



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Designový návrh přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek

Bakalářská práce

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



Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Štěpán Láník**
Osobní číslo: **S14000103**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Designový návrh přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek**
Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

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

1. Seznámení se s konstrukcí laserového stroje v laboratořích KSA.
2. Rešerše současného stavu v oblasti laserového řezání trubek a profilů.
3. Vlastní designový 3D návrh rotační osy pro řezání trubek na laserovém stroji umístěném v laboratoři KSA.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

[1] TAICH, J. Odsávání spalin u laserového stroje. Liberec, 2016. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace.

[2] SIEMENS AG. SINUMERIK 840D/810D, SIMODRIVE 611 digital, Start-Up Guide. Germany, 2006

[3] VANAD 2000 a.s. CNC řezací stroje. Vanad, 2015.


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Lachman, Ph.D.


Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: 15. listopadu 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2019


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2017

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum: 14.06.2018

Podpis:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ladislav', written over a small rectangular stamp.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Lachmanovi, Ph.D. za jeho čas, který mi věnoval a cenné nápady a připomínky, které mi dal k řešenému tématu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Zelenému, Ph.D., se kterým jsem absolvoval exkurzi ve firmě Vanad 2000 a.s., kde jsem mohl naživo vidět problematiku týkající se daného tématu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a všem ostatním, kteří mi už jakkoliv při vypracování bakalářské práce pomohli.

TÉMA: DESIGNOVÝ NÁVRH PŘÍDAVNÉ ROTAČNÍ OSY PRO LASEROVÉ ŘEZÁNÍ TRUBEK

ANOTACE: Bakalářská práce se zabývá tématem řezání trubek pomocí laseru a návrhem konstrukce přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek do již existujícího laserového stroje v laboratoři Technické univerzity v Liberci. Úvodní část se věnuje představení současného stavu laserového stroje. V teoretické části je vysvětlen základní princip řezání laserem, jsou zde uvedeny základní typy laserů a poté následuje seznámení s problematikou řezání trubek a profilů. Práce pokračuje rešerší, ve které jsou zmíněny laserové stroje na řezání trubek prodávající se na trhu. V praktické části je představen vlastní designový návrh přídatné rotační osy na laserové řezání trubek.

KLÍČOVÁ SLOVA: laser, laserový řezací stroj, přídatná rotační osa, laserové řezání trubek, designový návrh

THEME: DESIGN PROPOSAL FOR ADDITIONAL ROTARY AXIS LASER CUTTING OF TUBES

ANNOTATION: The bachelor thesis deals with the topic cutting of tubes using laser and the design of an additional rotary axis for laser cutting of tubes into an existing laser machine in the Technical University of Liberec. The introduction part is devoted to the present state of the laser machine. The theoretical part explains the basic principle of laser cutting, the basic types of lasers, followed by the introduction of the problems in pipe and profile cutting. The thesis continues with the research in which there are mentioned laser cutting machines for tubes sold on the market. In the practical part is presented the own design of the additional rotary axis for cutting tubes using laser.

KEYWORDS: Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Počet stran: 43
Počet příloh: 5
Počet ilustrací: 30
Počet tabulek: 2

Obsah

Seznam použitých termínů a symbolů	8
Úvod	9
1. Laserový stroj v laboratořích KSA	10
1.1. Konstrukce laserového stroje.....	11
2. Řezání laserem	12
2.1. Princip řezání laserem	13
2.1.1. Sublimační řezání.....	13
2.1.2. Tavné řezání	14
2.1.3. Řezání plamenem	14
2.2. Základní typy laserů	14
2.2.1. Nd:YAG laser.....	14
2.2.2. CO ₂ laser.....	16
2.2.3. Diskový laser.....	16
2.2.4. Vláknový laser.....	17
2.3. Řezání trubek a profilů	18
2.3.1. Kvalita	19
2.3.2. 2D řezání trubek	19
2.3.3. 3D řezání trubek	20
2.3.4. Systém řízení vzdálenosti.....	21
2.3.5. Zpracování trubek s hranami.....	21
2.3.6. Vlivy na protilehlou stranu.....	23
2.3.7. Odřezávání částí trubky.....	23
3. Laserové řezací stroje trubek	25
3.1. Stroje určené jen na řezání trubek	25
3.1.1. 3D stroje	25

3.1.2.	2D stroje	26
3.2.	Přídavné rotační osy	27
3.2.1.	Vanad RotCUT.....	27
3.2.2.	Trumpf RotoLas	28
3.2.3.	THUNDER Laser rotary axis	28
4.	Vlastní designové řešení.....	29
4.1.	Omezení při návrhu	29
4.2.	Desková konstrukce.....	30
4.2.1.	Motor s převodovkou	31
4.2.2.	Univerzální sklíčidlo	33
4.2.3.	Středící kužel.....	34
4.2.4.	Válcová podpěra.....	35
4.2.5.	Základní deska.....	36
4.3.	Manipulace se zařízením	37
4.4.	Uchycení zařízení	37
4.5.	Kalibrace zařízení	37
4.6.	Umístění ve stroji.....	39
5.	Závěr.....	40
	Seznam použitých zdrojů.....	41
	Seznam příloh	43

Seznam použitých termínů a symbolů

Kovové páry		sloučeniny kovů, které vznikají vypařováním
Rádus		poloměr
Otřep		ostré břity na hranách obrobku
KSA		Katedra výrobních systémů a automatizace
CAD		Compter-aided design, počítačem podporované projektování
GANTRY		V portálové konstrukci závisle pracující pohony
DIN		Deutsche Industrie-Norm, Německá národní norma
NC		Numerical control, číslicově řízený
CNC		Computer numerical controlled, počítačem řízený
v	[m/s]	rychlost posuvu
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
n	[ot/min]	rychlost otáčení
r	[mm]	poloměr

Úvod

Laser je obdivuhodné univerzální zařízení. Od roku 1960, kdy byl postaven první laser, pronikl z laboratoří do různých oblastí vědy. Své uplatnění našel v průmyslu, lékařství, kosmetice a umění. Jeden z nejužitečnějších nástrojů dneška nás provází prakticky na každém kroku. V lékařství se lasery používají při operacích a různých chirurgických výkonech, v elektrotechnice se lasery používají například na výrobu termočlánků. Ve strojírenství se lasery používají k řezání plechů, trubek i profilů, ke gravírování, svařování, kalení, vrtání, obrábění a další. K řezání materiálů, které je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou, byly lasery poprvé použity v 70. letech 20. století. Od té doby se jejich využití stále více zvyšuje především kvůli jejich kladným vlastnostem. Díky své produktivitě a ceně otevírají nové možnosti. Konstruktoři čím dál více sází na přednosti trubek a profilů řezaných laserem kvůli vysoké přesnosti bez ořepů a minimálnímu odpadu materiálu.

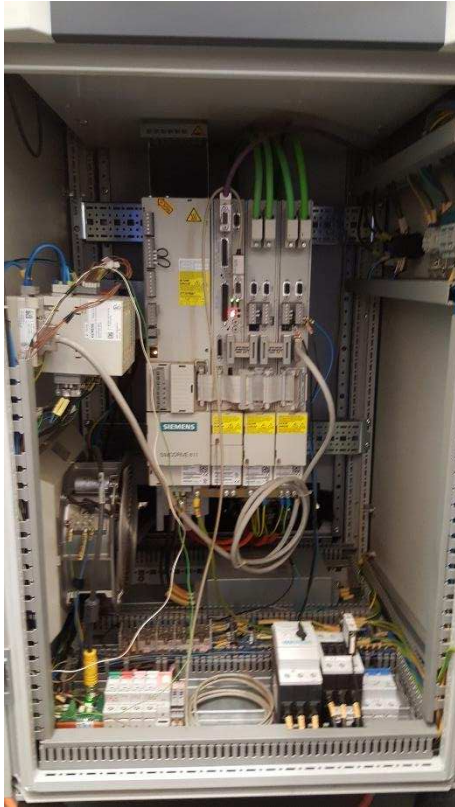
Dělení materiálů laserem je v dnešní době čím dál více používáno, a proto je zapotřebí rozšířit portfolio dílů, které lze na stroji vyrobit. Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh konstrukce přídatné rotační osy na laserové řezání trubek do již existujícího laserového stroje v laboratoři KSA Technické univerzity v Liberci.

První část bakalářské práce je zaměřena na představení současného stavu laserového stroje, který je umístěn v laboratoři Technické univerzity v Liberci v budově L. Druhá část pojednává o principu řezání laserem. Popisuje základní typy laserů, které se používají k řezání. Závěr druhé části je věnován problematice řezání trubek a profilů. Třetí část práce je pojata jako řešení strojů, které lze na laserové řezání trubek koupit. V poslední části je představeno vlastní designové řešení přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek do stroje popsaného v první části bakalářské práce.

Výstupem práce je digitální 3D model zařízení v programu Autodesk Inventor 2018 professional, který rozšiřuje portfolio výrobitelných dílů na laserovém stroji.

1. Laserový stroj v laboratořích KSA

Laserový stroj je umístěn v budově L Technické univerzity v Liberci v laboratoři KSA. Celé zařízení se skládá z více částí. O pohyb všech servomotorů se stará řídicí systém Sinumerik 840D od firmy Siemens, ve kterém jsou použity moduly SIMODRIVE 611 s označením 6SN1123-1AA00-0CA2.

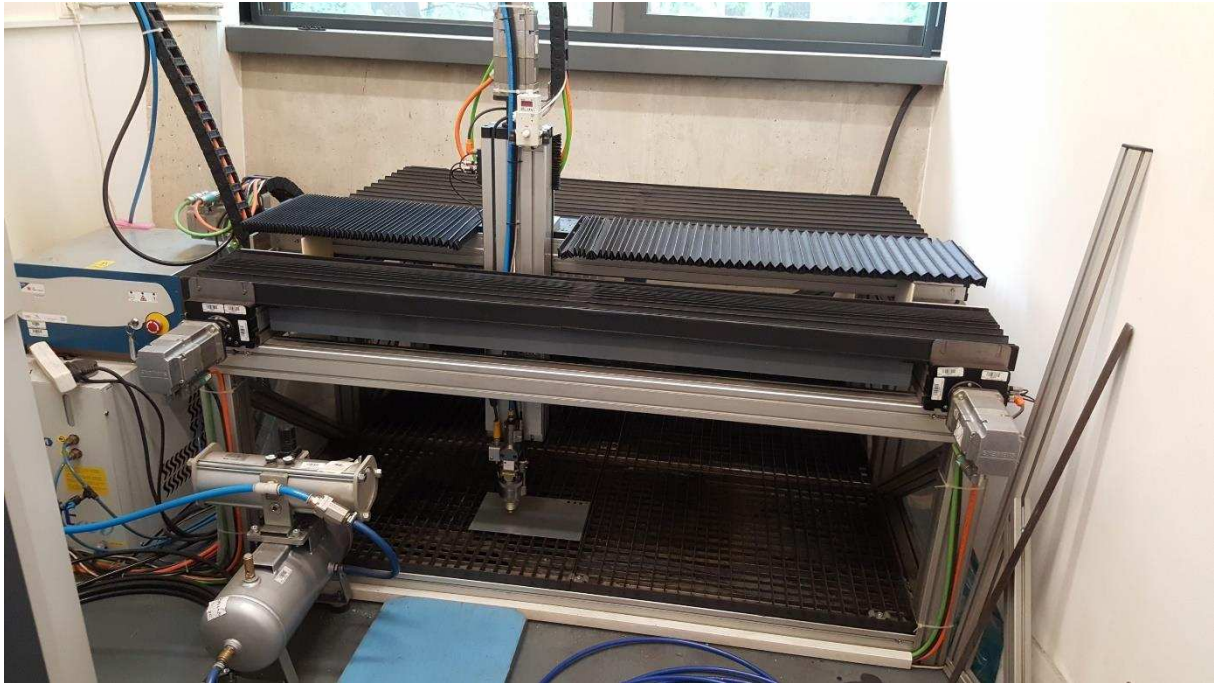


Obr. 1.1 SIMODRIVE 611

Dále je zde zdroj laseru GSI JK400FL od firmy GSI Group. Jedná se o vláknový laser o výkonu 400 W s vlnovou délkou 1080 nm. [1] Zdroj laseru je chlazen vodou, o jejíž distribuci a chlazení se stará zařízení TAEvo M03 od firmy MTA. Chladicí výkon zařízení je 1,4 kW při okolní teplotě 25 °C. [2] Řezací hlava je od stejné firmy jako zdroj laseru (GSI Group).

Laserový paprsek je od zdroje k řezací hlavě veden optickým vláknem. Jelikož se paprsek v optickém vlákně přímo generuje, je potřeba mít za zdrojem laseru místo minimálně 100 mm, aby se vlákno nedeformovalo. Maximální poloměr ohybu optického vlákna je 75 mm. [3] Vlákno je k řezací hlavě vedeno po straně energetického řetězu, čímž je zajištěn bezpečný pohyb optického vlákna bez rizika poškození.

Při řezání laserem vznikají škodliviny, a proto je laserový stroj vybaven odsávacím zařízením. O filtraci se stará filtrační zařízení AD Oracle od firmy BOFA. Připevnění ke stroji zajišťuje potrubí o průměru 80 mm, které je v jednom místě vyvedeno skrz bočnici stroje. [4]



Obr. 1.2 *Současný stav laserového stroje*

1.1. Konstrukce laserového stroje

Základní konstrukce stroje je sestavena z hliníkových profilů od firmy MayTec. Profily jsou použity ve dvou velikostech, 80×80 mm a 40×80 mm. Základní rozměry rámové konstrukce jsou 1820×1520×670 mm.

O pohyb se starají servomotory od firmy Siemens, které pohání lineární osy BSU 160 od společnosti HIWIN. Na laserovém stroji jsou tyto osy použity čtyřikrát. V ose Y jsou použity dvě navzájem vodorovné lineární jednotky v režimu GANTRY. Ty mají rozsah pohybu 800 mm a jsou připevněny na vrchní straně rámové konstrukce. Na jezdce osy Y je připevněna lineární osa X s délkou pohybu 1100 mm. Na ose Z, která je upevněna na jezdci osy X, je upevněna laserová řezací hlava. Tato osa umožňuje řezací hlavě výškovou polohovatelnost až 290 mm od roštu.

Celý horní prostor stroje je zakrytován měchy od firmy Hennlich. Měchy zamezují přístupu prachu a nečistot ke kuličkovým šroubům v lineárních osách. Na spodní straně rámové konstrukce je na hliníkových profilech umístěn rošt, který se skládá ze dvou částí. Celý stroj je

zakrytován polykarbonátovými deskami, jež zabraňují úniku spalin a nečistot do ovzduší a pomáhají lepší funkčnosti filtračního zařízení.

2. Řezání laserem

Řezání materiálů pomocí laseru je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou. Poprvé byly lasery použity k řezání v 70. letech 20. století. Jednalo se o CO₂ lasery o výkonu (200 – 500) W. V dnešní době jsou CO₂ lasery nahrazovány vláknovými lasery, které mají výhodu v jednodušší konstrukci, robustnosti a modularitě.

Některé materiály jako například umělé hmoty, dřevo, keramika, pryž apod. absorbují laserový svazek poměrně dobře, a proto jsou i laserem dobře řezatelné i bez technologických plynů. Naopak kovové materiály absorbují laser hůře, a proto musíme přidávat technologické plyny jako je například kyslík. Materiály s vysokou odrazivostí paprsku (hliník, měď) se řezou ještě obtížněji.

Řezání je v dnešní době nejvíce používaná aplikace výkonových laserů ve strojírenství. Výhodou řezání laserem je, že nezáleží na mechanických vlastnostech materiálů. Laserem dokážeme dělit téměř všechny technické materiály.

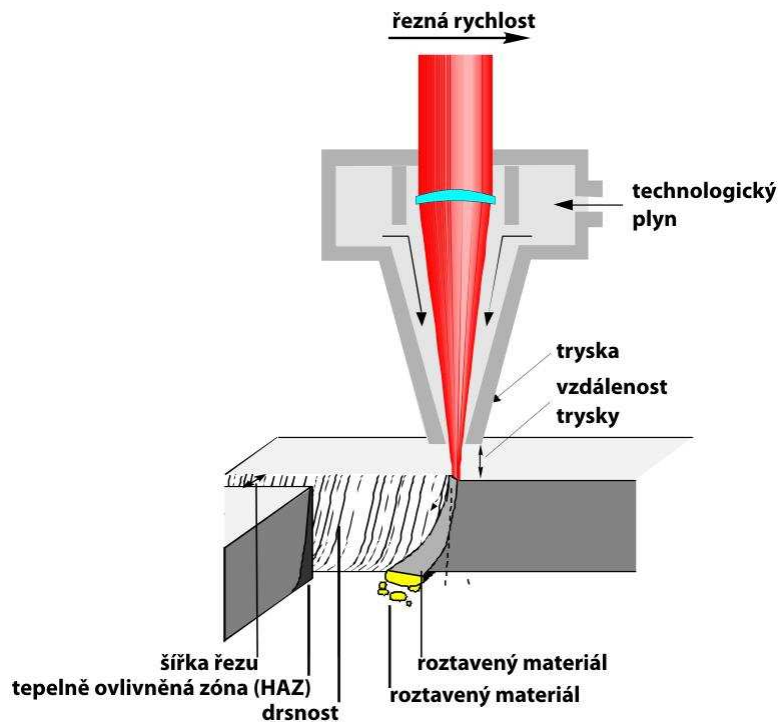
Mezi základní charakteristiky řezání laserem patří:

- **Rychlost řezání** – závisí na typu laseru, jeho výkonu, způsobu řezání, na tloušťce a typu materiálu a na požadované kvalitě řezu.
- **Kvalita řezu** – Hodnotí se dle drsnosti řezu (pohybuje se okolo Ra 3,6 – Ra 12) a dle tloušťky tepelně ovlivněné oblasti (0,05 – 0,2 mm).
- **Šířka řezu** – Závisí především na typu laseru, tloušťce a druhu materiálu (0,02 – 0,2 mm). [5]

2.1.Princip řezání laserem

Při řezání laserem může docházet ke třem různým procesům:

- Sublimační řezání
- Tavné řezání
- Řezání plamenem



Obr. 2.1 Princip laserového řezání [6]

2.1.1. Sublimační řezání

Při sublimačním řezání se materiál z místa řezu odpařuje. Aby k tomu došlo, je potřeba do místa řezu dodávat vysokou intenzitu laserového záření. Toho dosáhneme vhodným nastavením parametrů laseru a fokusační optiky. Kovové páry, které při sublimačním řezání vznikají, jsou vyfukovány z místa řezu asistenčním (technologickým) plynem. Jako asistenční plyn se většinou používá argon nebo dusík, aby nedocházelo v místě řezu k oxidaci materiálu. Při sublimačním řezání je řez kvalitní, hladký a bez otřepů. [6]

2.1.2. Tavné řezání

Při tavném řezání není potřeba takového výkonu laseru jako při sublimačním řezání, protože se materiál nevypařuje, ale pouze taví. Roztavený materiál je z místa řezu vyfukován proudem inertního plynu (argon, dusík) [6].

2.1.3. Řezání plamenem

Při řezání plamenem se jako technologický plyn používá kyslík. Materiál je zahříván na teplotu vyšší než zápalnou, čímž dojde k exotermické reakci, která dodává procesu řezání energii. Oproti sublimačnímu a tavnému řezání je řezání plamenem asi dvakrát rychlejší, ale kvalita řezu není tak dobrá, pro většinu aplikací však dostačující. Používá se většinou při řezání běžných a konstrukčních ocelí [6].

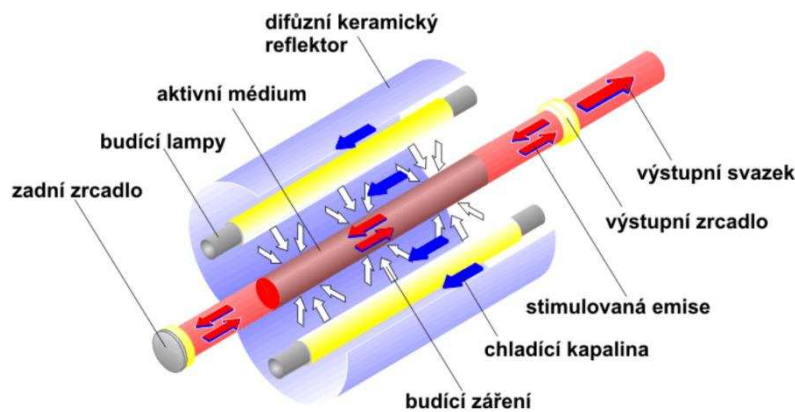
2.2. Základní typy laserů

V současnosti se v průmyslu používají čtyři základní typy laseru. Každý má své výhody, nevýhody a typické aplikace. Lasery se dělí dle typu buzení, provozního režimu (kontinuální, pulzní) a dalších parametrů. Mezi základní typy laserů používaných k řezání patří laser Nd:YAG, CO₂, diskový a vláknový.

2.2.1. Nd:YAG laser

Jedná se o historicky nejstarší typ laseru používaného v průmyslu. Patří mezi pevnolátkové lasery. Zde je aktivním prostředím pečlivě vypěstovaný homogenní krystal yttriumaluminumgranát dopovaný neodymem. Dosahuje výkonů 100 až 4000 W. Paprsek má vlnovou délku 1,06 μm. Je vhodný pro vrtání, svařování, řezání a žihání. V lékařství se používá i jako skalpel. Podle typu buzení se dělí na lasery buzené výbojkou (LPSS) nebo lasery buzené diodami (DPSS).

LPSS lasery mají malou účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, protože velká část energie se ve výbojce přemění na teplo, proto je nutno tyto lasery intenzivně chladit, nejčastěji vodou. LPSS lasery se dnes používají převážně v pulzním režimu pro svařování a vrtání otvorů (např. v leteckém průmyslu). Nevýhodou těchto laserů je nízká životnost výbojek (cca 1000 hodin) a vysoké provozní náklady spojené s nízkou účinností.

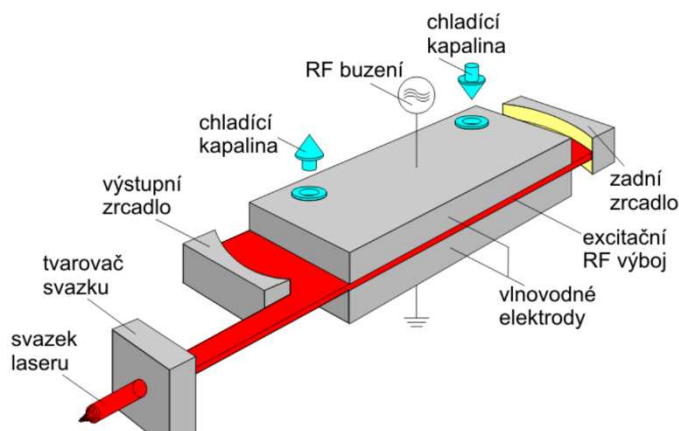


Obr. 2.2 LPSS Nd:YAG laser [7]

DPSS lasery se používají nejčastěji také v pulzním režimu, kdy laser generuje velmi krátké pulsy v řádech nanosekund. Hlavní použití je pro značení a gravírování kovů, plastů a dalších materiálů. Pokud porovnáme DPSS lasery s LPSS lasery, tak DPSS mají vyšší účinnost, tudíž mají i nižší nároky na chlazení. Dále mají vyšší životnost než LPSS lasery. Použití těchto laserů v průmyslu se v posledních letech stále více snižuje a nahrazují je vláknové pulzní lasery, které mají v podstatě samé výhody. [7]

2.2.2. CO₂ laser

CO₂ lasery patří mezi plynové lasery (aktivním prostředím je směs plynů obsahující oxid uhličitý). Buzení laseru je buď radio-frekvenčně (RF) nebo elektrickým výbojem (DC), který zapaluje směs plynů CO₂, N₂ a He. CO₂ lasery jsou charakteristické vysokou spolehlivostí, dlouhou životností a nízkými provozními náklady. Tyto lasery mají široké spektrum využití, jako je gravírování, značení, svařování a řezání kovů a nekovů (plasty, plexiskla atd.). Velkou nevýhodou CO₂ laseru je, že kvůli vlnové délce 10,6 μm nemůžeme vést paprsek optickým vláknem. Proto se pro vedení paprsku musí používat soustava zrcadel, která se musí pravidelně kalibrovat a udržovat čistá. [7]



Obr. 2.3 RF CO₂ laser [7]

2.2.3. Diskový laser

Jedná se o poměrně nový laser, který vyvíjí především firma Trumpf. Základní princip se podobá Nd:YAG laseru s tím rozdílem, že zde je aktivním prostředím malý disk. Mezi výhody tohoto laseru patří rovný teplotní profil po celém disku, což umožňuje laseru dosahovat vysokých výkonů (až 16 kW) s dobrou kvalitou výstupního svazku. Vzhledem k jeho výkonu se používá ve svařování a k řezání kovů. Nevýhodou je menší účinnost (15 – 20 %) a nižší životnost než třeba u vláknových laserů. [7]

2.2.4. Vláknový laser

Je to technologicky nejmodernější typ pevnolátkového laseru. Jako aktivní prostředí je zde použito optické vlákno dopované yterbiem. Buzení, které vzniká v laserových diodách, je vedeno přes optickou spojku do optického vlákna s Bragovskými mřížkami, což jsou struktury přímo na optickém vlákně. Záření z optického vlákna je pak ve výstupním kolimátoru formováno na laserový paprsek.



Obr. 2.4 Vláknový laser [7]






Vláknové lasery mohou pracovat v různých režimech. Mohou být kontinuální (CW), pulzní nebo kvazipulzní. Mezi hlavní výhody vláknového laseru patří jeho jednoduchost, robustnost a modularita, která je u tohoto laseru jedinečná. Spojováním laserových modulů můžeme postupně navyšovat výkon (až 80 kW). Další výhodou je vysoká účinnost (30 – 35 %), s níž jsou spjaty nízké provozní náklady. Mezi další výhody patří vysoká životnost (100 000 h), malé prostorové nároky a vysoká kvalita laserového paprsku.

Díky vysokému výkonu a režimům, ve kterých laser může pracovat, nachází velice široké uplatnění. Používá se na řezání kovů, svařování, značení, gravírování nebo i mikroobrábění. [7]

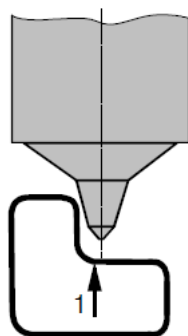
2.3. Řezání trubek a profilů

Laserem lze kromě plechů řezat i trubky různých profilů, jak otevřených, tak uzavřených. Mezi základní profily, které se řezou laserem, patří:

Tab. 2.1 *standartní průřezy trubek* [8]

Kulatá trubka	
Čtvercová trubka	
Obdélníková trubka	
Kulatá oválná trubka	
Plochooválná trubka	

Na laseru lze řezat i profily s vnitřními rádiusy. Ale zde nám vzniká omezení týkající se geometrie řezací hlavy a řezací trysky. Proto je nemožné zpracovávat profily s malým vnitřním rádiusem, protože by došlo ke kolizi řezací hlavy s řezaným materiálem. Pokud zvolíme dostatečně velký rádius, problému se můžeme vyhnout. [8]



1 Začátek vnitřního rádiusu

Obr. 2.5 Problematika *zpracování malých rádiusů* [8]

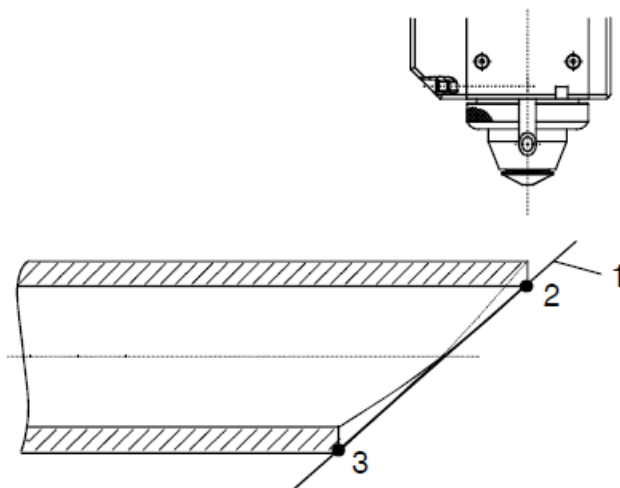
2.3.1. Kvalita

Na průběh, výslednou kvalitu a přesnost řezu má vliv i počáteční kvalita zpracovávané trubky. Kvalita trubky je určena těmito faktory:

- Odchylka rovnosti
- Odchylka průměru
- Odchylka tloušťky stěny
- Zkroucení
- Výrobní proces (svařováním, protlačováním, ...)
- Kvalita povrchu (drsnost, koroze)
- Proměnlivost zaoblení rohů [8]

2.3.2. 2D řezání trubek

Během 2D řezání trubek je laserový paprsek vždy kolmý na řezanou stěnu, tudíž nedochází k žádné změně tloušťky materiálu během řezu. Laser je orientován v horizontální rovině, zatímco trubka se otáčí kolem své osy. Ideální linie řezu je tedy dosaženo pouze při přechodu od vnějšího k vnitřnímu povrchu a naopak. 2D řezem lze vyrobit pouze trubky, které budou přiléhat jednou vnější a jednou vnitřní hranou. Takto provedené spoje jsou dostačující pro konvenční svařování s přídavným drátem. [8]

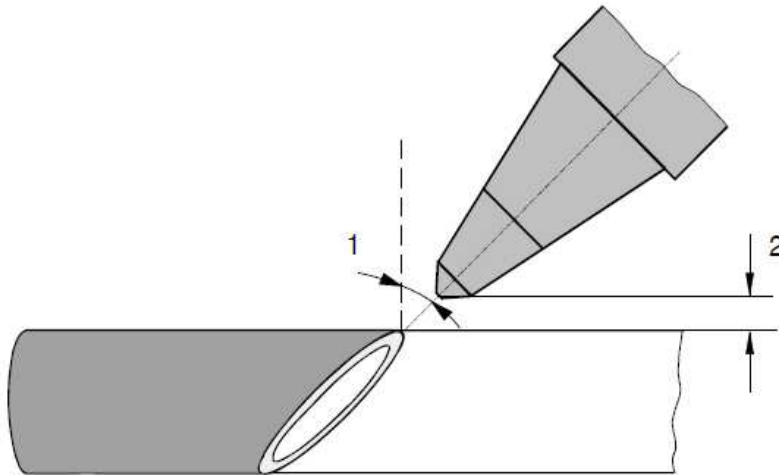


- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---------------|
| 1 | Plocha, ke které má trubka přiléhat | 2 | Vnitřní hrana |
| | | 3 | Vnější hrana |

Obr. 2.6 2D řezání trubek [8]

2.3.3. 3D řezání trubek

Pro vytvoření perfektně přiléhajících ploch, kde je v kontaktu celá plocha řezu po celém obvodu, musíme využít 3D řezání. Takto vytvořené dosedací plochy jsou nezbytné pro laserové svařování. Laser v tomto případě není veden kolmo na řezaný povrch, ale svírá s ním úhel nastavení.



1 Úhel nastavení 2 Řezná vzdálenost

Obr. 2.7 3D řezání trubek [8]

3D řezání trubek má však svá technologická omezení a doprovází ho problémy, které jsou způsobeny úhlem nastavení.

Negativním jevem při 3D řezání je, že se v průběhu řezu mění tloušťka řezaného materiálu. Pokud chceme mít kvalitní řez v celém průřezu, musíme průběžně upravovat parametry procesu. Řešení nabízí dvě metody. První metoda se dá využít spíše pro kusovou výrobu. Nastavíme menší řezné rychlosti v průběhu celého řezu, nejčastěji se volí podle místa s největší tloušťkou. Druhá metoda je založena na postupném upravování řezné rychlosti tak, abychom dosáhli co největší efektivity. Tento způsob se vyplatí hlavně v sériové výrobě. Laserové zařízení má v sobě většinou předem určené tabulky hodnot parametrů k jednotlivým tloušťkám materiálu, takže v průběhu řezání pouze přepíná mezi jednotlivými tabulkami.

Problém, se kterým se během 3D řezání můžeme setkat je, že technologický plyn, který je při řezání používán, se může odchylovat. To má za následek, že se nedostane dostatečné množství plynu do řezné spáry. Při řezání kyslíkem to znamená větší vytváření otřepů a opálení řezných

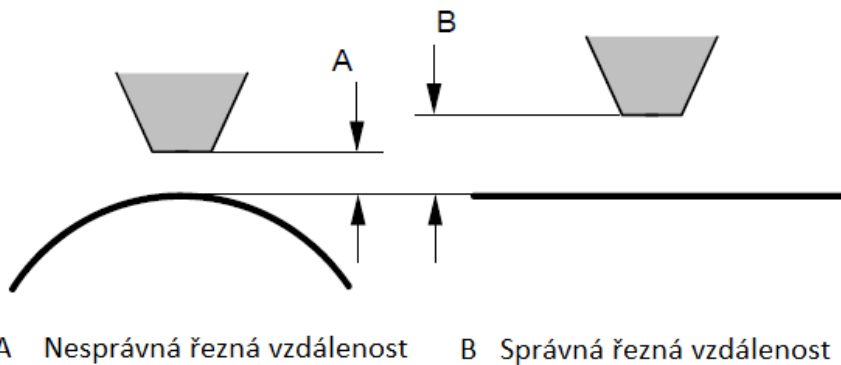
hran. Při řezání dusíkem se také tvoří otřepy, což je způsobeno nedostatečným vyfukováním taveniny z místa řezu.

Při 3D řezání je díky kapacitnímu vyměřování vzdálenosti proměnná i vzdálenost řezací hlavy od řezané plochy. To způsobuje chyby v zaostření paprsku, což může vést k horším řezným hranám. Většinou je i rychlost řezání mnohem menší oproti 2D řezání. Proto se při návrhu dílu musíme rozhodnout, zda potřebujeme tak přesné dosedací plochy, které nám 3D řez může poskytnout za větší cenu, nebo nám postačí 2D laser. [8]

2.3.4. Systém řízení vzdálenosti

Systém řízení vzdálenosti nám určuje vzdálenost mezi řezací tryskou a povrchem materiálu kapacitně. Trysku a povrch můžeme považovat za dvě kondenzátorové desky umístěné proti sobě. Mezi těmito deskami se vytváří kapacita, která je závislá na jejich vzdálenosti. Řídicí systém pomocí změřené kapacity pak vypočítá vzdálenost a může ji během procesu upravovat.

Při řezání kulatých trubek musíme vzdálenost proti plechům upravovat. Důvodem je, že kvůli zaoblení trubky je kapacita jiná než u rovinné desky a tryska je blíže, než by měla být. Proto v tabulkách NC programu musí být upravené vzdálenosti pro trubky proti deskám. [8]



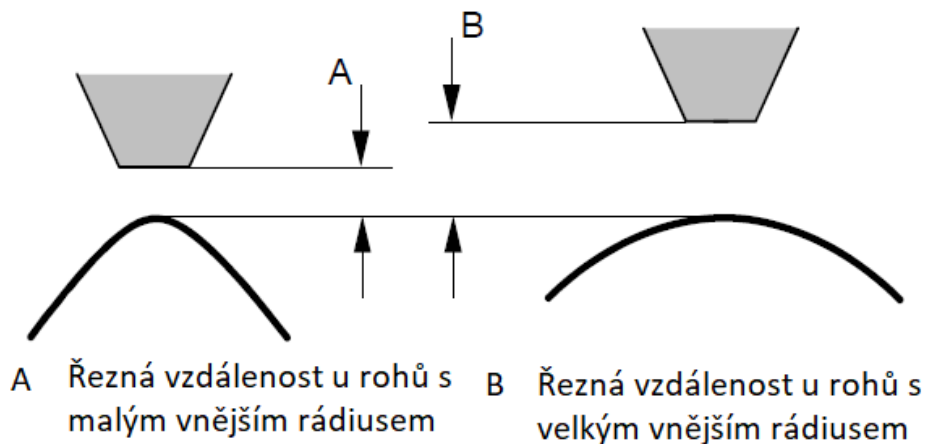
Obr. 2.8 korekce vzdálenosti u trubek [8]

2.3.5. Zpracování trubek s hranami

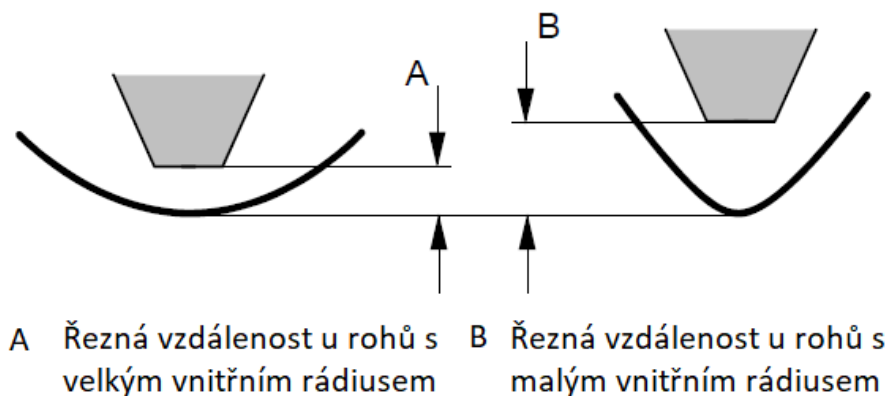
Při řezání trubek s hranami se především zaměřujeme na zpracování hran. V závislosti na velikosti poloměru a rozměrech hrany musíme upravovat vzdálenost trysky a rychlost řezu. Základní charakteristická vzdálenost trysky se nastaví uprostřed největší rovinné plochy. Při přechodu z rovinné plochy na zaoblení se skutečná řezná vzdálenost snižuje, což je způsobeno změnou kapacity. Pokud laser najíždí na malý poloměr zaoblení rohu pod úhlem 45°,

vzdálenost se extrémně sníží a může dojít ke kolizi trubky s tryskou. Proto musíme předem v programu nastavit korekci vzdálenosti pro hrany.

Při řezání vnitřních hran platí podobné pravidlo jako u vnějších hran s tím rozdílem, že čím menší rádius máme, tím je tryska více vzdálena od řezné plochy. Navíc zde ještě musíme dávat pozor, aby nedošlo ke kolizi trysky s trubkou kvůli geometrickým rozměrům trysky a řezaného materiálu (Obr. 2.5).



Obr. 2.9 Řezná vzdálenost u vnějších hran [8]



Obr. 2.10 Řezná vzdálenost u vnitřních hran [8]

Řezání hran nám ovlivňuje i rychlost posuvu, kterou musíme také upravovat. Rychlost řezání hran trubek je závislá na více faktorech. Jedním z nich je konstrukční řešení stroje, a to maximální rychlost a zrychlení rotační osy, ve které je trubka umístěna.

S menším rádiusem hrany klesá i řezná rychlost, protože laser musí uříznout větší tloušťku materiálu. S větším rádiusem vnější kružnice hrany také klesá řezná rychlost. [8]

2.3.6. Vlivy na protilehlou stranu

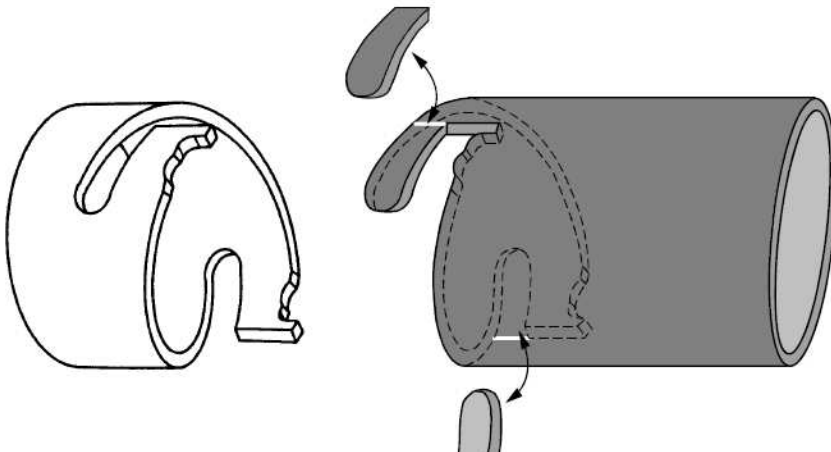
Na rozdíl od zpracování plechů má trubka vždy stranu protilehlou k řezané, což může způsobit následující problémy.

Prvním problémem, se kterým se můžeme setkat, je postříkání vnitřní strany trubky taveninou, která je vyfukována z řezu technologickým plynem. Dále můžeme nechtěně řezat obě strany trubky nebo může docházet k silnému zahřívání materiálu. Tyto problémy nastávají především při řezání tenkostěnných trubek s malým průměrem.

Proti rozstříku taveniny můžeme použít clonu, která se před řezáním umístí dovnitř trubky. Slouží k absorpci přebytečné energie laseru a zachytává na svém povrchu taveninu. Další možností je řezání se sníženým výkonem laseru. [8]

2.3.7. Odřezávání částí trubky

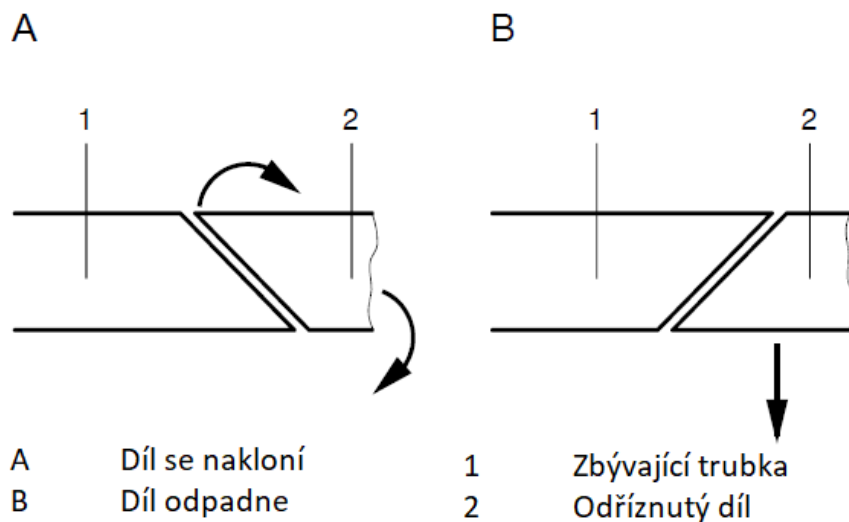
Při oddělování hotových dílů se obrobek od zbytku trubky musí odříznout. Při tomto procesu vznikají problémy, které závisí na tvaru dílu. Díl se může zachytit za zbytek trubky nebo se může naklopit a narazit do řezací trysky a poškodit ji. K těmto problémům dochází hlavně u dílů, které oddělujeme pomocí složitých tvarů. Jako příklad můžeme uvést bajonetový uzávěr. [8]



Obr. 2.11 Bajonetový uzávěr [8]

Pokud je trubka uříznuta pod příliš velkým úhlem, dochází k jejímu naklopení a může dojít ke kolizi s tryskou a k jejímu poškození. Tomu se můžeme vyhnout naprogramováním programu tak, aby se odříznutá část nenaklápěla, ale pouze odpadla.

Další možností jak zabránit kolizi odříznutého dílu s tryskou je použití trnu proti rozstříku, na kterém trubka po odříznutí zůstane viset. [8]



Obr. 2.12 Způsoby odpadávání dílů [8]

3. Laserové řezací stroje trubek

Trubky a profily se dnes používají všude, od strojírenství a výroby zařízení až po nábytkářský průmysl. Laser přitom otevírá nové možnosti výroby, proto se řezání laserem začíná čím dál více uplatňovat díky své produktivitě a ceně. Laserové stroje pro řezání trubek se dají pořídit přímo jen na řezání trubek nebo jako přídatná rotační zařízení ke strojům určeným k řezání plechů. Dále je můžeme dělit podle použitého laseru k řezání (CO₂, vláknový, ...) nebo zda se jedná o 2D nebo 3D laser.

3.1. Stroje určené jen na řezání trubek

Tyto stroje jsou zaměřeny čistě jen na zpracování trubek a profilů, tudíž nejsou tak multifunkční jako stroje s přídatnou osou, zato bývají mnohokrát produktivnější a výrobky mohou mít i lepší kvalitu. Často jsou vybaveny zásobníky s automatickými podavači.

3.1.1. 3D stroje

Jako zástupce této skupiny laserů lze uvést produkt od firmy TRUMPF GmbH + Co. KG a jejich zařízení TruLaser Tube 5000 fiber. Jedná se o pevnolátkový diskový laser o maximálním výkonu 3000 W. Takto silný laser dokáže dle výrobce řezat až 8 mm silný plech z konstrukční oceli, až 5 mm z ušlechtilé oceli a až 4 mm z hliníku. Maximální délka trubky jakou lze zpracovat je 8 m. Maximální průměr kulaté trubky jaký lze upnout je 152 mm. Stroj je schopen provádět i šikmé řezy pod maximálním úhlem 45°. [9]



Obr. 3.1 TruLaser Tube 5000 fiber [9]

Stroj je dále vybaven dalšími technologiemi, které zvyšují jeho autonomii, rychlost a kvalitu. Například funkce SeamLine Tube umí rozeznat na vložených trubkách svary nebo značky tak, aby byly všechny trubky ve stroji stejně vyrovnány. Mezi další funkce patří sensorové systémy, které rozpoznají, zda byl díl správně odveden. Mezi funkce zvyšující rychlost patří RapidCut, což jsou rychlé posuvy pevnolátkového laseru již u malých obrysů. Především u tenkých materiálů to znamená enormní zvýšení produktivity. Technologie PierceLine dokáže monitorovat proces zapichování. Jakmile je materiál zcela proříznut, je proces zapichování ukončen. Tato technologie zvyšuje kvalitu a snižuje výsledný čas obrábění. Stroj je dále vybaven automatickou nakládací jednotkou LoadMaster Tube. Žlab, do kterého lze umístit svazek profilů, automaticky připraví surový materiál. [9]

3.1.2. 2D stroje

Mezi stroje určené pouze pro 2D řezání trubek patří například stroj Lasertube LT5 od firmy BLM Group. Konstrukčně je velice podobný řešení od firmy Trumpf TruLaser Tube 5000 fiber. Při řezání kruhové trubky je laser stále na jednom místě a veškerý pohyb koná jenom trubka. Otáčí se a zároveň se posouvá ve směru vlastní osy. Stroj je schopen zpracovávat trubky rozdílných profilů. Je vybaven automatickým zásobníkem a disponuje mnohými funkcemi. [10]

Lasertube LT5 disponuje vláknovým laserem o výkonu 1 kW s možností upnout trubku o maximálním průměru 120 mm a délce 6,5 m. Stroj je ovládán systémem Sinumerik 840D od firmy Siemens, což je stejné zařízení jako je použito u laserového stroje v laboratořích KSA. [10]



Obr. 3.2 Lasertube LT5 [10]

3.2. Přídavné rotační osy

Takto univerzálních zařízení, která by mohla zpracovávat plechy i trubky, se na trhu příliš nevyskytuje. Přesto najdeme firmy, které tato řešení nabízejí.

3.2.1. Vanad RotCUT

Česká firma Vanad a.s., zabývající se výrobou strojů k termickému řezání, má ve své nabídce zařízení RotCUT. Jedná se o přídavnou rotační osu k laserovým strojům KOMPAKT laser a MIRON laser od stejnojmenné firmy. Stroje RotCUT vynikají jedinečnou přesností, spolehlivostí a výkonem. Zařízení lze konfigurovat na přání zákazníka. Stroj se skládá z upínacího sklíčidla, motoru s planetovou převodovkou a z podpěrných lunet na dráze, aby je bylo možno rychle přesouvat. [11]

Díky variabilitě zařízení lze řezat i různé ocelové konstrukce jako jsou ocelové haly, mosty, plošiny, zábradlí, nádrže a jiné. Zařízení lze použít i jako rozšíření stávajícího CNC centra nebo jako samostatné pracoviště. [11]

Mezi hlavní výhody, které výrobce uvádí, patří snadná obsluha, osvědčená robustní konstrukce umožňující dosažení vysoké přesnosti zhotovovaných tvarů, minimální investiční náklady, variabilita tvorby pálicích plánů, spolehlivý a uživatelsky přívětivý systém ovládání, vysoká univerzálnost pracoviště ve spojení se standardním pálicím strojem Vanad a převod pohybu z programu v ose „Y“ do rotační osy „Rc“ v průběhu pálení. [11]

Při kombinaci zařízení KOMPAKT Laser + RotCUT je maximální průměr trubky, jaký můžeme upnout, 246 mm. Délka je závislá na velikosti zařízení KOMPAKT Laser, při největším řešení je to až 2,5 m. Při kombinaci se strojem PROXIMA lze upnout trubku s maximálním průměrem 1000 mm a délkou až 6 m. [11]



Obr. 3.3 MIRON Laser + RotCUT [11]

3.2.2. Trumpf RotoLas

Další firma, která nabízí kombinaci stroje pro řezání plechů i trubek, je TRUMPF GmbH + Co. KG. Ve své nabídce má zařízení TruLaser 3030/3040, ke kterému je možné si jako dodatkovou výbavu koupit zařízení **RotoLas**, čímž se rozšíří spektrum obrobitelných dílů o trubky a profily.

3.2.3. THUNDER Laser rotary axis

Zajímavé řešení nabízí firma THUNDER LASER. Vyrábí stolové lasery pro řezání a gravírování. Jelikož výkon těchto laserů se pohybuje okolo 100 W (max. 130 W), je spektrum materiálů, které lze řezat, menší. Lze řezat např. dřevo, plasty, různé tkaniny, kůži, papír nebo korek. Kovy jako ocel nebo hliník uříznout nedokáže, ale může do nich gravírovat. Přídavné rotační zařízení se skládá z desky, na které je umístěn servomotor. Servomotor pohání univerzální sklíčidlo přes ozubený řemen. Na desce je dále kolejnice s vozíkem, na kterém je upevněn vystřed'ovací kužel. Montáž tohoto zařízení je velice jednoduchá. Celá tato deska se umístí na stůl CNC stroje, upevní se k němu a zapojí se servomotor do řídicí jednotky. Maximální délka trubky může být 320 mm a průměr 100 mm. [12]



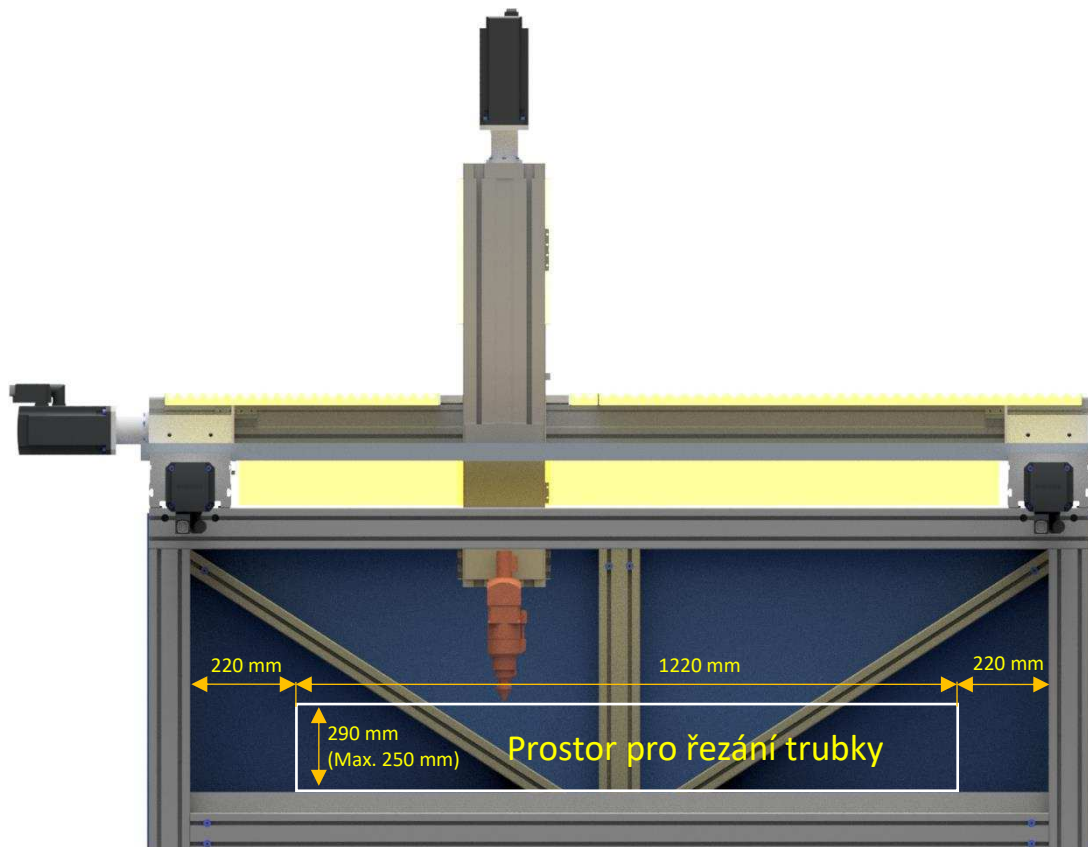
Obr. 3.4 THUNDER Laser rotary axis [12]

4. Vlastní designové řešení

V této práci je představen jeden designový návrh přídavné rotační osy do laserového řezacího stroje v laboratořích KSA Technické univerzity v Liberci. Designový návrh byl proveden v softwaru Autodesk Inventor Professional 2018 se studentskou licencí na tři roky. Byly zde použity normalizované díly z knihoven Autodesku. Další nenormalizované díly, které byly staženy od různých výrobců, budou uvedeny v průběhu práce. Dále zde byl použit hotový 3D model laserového řezacího stroje. [4]

4.1. Omezení při návrhu

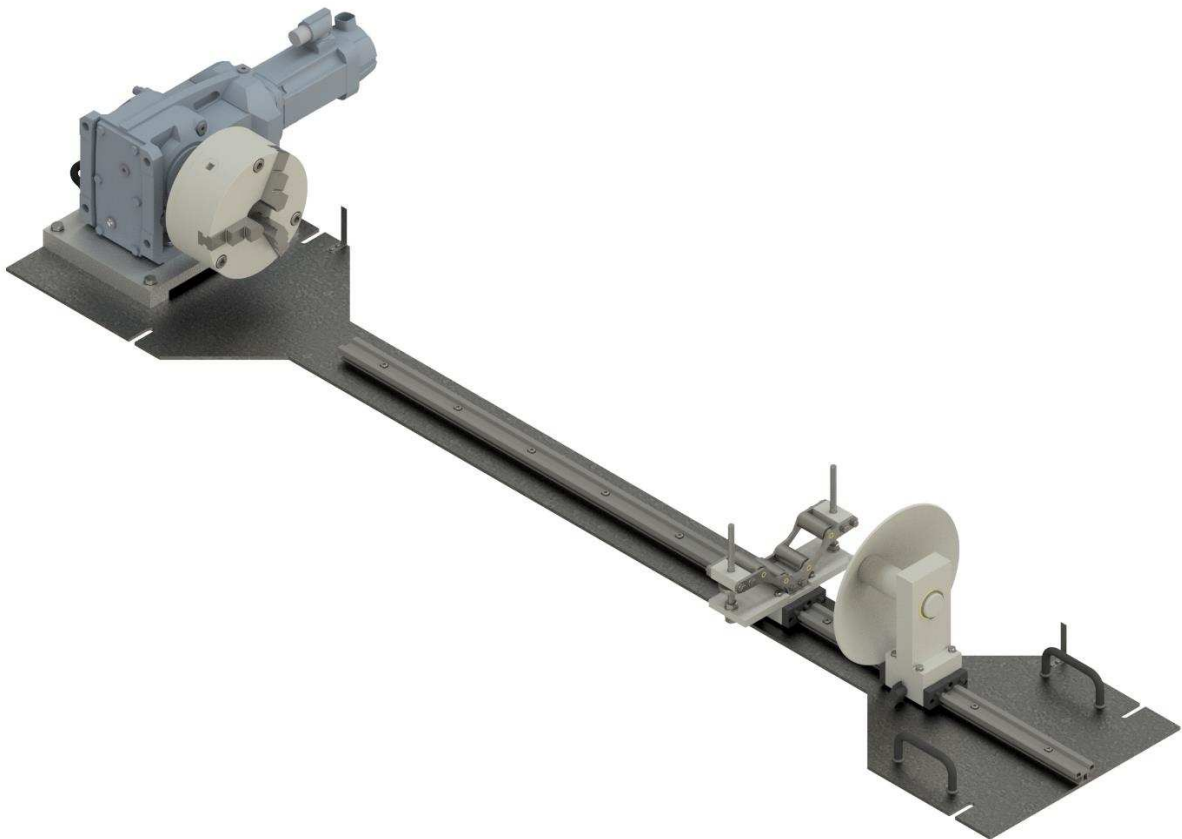
Zařízení se musí vejít do prostoru stroje, což znamená, že maximální délka může být 1660 mm. Výška, do které může řezací hlava odjet od roštu, je maximálně 290 mm. Dále jsme omezení pohybem řezací hlavy, protože není schopna dojet až na kraj roštu. Její maximální rozsah pohybu je 220 mm od každé strany. Z důvodů nerovnosti roštu, bezpečnosti pohybu řezací hlavy a nutnosti odjíždění řezací hlavy od materiálu při přesunu byla maximální výška snížena z 290 mm na 250 mm.



Obr. 4.1 Výsledný prostor pro řezání trubky

4.2. Desková konstrukce

Výsledek této práce je 3D model přídatné osy deskové konstrukce o rozměrech 1623 mm na délku, 483,6 mm na šířku a 231 mm na výšku. Hmotnost sestavy je 44,25 kg s vozíky a 38,25 kg bez nich. Základem konstrukce je deska, ke které je připevněn motor s převodovkou a univerzálním sklíčidlem. Dále je zde kolejnice se dvěma odstranitelnými vozíky, na kterých se nachází středící kužel a válcová podpěra. Jednotlivé části konstrukce jsou detailněji popsány v samostatných kapitolách.



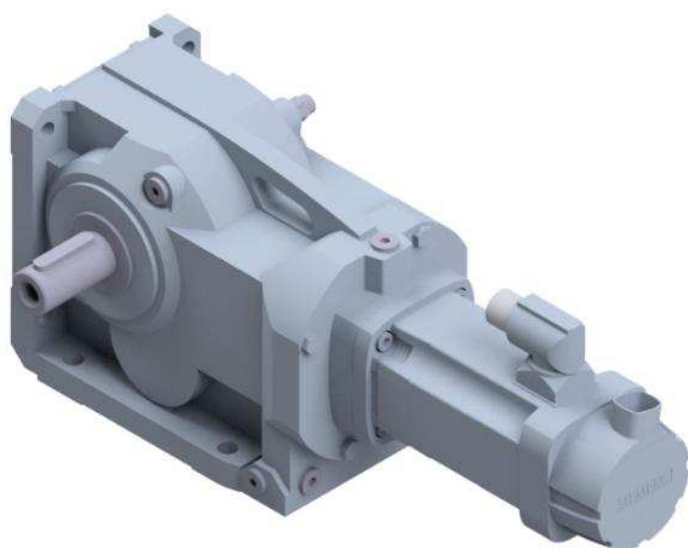
Obr. 4.2 *Desková konstrukce*

4.2.1. Motor s převodovkou

Aby byla zaručena kompatibilita servomotoru s moduly SIMODRIVE 611, které jsou použity k řízení laserového stroje, je zde použit servomotor od firmy SIEMENS. Přesné označení motoru s převodovkou je 1FG1504-1RC26-2AJ2-Z. Jedná se o kuželovou převodovku, která byla použita z prostorových důvodů, neboť nejméně zasahovala do prostoru, jež můžeme využít pro řezání trubek. 3D model byl stažen z internetových stránek výrobce [13].

Tab. 4.1 Základní parametry motoru s převodovkou

Převodový poměr	157,32
Výstupní kroutící moment	220 Nm
Max. vstupní otáčky	4500 ot/min
Krátkodobé výstupní otáčky	29 ot/min
Max. radiální zatížení výstupní hřídele	6080 N
Hmotnost sestavy	15.25 kg
Výkon motoru	0,41 kW



Obr. 4.3 Motor s převodovkou

Převodovka byla zvolena na základě výpočtu. Pokud chceme zachovat řeznou rychlost 2 m/min (maximální rychlost při řezání plechů u stroje v laboratořích KSA) u trubky s vnějším průměrem 40 mm, musí se trubka otáčet těmito otáčkami:

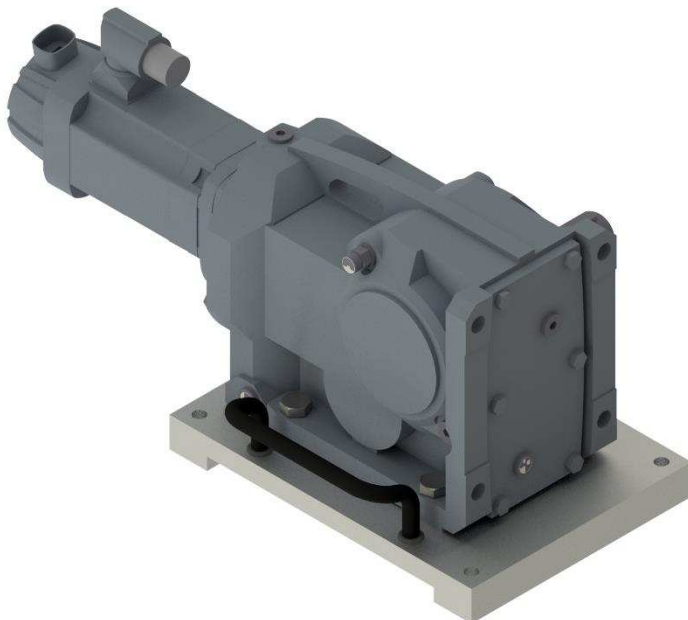
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{0,033m/s}{0,02 m} = 1,66 \text{ rad/s} \quad 1$$

$$n = \frac{60 * \omega}{2\pi} = \frac{60 * 1,66}{2 * 3,14} = 15,92 \text{ ot/min} \quad 2$$

kde v je obvodová rychlost, ω je úhlová rychlost, r je poloměr trubky a n jsou otáčky za minutu.

Dle tohoto orientačního výpočtu byla vybrána převodovka s většími otáčkami než 15,92 ot/min. Použitá převodovka má maximální krátkodobé výstupní otáčky 29 ot/min. Výstupem z převodovky je hřídel o průměru 25 mm a délce 50 mm, na které je umístěno pero dle DIN 6885-1, o šířce 8 mm a délce 40 mm. V hřídeli je i vnitřní závit M10x22 dle DIN332.

Převodovka je uchycena čtyřmi šrouby do hliníkové desky. Tato deska plní distanční funkci, aby bylo možné upnout trubky větších průměrů. Zároveň je k této hliníkové desce přišroubováno madlo k lepší manipulaci s celým zařízením. Model madla byl stažen z webových stránek výrobce [14].

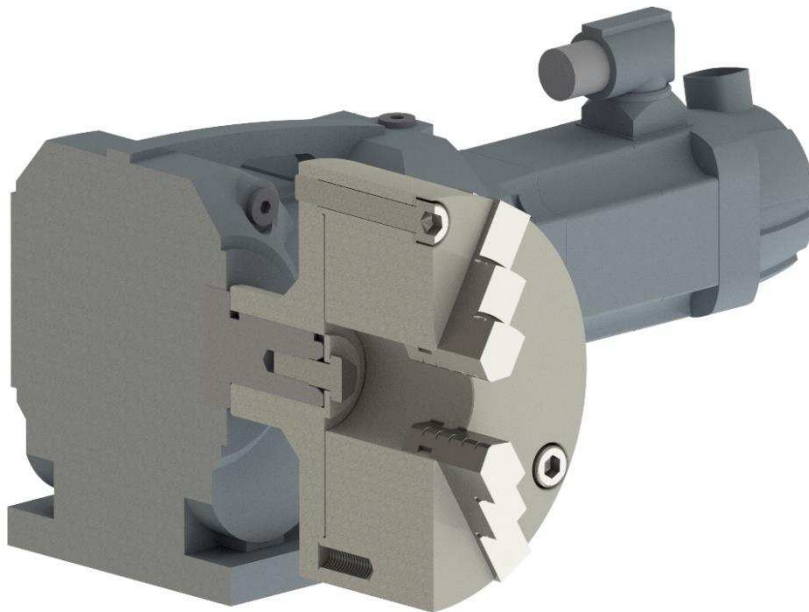


Obr. 4.4 Hliníková distanční deska s madlem

4.2.2. Univerzální sklíčidlo

V konstrukci je použito univerzální středící sklíčidlo IUG 160/3 od firmy TOS Svitavy. Do tohoto sklíčidla je možno upnout největší trubku o vnitřním průměru 208 mm. 3D model sklíčidla byl vymodelován na základě rozměrů z katalogu [15].

Sklíčidlo je k převodovce připevněno pomocí příruby s drážkou pro pero. Příruba je pomocí šroubu M10 s podložkou přišroubována do hřídele převodovky. Tímto je zajištěno zablokování axiálního posuvu. Na přírubu je třemi imbusovými šrouby M10 namontováno univerzální sklíčidlo.



Obr. 4.5 Upevnění sklíčidla k převodovce v řezu

4.2.3. Středící kužel

Abychom zamezili průhybu trubek větších délek a deformaci tenkostěnných trubek ve sklíčovadle, je zařízení vybaveno středícím kuželem.

Kužel se nachází na lineárním vozíku, který jezdí po hliníkové kolejnici ve tvaru T upevněné šrouby k základní desce. Lineární vedení s plastovými kluznými segmenty místo klasických kulových ložisek je použito od firmy IGUS. Toto řešení je výhodné v prašném prostředí, protože zde nejsou žádná maziva, na která by se mohl prach zachytávat. Vozík je vybaven aretační páčkou, která ho zablokuje na zvolené poloze. 3D model lineárního vedení byl stažen z databáze výrobce [16].



Obr. 4.6 Středící kužel v částečném řezu

Kuželový klobouk, který je menším kuželem přišroubován na hřídel, má největší průměr 204 mm. Dírou ve středu je přesně vystředěn na hřídel. Menší kužel má na sobě 2 plošky na klíč velikosti 27, aby mohl dotáhnout klobouk k hřídeli. Celá hřídel je umístěna v plastovém kluzném ložisku od firmy IGUS. Plastové ložisko je zvoleno kvůli absenci maziva, které je náchylné na prašné prostředí. 3D model kluzného ložiska byl stažen z databáze výrobce [17].

4.2.4. Válcová podpěra

Válcová podpěra, stejně jako středící kužel, zamezuje průhybu řezané trubky a deformaci tenkostěnných trubek ve sklíčidlu. Navíc se dá použít i v případě, kdy konec řezané trubky není rovný, ale je uříznutý zešikma. V tomto případě středící kužel použít nelze. Další použití nachází při zpracování konce trubky, neboť v případě použití kuželu bychom laserem mohli středící kužel poškodit.

Použít se dá i při výrobě většího množství menších dílů z jedné trubky. Válcovou podpěru můžeme umístit například do poloviny trubky a postupně od konce odřezávat jednotlivé díly. Vyhnete se tak velkému průhybu a zároveň můžeme zpracovat celou trubku na jedno upnutí.



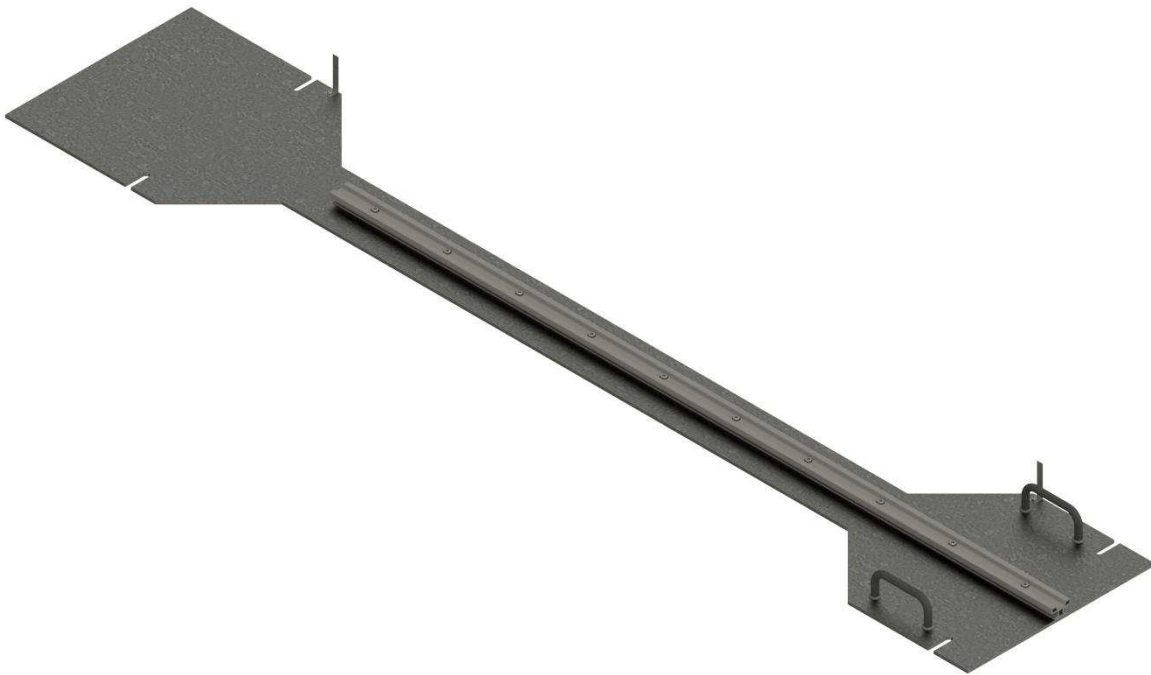
Obr. 4.7 Válcová podpěra

Podpěra je umístěna na vozíku s ruční aretací jako u středícího kuželu. Skládá se ze 4 válečků, které jsou uloženy v kluzných plastových ložiskách od firmy IGUS. Tato ložiska jsou umístěna ve dvou plechách, které jsou přišroubovány do distančních kvádrů. V krajních kvádrech je vyvrtaná díra, kterou prochází závitová tyč. Výška podpěrných válců se nastavuje pomocí dvou rýhovaných matic na již zmíněných závitových tyčích. Závitové tyče jsou pomocí matic přidělané k desce, která je přišroubována do vozíku.

Maximální vnější průměr trubky, kterou lze podepřít válci, je z konstrukčních důvodů 115 mm. 3D modely ložiskových pouzder byly staženy z databáze výrobce [17].

4.2.5. Základní deska

Základem celé konstrukce je ocelová deska o tloušťce 5 mm. Z důvodů snížení hmotnosti je střední část desky užší než krajní. Do roviny symetrie desky je přišroubována lineární hliníková kolejnice, po které se pohybují vozíky. Kolejnice byla stažena z databáze výrobce [16]. Na desce se dále nachází drážky pro upínací šrouby, madla k manipulaci a kalibrační plechy. Modely madel byly staženy z webových stránek výrobce [14]. Do základní desky je přišroubována hliníková distanční deska s motorem a převodovkou.



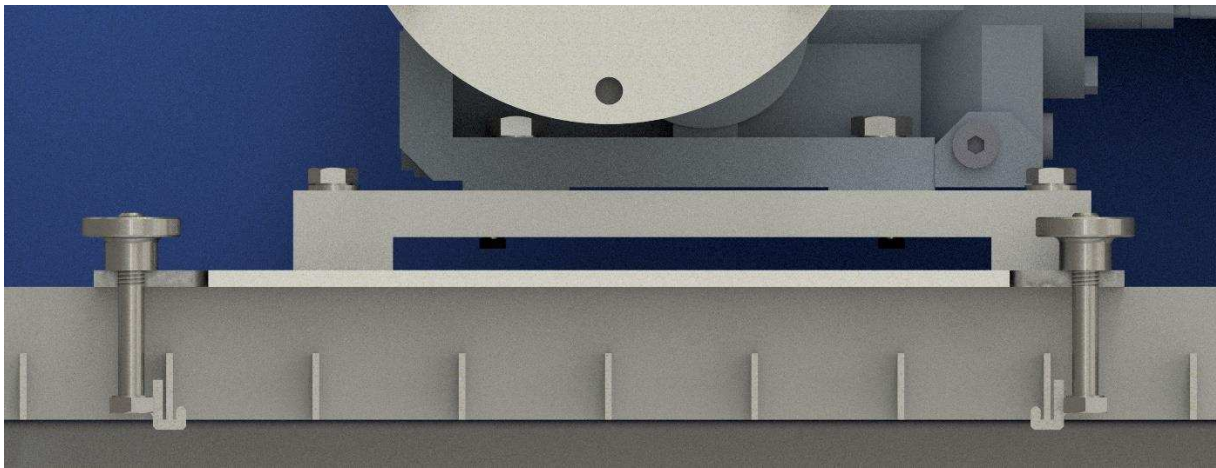
Obr. 4.8 *Základní deska*

4.3. Manipulace se zařízením

Jelikož zařízení váží 38,25 kg, je zapotřebí pro jeho umístění dvou lidí. K lepší manipulaci jsou k zařízení přidělena tři madla z ocelových kulatin (viz Obr. 4.4 a Obr. 4.8). Madla jsou od firmy ELASA+GANTER s. r. o.. 3D modely byly staženy z jejich webových stránek [14].

4.4. Uchycení zařízení

Uchycení základní desky k roštu je realizováno přes čtyři šrouby, na které je navařen ohnutý plíšek a zachycen zesponu za rošt. V základní desce jsou pro tyto šrouby drážky, do kterých jsou zasunuty. Celá deska je pomocí kruhových rýhovaných matic ručně dotažena k roštu.



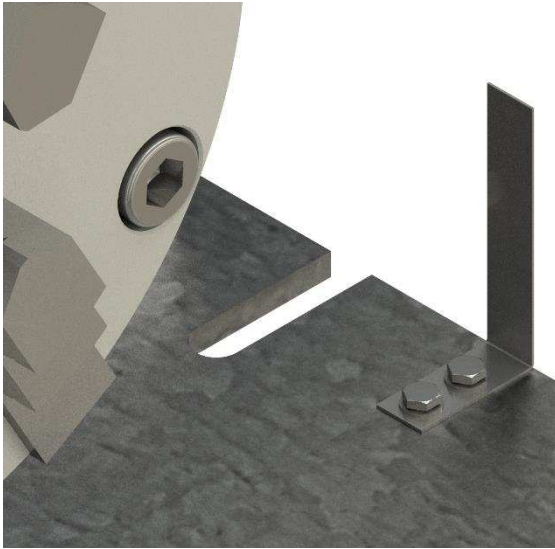
Obr. 4.9 Uchycení desky k roštu

4.5. Kalibrace zařízení

Po každé instalaci zařízení do laserového stroje je nutné, aby osa rotace trubky byla rovnoběžná s osou posuvu laserové řezací hlavy. Po vložení zařízení do stroje jej na straně motoru přiděláme šrouby k roštu a na druhé straně na upínacích šroubech necháme vůli, aby šlo s deskou lehce manipulovat. Laserovou hlavou dojedeme k dotykovému plíšku z pružinové oceli na straně motoru. Až se nám na zařízení rozsvítí kolize, přejedeme řezací hlavou na druhou stranu zařízení. Zde poté ručně seřídíme druhý konec desky tak, aby se kalibrační plech dotkl řezací hlavy. Jakmile máme seříděno, utáhneme upínací šrouby a přejedeme s řezací hlavou znovu na stranu s motorem a přeměříme, zda máme již správně zkalibrováno. Pokud ne, celý postup opakujeme.

Po zkalibrování je nutné nastavit nulovou pozici. Průměr matice na trysce, kterou provádíme dotyk, je 22,8 mm a vzdálenost kalibrační plochy od osy rotace trubky je 155 mm. Tudiž nulová pozice se bude nacházet 166,4 mm od námi zkalibrované roviny.

Kalibrační plech je vyroben z pružinové oceli, aby se předešlo jeho ohnutí, a je přišroubován dvěma šrouby, aby se neotáčel. Vnější strana je zarovnána s hranou základní desky.



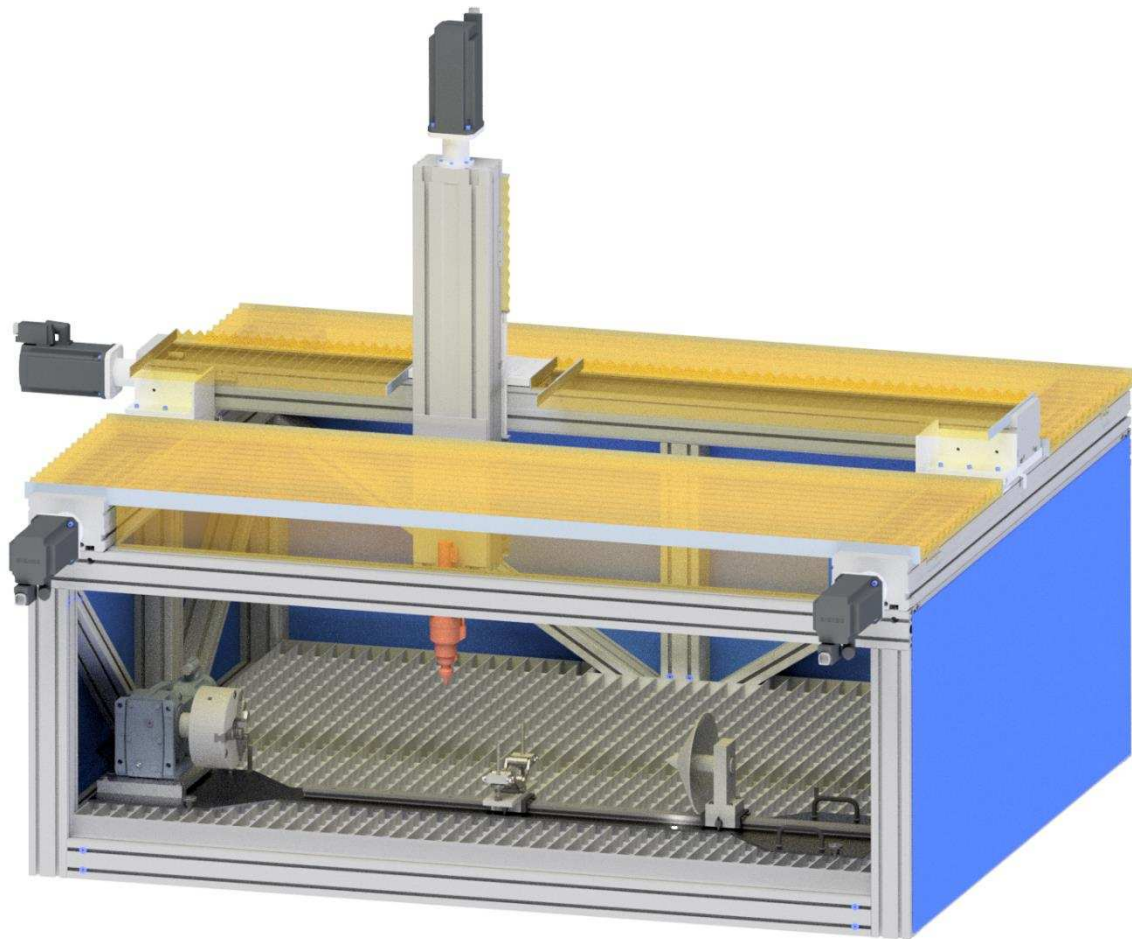
Obr. 4.10 *Kalibrační plech*



Obr. 4.11 *Rýhovaná matice, kterou se provádí dotek*

4.6. Umístění ve stroji

Celé zařízení je umístěno na roštu laserového stroje a je k němu přitaženo pomocí upínacích matic. Poloha není nijak přesně specifikována, ale pokud zarovnáme okraj základní desky na straně motoru s okrajem roštu, můžeme do zařízení upnout trubku o maximální délce 1403,5 mm. Jelikož laserová hlava má omezený pohyb, maximální délka trubky, kterou lze řezat, je 1183,5 mm. Největší možný průměr trubky, jaký lze upnout, je 208 mm.



Obr. 4.12 Umístění přídavné rotační osy v laserovém stroji

5. Závěr

Bakalářská práce byla zpracována na téma designový návrh přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek. Práce je rozdělena na čtyři části. V první části je představen laserový řezací stroj, pro který je přídatné zařízení konstruováno. Druhá část je teoretická a zabývá se principem fungování laseru, typy laserů a problematikou řezání trubek a profilů. Třetí část je rešerše strojů pro laserové řezání trubek na trhu. V poslední části je představeno vlastní designové řešení přídatné rotační osy.

Cílem práce bylo seznámit se s konstrukcí laserového stroje na řezání plechů umístěného v laboratoři KSA v budově L Technické univerzity v Liberci a navrhnout do tohoto stroje přídatné zařízení na řezání trubek.

Výsledkem práce je 3D model přídatné rotační osy na laserové řezání trubek v programu Autodesk Inventor 2018 professional. Přídatné zařízení je plně odstranitelné a není potřeba jakkoliv upravovat současný stav laserového stroje. Přídatná rotační osa se skládá ze základního ocelového plechu, na kterém je umístěn servomotor s kuželovou převodovkou. K převodovce je připevněno univerzální sklíčidlo pro upnutí řezaného materiálu. Na základní desce je lineární vedení ve tvaru T, po kterém mohou jezdit vozíky se středícím kuzelem nebo s podpěrnými válci. Oba tyto vozíky mají za úkol odstranit průhyb řezané trubky a zvýšit tak přesnost a kvalitu výrobku. K manipulaci se zařízením slouží 3 madla. Do stroje lze upnout polotovary o průměru 208 mm a maximální délce 1403,5 mm. Laser je však omezen rozsahem pohybu, může tedy řezat jen trubky do délky 1183,5 mm. Celková hmotnost zařízení je 44,25 kg s vozíky a 38,25 kg bez nich. Rozměry navrženého zařízení jsou 1623 mm na délku, 483,6 mm na šířku a 231 mm na výšku.

Seznam použitých zdrojů

1. **GSI Group Company.** Lao Lasery a optiky. [Online] [Citace: 5. 3. 2018.] <http://www.lao.cz/data/ke-stazeni/datasheet-jk50fl-jk500fl-d816.pdf>.
2. **TAEvo.** Veskom : specialisté na stlačený vzduch, chlazení a vytápění. [Online] [Citace: 5. 3. 2017.] https://www.veskom.cz/files/593001f347020_prospekt-taevo-laser.pdf.
3. **Tauchman, J.** *Diplomová práce: Konstrukce prototypu CNC stroje pro laserové řezání plechů.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní., 2012.
4. **Taich, Jakub.** *Bakalářská práce: Odsávání spalin u laserového stroje.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2016.
5. **Jaroslav, Řasa a Kerečaninová, Zuzana.** Nekonvenční metody obrábění – 5. díl. MM *Průmyslové spektrum.* 2008, 5.
6. **Kořán, Ing. Pavel.** SERIÁL NA TÉMA LASERY - LASEROVÉ ŘEZÁNÍ (LASER CUTTING). lao.cz. [Online] 20. 5. 2011. [Citace: 10. 3. 2018.] <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>.
7. **Novák, Ing. Miroslav.** SERIÁL NA TÉMA LASERY - HLAVNÍ TYPY LASERŮ POUŽÍVANÝCH V PRŮMYSLU. Lao. [Online] 15. 3. 2011. [Citace: 10. 3. 2018.] <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>.
8. **ODDĚLENÍ TECHNICKÉ LITERATURY FIRMY TRUMPF.** Technical information: Laser processing. [Online] 2. 2007. [Citace: 14. 3. 2018.] http://iconmachinetool.com/education/Library_Laser_CO2_Laser.pdf.
9. **TRUMPF.** TruLaser Tube 5000 fiber. [Online] [Citace: 27. 3. 2018.] https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/stroje-pro-laserove-rezani-trubek/trulaser-tube-serie-5000-fiber/.
10. **BLM Group.** BLM Group. [Online] [Citace: 27. 3. 2018.] <http://www.blmgroupp.com/en/lasertube/lt5>.

11. **Vanad 2000 a.s.** Vanad, autogenní, plazmové a laserové CNC řezací stroje. [Online] 8. 12. 2016. [Citace: 7. 4. 2018.] <http://www.vanad.cz/rotcut>.
12. **THUNDER Laser.** Rotary Axis (Optional). THUNDER Laser. [Online] 7. 6. 2016. [Citace: 8. 4. 2018.] <http://www.thunderlaser.com/features/rotary-axis-2.html>.
13. **Siemens.** Siemens Industry Mall. SIMOTICS S-1FG1 servo geared motors. [Online] Siemens. [Citace: 18. 4. 2018.] <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/catalog/products/10264020?activeTab=configurator®ionUrl=WW>.
14. **Elesa+GANTER.** Madla, Elesa+GANTER Česká republika. Elesa+GANTER. [Online] [Citace: 27. 4. 2018.] <https://www.elsa-ganter.cz/vyrobky/madla>.
15. **TOS Svitavy.** Katalogy. TOS Svitavy. [Online] [Citace: 16. 3. 2018.] http://www.tossvitavy.com/pdf/souhrnny_katalog_sklicidel.pdf.
16. **Hennlich s.r.o.** drylin® T rail guides. Igus, plastics for longer life. [Online] [Citace: 8. 3. 2018.] <https://www.igus.cz/drylin/rail-guide>.
17. —. Cylindrical bushings with flange. Igus, plastics for longer life. [Online] 29. 3. 2018. <https://www.igus.cz/iglidur/sleeve-bearing-with-flange>.
18. **Ing. Leinveber, Jan a Ing. Vávra, Pavel.** *Strojnické tabulky. Úvaly, Havlíčkova 92 : ALBRA, 2003. ISBN 80-86490-74-2.*
19. **DIFAK.** Obráběcí, tvářecí a dělicí stroje. [Online] [Citace: 5. 3. 2018.] <http://www.difak.cz/cs/cnc-ridici-systemy-pro-obrabeci-stroje/siemens/sinumerik-840d>.

Seznam příloh

- A** Datasheet motoru s převodovkou
- B** Výkres sestavy přídatné rotační osy
- C** Výkres sestavy středícího kužele
- D** Výkres sestavy podpěrných válců
- E** Výkres sestavy motoru s převodovkou



Figure similar

MLFB-Ordering data

1FG1504-1RC26-2AJ2-Z
D11+G23+K06

Client order no. :

Item no. :

Order no. :

Consignment no. :

Offer no. :

Project :

Remarks :

Gearbox data

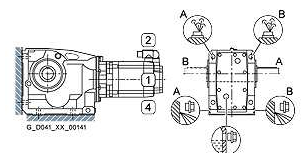
Gear box type	K39	Radial force maximum	6080 N
Gearbox basic type	Bevel geared	Max. permissible radial force with Mmax	6080 N
Gearbox size	39	Moment of inertia	0.04 kgcm ²
Transmission stages	3	Torsional stiffness	25 Nm/'
Transmission (ratio)	157.32	Efficiency	0.88
Gear number relation	3933/25	Mounting position	M1-A
Output moment maximum (short-time)	220 Nm	Mounting type	Foot-mounted
Temporary input speed	4500 rpm	Output shaft version	Solid shaft standard
Output speed short-time	29 rpm	Output shaft dimension	V25x50
Emergency off output moment (1000	370 Nm	Gearbox flange diameter	0 mm
		Output shaft bearing	No
		Figure 2 torque support	-

General tech. specifications

Degree of protection	IP65
Color of the housing	Standard painting (Anthracite RAL 7016)
Specification	CE / UL
Net weight	15.25 kg
1m-sound pressure level L_{pa}(Tol.+3dB(A))	65
Plug position	top (default) (2)
Connector size	1

Lubrication and sealing

Gear oil	Mineral oil CLP ISO VG220
Output shaft sealing	Seal longer service life
Oil charge	0.35 l



MLFB-Ordering data

1FG1504-1RC26-2AJ2-Z
D11+G23+K06



Figure similar

Motor data

Motor type	Permanent-magnet synchronous motor
Motor type	Compact
DC-link voltage, max.	510...720V
Shaft height	36 mm
Cooling	Natural cooling
Motor current short term	6.5 A
Maximum speed (short-time)	10000 rpm
Efficiency η	87 %
Rated torque (100K)	0.65 Nm
Maximum torque	4.50 Nm
Static torque	1.01 Nm
Rated current (100K)	1.09 A
Static current	1.50 A
Rated power	0.41 kW
Moment of inertia	0.65 kgcm ²
Temperature monitoring	Pt1000 temperature sensor
Encoder system	Encoder AM20DQI: absolute encoder 20 bits (resolution 1048576, encoder-internal 512 S/R) + 12 bits multi-turn (traversing range 4096 revolutions)

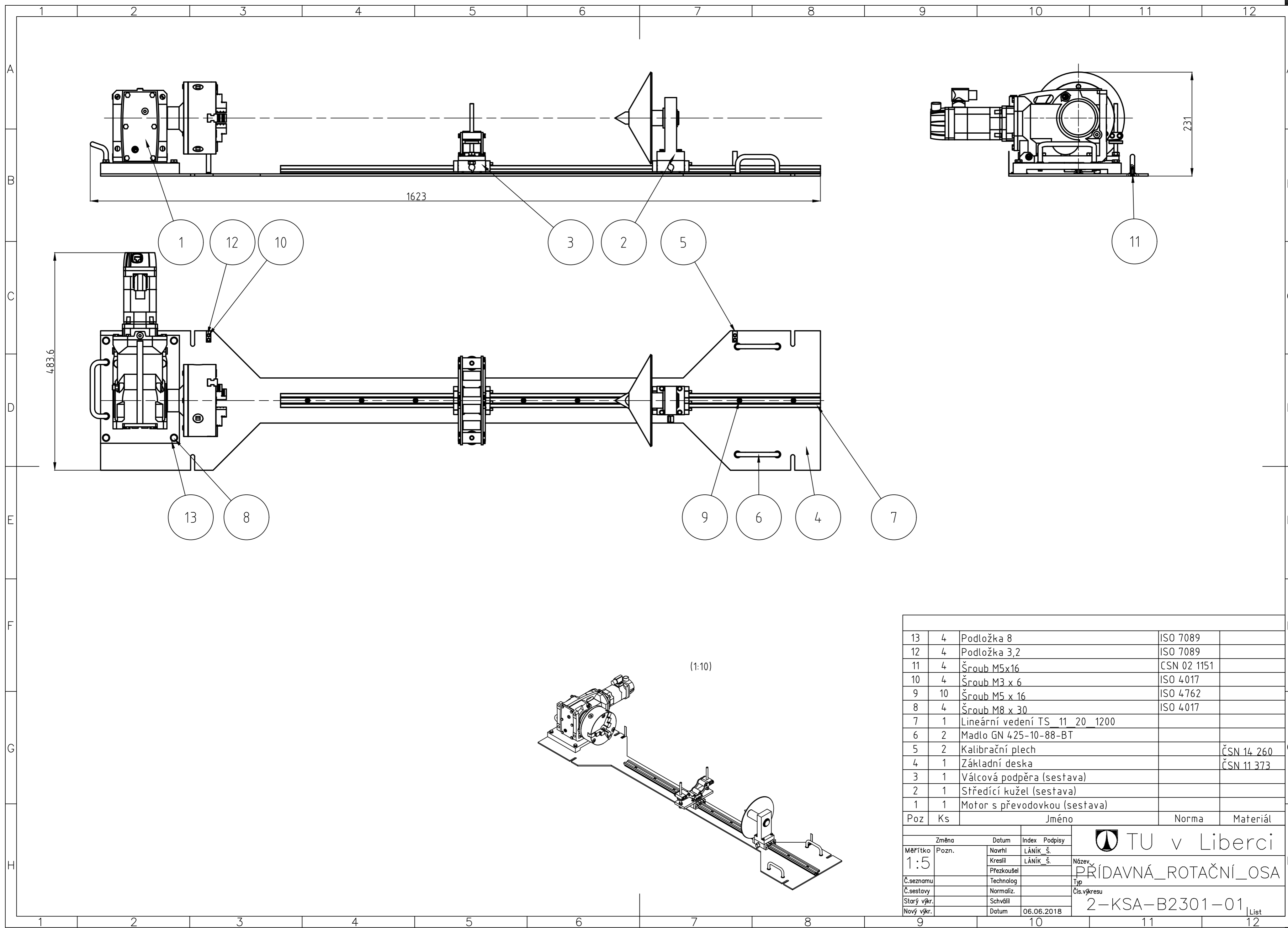
Options

D11	M1-A for bevel and worm gearboxes
G23	Seal longer service life
K06	Mineral oil CLP ISO VG220

Info servo geared motor

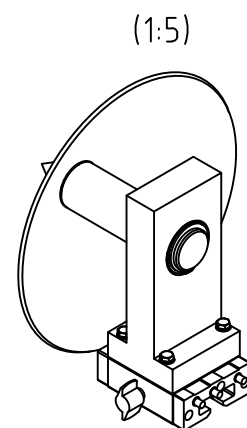
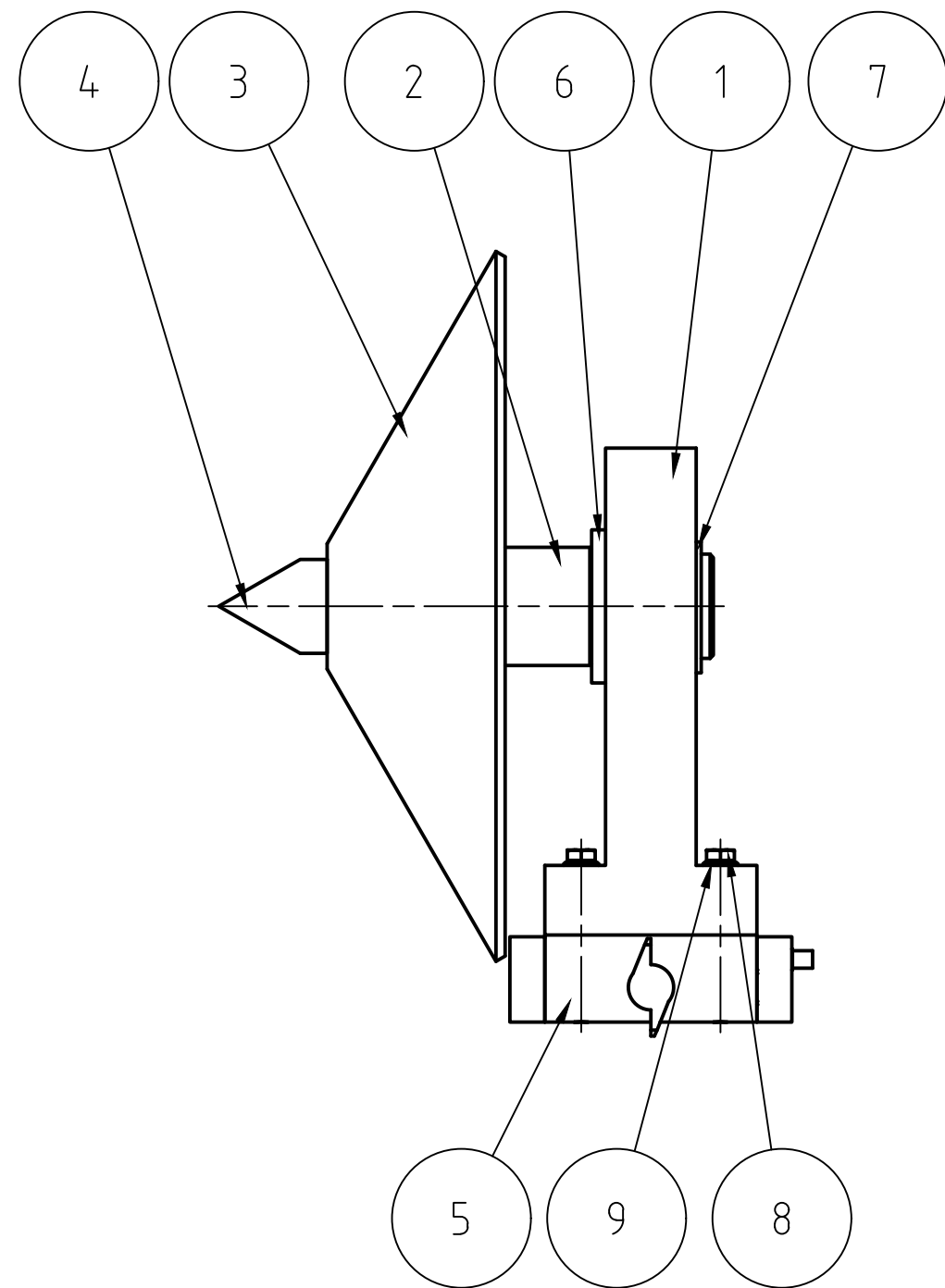
Outside the standard temperature range of -10 to +40 °C, further selectable options must be observed, in addition to the lubricant selection.

Further, you have to check the suitability of the components and options used for the requested temperature range.




13	4	Podložka 8	ISO 7089	
12	4	Podložka 3,2	ISO 7089	
11	4	Šroub M5x16	ČSN 02 1151	
10	4	Šroub M3 x 6	ISO 4017	
9	10	Šroub M5 x 16	ISO 4762	
8	4	Šroub M8 x 30	ISO 4017	
7	1	Lineární vedení TS 11 20 1200		
6	2	Madlo GN 425-10-88-BT		
5	2	Kalibrační plech		ČSN 14 260
4	1	Základní deska		ČSN 11 373
3	1	Válcová podpěra (sestava)		
2	1	Středící kužel (sestava)		
1	1	Motor s převodovkou (sestava)		
Poz	Ks	Jméno	Norma	Materiál
Měřítko		Změna	Datum	Index
1:5	Pozn.	Navrhl	LÁNÍK Š.	Podpisy
		Kreslil	LÁNÍK Š.	
Č.seznamu		Přezkoušel		Název
Č.sestavy		Technolog		PRÍDAVNÁ_ROTACNÍ_OSA
Starý výkr.		Normaliz.		Typ
Nový výkr.		Schválil		Čís.výkresu
		Datum	06.06.2018	2-KSA-B2301-01
				List

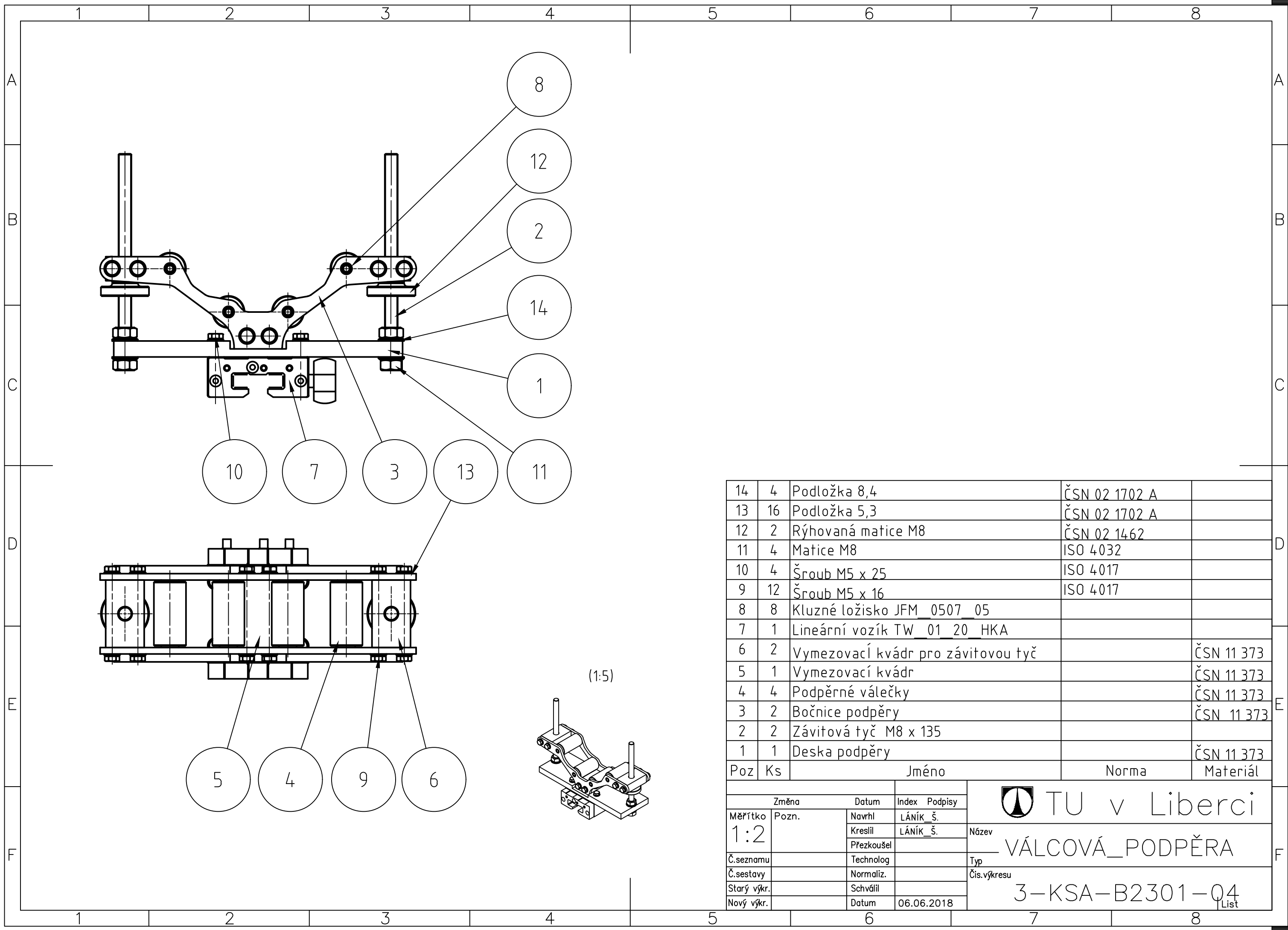
TU v Liberci
 PRÍDAVNÁ_ROTACNÍ_OSA
 2-KSA-B2301-01 List



9	4	Podložka 5	ISO 7090	
8	4	Šroub M5 x 40	ISO 4017	
7	1	Pojistný kroužek 30	ČSN 02 2930	
6	1	Kluzné ložisko JFM 3038 30		
5	1	Lineární vozík TW 01 20 HKA		
4	1	Dotahovací kužel		ČSN 11 373
3	1	Kuželový klobouk		ČSN 11 373
2	1	Hřídel		ČSN 11 373
1	1	Stojan		ČSN 11 373
Poz	Ks	Jméno	Norma	Materiál

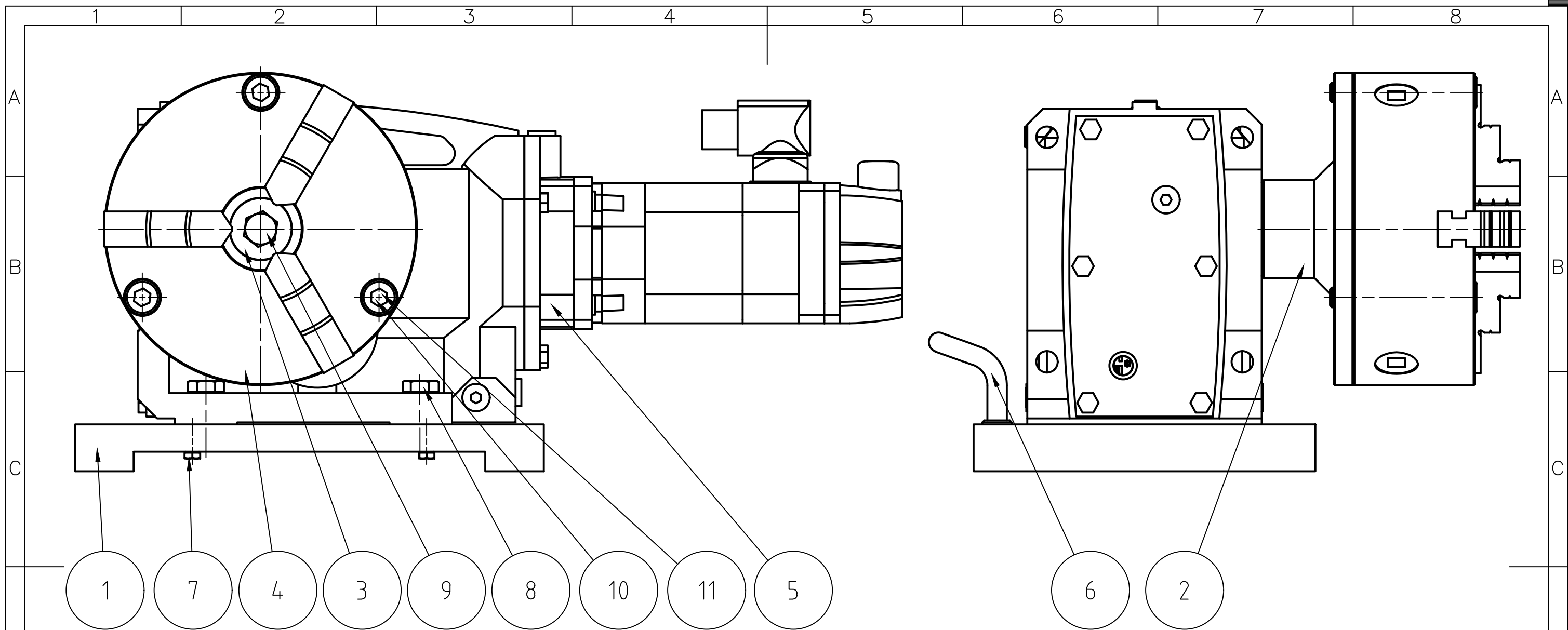
Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítko	Pozn.	Navrhl	LÁNÍK_Š.	Název
1:2		Kreslil	LÁNÍK_Š.	
		Přezkoušel		
Č.seznamu		Technolog		Typ
Č.sestavy		Normaliz.		Čís.výkresu
Starý výkr.		Schválil		
Nový výkr.		Datum	06.06.2018	


TU v Liberci
STŘEDICÍ_KUŽEL
3-KSA-B2301-03
 List

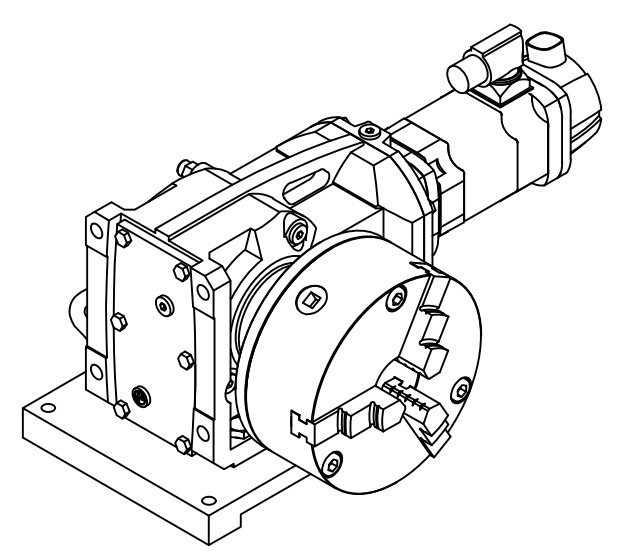


14	4	Podložka 8,4	ČSN 02 1702 A	
13	16	Podložka 5,3	ČSN 02 1702 A	
12	2	Rýhovaná matice M8	ČSN 02 1462	
11	4	Matice M8	ISO 4032	
10	4	Šroub M5 x 25	ISO 4017	
9	12	Šroub M5 x 16	ISO 4017	
8	8	Kluzné ložisko JFM 0507 05		
7	1	Lineární vozík TW 01 20 HKA		
6	2	Vymezovací kvádr pro závitovou tyč		ČSN 11 373
5	1	Vymezovací kvádr		ČSN 11 373
4	4	Podpěrné válečky		ČSN 11 373
3	2	Bočnice podpěry		ČSN 11 373
2	2	Závitová tyč M8 x 135		
1	1	Deska podpěry		ČSN 11 373
Poz	Ks	Jméno	Norma	Materiál


Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci VÁLCOVÁ_PODPĚRA Typ Čís.výkresu 3-KSA-B2301-04 List
Měřítko	Pozn.	Navrhl	LÁNÍK_Š.	Název	
1:2		Kreslil	LÁNÍK_Š.		
Č.seznamu		Přezkoušel			
Č.sestavy		Technolog			
Starý výkr.		Normaliz.			
Nový výkr.		Schválil			
		Datum	06.06.2018		



(1:5)



11	3	Podložka 10,5	ČSN 02 1702 A	
10	3	Šroub M10 x 65	ISO 4762	
9	1	Šroub M10 x 30	ISO 4017	
8	4	Šroub M10 x 30	ISO 4017	
7	2	Šroub M5 x 25	ISO 4017	
6	1	Madlo GN 425_1-10-120-BT		
5	1	Motor s převodkou 1FG1504-1RC26-2AJ2-Z		
4	1	Univerzální středící sklíčidlo IUG 160/3		
3	1	Podložka pro dotažení příruby	ČSN 11 373	
2	1	Příruba pro sklíčidlo	ČSN 11 373	
1	1	Distanční deska	ČSN 42 4201	
Poz	Ks	Jméno	Norma	Materiál

Měřítko		Změna		Datum		Index		Podpisy		 TU v Liberci MOTOR_S_PŘEVODOVKOU Typ Čís.výkresu 3-KSA-B2301-02 List
1:2		Pozn.	Navrhl	LÁNÍK_Š.		Kreslil		LÁNÍK_Š.		
Č.seznamu		Technolog				Přezkoušel				
Č.sestavy		Normaliz.				Starý výkr.		Schválil		
Nový výkr.		Datum		06.06.2018						