŘENÍ PRO MINIMALIZACI RIZIK

K identifikovaným rizikům následně navrhujeme opatření, která budou zaměřena na snížení pravděpodobnosti vzniku nebezpečné situace a zároveň na minimalizaci možných negativních důsledků pro obsluhu i okolní prostředí. Tato opatření budou vycházet nejen ze zjištěných rizik, ale také z praktických zkušeností, doporučených postupů a obecně uznávaných zásad bezpečnosti práce. Cílem je vytvořit soubor praktických a účinných řešení, která budou v praxi snadno aplikovatelná a přispějí ke zvýšení bezpečnosti provozu modelářských laserů.

5.1 Konstrukce

Opatření pro minimalizaci rizik spojenými s ostrými hranami nacházejících se na konstrukci je hned několik.

5.1.1 Bezpečnostní pokyny

Jedním z nejjednodušších opatření pro minimalizaci rizika poranění o konstrukci modelářského laseru je důkladné seznámení obsluhy s možnými nebezpečími. Již při prvotním zaškolení by měla být obsluha informována o všech místech zařízení, kde hrozí riziko poranění v důsledku ostrých hran, vyčnívajících částí nebo nechráněných konstrukčních spojů.

Cílem tohoto opatření je zvýšit povědomí uživatelů o možných nebezpečích a vést je k větší opatrnosti při manipulaci s materiálem a při pohybu kolem zařízení. Informovaná obsluha pak daleko snáze předchází situacím, kdy by mohlo dojít k nečekanému poranění, například při neopatrném sáhnutí na ostrý okraj nebo při zasahování do blízkosti pohybujících se částí stroje.

5.1.2 Vizuální označení

Pro jednoduchou a srozumitelnou formu předání informace o možném výskytu ostrých hran na konstrukci modelářského laseru lze využít vizuální označení přímo na stroji. Nejčastěji se k tomuto účelu používá výstražný piktogram umístěný na rámu laseru z pohledové strany obsluhy, kde je největší pravděpodobnost kontaktu s konstrukčními částmi. Tento piktogram by měl být dostatečně kontrastní a umístěný v zorném poli uživatele tak, aby byl snadno zaznamenán ještě před začátkem manipulace se strojem. Kromě piktogramů je velmi účinným opatřením i přímé označení samotných ostrých hran kontrastní bezpečnostní

páskou. Ideálně by se mělo jednat o klasickou žlutočernou výstražnou pásku, která je obecně vnímána jako symbol nebezpečí. V praxi však může nastat problém s dostupností vhodné šířky těchto pásek – většina komerčně dostupných variant má šířku kolem 50 mm, což je pro malé a členité části konstrukce modelářských laserů často příliš široké. Pro tyto účely by byla ideální páska o šířce v rozmezí 10–15 mm, která by lépe kopírovala profil kovových dílů a nepůsobila rušivě či překážejícím dojmem. V kombinaci s instruktáží obsluhy může takové označení významně přispět ke zvýšení bezpečnosti práce.

5.1.3 Profily na ostrých hranách

Další efektivní možností, jak snížit riziko poranění o ostré hrany konstrukce modelářského laseru, je použití ochranných profilů z gumy nebo plastu. Tyto ochranné prvky lze snadno nasadit přímo na ostré hrany plechových dílů, kde slouží jako mechanická bariéra mezi konstrukcí a pokožkou obsluhy. Gumové nebo plastové profily bývají měkké, pružné a zároveň dostatečně odolné vůči opotřebení, takže dokážou účinně tlumit případný náraz ruky nebo jiného tělesného kontaktu s hranou.

Na trhu jsou dostupné v různých tvarech, například ve tvaru „U“ pro nasazení přímo na okraj plechu nebo jako rohové ochrany, které zakrývají celý profil hrany. Výhodou těchto ochranných prvků je i možnost volby barvy, díky čemuž lze riziková místa zvýraznit, nebo naopak esteticky sladit s celkovým vzhledem zařízení. Instalace je obvykle jednoduchá, protože se většina profilů nasazuje tlakem nebo pomocí samolepicí vrstvy, což umožňuje jejich snadnou výměnu při poškození.

Použití gumových a plastových profilů nejenže zvyšuje bezpečnost obsluhy při běžné manipulaci a údržbě zařízení, ale zároveň působí profesionálně a zvyšuje celkovou uživatelskou přívětivost zařízení. Tato opatření jsou zvláště vhodná pro hobby a dílenské modelářské lasery, které často pracují v méně průmyslových a více domácích podmínkách, kde není tak důsledně zajištěna bezpečnostní kontrola.

Tyto ochranné profily, ačkoliv jsou velmi účinné v ochraně před poraněním o ostré hrany, bohužel nelze aplikovat na všech částech konstrukce modelářského laseru, kde se takové hrany vyskytují. Důvodem omezení jejich použití je především zachování funkčnosti důležitých konstrukčních prvků, zejména v oblastech, kde musí plochy přesně dosedat kvůli správné funkci odsávání. Z tohoto důvodu je nutné zvážit použití profilů pouze tam, kde to nenaruší technické vlastnosti zařízení a kde je jejich ochranný účinek skutečně efektivní.

5.1.4 Úprava konstrukce

Dalším ze způsobů, jak minimalizovat riziko poranění ostrými hranami na modelářských laserech, je přímo konstrukční úprava samotného zařízení.

Zabroušením ostrých hran na konstrukčních dílech můžeme dosáhnout drobného zaoblení, čímž výrazně snižujeme riziko mechanického poranění obsluhy při manipulaci se zařízením nebo při běžném provozu. Tento zásah je relativně jednoduchý a lze jej provést ručním nebo strojním nástrojem, přičemž výsledkem je bezpečnější dotyková hrana, která minimalizuje možnost říznutí nebo poškrábání. Je však důležité mít na paměti, že tento krok má i své technologické důsledky. Zabroušením dochází k narušení původní povrchové úpravy materiálu – nejčastěji jde o práškové lakování nebo jiný typ ochranného nátěru, jehož souvislá vrstva je zásadní pro ochranu materiálu proti korozi. Po mechanickém zásahu tedy vzniká nutnost dodatečné opravy povrchové úpravy v místě zásahu. Pokud by k opravě nedošlo, mohla by se narušená místa stát začátkem korozního poškození, které by mohlo ohrozit nejen vzhled, ale i pevnost konstrukce v delším časovém horizontu. Opětovná aplikace ochranného nátěru nebo lokální oprava laku je tedy nezbytnou součástí procesu zabrušování hran, pokud chceme, aby byla úprava bezpečnostně i technicky efektivní. Tento krok by měl být součástí komplexního přístupu k bezpečnostním úpravám zařízení.

Méně náročný způsob, jak dosáhnout lehce zaoblených hran, je samotné **přelakování** konstrukčního dílu. Tloušťka vrstvy barvy totiž sama o sobě vytváří drobné zaoblení na jinak ostré hraně, čímž snižuje její agresivitu při kontaktu s pokožkou. Tento způsob nevyžaduje mechanické zásahy do konstrukce, což je výhodné zejména v případech, kdy není možné nebo praktické ostré hrany zabrušovat, například kvůli omezenému přístupu k danému místu. Přelakování může navíc plnit i vizuální funkci, jelikož kvalitní nátěr zakryje menší výrobní nedokonalosti a celkově esteticky sjednotí vzhled zařízení. Při aplikaci silnější vrstvy barvy, například pomocí práškového lakování, může být efekt zaoblení ještě výraznější. Je však nutné poznamenat, že tento způsob není zcela srovnatelný s mechanickým zabroušením, protože ostrá hrana zůstává pod vrstvou barvy zachována a za jistých podmínek může stále představovat riziko. Přelakování jako opatření proti poranění je tedy vhodné zejména pro místa, která nejsou přímo vystavena silnému mechanickému kontaktu nebo kde hrozí pouze povrchové oděrky.

Jedním z možných přístupů ke zvýšení bezpečnosti při práci s modelářským laserem je výroba vlastních konstrukčních dílů, které budou vycházet z původního návrhu, avšak s technickými úpravami, jež odstraní nebo výrazně omezí výskyt ostrých hran. Tento způsob

spočívá v tom, že se původní konstrukční prvky, například plechové části rámu nebo kryty, přeměří a následně znovu navrhnu tak, aby kritická místa, na které může obsluha snadno narazit, byla technologicky upravena. Úpravy mohou zahrnovat zaoblení rohů nebo změnu tvaru hrany tak, aby nebyla ostrá, ale mírně zkosená či zaoblená. Při opětovné výrobě těchto dílů může být využita například technologie laserového řezání s následným CNC ohýbáním, přičemž už při návrhu se dbá na to, aby exponované části byly tvarovány bezpečněji. Tento přístup umožňuje vytvořit komponenty, které zcela nahrazují původní, ale zároveň minimalizují riziko poranění při běžné manipulaci i při nechtěném kontaktu obsluhy s konstrukcí stroje. Výhodou této metody je i to, že výsledná konstrukce vypadá profesionálně, bezpečně a při správném návrhu nijak neomezuje funkčnost nebo provoz zařízení. Nevýhodou je ovšem časová náročnost při demontáži, přeměřování, návrhu, výrobě, lakování a opětovném složení stroje. Tento proces ovšem může mnohonásobně navýšit pořizovací náklady samotného modelářského laseru.

5.2 Lineární vedení

Jedním ze zásad bezpečnosti při práci s modelářským laserem je ochrana obsluhy před nebezpečím, které vyplývá z pohyblivých částí a manipulace se zařízením během jeho provozu.

5.2.1 Bezpečnostní pokyny

Pro zajištění bezpečnosti při obsluze modelářského laseru je nezbytné důsledně informovat uživatele o pohybujiících se mechanických částech zařízení, zejména o lineárních vedeních, která umožňují přesné řízení pohybu v osách X a Y. Tyto části se mohou pohybovat vysokou rychlostí a s velkou silou, čímž představují riziko mechanického úrazu při nepozorné manipulaci nebo při nedodržení provozních zásad. Zvláštní důraz je třeba klást také na dodržování provozních bezpečnostních pokynů uvedených v uživatelské dokumentaci. Ta jasně stanovuje, že během aktivního provozu laseru je přísně zakázáno otevírat jeho kryt. Tento zákaz slouží jako ochrana před možným zásahem laserovým zářením, ale rovněž zabraňuje neúmyslnému kontaktu s pohybujiícími se komponenty, které by mohly vést k vážnému poranění obsluhy.

5.2.2 Bezpečnostní prvky

Další možností, jak zvýšit bezpečnost práce s modelářským laserem, je implementace bezpečnostních prvků, které ve spolupráci s řídicí elektronikou zajišťují automatické

zastavení všech probíhajících činností v okamžiku, kdy dojde k otevření krytu zařízení. Tyto prvky mohou být tvořeny například magnetickými nebo mechanickými spínači, optickými senzory či jazýčkovými kontakty, které monitorují polohu krytu a okamžitě vysílají signál do řídicí jednotky v případě, že je kryt otevřen. Systém je zároveň navržen tak, aby zabránil opětovnému spuštění laseru, dokud není kryt bezpečně uzavřen a systém potvrzen jako připravený k provozu. Tímto způsobem lze účinně předejít nebezpečí neúmyslného kontaktu s pohybujícími se částmi zařízení během provozu. Takové řešení představuje důležitý bezpečnostní standard, který se běžně uplatňuje i u profesionálních zařízení a měl by být zvažován i u modelářských laserů, a to jak z hlediska ochrany obsluhy, tak z hlediska obecné prevence úrazů.

5.3 Motory

Důležitý aspekt bezpečnosti při práci s modelářským laserem je prevence popálení a úrazu elektrickým proudem v souvislosti s krokovými motory a jejich elektroinstalací.

5.3.1 Bezpečnostní pokyny

Jako preventivní opatření před popálením o horký krokový motor je nutné zaškolení obsluhy, které zahrnuje nejen seznámení s funkcí krokových motorů a jejich umístěním v rámci zařízení, ale také důraz na jejich možné zahřátí během provozu. Uživatel by měl být informován o tom, že krokové motory mohou dosahovat vysokých teplot i při běžném chodu, a že jejich povrch může být po delší době provozu natolik horký, že při nepozorném dotyku může dojít k popálení kůže. Školení by mělo zahrnovat doporučení, jak se těmito rizikovým situacím vyhnout, například nedotýkat se motorů bezprostředně po ukončení provozu nebo používat ochranné pomůcky v případě nutnosti manipulace v blízkosti těchto komponent. Součástí tohoto školení by měla být i první pomoc a ošetření zranění popálením. Vzhledem k výskytu této možnosti poranění by bylo též jedno z vhodných preventivních opatření umístění lékárničky v blízkosti modelářského laseru.

5.3.2 Vizuální označení

Dalším vhodným krokem by bylo umístění piktogramu informujícího o výskytu horkých ploch na motorech modelářského laseru v zorném poli obsluhy a též přímo na samotné krokové motory. Tyto vizuální varovné symboly by měly být zřetelné, srozumitelné a odolné vůči okolním podmínkám, jako je teplo nebo prach vznikající při gravírování. Ideálně by měly být umístěny na takových místech, kde si jich obsluha nevyhnutelně všimne ještě

před jakýmkoli zásahem do prostoru zařízení. Piktogramy mohou sloužit jako neustálá připomínka potenciálního rizika popálení a fungují efektivně i pro dočasně zaučený personál nebo návštěvníky, kteří nejsou s provozem zařízení plně obeznámeni. Kombinace vizuálního upozornění s instrukcemi tak výrazně zvyšuje celkovou úroveň bezpečnosti při práci s modelářským laserem.

5.3.3 Bezpečnostní kryty

Jako velice účinné opatření proti popálení o krokový motor může být i vytvoření a instalace krytu, který zabrání neúmyslnému dotyku obsluhy s krokovým motorem. Tento kryt by měl být vyroben z materiálu odolného vůči teplotě a zároveň dostatečně pevného, aby plnil ochrannou funkci i při náhodném kontaktu nebo zavadění například při výměně materiálu či při čištění pracovního prostoru. Ideálním řešením je použití perforovaného kovového plechu nebo tepelně odolného plastu, který zajistí dostatečné chlazení motoru, aniž by ohrozil bezpečnost obsluhy. Kryt by měl být navržen tak, aby nevylučoval pravidelnou údržbu a kontrolu krokového motoru, tedy aby byl snadno demontovatelný, ale zároveň dostatečně stabilní v běžném provozu. Důležité je také zajištění toho, aby ochranný kryt nijak neomezoval pohyb stroje, nezasahoval do trajektorie os nebo nebránil funkci pohyblivých částí. Pokud je kryt navržen jako pevná součást konstrukce nebo volitelný modul, měl by být doplněn výstražným označením informujícím o možnosti vysoké teploty pod ním.

5.3.4 Preventivní kontrola

Preventivní opatření proti riziku poranění elektrickým proudem v souvislosti s elektroinstalací vedoucí do krokových motorů modelářského laseru je zásadní dbát na správné vedení, uchycení a pravidelnou kontrolu všech elektrických vodičů. Kabely vedoucí k motorům by měly být vedeny tak, aby nedocházelo k jejich nadměrnému ohýbání, kroucení nebo mechanickému namáhání, zvláště v místech pohyblivých částí. Vhodné je použití ochranných kabelových řetězů, opletení nebo jiných forem mechanické ochrany, které sníží riziko poškození izolace. Pravidelná vizuální kontrola kabeláže a konektorů je důležitá pro včasné odhalení opotřebení, uvolnění nebo prasklin v izolaci. Z hlediska bezpečného chování obsluhy je nutné dodržovat zásadu, že jakékoli zásahy do elektrických částí zařízení se provádějí pouze při odpojení napájení. Obsluha by měla být také seznámena s možnými riziky při manipulaci v blízkosti pohyblivých a elektricky aktivních částí a měla by mít základní znalosti o bezpečném zacházení s elektrickým zařízením.

5.4 Ozubený řemen

Jedním z bezpečnostních hledisek při práci s modelářským laserem je zamezení rizika úrazu způsobeného pohybem ozubených řemenů a řemenic, které tvoří důležitou část pohonného systému zařízení a při provozu se pohybují vysokou rychlostí.

5.4.1 Bezpečnostní pokyny

Prvním krokem je opět seznámení obsluhy modelářského laseru s výskytem tohoto rizika, a to jak teoretickou formou v rámci školení, tak praktickou ukázkou přímo na zařízení. Uživatel by měl být informován o tom, kde se ozubené řemeny a řemenice nacházejí, jakým způsobem se pohybují během provozu, a jaké nebezpečí hrozí v případě nechtěného kontaktu s těmito částmi. Důraz by měl být kladen na to, že řemeny se mohou pohybovat vysokou rychlostí a jejich sevření nebo vtažení může vést k bolestivému úrazu prstů nebo ruky, zejména při nepozorné manipulaci nebo při snaze zasáhnout do prostoru zařízení během chodu i přesto, že je toto počínání zakázáno uživatelským manuálem.

5.4.2 Bezpečnostní prvky

Stejně jako v případě lineárního vedení by byla možnost implementace bezpečnostních prvků spolupracujících s řídicí elektronikou. Toto opatření je popsáno v kapitole 5.2.2

5.5 Paprsek

Poranění vlivem zásahu laserovým paprskem může být velmi nepříjemné a bolestivé, přičemž intenzita a závažnost poranění závisí na délce expozice, výkonu laseru a místě zasažení. V případě modelářských CO₂ laserů může dojít ke spálení povrchových vrstev kůže, popáleninám druhého stupně, případně k trvalému poškození tkáně.

5.5.1 Bezpečnostní pokyny

Je nutné obsluhu informovat s důrazem možnosti vzniku závažného poranění při nedodržení bezpečnostních pokynů. Samotný uživatelský manuál zakazuje pohyb laseru a zapínání paprsku a výrobních procesů bez zavřeného bezpečnostního krytu.

5.5.2 Bezpečnostní prvky

Řešení implementace bezpečnostních prvků provázaných s řídicí elektronikou laseru, která je popsána v kapitole 5.2.2 by v tomto případě měla velké opodstatnění a obrovský bezpečnostní přínos.

5.6 Elektrické napájení

Jelikož je samotný stroj napájený z elektrické sítě a ve stroji je dále elektrický proud transformovaný pro laserovou trubici na desítky tisíc voltů, jedná se jedno z rizik při práci na modelářském laseru.

5.6.1 Bezpečnostní pokyny

Základním krokem je informování obsluhy modelářského laseru, jak správně a bezpečně pracovat se zařízením, které je napájeno z elektrické sítě, přičemž je nezbytné důkladně vysvětlit, jaká pravidla a zásady je nutné při manipulaci s elektrickými zařízeními dodržovat. Obsluha by měla být obeznámena s rozložením elektrických komponent uvnitř stroje, včetně vedení napájení, řídicích modulů a připojení motorů, a měla by vědět, jaká místa je zakázáno otevírat nebo se jich dotýkat během provozu. Dále je důležité, aby každý uživatel měl jasno v tom, jak správně postupovat v případě, že dojde k poruše zařízení nebo k podezření na poškození elektroinstalace.

5.6.2 První pomoc

Nedílnou součástí školení musí být také instrukce k první pomoci při úrazu elektrickým proudem, jak reagovat, koho přivolat a jak zamezit dalšímu ohrožení, a to jak postiženého, tak dalších osob v okolí. Cílem opatření je minimalizovat riziko úrazu a zároveň zajistit, že i v krizových situacích bude obsluha jednat klidně, informovaně a správně.

5.7 Odsávání

Odsávání je jedna ze slabin samotného laseru. Samotný ventilátor je dostatečně výkonný pro práci s modelářským laserem, ovšem provedení je řešeno velice špatně, neboť tělo ventilátoru zcela nedoléhá na tělo laseru. Možností jak tento problém řešit a předejít tak zakouření okolí laseru je několik.

5.7.1 Aplikace dveřního těsnění

Jedno z nejjednodušších řešení, je nalepení podél okraje ventilátoru dveřní těsnění s profilem D, které vyplní mezeru mezi ventilátorem a tělem modelového laseru. Tento typ těsnění je snadno dostupný, cenově přijatelný a velmi dobře přilne ke kovovým i plastovým povrchům, což zajišťuje spolehlivé utěsnění proudění vzduchu. Použitím tohoto těsnění se zamezí nechtěnému úniku vzduchu kolem ventilátoru, čímž se zvýší účinnost odsávání a zároveň se sníží množství prachu, dýmu nebo zplodin, které mohou unikat do okolí pracovního prostoru. Díky svému pružnému tvaru se profil D snadno přizpůsobí různým tvarovým nerovnostem, a to bez potřeby složité montáže nebo úprav. Toto řešení je tak vhodné zejména pro uživatele, kteří hledají rychlou, účinnou a nenáročnou možnost zlepšení těsnosti zařízení bez nutnosti zásahu do konstrukce samotného laseru.

5.7.2 Výroba dílu mezi ventilátor a tělo laseru

Další možností je výroba přechodového dílu, který přesně dosedne na tělo ventilátoru i na konstrukci samotného laseru. Tyto díly se často vyrábějí formou 3D tisku v přesných rozměrech pro daný model laseru, což umožňuje přizpůsobení konkrétním tvarovým a prostorovým požadavkům dané sestavy. Výhodou tohoto řešení je nejen zajištění přesného dosednutí a těsného spoje, ale také možnost začlenění dodatečných prvků, jako jsou drážky pro těsnicí pryž, vedení pro kabely nebo závitů pro šroubové spojení. Použití 3D tisku rovněž otevírá prostor pro optimalizaci proudění vzduchu. Tvar přechodového dílu lze navrhnout tak, aby minimalizoval turbulence, snižoval hlučnost a maximalizoval účinnost odsávání. Díky tomuto individuálnímu přístupu lze dosáhnout vyšší kvality montáže a provozní spolehlivosti, přičemž samotná výroba je poměrně dostupná i v domácích podmínkách.

5.8 Ergonomie

Ergonomii pracoviště je vhodné řešit z důvodu následků v krátkodobé i dlouhodobé expozici, neboť špatné pracovní návyky, nevhodné pracovní polohy či nedostatečně přizpůsobené pracovní prostředí mohou vést k chronickým obtížím pohybového aparátu, jako jsou bolesti zad, krční páteře nebo kloubů. Dlouhodobé zatěžování určitých svalových skupin bez správné opory, nepřiměřená výška pracovní plochy, špatně umístěné ovládací prvky nebo nevhodné osvětlení mohou navíc způsobit únavu, snížení soustředění a produktivity a ve výsledku i zvýšené riziko pracovních úrazů.

5.8.1 Výškové umístění modelářského laseru

Nastavením správné ergonomické polohy modelářského laseru předcházíme potížím spojeným s dlouhodobou prací v nevhodné pozici, jako jsou bolesti zad, krční páteře nebo únavové syndromy horních končetin. Pokud je laser umístěn příliš nízko, musí se obsluha při práci nadměrně ohýbat, což může vést k chronickému přetěžování bederní oblasti. Naopak umístění stroje příliš vysoko způsobuje zvedání paží nad optimální úroveň, což zatěžuje ramena a šíjové svalstvo. Vhodné je proto umístit laser na pracovní plochu v takové výšce, aby bylo možné pohodlně sledovat pracovní proces i provádět manipulaci s materiálem bez nutnosti nepřirozených pohybů. Důležitou roli hraje také dostatečný prostor kolem zařízení, který umožní volný a bezpečný přístup ze všech stran. Z ergonomického hlediska je ideální, aby nejčastěji obsluhované části zařízení byly umístěny v úrovni loktů uživatele ve stoje nebo v sedě – v závislosti na zvoleném způsobu obsluhy. Správná poloha modelářského laseru tak významně přispívá nejen k pohodlí při práci, ale i k celkové bezpečnosti a efektivitě provozu.

5.8.2 Osvětlení

Dostatečné osvětlení pracoviště má zásadní vliv na bezpečnost, přesnost a celkový komfort při práci. Správně osvětlené pracovní prostředí snižuje riziko chyb, zvyšuje schopnost soustředění a minimalizuje namáhání zraku, což je obzvláště důležité při precizních činnostech, jako je obsluha modelářského laseru. Kromě toho kvalitní osvětlení pomáhá včas rozpoznat potenciální nebezpečí a tím snižuje pravděpodobnost úrazů.

ZÁVĚR

Po pečlivé identifikaci a analýze rizik, provedených kombinovanou metodou PNH a PHA, spojených s prací na modelářských laserech K40 jsem zjistil mnoho nedostatků. Skromný uživatelský manuál velice obecně a krátce pouze na dvou stránkách věnuje bezpečnosti pár řádků. Upozorňuje uživatele o nutnosti striktně dodržovat provozní předpisy. Proto je ke každému identifikovanému riziku navrženo opatření pro minimalizaci rizika. Téměř každé identifikované riziko lze vytvořením komplexních bezpečnostních předpisů razantně snížit. Toto opatření je jednoduché, rychle aplikovatelné, a to nezávisle na počtu modelářských laserů. Další opatření, jako jsou vizuální označení informativními piktogramy, jsou finančně málo nákladná a též rychle aplikovatelná. Tato opatření by, podle mě, měla být samozřejmostí prodávaných modelářských laserů. Další opatření, která se týkají ochranných krytů již mohou být nákladnější, a to by znamenalo ze strany prodejce navýšení ceny modelářských laserů, a tedy pravděpodobně snížení poptávky po těchto laserech. Náročnější opatření, tedy nová výroba konstrukčně upravených a bezpečných dílů by dávala smysl pouze v případě, že by tyto změny provedl samotný výrobce. Opět by to ale mohlo vést k navýšení ceny a snížení poptávky po laserech. Pravděpodobně nejnáročnější a nejnákladnější opatření je implementace bezpečnostních prvků pro kontrolu zavřených krytů laseru, protože s tím souvisí nejen konstrukční změny na konstrukci laseru, ale i více elektronických součástí a funkční propojení s ovládacím softwarem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Buyers guide to the Chinese K40 laser cutter, 2020. Online. Dostupné z: <https://k40.se/k40-laser-buyers-guide/> [cit. 9.4.2025]

GUO, Chunlei a SINGH, Subhash Chandra, 2021. *Handbook of Laser Technology and Applications. Laser Design and Systems (Volume Two)*. Vydání: druhé. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-138-03262-0.

How Does Air Assist Help With Laser Cutting? SCULPFUN S9/S10 vs. XTOOL D1 PRO Tested, 2024. Online. Dostupné z: <https://hobbylasercutters.com/air-assist-comparison/>

JOSHI, Shrikrishna Nandkishor; DIXIT, Uday Shanker; MITTAL, R. K. a BAG, Swarup, 2022. *Low Cost Manufacturing Technologies Proceeding of NERC 2022*. Singapore: Springer. ISBN 978-981-19-8451-8.

KATAYAMA, Seiji, 2020. *Fundamentals and Details of Laser Welding*. Osaka: Osaka University. ISBN 978-981-15-7932-5.

LASER: supernástroj člověka 21. století, n.d. Online. Dostupné z: https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/Laser_supernastroj-cloveka-21.-stoleti.pdf [cit. 12.4.2025]

Laserové plotry – co to je, jak fungují a k čemu se jsou?, 2022. Online. Dostupné z: <https://www.cncworld.cz/laserov-plotry-co-to-je-jak-funguj-a-k-emu-jsou-n-1.html> [cit. 28.4.2025].

Linear Rails vs Linear Rods: Which is best for your application?, 2023. Online. Dostupné z: <https://kiwimotion.co.uk/technical-articles/linear-rail/linear-rails-vs-linear-rods/> [cit. 10.4.2025]

Microstepping Mode for Stepper Motor Control, 2007. Online. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4292799>. [cit. 13.4.2025]

Mirror alignment, 2019. Online. Dostupné z: <https://k40.se/k40-laser-lens-mirror/mirror-alignment/> [cit. 12.4.2025]

RUŽIAK, Ivan; IGAZ, Rastislav; KUBOVSKÝ, Ivan; TUDOR, Eugenia; GAJTANSKA, Milada a JANKECH, Andrej, 2024. *ANN Prediction of Laser Power, Cutting Speed, and Number of Cut Annual Rings and Their Influence on Selected Cutting Characteristics of*

Spruce Wood for CO2 Laser Processing. Materials. Roč. 17, č. Journal Article, s. 3333. ISSN 1996-1944.

Servo motor, n.d. Online. Dostupné z: <https://navody.drtek.cz/arduino-projekty/servo-motor.html> [cit. 23.4.2025]

TactionTablet: Affordable Tactile Graphics Display, 2020. Online. Dostupné z: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/129148/1227276700-MIT.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=31&zoom=100,96,761> [cit. 22.4.2025].

THE Laser engraver, 2023. Online. Dostupné z: <https://thewarthogproject.com/k40-laser-engraver> [cit. 23.4.2025].

ZEMAN, Lubomír, 2021. *Vstřikování plastů 2: simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk – teorie a praxe*. Praha: Grada. ISBN978-80-271-4247-7.

ZEMAN, Pavel, 2021. *Využití laseru pro výrobu kvalitních a efektivních řezných nástrojů*. Praha: České Vysoké Učení Technické v Praze. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/107836/Habilita%C4%8Dn%C3%AD%20pr%C3%A1ce-Zeman-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [cit.2025-04-21].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Modelářský laser K40	16
Obrázek 2 Konstrukce modelářského laseru K40.....	17
Obrázek 3 Popisek obrázku	20
Obrázek 4 Řemenice a ozubený řemen.....	23
Obrázek 5 Konec CO ₂ trubice s prvním zrcadlem.....	25
Obrázek 6 Řídící deska CO ₂ modelářského laseru K40	29
Obrázek 7 Zdroj paprsku CO ₂ modelářského laseru K40.....	33
Obrázek 8 Formulář pro metodu PNH a PHA	44
Obrázek 9 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 1. část.....	53
Obrázek 10 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 2. část.....	54
Obrázek 11 Vyplněný formulář pro kombinovanou metodu PNH a PHA – 3. část.....	55
Obrázek 12 Graf rizik převzatý z formuláře	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vhodnost použití materiálů na laseru K40.....	38
Tabulka 2 Specifikace výhod a případných nevýhod doplňků	39
Tabulka 3 Pravděpodobnost výskytu a existence nebezpečí	42
Tabulka 4 Možné následky ohrožení	42
Tabulka 5 Názor hodnotitelů.....	42
Tabulka 6 Míra rizika.....	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LASER	zesilování světla stimulovanou emisí záření
PNH	Posuzování nebezpečí a hodnocení rizik
PHA	předběžná analýza ohrožení
CNC	číslicové řízení

