



# Návrh konstrukce přídatného zařízení pro pálení trubek pro stroj CNC Kompakt Laser

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení  
*Autor práce:* **Bc. Jakub Roháč**  
*Vedoucí práce:* Ing. Petr Zelený, Ph.D.





# Design of additional equipment for cutting of tubes for CNC machine Kompakt Laser

## Master thesis

*Study programme:* N2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2302T010 – Machine and Equipment Systems

*Author:* **Bc. Jakub Roháč**  
*Supervisor:* Ing. Petr Zelený, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Roháč**  
Osobní číslo: **S16000348**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**  
Název tématu: **Návrh konstrukce přídavného zařízení pro pálení trubek pro stroj CNC Kompakt Laser**  
Zadávací 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 :

Hlavním cílem této práce je provést konstrukční návrh přídavného zařízení pro pálení do trubek na CNC laserovém řezacím stroji. Navržené zařízení musí umožňovat axiální polohování trubek.

1. Rešerše rotačních zařízení pro pálení do trubek.
2. Návrh konstrukce rotátoru a podpěry s možností axiálního motorického polohování trubek.
3. Potřebné výpočty a návrh pohonu.
4. Konstrukční řešení rotátoru dle požadovaných parametrů a rozměrů stroje.

Rozsah grafických prací: **dle**  
Rozsah pracovní zprávy: **60 stran včetně příloh**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

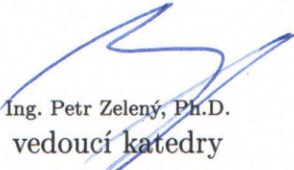
Seznam odborné literatury:

- [1] MAREK, J. **Konstrukce CNC obráběcích strojů III.** Praha: MM publishing, s.r.o., 2014, 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.  
[2] SHIGLEY, J. E., Ch. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. **Konstruování strojních součástí.** 1. vyd. Brno: VUTIUUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Zelený, Ph.D.**  
Katedra výrobních systémů a automatizace  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Ondřej Zvolánek**  
Vanad design s.r.o.  
Datum zadání diplomové práce: **15. listopadu 2017**  
Termín odevzdání diplomové 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 diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou 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.

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

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

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Tento prostor bych rád využil pro poděkování mé rodině a přátelům, za podporu jak v průběhu celého studia, nejen vysokoškolského, tak při samotném zpracování této závěrečné práce. Dále patří dík firmě Vanad 2000, a.s., především panu Ing. Ondřejovi Zvolánkovi za odbornou konzultaci v průběhu celé práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Ing. Petru Zelenému, Ph.D. jako vedoucímu práce, za odborné rady a vedení při řešení zadání.

## **Abstrakt**

Diplomová práce pojednává o řezání trubek na CNC stroji pomocí laserového paprsku. V první části jsou přiblížena již existující řešení, v druhé části je navrženo a popsáno vlastní řešení. Pro zjednodušení návrhu je jako základ použit stroj KOMPAKT Laser firmy Vanad 2000, a.s.. Součástí práce jsou i kontrolní výpočty navržených pohonů a zjednodušená cenová kalkulace.

## **Klíčová slova:**

CNC stroj, laser, řezání, trubky, sklíčidlo, servomotor

## **Abstract**

This diploma thesis describe cutting of tubes on CNC machine with laser beam. In the first part are compared existing solutions, in the second part is designed and described own design. To simplify the design was used and upgraded CNC machine KOMPAKT Laser produced by Vanad 2000, a.s.. Thesis includes control calculation of used servomotors and simplified price calculation.

## **Key words:**

CNC machine, laser, cutting, tubes, chuck, servomotor

## Obsah

1	Úvod do řešeného úkolu .....	14
2	Cíl diplomové práce .....	15
3	Technologie dělení materiálu vláknovým laserem .....	17
4	CNC pálicí stroj Vanad KOMPAKT Laser .....	18
5	Průzkum konkurenčních řešení na trhu .....	19
5.1	Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas .....	19
5.2	HSG HS-G3015E-F30/60 T .....	21
5.3	BLM LC5 .....	22
5.4	Patentová omezení .....	25
6	Předběžný návrh řešení .....	27
6.1	Varianta řešení 1 .....	28
6.2	Varianta řešení 2 .....	29
7	Výsledný návrh .....	32
7.1	Celková koncepce .....	32
7.2	Osazená sklíčidla .....	33
7.2.1	Průchozí sklíčidlo .....	33
7.2.2	Neprůchozí pojízdné sklíčidlo .....	35
7.3	Uložení průchozího sklíčidla .....	35
7.3.1	Mechanismus ovládání čelistí .....	38
7.4	Pojízdné uložení neprůchozího sklíčidla .....	41
7.5	Kontrolní výpočet navržených pohonů .....	44
7.6	Dráha vozíku neprůchozího sklíčidla .....	48
7.6.1	Sklápěcí podpěry .....	50
7.7	Ostatní příslušenství stroje .....	56
7.7.1	Vnitřní podpěry .....	56
7.7.2	Odkládací rošt .....	60
7.7.3	Přestavění čelistí sklíčidel pro různé průřezy polotovarů .....	62
7.8	Krytování rotátoru .....	63
7.8.1	Odsávání zplodin z pálení .....	67
8	Zhodnocení dosažených výsledků .....	67
8.1	Předběžná kalkulace ceny stroje .....	67



8.2	Porovnání dosažených parametrů s požadavky zadání .....	69
9	Závěr.....	70
	Použitá literatura .....	74
	Přílohy.....	78

## Seznam obrázků

Obr. 2.1. Schéma pro zadání práce – rozšíření červenou barvou .....	16
Obr. 3.1. Princip vláknového laseru [3].....	17
Obr. 4.1. Vanad KOMPAKT Laser ve všech variantách [5].....	18
Obr. 5.1. Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas – pohled na vřeteno [6].....	20
Obr. 5.2. Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas – vnější pohled na podavač [6].....	20
Obr. 5.3. HSG HS-G3015E-F30/F60 – odstraněné krytování [7] .....	22
Obr. 5.4. HSG HS-G3015E-F30/F60 – detail rotační osy [7] .....	22
Obr. 5.5. BLM LC5 s instalovaným rotátorem [8] .....	23
Obr. 5.6. BLM LC5 - pohled do vnitřního prostoru rotátoru [8].....	24
Obr. 5.7. BLM LT8 - řešení podpěr na těžších strojích.....	25
Obr. 6.1. Tvar podpěry uvnitř stroje umožňující volný pohyb pálicí hlavy [6].....	27
Obr. 6.2. Situační schéma první varianty řešení .....	29
Obr. 6.3. Situační schéma druhé varianty řešení .....	31
Obr. 7.1. Ilustrační obrázek silově ovládaného sklíčidla BISON 2635-400 [24].....	34
Obr. 7.2. Ilustrační obrázek manuálně ovládaného sklíčidla z řady BISON 4605 [27] .	35
Obr. 7.3. Sestava vřetene průchozího sklíčidla.....	36
Obr. 7.4. Sestava pohonu vřetene průchozího sklíčidla.....	37
Obr. 7.5. Sestava průchozího sklíčidla bez mechanismu utahování čelistí .....	38
Obr. 7.6. Sestava ovládaní čelistí průchozího sklíčidla .....	40
Obr. 7.7. Sestava průchozího sklíčidla s osazeným mechanismem ovládaní čelistí .....	41
Obr. 7.8. Kompletní sestava neprůchozího sklíčidla s pojezdem .....	42
Obr. 7.9. Pohled na neprůchozí sklíčidlo s upravenými čelistmi .....	43
Obr. 7.10. Ilustrační obrázek dráhy vozíku .....	49
Obr. 7.11. Kompletně vybavená stojina dráhy .....	50
Obr. 7.12. Zásuvná podpěra dráhy (v zasunutém stavu) .....	54
Obr. 7.13. Zasouvací podpěra usazená v rámu stojiny se založenou trubkou .....	55
Obr. 7.14. Kompletní dráha vozíku .....	56
Obr. 7.15. Vnitřní podpěra pro polotovary do průměru 134 mm .....	58
Obr. 7.16. Vnitřní podpěra pro polotovary nad průměr 134 mm.....	59
Obr. 7.17. Vnitřní odkládací rošt .....	62
Obr. 7.18. Přípravky pro nastavení čelistí. Poměry stran zleva 1:1, 2:1, 3:2 .....	63

Obr. 7.19. Celkový pohled na krytování rotátoru .....	65
Obr. 7.20. Detail pohyblivého tubusu .....	66
Obr. 7.21. Krytování obou sklíčidel .....	67
Obr. 9.1. Kompletní sestava samotného zařízení pro pálení do trubek .....	72
Obr. 9.2. Kompletní sestava zařízení připojená ke stroji KOMPAKT Laser (bez krytování).....	73
Obr. 9.3. Tataž sestava doplněná o bezpečnosti krytování .....	73

## Seznam tabulek

Tab. 1 Hutní polotovary do průměru vnější opsané kružnice 134 mm [39].....	52
Tab. 2 Hutní polotovary od průměru vnější opsané kružnice 134 mm [39].....	60
Tab. 3 Cena nakupovaných součástí.....	68

## Seznam použitého značení

Značka	Název	Jednotka
$i$	převodový poměr	–
$P$	výkon	$kW$
$v$	obvodová rychlost	$m \cdot s^{-1}$
$a$	obvodové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
$\omega$	úhlová rychlost	$rad \cdot s^{-1}$
$\varepsilon$	úhlové zrychlení	$rad \cdot s^{-2}$
$J$	moment setrvačnosti	$kg \cdot cm^2$
$M$	krouticí moment	$N \cdot m$
$F$	síla	$N$
$f$	součinitel smykového tření	–
$d/\emptyset$	průměr	$m$
$n$	otáčky	$min^{-1}$
$l$	délka	$m$
$m$	hmotnost	$kg$
$S$	průřez	$m^2$
$\rho$	měrná hmotnost	$kg \cdot m^{-3}$
$t$	tloušťka stěny	$m$
$p$	tlak	$bar/MPa$

## 1 Úvod do řešeného úkolu

Dělení materiálů je důležitým krokem ve výrobním cyklu každého výrobku. Současný trend v kladení vysokých nároků na produktivitu výroby, technologičnost a efektivitu konstrukce výrobků je úzce spojen i s rostoucími požadavky na jednotlivé výrobní stroje, oblast dělení materiálů nevyjímaje.

Do této kategorie spadají jednoduché pásové, či kotoučové pily používané pro přířez hutních polotovarů, který jde následně použít buď přímo pro konečnou výrobu, nebo pro další zpracování konvenčními i nekonvenčními technologiemi. Dalším vysoce produktivním způsobem dělení materiálů je stříhání plechů a profilů, respektive sekání, které je v současnosti nahrazováno jinými technologiemi. Do oblasti dělení materiálu dále také spadají speciální a méně běžné technologie jako je elektroerozivní řezání drátovou elektrodou, elektrochemické dělení v elektrolytu, dělení ultrazvukem nebo paprskem elektronů. [1]

V současnosti hojně využívané technologie jsou dělení autogenovým hořákem, plazmou, laserem nebo vodním paprskem. Význam těchto technologií velmi vzrostl se zaváděním NC a CNC řízených strojů, díky nimž dokáží tyto stroje pracovat s vysokou přesností a účinností v automatickém režimu i v případě tvarově složitých výrobků. Díky tomu se rozšířily možnosti i v oblasti konstrukce výrobků, které je možné zjednodušit a zlevnit bez vlivu na ostatní důležité vlastnosti. [1]

Pro zajištění maximálního využití kapacity všech výše zmíněných strojů pro dělení materiálu, jsou tyto řazeny do systémů s automatickými skladovacími systémy polotovarů i hotových výrobků a kontrolou kvality plně řízenými počítačem.

Tato práce je zaměřena na technologii dělení materiálu paprskem fotonů – laserem, s využitím plošného 2D laseru i pro pálení do rotačních polotovarů s možností automatického provozu s manuálním zakládáním polotovarů.

## 2 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je vytvoření konstrukčního návrhu přídavného zařízení pro pálení do trubek na CNC stroji Vanad KOMPAKT Laser, dle požadovaných parametrů popsaných v této kapitole. Stroj i použitá technologie dělení materiálu jsou blíže popsány v dalších kapitolách.

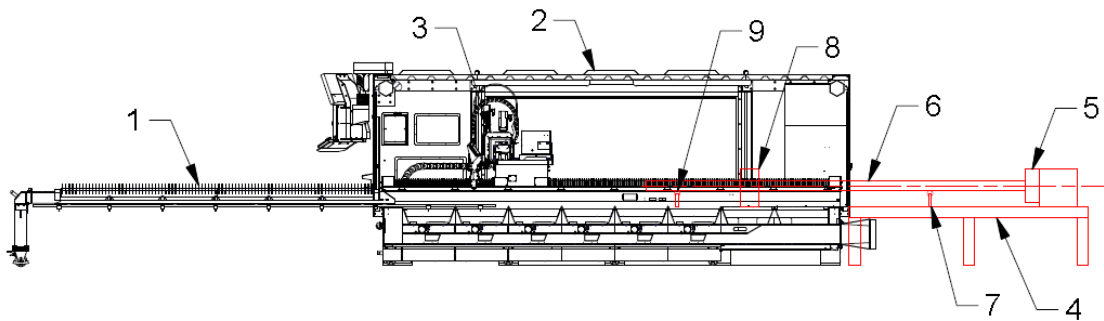
Jelikož se jedná pouze o přídavné zařízení, které si zákazník může zvolit na základě svých záměrů pro využití stroje, je hlavním požadavkem na konstrukci rozšíření co nejmenší zásah do konstrukce původního stroje při přípravě montážní pozice pro toto rozšíření. To znamená, že i v případě stroje bez osazeného rotátoru by minimálně část jeho konstrukce byla totožná s variantou, kdy se zákazník rozhodl pro osazení rotátorem. Tento přístup značně zjednoduší a zrychlí práci konstrukce při návrhu i výroby montáži strojů v jednotlivých variantách.

Dalším zásadním požadavkem na parametry navrženého řešení je maximální rozměr zpracovávaného polotovaru, který je ale omezen výškou portálu laserové hlavy a také jejím maximálním zdvihem. Původní požadavek firmy Vanad 2000 a.s. jsou polotovary o průměru opsané kružnice 30 až 300 mm, tomu odpovídají profily čtvercového průřezu o délce hrany 25 až 210 mm a obdélníkové profily s poměrem stran vyhovujícím rozměrům obvodové kružnice. Splnění tohoto požadavku je především závislé na nabídce dodavatelů průchozích sklíčidel.

Zakládání polotovaru bude prováděno ručně, upínání do sklíčidel taktéž, případně bude-li v nabídce vhodné sklíčidlo strojově ovládané, je možná i tato varianta. Všechny osy stroje musí být ovládané motoricky, s možností využití pohybů laserové hlavy pro zjednodušení přídavného zařízení. Za účelem zvýšení produktivity a variability stroje bude návrh vhodné směřovat k variantě řešení, kdy stroj dokáže pálit jak krátké kousky polotovaru přisouvané motoricky skrz sklíčidlo, tak delší výpalky v celém vnitřním prostoru stroje. První z možností bude vyžadovat vyřešení lineárního vedení v maximální délce polotovarů pro přísuv materiálu skrz zadní stěnu stroje do sklíčidla až pod laserovou hlavu. K zamezení průhybu materiálu v celé délce vedení musí být navrženy vhodné podpěry pro všechny tvary polotovarů. Jejich ovládání je možné řešit pomocí pneumatických prvků, jelikož součástí stroje je i kompresor. Pálení delších dílců v prostoru stroje bude vyžadovat podpěru i uvnitř, která ovšem nesmí překážet

roštům s plechem při pálení 2D. Obdobné řešení již pro stroj Vanad KOMPAKT Laser bylo použito a při současném návrhu z něho lze částečně vycházet.

Následující schéma zachycuje požadavky a předběžnou dispozici stroje s přídatným rozšířením.



*Obr. 2.1. Schéma pro zadání práce – rozšíření červenou barvou*

*1 – vysunutý rošt, 2- Vanad KOMPAKT Laser, 3 – portál s laserovou hlavou, 4 – vedení pro pohyb sklíčidla, 5 – sklíčidlo zajišťující rotaci a přísuv, 6 – polotovar, 7 – podpěra, 8 – vnitřní sklíčidlo, 9 – vnitřní podpěra*

Součástí práce je i průzkum řešení vyráběných konkurenčními firmami, jejich zhodnocení a ověření případných omezení platnými patenty. Na základě získaných informací bude vytvořeno několik zjednodušených návrhů odpovídajících požadavkům výrobce a zároveň vycházející z technických možností zjištěných řešerši.

Pro zajištění bezchybného a spolehlivého chodu stroje musí být součástí práce i návrhový výpočet všech použitých pohonů, především pro pohon zajišťující rotaci vřetene pro co nejpřesnější řízení.

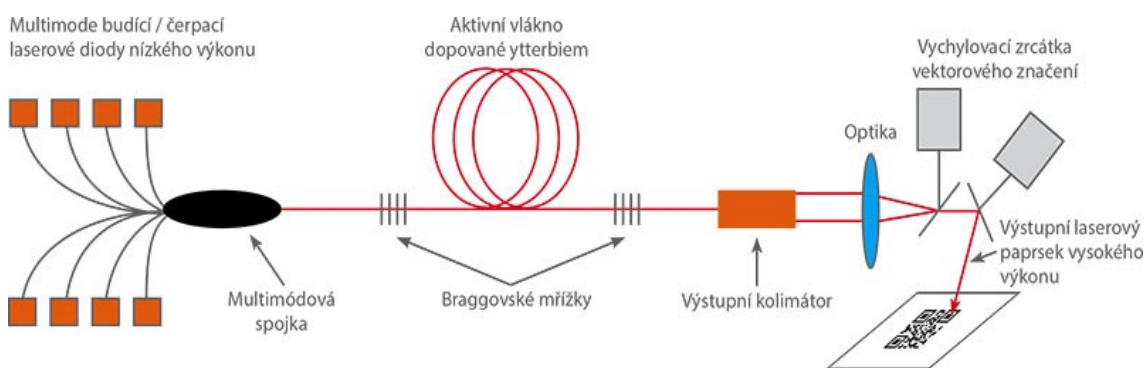
Celý návrh rozšíření stroje bude podložen podrobnou zprávou popisující jednotlivé prvky konstrukce a CAD dokumentací v programu Solid Works 2016 ve 3D s výkresovou dokumentací základních sestav.



### 3 Technologie dělení materiálu vláknovým laserem

Vláknový laser je nejnovější technologie v oblasti řezání, značení a gravírování materiálu. Název je odvozen od optického vlákna, které slouží jako aktivní prostředí laseru a zároveň tvoří vlastní laser. Jedná se o velmi pokrokovou technologii, která díky svým unikátním vlastnostem v řadě aplikací nahrazuje stávající pevnolátkové lasery.

Zdrojem energie vstupující do vlákna je sada polovodičových diod. Diody jsou přímo navázány na optická vlákna, která přes multimódovou spojku vstupují do aktivního prostředí. Aktivní prostředí laseru je tvořeno materiálem ytterbium, sloužící jako zesilovač a díky Braggovským mřížkám vytvořených přímo na vlákně i jako rezonátor. Záření následně vystupuje z vlákna přes kolimátor a svazek laseru o vysokém výkonu může být veden do pracovní hlavy. [2]



Obr. 3.1. Princip vláknového laseru [3]

Hlavními výhodami a důvodem ke stále častějším aplikacím vláknových laserů jsou: [3]

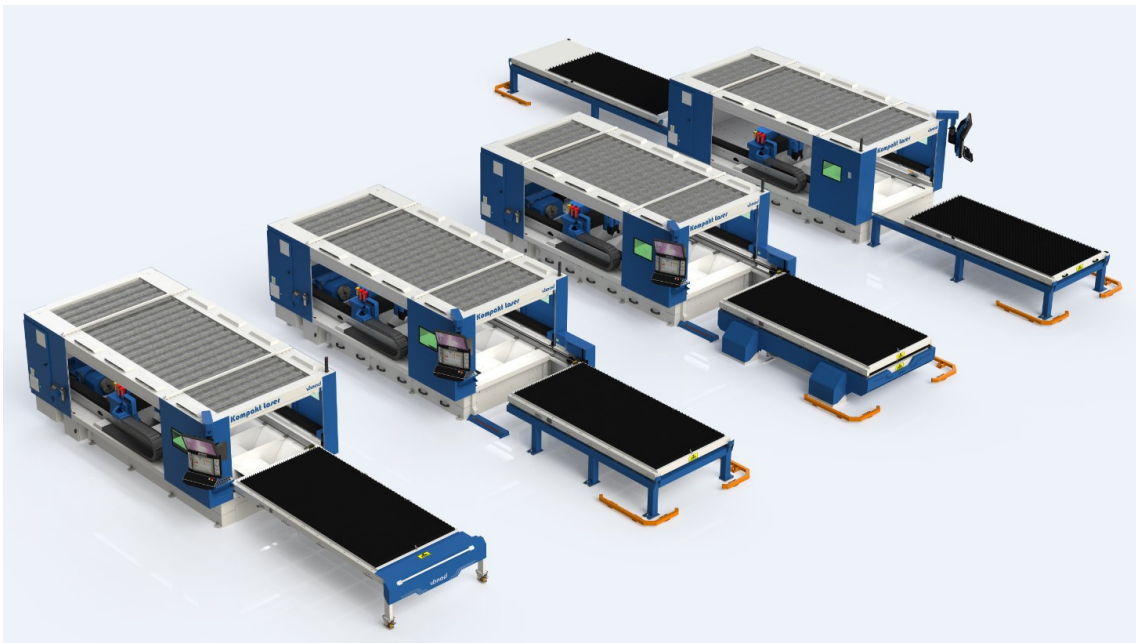
- díky chlazení velkou plochou povrchu vlákna není nutné zajišťovat dodatečné chlazení
- značně zjednodušení rezonátoru díky absenci soustavy zrcadel a jejich nahrazení Braggovými mřížkami, zrcadla v pevnolátkových laserech jsou často příčinou poruch a jejich oprava je nákladná
- vysoká životnost laseru odzkoušena až na 150 000 hodin v porovnání s pevnolátkovými, které dosahují životnosti okolo 20 000 hodin.
- vysoká účinnost laseru a tím i zvýšení poměru mezi výkonem a příkonem
- vysoká kvalita paprsku laseru a možnost jeho velké fokusace

## 4 CNC pálicí stroj Vanad KOMPAKT Laser

Firma Vanad 2000 a.s. se zabývá vývojem a výrobou CNC pálicích strojů již přes 20 let, v její nabídce jsou stroje s autogenovou, plazmovou a laserovou technologií.

CNC pálicí stroj Vanad KOMPAKT Laser díky osazení vláknovým laserem dosahuje maximální přesnosti, nejvyšší rychlosti práce při vysoké úspoře energie. Konstrukce stroje je přizpůsobena běžným formátům plechů a svoji celistvostí umožňuje jednoduchou manipulaci a montáž stroje. Pro maximální produktivitu a bezpečnost je stroj vybaven kamerou pro sledování řezu, bezpečnostními průhledy krytými ochrannými filtry a automaticky spouštěnými roletami.

Pro minimalizaci přípravných časů, je stroj vybaven přesuvnými rošty v několika variantách, dle konkrétních požadavků zákazníka. [4]



*Obr. 4.1. Vanad KOMPAKT Laser ve všech variantách [5]*

Mezi hlavní přednosti popisovaného stroje patří vynikající dynamické vlastnosti stroje a zachování přesnosti polohování i při dlouhodobém provozu, výkon vláknového laseru až 3 kW, minimální řezná spára, minimální požadavky na údržbu a stabilní a uživatelsky přívětivý CNC systém. [4]

## 5 Průzkum konkurenčních řešení na trhu

Každá konstrukční práce, ještě před započítáním tvorby vlastního návrhu, zahrnuje mimo jiné i průzkum již známých řešení a shromažďování informací. K těm patří například průzkum konkurenčních výrobků, poznatky výzkumu a případné omezení platnými patenty. Důkladná příprava podkladů nám může pomoci udělat si lepší představu o vlastních požadavcích a ty případně i přehodnotit. Můžeme se také díky ní vyvarovat některých chyb, které by mohly znamenat nepříjemné komplikace při návrhu nebo při výrobě. A v neposlední řadě povědomí o případných patentových omezeních může výrobce stroje uchránit od konfliktů s vlastníky dotčených patentů.

Při shromažďování podkladů v rámci této práce bylo čerpáno především z internetu a nabídek konkurenčních firem. Součástí příprav byla i návštěva Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně, kde měla samostatný pavilon firma HSG Laser, kde bylo možné vidět rotační pálení laserem v praxi a nezanedbatelným zdrojem poznatků byly i exkurze do firem v rámci výuky.

### 5.1 Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas

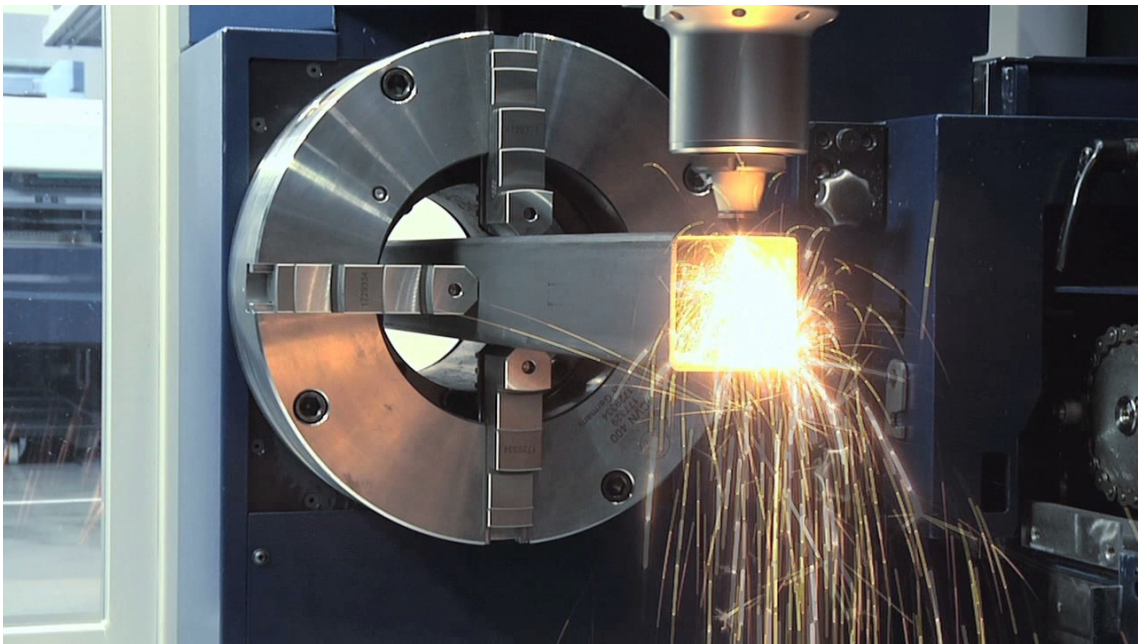
Firma Trumpf patří v oboru laserových CNC strojů ke světové špičce, proto byl stroj z jejich portfolia zařazen i do této kapitoly.

Nejblíže požadavkům zadání byl stroj TruLaser 3030/3040 + RotoLas, ten se stejně jako KOMPAKT Laser dodává v různých velikostech dle požadovaných formátů plechů a jako volitelné rozšíření nabízí rotátor RotoLas pro pálení do trubek všech průřezů. To je řešeno sklíčidlem ve stěně stroje a přídatným stolem jako podavačem materiálu. Pro pálení trubek je nutné sundat kryt sklíčidla, přistavit zvenku stroje k jeho otvoru podavač materiálu a odstavit rošt pro pálení plechů. Následuje založení materiálu do podavače, nastavení jeho velikosti na podpěře a ruční přisunutí požadované délky skrz sklíčidlo. Polotovar je pevně sevřen sklíčidlem a to zajišťuje motoricky řízenou rotaci. Veškeré další pohyby, jako axiální pohyb, zdvih a náklon zajišťuje laserová hlava na portálu.

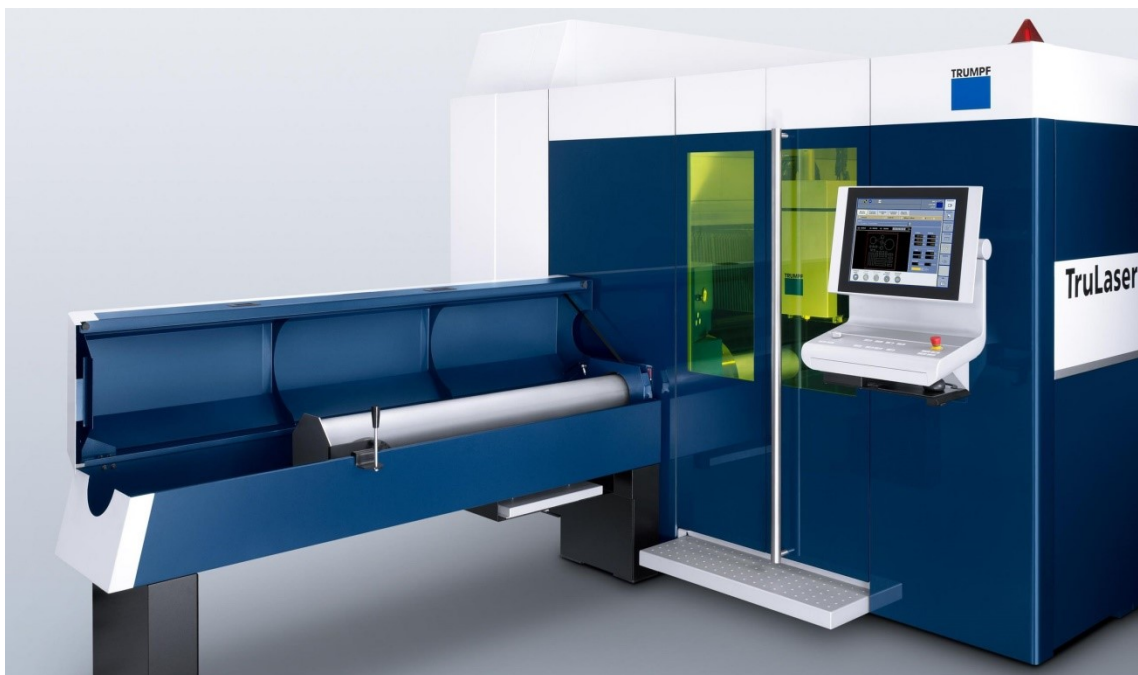
Velkou výhodou tohoto řešení je demontovatelný podavač materiálu a tím lepší manipulační prostor kolem stroje. To je bohužel vykoupeno nutností ručního přisuvu trubek pro každý další výpalek a také omezenou délkou polotovaru dle délky podávacího stolu. Další kladnou vlastnost je i možnost upnout trubku rovnou do

vnitřního prostoru stroje, bez nutnosti použití podavače, pouze s využitím vnitřní podpěry.

Maximální průměr roztečné opsané kružnice polotovaru je 400 mm. Výrobce neuvádí, jedná-li se o rozměr průchozím sklíčidlem, nebo upnutelný pouze uvnitř stroje pomocí čelistí. [6]



*Obr. 5.1. Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas – pohled na vřeteno [6]*



*Obr. 5.2. Trumpf TruLaser 3030/3040 + RotoLas – vnější pohled na podavač [6]*

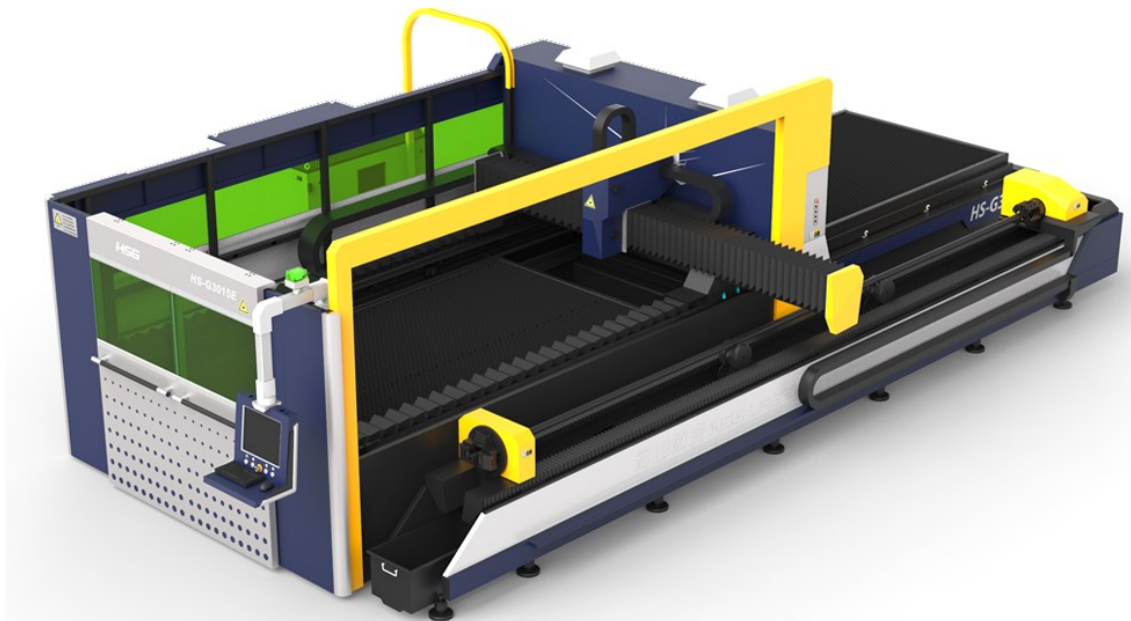
## 5.2 HSG HS-G3015E-F30/60 T

Velice zajímavé a v mnohých ohledech originální řešení pálení do trubek na konstrukčně upraveném 2D laseru nabízí čínská firma HSG Laser.

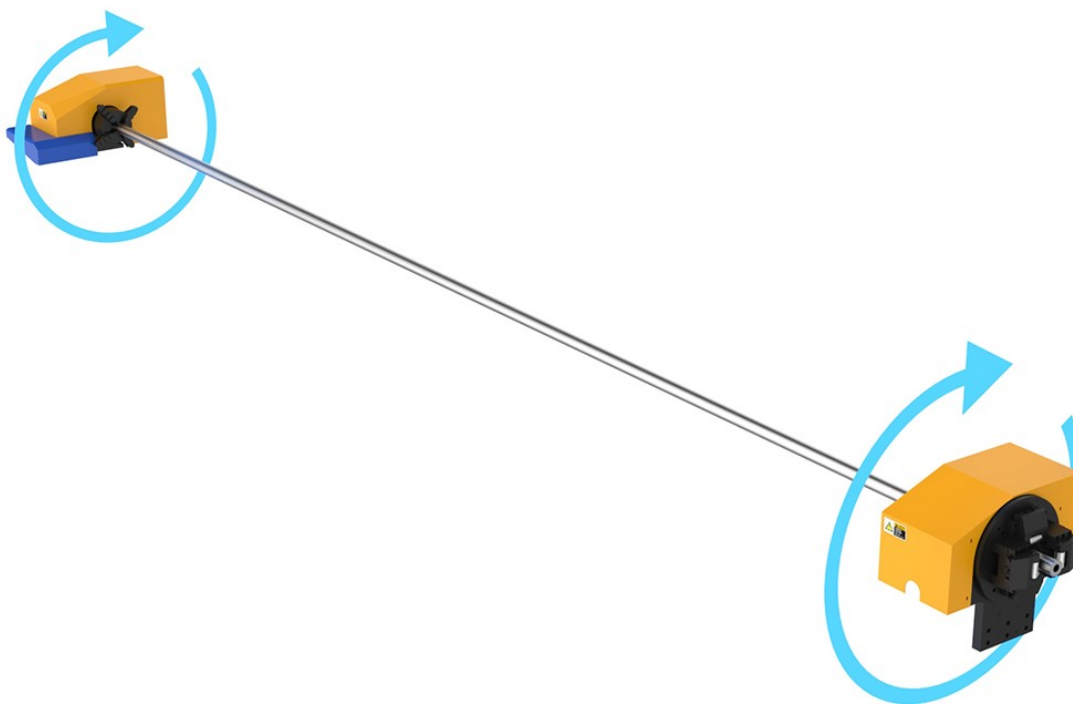
U tohoto stroje je rozšíření pro pálení do trubek řešeno úpravou základní konstrukce prodloužením dráhy laserové hlavy na jejím portálu. Tím se může dostat mimo pracovní prostor nad roštem, který tak při pálení do profilů není nutné vysouvat. Samotná konstrukce rozšíření je ustavena jako samotný stroj pod prodlouženým portálem. Laserová hlava tak stejně jako u stroje Trumf může zajišťovat kromě rotace všechny ostatní pohyby a tím je přídavné rozšíření jednodušší. Polotovar je do stroje založen pomocí sklíčidla a lunety. Sklíčidlo má funkci pohonu pro zajištění rotace a přísuvu ve směru osy rotace vzhledem k rámu stroje, polotovar je v něm uložen pevně. Luneta slouží spíše jako podpěra, k rámu stroje je uložena rotačně a polotovar je v ní uložen na rotačních kladkách, může se tak volně pohybovat i v ose rotace. Díky tomuto řešení se na stroji mohou vyrábět jak výpalky krátké, vysunutím požadované délky před průchozí lunetu a vypálením daného tvaru, který odpadne do zásobníku, tak výpalky dlouhé až do délky rozsahu dráhy portálu, kdy je tvar pálen i v prostoru mezi sklíčidlem a lunetou. Pro zajištění vyšší přesnosti je polotovar v celé délce podepřen podpěrami. Ty jsou řešeny jako tvarové rolny, nastavené natočením na požadovanou roztečnou kružnici polotovaru. Jejich ovládání je pneumatické a v případě potřeby mohou být zcela zasunuty do rámu stroje pro umožnění volného pohybu sklíčidla.

Výhodou řešení firmy HSG Laser je možnost mít pálení do trubek stále v pohotovosti bez nutnosti přestavování stroje. Zároveň je zvolené uspořádání velice kompaktní a rozšíření nezasahuje do okolního prostoru stroje. Stejně tak není nutné nijak zasahovat do vnitřního prostoru.

Maximální průměr opsané kružnice polotovaru je 150 mm. [7]



*Obr. 5.3. HSG HS-G3015E-F30/F60 – odstraněné krytování [7]*

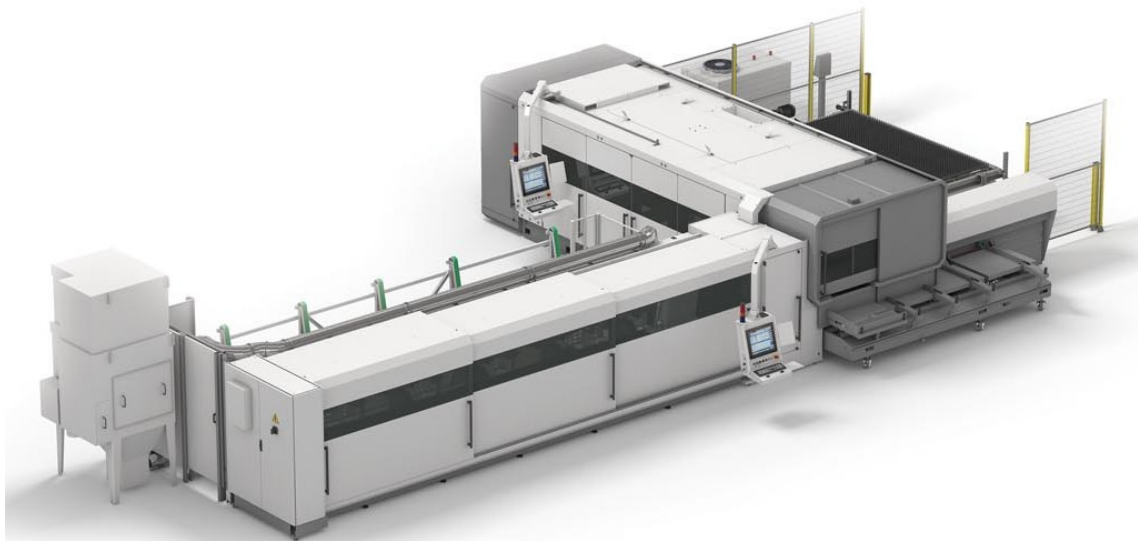


*Obr. 5.4. HSG HS-G3015E-F30/F60 – detail rotační osy [7]*

### **5.3 BLM LC5**

Možnost rozšíření 2D laseru o zařízení pro pálení do trubek různých tvarů má ve svém portfoliu i italská firma BLM GROUP.

Tato firma se zabývá především výrobou samostatných strojů pro pálení do trubek. Ty je možné spojit do automatických výrobních linek spolu se zakladači materiálu a ohýbači trubek. Jednou z možností rozšíření rotátorů je i přidání roštu malých rozměrů pro pálení plechů. Výjimku tvoří stroj LC5, který je primárně určen pro pálení plechů, s možností rozšíření o zařízení pro trubky, s dostupnou veškerou automatizací okolních procesů. Dispozice tohoto provedení spočívá v umístění a zakládání výsuvného roštu pro plechy z jedné ze stran s delším rozměrem. Demontáží jedné stěny s kratším rozměrem vznikne prostor pro připojení rozšíření s rotátorem, která spočívá v prodloužení dráhy pro pohyb portálu s laserovou hlavou a instalací sklíčidla s přísuvem. Je tak opět využita pouze jedna laserová hlava, která přejíždí mezi dvěma pracovními prostory. Manipulace trubek v zařízení je řešena obdobně jako u předešlého stroje. V boku stroje je namontovaná rotačně uložená luneta s možností osového přísuvu polotovaru díky rolnám na jejich čelistech. Přísuv obrobku skrz tuto lunetu je zajištěn sklíčidlem, ve kterém je polotovaz upnut pevně. Řídicí systém stroje motoricky řídí rotaci tohoto sklíčidla a jeho pohyb v ose rotace. Pro zajištění vyšší přesnosti výroby jsou v celé délce polotovaru umístěny podpěry. Ty jsou zde řešeny jednoduše jako desky s kruhovým výřezem z otěruvzdorného plastu. Nastavení výšky podpěr v závislosti na rozměru polotovaru je ovládáno pneumaticky. Pro dosažení větší délky výpalků jsou v prostoru za lunetou umístěny další podpěry a zásobník na tyto výpalky. [8]



*Obr. 5.5. BLM LC5 s instalovaným rotátorem [8]*



*Obr. 5.6. BLM LC5 - pohled do vnitřního prostoru rotátoru [8]*

Jelikož se firma BLM zabývá výrobou zařízení pro rotační pálení trubek všech velikostí, byla součástí přípravné části práce i návštěva firmy, kde používají konkrétně stroj BLM LT8. Pro účel této diplomové práce stojí za povšimnutí provedení podpěr u zařízení této velikosti. Přísuv podpěry k polotovaru je opět řešen pneumaticky, samotná podpěra je ale tvořena pouze rotačně uloženým válečkem. Jsou-li zpracovávány profily čtvercového nebo obdélníkového průřezu, je skrz průzory patrné, jak se výška podpěry přizpůsobuje dle aktuálního natočení hran profilu. Bohužel z dostupných zdrojů, ani informací obsluhy stroje není zřejmé, je-li tento pohyb řízen ovládacím systémem, nebo pouze odtlačováním podpěry díky stlačitelnosti vzduchu v pneumatickém systému řídicím výškou podpěry. Při pálení do trubek kruhového průřezu lze tento typ podpěr nahradit deskou z otěruvzdorného plastu s trojúhelníkovým vybráním pro lepší stabilitu.

Maximální průměr roztečné opsané kružnice polotovaru je 120 mm pro BLM LC5 a 240 mm pro BLM LT8. [8]





*Obr. 5.7. BLM LT8 - řešení podpěr na těžších strojích*

#### **5.4 Patentová omezení**

Aby bylo zamezeno konfliktům s platnými patentovými omezeními, byly prohledány dvě patentové databáze – European Patent Office [9] a Google Patents [10]. Velké množství přihlášených patentů v oblasti CNC pálení trubek má firma Trumpf, ty se bohužel vztahují i na návrhy popsané v obou variantách dále a při konstrukci na ně bude nutné brát zřetel [10]. Zásadní vliv na návrh rozšíření budou mít především následující patenty.

DE102016104107A1 – patent pojednávající o podpěrách dlouhých polotovarů, který si nárokuje provedení pomocí tvarové rolny motoricky stavitelné dle průměru opsané kružnice polotovaru, pro větší polotovary je část rolny nahrazena podpěrným válečkem [11].

EP2017023A1 – tento patent opět pojednává o provedení otočné rolny použité jako podpěra při zpracování delších polotovarů, která je také kompletně ovládaná motoricky, ale bez použití podpěrného válečku pro rozměrnější díly [12].

DE102012209077B4 – náplní tohoto patentu je provedení silového sklíčidla, respektive lunety, kdy jsou čelisti ovládány hydraulicky ve dvou protilehlých párech pro zajištění bezpečného uchopení i profilů jiného, než kruhového, respektive čtvercového průřezu [13].

EP2829339B1 – patent obsahující konstrukci průchozí otočné lunety, která dokáže bezpečně upnout polotovary všech tvarů průřezů, svěrací mechanismus je řešen váčkami poháněnými servopohonem, který se od lunety odpojí při pracovním cyklu [14].

EP2826591A1 – patent taktéž pojednávající o konstrukci lunety, která je svíraná váčkovým mechanismem, který je ovšem ovládán dvěma pneumatickými pohony a při upínání polotovaru je připojen pouze přívod stlačeného vzduchu [15].

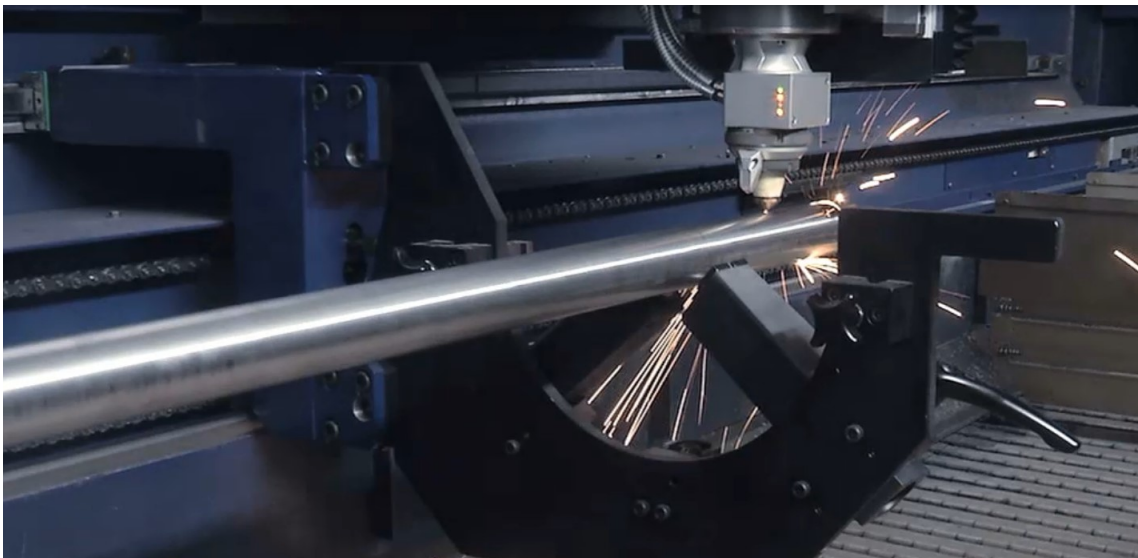
EP2377639B1 – další velice zásadní patent, který omezuje možnosti v konstrukci podpěry polotovaru uvnitř stroje, zahrnuje její motorické stavění v ose polotovaru [16].

Tato nalezená patentová omezení budou mít značný vliv na konstrukci vlastního návrhu rozšíření, jelikož zasahuje do všech zásadních součástí stroje.

## 6 Předběžný návrh řešení

Z výše popsaných požadavků firmy Vanad 2000 a.s. a zjištěných, běžně vyráběných řešení ostatních výrobců CNC laserů budou v následující kapitole vytvořeny dva předběžné návrhy. Ty se budou lišit především v provedení průchozího sklíčidla v boku stroje. Z nich bude dále vycházeno při konzultaci konečných požadavků na parametry stroje a konstrukci výsledného návrhu.

Společnými rysy obou variant bude nutnost úplného vysunutí pálicího roštu ven z prostoru stroje. Dále také umístění podpěry uvnitř stroje, pro pálení delších výpalků. Pro posuv této podpěry lze s výhodou použít vedení pojezdu roštu, které jsou po jeho vysunutí k dispozici. Nastavení polohy této podpěry bude manuální s následnou aretací. Aby bylo portálu s laserovou hlavou umožněno pracovat v celé délce polotovaru, bude nutné nechat prostor nad podpěrrou volný a její uložení řešit výhradně v dolní části, jak je patrné na následujícím obrázku. Případná jednodušší varianta podpěr je možná obdobným způsobem, jaký používá firma BLM GROUP popsány v předešlé kapitole, případně pomocí tvarových rolen. Pro lepší stabilitu dlouhých výpalků bude nutné zvážit umístění dvou podpěr. S ohledem na patentová omezení zmíněná v kapitole bude nutné konstrukci přizpůsobit tak, aby s nimi nedošlo ke konfliktu. [11] [12] [16]



*Obr. 6.1. Tvar podpěry uvnitř stroje umožňující volný pohyb pálicí hlavy [6]*

## 6.1 Varianta řešení 1

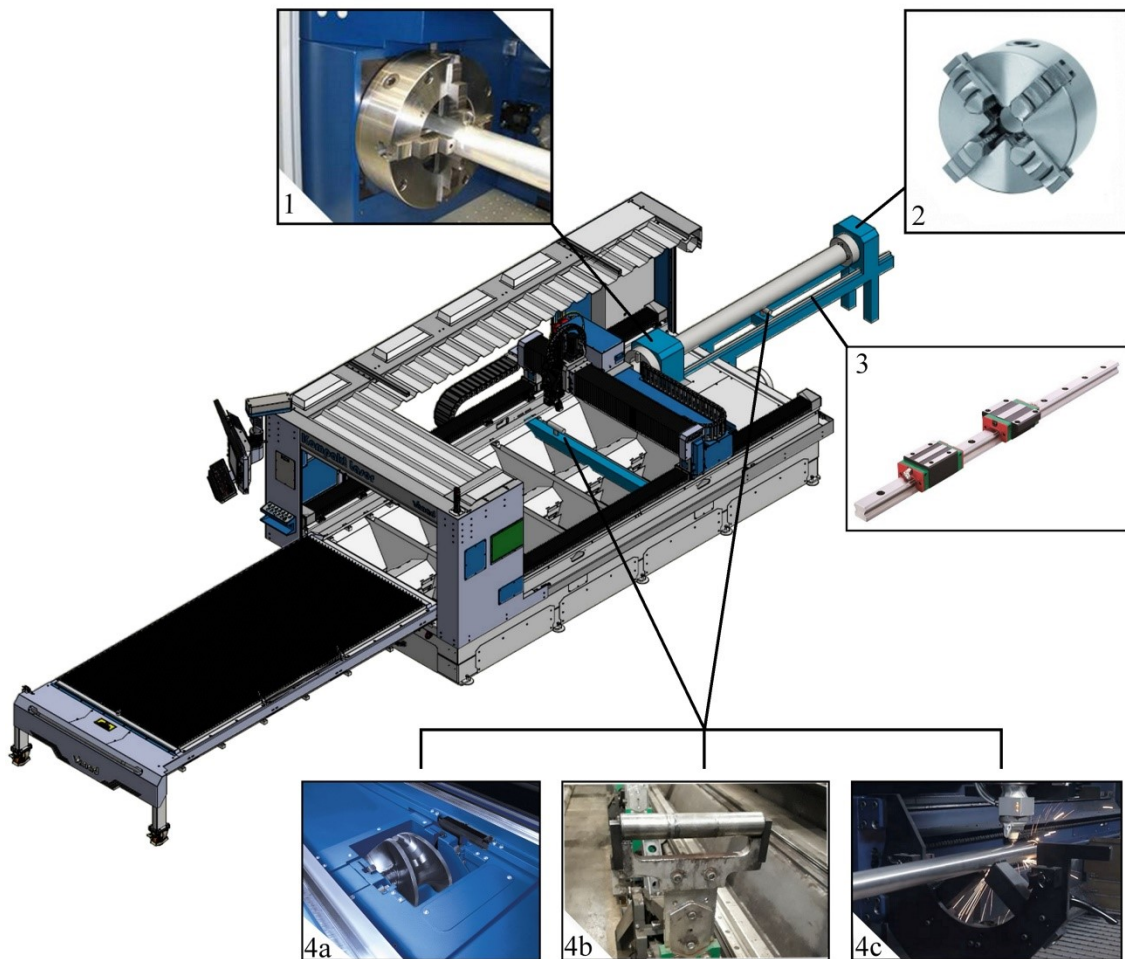
První varianta vychází ze zařízení nabízené firmou Trumpf. Po aplikování požadavků zadání práce byl vytvořen následující předběžný návrh.

Do opačné strany stroje, než se vysouvá rošt, bude umístěno průchozí sklíčidlo. V případě, že jeho čelisti budou ovládány manuálně, nemusí mít motoricky řízenou rotaci. Pokud budou čelisti ovládány strojově, je nutné přihlédnout k požadavkům výrobce na připojení hnací energie ovládání čelistí. Motoricky řízená rotace tohoto sklíčidla by ovšem měla pozitivní vliv na přenos hnacího momentu u slabších polotovarů a bude vhodné ji do konstrukce zařadit. Kolmo ke stěně stroje v ose sklíčidla bude umístěno lineární vedení, na kterém bude usazeno druhé neprůchozí sklíčidlo, které již bude mít řízenou rotaci a pohyb po vedení motoricky řídicím systémem dle pálicího plánu. Čelisti tohoto sklíčidla budou opět, dle konkrétní nabídky, ovládány manuálně nebo strojově. V celé délce vedení budou pneumaticky ovládané podpěry polotovaru, tvar podpěrných prvků bude upřesněn po konečném rozhodnutí o možnostech velikostí a tvarů polotovarů. Uvnitř stroje bude podpěra řešena dle popisu výše.

Polotovar bude zakládán na podpěry a následně upnut rotačním sklíčidlem. Řízeným přísuvem bude zaveden do průchozího sklíčidla a dále až do prostoru stroje a pevně upnut i tímto sklíčidlem. Jedná-li se o delší výpalek, budou ručně nastaveny vnitřní podpěry. V případě potřeby bude vhodně upravena výška vnějších podpěr. Laser bude ručním ovládaním naveden na konec polotovaru, který si již automaticky doměří a zarovná. Následuje spuštění pálicího plánu. Po vytvoření každého výpalku bude sklíčidlo ve stěně stroje rozevřeno, strojově odměřen přísuv dalšího polotovaru a sklíčidlo opět uzavřeno. Veškeré další výpalky a přísuv si už řídí stroj automaticky bez nutnosti dalšího zarovnávání. Právě z tohoto důvodu by bylo na místě použití strojově řízeného průchozího sklíčidla, díky čemuž by byl po spuštění proces plně automatický až do spotřebování celého polotovaru nebo zaplnění prostoru pro hotové výpalky. Protože je vždy při pálení polotovar ve směru osy rotace pevně upnut, musí v této variantě všechny pohyby, s výjimkou rotace vykonávat portál stroje.

Velkým omezením této varianty je nabídka sklíčidel na trhu. V případě dodržení všech požadavků zadání a využití maximální možné automatizace procesu, by bylo nutné obstarat silově řízené sklíčidlo se čtyřmi čelistmi ovládanými ve dvou nezávislých

protilehlých párech s vnitřním otvorem více než 300 mm a maximálním vnějším rozměrem 400 mm. Další velkou nevýhodou je již zmiňovaná nutnost časté manipulace s průchozím sklíčidlem v případě pálení kratších dílů z dlouhého polotovaru. Jelikož při pálení laserem působí na sklíčidlo pouze hmotnost polotovaru a odstředivá síla, bylo by možné v rámci návrhu vytvořit jeho vlastní náhradu. To by ovšem zkomplikovalo návrh i výrobu a zřejmě se podepsalo i na ceně stroje, nehledě na platná patentová omezení firmy Trumpf. [13] [14] [15]



*Obr. 6.2. Situační schéma první varianty řešení*

*1 – průchozí rotačně uložené sklíčidlo [17], 2 – neprůchozí sklíčidlo s ovládaným posuvem a rotací [18], 3 – lineární vedení [19], 4a [20], 4b, 4c [6] – varianty podpěry*

## 6.2 Varianta řešení 2

Druhá varianta předběžného návrhu vychází spíše z konstrukce dalších dvou strojů, zmíněných v rešerši.

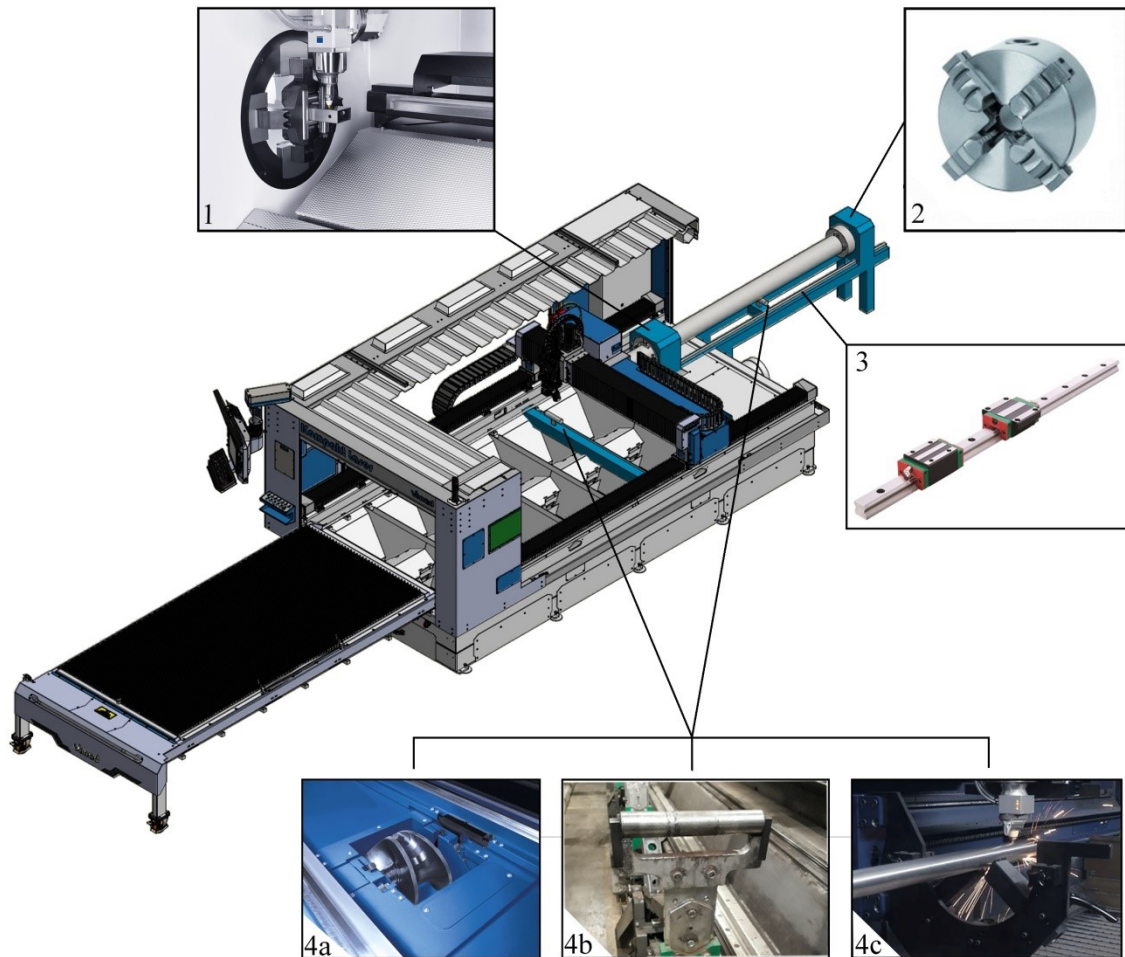
Spočívá v umístění průchozí lunety do protilehlé stěny stroje, než se vysouvá rošt. Ta bude v závislosti na konečných požadavcích stroje ovládána buď manuálně, nebo strojově a její čelisti budou opět ovládány všechny současně, nebo ve dvou nezávislých protilehlých párech, dle finálního rozhodnutí o tvarech polotovarů. Čelisti této lunety budou osazeny rolnami, které polotovaru umožní volný pohyb ve směru osy rotace. Stejně jako u předešlé varianty, bude kolmo ke stěně umístěno lineární vedení, na kterém bude uloženo druhé neprůchozí sklíčidlo, které opět bude mít čtyři čelisti s variantně řešeným ovládaním všech nebo do párů rozdělených čelistí. Rotace a pohyb tohoto sklíčidla po vedení budou uskutečňovány motoricky, ovládané řídicím systémem. Díky tomuto bude při návrhu možnost zvolit, jestli bude všechny pohyby polotovaru, kromě rotace a přísuvu pro další výpalky, zajišťovat portál laserové hlavy, nebo jestli pohyb v ose rotace bude řešen řízením pohybu ovládaného sklíčidla po lineárním vedení. Stejně jako v první variantě by měla motoricky řízená rotace pozitivní vliv přenos hnacího momentu a bude vhodné ji při návrhu zvážit.

Založení materiálu do stroje bude prováděno stejným postupem jako v předešlé variantě – polotovar bude položen na vnější podpěry, upnut přísuvným sklíčidlem a zaveden do lunety, která jej stiskne rolnami a vystředí do osy rotace, následně budou přesně dostaveny podpěry.

Velkou výhodou tohoto řešení je větší výběr přípustných sklíčidel pro zajištění přísuvu a rotace, protože není vyžadováno průchozí sklíčidlo, které je při zadaných parametrech velice rozměrné. Jako další výhodu lze jmenovat omezení vedlejších časů při pálení. Toho je dosaženo díky průchozí lunetě. Ta umožňuje pouze upnout polotovar, nastavit laser do výchozí polohy a spustit plně automatický cyklus, při kterém je polotovar neustále přísouván pomocí rolen skrz lunetu. Toto řešení také snižuje namáhání svěrného mechanismu lunety, respektive sklíčidla, snížením četnosti rozevírání a stahování.

I přes popsané výhody tohoto řešení nastává problém s provedením lunety. Běžně se vyrábí lunety pro kruhové rotační obrobky, které nelze použít pro nekruhové profily. Nabízí se řešení v rámci diplomové práce provést návrh vlastní lunety, která pokryje všechny požadavky na tvar profilů dle zadání. Vzhledem k již zmiňované absenci řezných sil, by navržené řešení nemuselo být tak robustní jako u obráběcích strojů, nicméně by se tímto krokem návrh značně zkomplikoval a výsledný stroj prodražil.

Vhodná konstrukce lunety by naopak mohla přinést i výhody, jako je velký průměr polotovaru nebo tvarová rozdílnost průřezů profilů. Toto řešení je ale velice omezeno patenty firmy Trumpf, které by návrh značně komplikovaly. [13] [14] [15]



Obr. 6.3. Situační schéma druhé varianty řešení

1 – průchozí rotačně uložené sklíčidlo [21], 2 – neprůchozí sklíčidlo s ovládaným posuvem a rotací [18], 3 – lineární vedení [19], 4a [20], 4b, 4c [6] – varianty podpěry

Tato dvě popsaná řešení bude následně potřeba zvážit a vytvořit vhodný kompromis mezi požadovanými parametry stroje v protikladu se škálou běžně vyráběných sklíčidel a náklady na výrobu vlastních upínacích prvků. Jednou z možných variant postupu je i polevení z vysokých nároků na parametry navrhovaného rozšíření stroje KOMPAKT Laser, například zmenšením průměru polotovaru a omezením na kruhový a čtvercový průřez, čímž by se návrh značně zjednodušil a zlevnil a pro frekvenci očekávanou u rozšíření 2D laseru nejspíš postačoval. Pro zachování možnosti pálení do obdélníkových profilů by bylo možné zvážit i variantu přestavení čelistí sklíčidel dle rozměrů

zpracovávaných polotovarů. Získané informace v rámci rešerše by pak bylo možné dále použít pro návrh stroje určeného primárně pro pálení trubek s již vyššími parametry. Podrobným rozбором a finálním výběrem jednotlivých stavebních prvků a jejich složení do výsledné konstrukce se budou zabírat následující kapitoly.

## **7 Výsledný návrh**

Po shromáždění všech potřebných informací bude v následující kapitole popsán a vytvořen finální návrh stroje, který zohlední požadavky zadání, dostupné konkurenční výrobky a technickoekonomické vlivy jednotlivých možností na výslednou konstrukci.

### **7.1 Celková koncepce**

Při finálním návrhu konstrukce rotátoru a jeho veškerého příslušenství bude maximálně vycházeno z první navrhované varianty vytvořené v předešlé kapitole. S ohledem na co nejnižší možnou cenu zařízení při zachování co možná nejvíce parametrů zadání a především dodržení kvality zpracování, bude ovšem některé detaily nutné upravit. Nejprve bude přiblížena výsledná celková koncepce stroje a jednotlivé zásadní komponenty následně.

Celý návrh započne výběrem průchozího sklíčidla osazeného pevně v boku stroje. Od jeho parametrů se bude odvíjet celá řada dalších prvků celého stroje, mezi ně patří například mechanismus automatického ovládání čelistí tohoto sklíčidla, vřeten, ve kterém bude toto sklíčidlo upnuté nebo velikost sklíčidla na pojezdové dráze. Velikost tohoto sklíčidla také rozhodne o velikosti polotovaru pro variantu provozu s přísuvem a pro variantu s upnutím polotovaru uvnitř stroje.

Po kompletním návrhu sestavy zahrnující průchozí sklíčidlo, bude vhodné navázat návrhem pojízdného vřeteníku pro neprůchozí sklíčidlo. Z rozměrů, které vyjdou z této části, se bude odvíjet podoba pojezdové dráhy pro toto sklíčidlo, ta bude konstruována pro založení šestimetrového polotovaru s možností jednoduché úpravy na třímetrový polotovar díky modulární koncepci. Její nedílnou součástí budou dvě sklopné podpěry polotovaru a energetický řetěz pro přivedení vzduchu k těmto podpěrám a veškeré kabeláže do pojízdného sklíčidla.

Následujícím krokem postupu bude návrh vnitřních podpěr polotovaru. Hlavním požadavkem je jejich univerzálnost – musí sloužit pro podpírání polotovaru



procházejícího sklíčem i polotovaru větších rozměrů pouze upnutého uvnitř stroje. V prvním případě navíc bude vhodné navrhnout je tak, aby jejich opakovaným sklopením a vyklopením byl polotovar pouze „odložen“ na stranu v pracovním prostoru stroje a mohlo se tak vyrobit několik výpalků po sobě, než bude zastaven provoz a výpalky odebrány. Další požadavek na vnitřní podpěry je jejich snadná demontovatelnost kvůli zasunutí pálícího stolu, z toho vyplývá i nízká hmotnost z důvodu dobré manipulovatelnosti.

Z rozboru konstrukce původního stroje Vanad KOMPAKT Laser vyplynulo, že výpalky určitých rozměrů by se po oddělení od polotovaru a odpadnutí do záchytných šuplat mohly v tomto prostoru vzpříčit a znemožnit vysunutí těchto šuplat. Tomuto problému bude během návrhu věnována pozornost a bude nutné jej vyřešit osazením demontovatelného dílu pro zachycení výpalku přibližně ve výšce dráhy pálícího stolu.

Závěrečnou fází návrhu bude zakrytí celého rozšíření rotátoru a to ze dvou důvodů – znemožnění kontaktu obsluhy s rotačními a posuvnými částmi stroje a zachycení případného odraženého laserového paprsku, který by mohl vážně zranit osoby v blízkosti stroje. Právě druhý z důvodů určuje základní požadavek na krytí a to, že musí být kompletně tvořeno neprůhledným materiálem, nikoliv například pouze ochranným oplocením.

## **7.2 Osazená sklíčka**

Prvním a zároveň v mnoha ohledech rozhodujícím krokem celého návrhu je vytipování vhodných sklíčidel. Vzhledem ke spolupráci firmy Vanad 2000, a.s. s firmou ZJP, s.r.o., která je obchodním zástupcem výrobce sklíčidel BISON-BIAL S.A., byl jedním z požadavků výběr sklíčidel právě z jejich nabídky.

### **7.2.1 Průchozí sklíčko**

Jelikož nabídka průchozích, strojově ovládaných sklíčidel není příliš bohatá, bylo v první řadě řešeno právě toto. Vzhledem k nutnosti strojového ovládnutí čelistí, bylo vybráno sklíčko 2635-400 s průchozím otvorem o průměru 147 mm a vnějším průměrem 400 mm. Jeho velkou výhodou jsou čelisti systému wescott, díky kterému bylo možné pomocí jednoduchého přípravku čelisti přestavit kromě kruhových a čtvercových profilů i pro obdélníkové profily. Toto sklíčko navíc disponuje možností

strojového ovládání čelistí pomocí ozubeného převodu. Ten je založen na principu otáčení speciální ozubené příruby, která je součástí sklíčidla a poháněná ozubeným kolem které je spolu s motorem součástí vřeteníku stroje. Nevýhodou tohoto řešení je rozdělení sklíčidel na levé a pravé v závislosti na směru otáčení při dotahování. Tento problém by však bylo možné vyloučit vzhledem k absenci řezných sil působících na čelisti, případně by byl v rámci návrhu vytvořen jistící mechanismus. I přes výhodnost použití tohoto sklíčidla bylo od této varianty při konečném návrhu odstoupeno. Důvodem byla vysoká cena, která se šplhala k částce téměř čtvrt milionu korun a dodací lhůtě až 4 měsíce. [22] [23]



*Obr. 7.1. Ilustrační obrázek silově ovládaného sklíčidla BISON 2635-400 [24]*

Vhodnou alternativou k tomuto sklíčidlu se po konzultaci s dodavatelem sklíčidel ukázalo osazení stroje sklíčidlem průchozím, s manuálně ovládanými čelistmi systému wescott, ovšem s dodatečně vytvořeným mechanismem jejich ovládání vně sklíčidla. Po zohlednění všech těchto i původních požadavků bylo z nabídky vybráno sklíčidlo 4605-400 s průchozím průměrem 136 mm a vnějším průměrem 400 mm. Jeho cena se pohybuje okolo 70 000 korun a i dodací lhůty jsou přívětivější než u předešlé varianty. [25] [26]

### 7.2.2 Neprůchozí pojízdné sklíčidlo

Rozměr menšího, neprůchozího sklíčidla je určen průměrem otvoru v průchozím sklíčidle, ten je 136 mm a tomu z běžných velikostí sklíčidel odpovídá velikost 160. Po zohlednění dalšího požadavku, kterým je systém čelistí wescott bylo z katalogu vybráno sklíčidlo 4605-160, jehož cena je přibližně 20 000 korun. [25] [26]

Obě zvolená sklíčidla používají k upevnění do vřetene normalizované příruby dle DIN 6350 a k ovládání čelistí čtyřhran příslušné velikosti. [25]



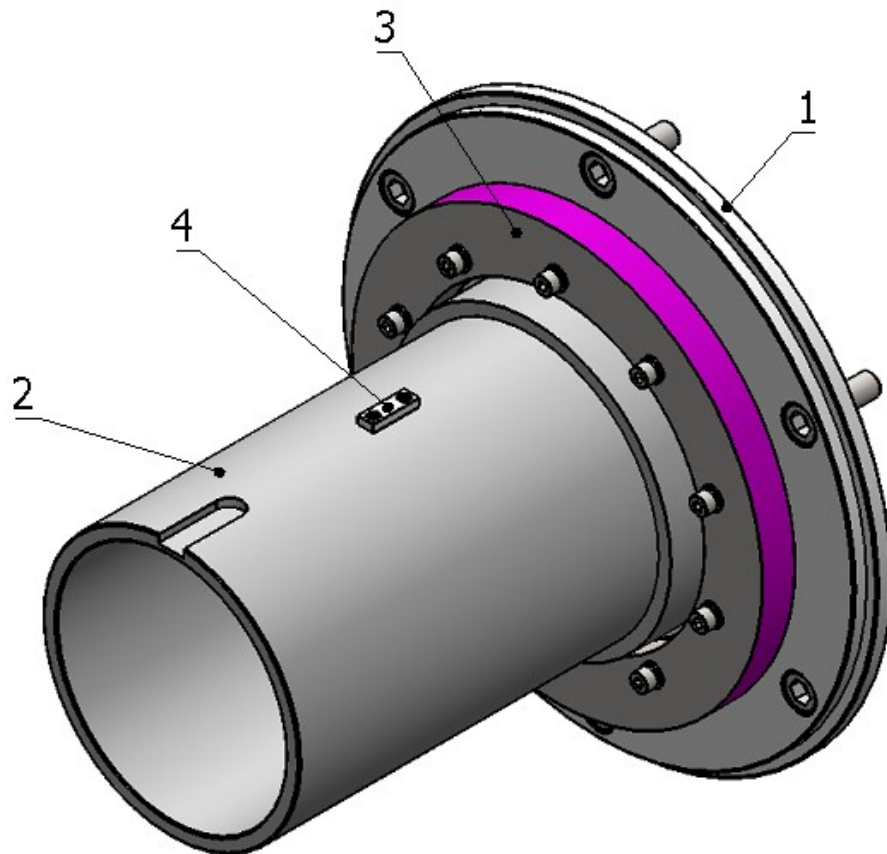
*Obr. 7.2. Ilustrační obrázek manuálně ovládaného sklíčidla z řady BISON 4605 [27]*

### 7.3 Uložení průchozího sklíčidla

Po vytipování sklíčidel a seznámení se s jejich parametry a požadavky na správnou funkci, bylo přistoupeno k postupnému návrhu celého rotátoru. Jako první dílčí celek byl navržen rám pro uložení průchozího sklíčidla, který je nepohyblivě uložen v rámu původního stroje Vanad KOMPAKT Laser.

Toto sklíčidlo je prostřednictvím středící příruby dle normy DIN 6350 uchyceno k rotačně uloženému vřeteni. To bylo navrženo jako obrobený svařenec složený ze dvou polotovarů – nosné trubky TR KR 219 x 20 – 362 a výpalku mezikruží z plechu o tloušťce 40 mm. Po obrobení byl tento díl navíc osazen ozubeným kolem pohonu rotace vřetene, který vychází z polotovaru firmy HABERKORN a dílem tvořící referenci pro

indukční snímání polohy, které je nezbytné pro později popsany mechanismus ovládání čelistí. [28] Porovnáme-li velikost neprůchozího pojízdného sklíčidla s velikostí trubky použité pro zhotovení průchozího vřetene, je zřejmé, že toto sklíčidlo může bez problémů částečně zajet do vnitřního prostoru vřetene. Tím při vhodné konstrukci dráhy, rámu pojízdného sklíčidla a jeho čelistí docílíme minimalizace odpadu polotovaru nezpracovatelného navrhovaným strojem.

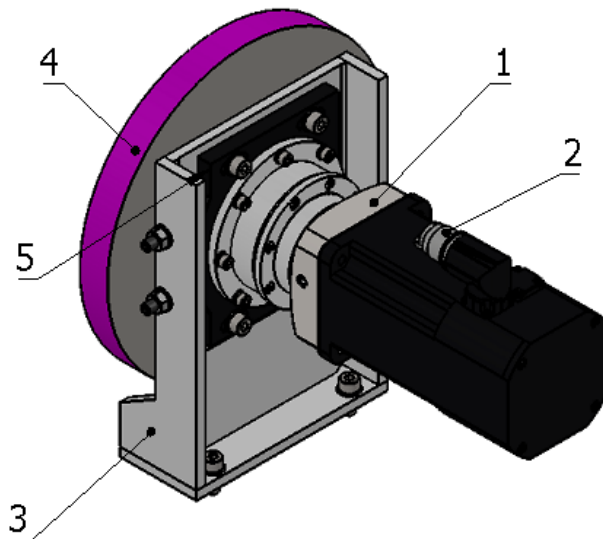


*Obr. 7.3. Sestava vřetene průchozího sklíčidla*

*1 – obrobená příruba, 2 – nosná trubka, 3 – ozubené kolo, 4 – snímání polohy*

Jak již bylo naznačeno v předchozím odstavci, pohon rotace bude zajištěn ozubeným převodem, kdy jedno jeho kolo bude přišroubované k přírubě sklíčidla a druhé bude součástí sestavy motoru a převodovky. Pohonná jednotka bude ve vlastním svařeném rámu přichyceném k hlavnímu rámu neprůchozího sklíčidla. Tato konstrukce má za výhodu snížení nároků na výrobní přesnost svařenců, protože díky stavěcím šroubům lze nastavit přesnou požadovanou osovou vzdálenost převodu. Na stroji Vanad KOMPAKT Laser je použita elektronika firmy B&R, z pohonů se jedná konkrétně o planetovou převodovku 8GF60-090-032S0L3 s převodovým poměrem  $i = 32$  a

servomotor 8LSA35.DA060S000-3 o příkonu  $P = 1 \text{ kW}$  s možností vnitřního odměřování polohy. [29] [30] Pro co nejmenší různorodost dílů byla v počátku návrhu pro pohon sklíčidla použita stejná pohonná jednotka, jejíž vhodnost bude ověřena kontrolním výpočtem po dokončení konstrukce celé rotační části, ze které vyplynou potřebné hmotové charakteristiky. Výstupní příruba planetové převodovky byla opět osazena ozubeným kolem značky HABERKORN s obrobenými prvky pro vystředění a uchycení. [28]



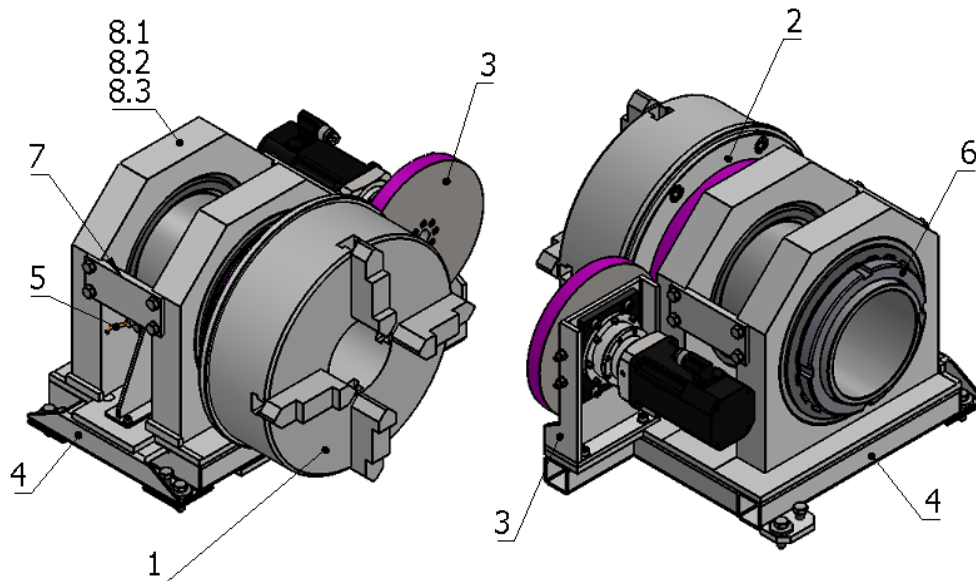
Obr. 7.4. Sestava pohonu vřetene průchozího sklíčidla

- 1 – planetová převodovka B&R 8GF60-090-032S0L3,  
2 – servomotor B&R 8LSA35.DA060S000-3, 3 – svařený rám, 4 – ozubené kolo,  
5 – příruba pro vymezení osové vzdálenosti soukolí

Obě tyto podsestavy bylo nutné připojit k rámu původního stroje. To bylo zajištěno rámem sestávajícího se z nosného rámu a ložiskových domků. Do tohoto základu bylo usazeno vřeteno se sklíčidlem, pohonná jednotka a snímání polohy. Základní nosný rám je tvořen svařencem z profilů PR 4HR 40 x 4 a z plechových výpalků. Pro dosažení vyšší přesnosti a jakosti dosedacích ploch je následně obroben. Ložiskové domky jsou obrobena z polotovarů zhotovených z výpalků z plechu a osazeny valivými kuličkovými ložisky ČSN 02 4630 – 6040 s vnitřním průměrem 200 mm, která jsou v domcích utěsněna proti vnikání nečistot a vytékání maziva těsníci kroužky NILOS-RINGS 6040 AV a 6040 JV. [31] Vzhledem k vysoké únosnosti ložisek takovýchto

rozměrů a jejich nízkému zatížení výhradně v radiálním směru pouze hmotností vřetene a části polotovaru trubky, nebyl proveden výpočet životnosti, protože je zřejmé, že ložiska svými parametry odpovídají.

Celá sestava je navíc osazena indukčním snímačem polohy a deskami spojovací domky pro dosažení maximální tuhosti rámu. Vřeteno je v ložiskách zajištěno KM maticí s MB podložkou.



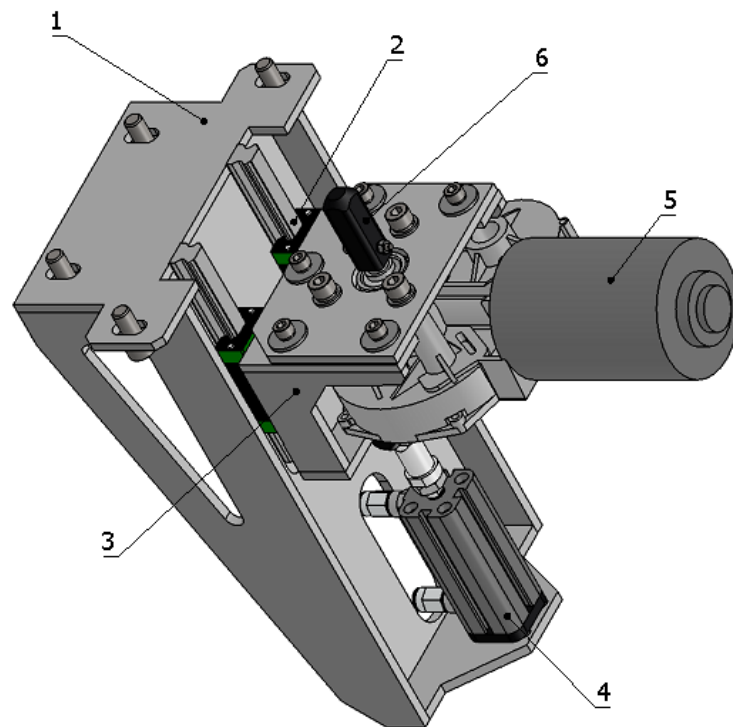
*Obr. 7.5. Sestava průchozího sklíčidla bez mechanismu utahování čelistí*

*1 – sklíčidlo BISON 4605-400, 2 – obrobek vřetene, 3 – pohon rotace, 4 – nosný rám, 5 – snímání polohy natočení, 6 – zajištění vřetene v ložiscích, 7 – výztuhy domků, 8.1 – ložiskový domek, 8.2 – ložisko ČSN 02 4630 – 6040, 8.3 – těsnění NILOS-RINGS*

### **7.3.1 Mechanismus ovládání čelistí**

Vzhledem k rozhodnutí o volbě manuálního sklíčidla, je nutné konstrukci doplnit o mechanismus ovládání jeho čelistí. Přípravou pro tuto část je již indukční snímání polohy natočení vřetene. Na některých rotátorech firmy Vanad již byla podobná varianta automatizace ovládání použita. Její princip spočívá taktéž v osazení vřetene snímáním polohy a navíc připevněním pohonné jednotky k přírubě sklíčidla. Výstupní hřídel pohonu je osazena čtyřhranem o velikosti odpovídající čtyřhranu sklíčidla a tyto dva nastalo spojeny. Přívod energie pro motor je zajištěn rozpojitelnými kontakty, k jejichž sepnutí dojde při zastavení vřetene v referenční pozici dle snímání polohy. Síla sevření čelistí je nastavena pomocí měření proudu v motoru řídicím systémem stroje.

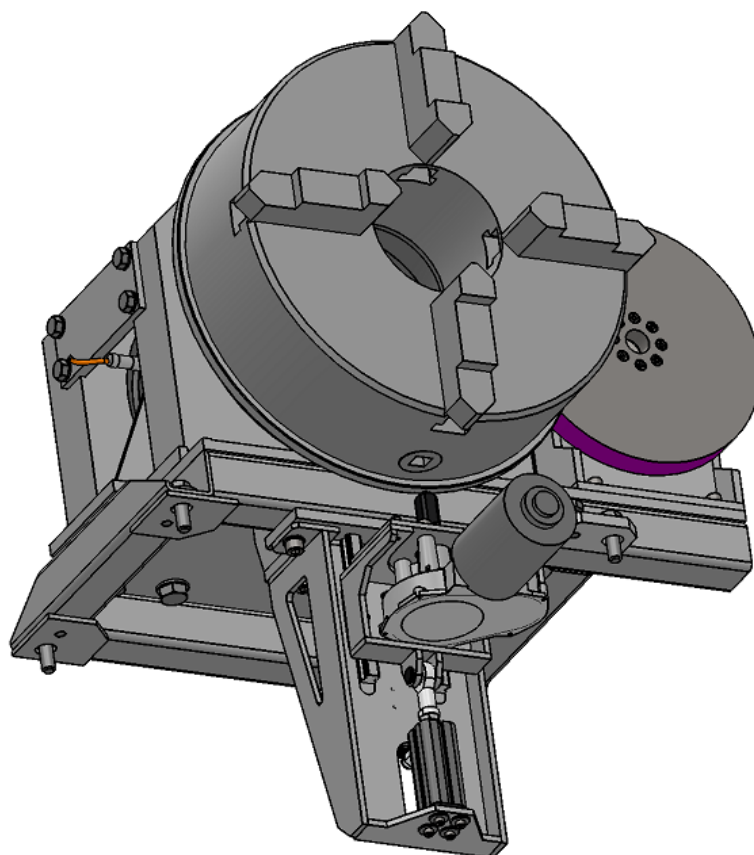
Snahou o dosažení maximální velikosti zpracovávaného polotovaru výpalků a z toho vyplývající větší rozměr sklíčidla bohužel znemožnily využít tuto, již ověřenou variantu a muselo být přistoupeno k návrhu vlastní konstrukce. Základem je svařovaný rám z výpalků obroběný na styčných plochách, který slouží k přichycení celého mechanismu k rámu sklíčidla. Jeho součástí je valivé lineární vedení HIWIN HGH 15, po kterém je přisouvána sestava s motorkem osazeným na hřídeli vnějším čtyřhranem do vnitřního šestihranu sklíčidla. [32] Pro pohon rotace je použit stěračový motorek APS443122194027, který je ideální díky kompaktním rozměrům, nízkým otáčkám a dostačujícímu záběrovému momentu. [33] Přísuv je zajištěn lineárním pneumatickým válcem PNEUMAX 1581.20.50.01. [34] Parametry tohoto pneumatického válce nebyly řešeny výpočtem, jelikož zatěžující síla je pouze hmotnost motoru s vozíky. Byl proto, z důvodu snížení různorodosti součástí, použit stejný pneumatický válec jako pro pohon zámku pálicího stolu v pracovní poloze. Protože se jedná o poloautomatické zařízení, je nutné osadit pneumatický válec snímáním polohy pístu předávající tuto informaci řídicímu systému stroje, což zamezí především nechtěnému natočení čtyřhranů vůči sobě a tím problémům s jejich opětovným spojením. Vnější čtyřhran motoru má pro lepší zapadnutí do čtyřhranu sklíčidla upravené náběhové hrany, nicméně převodovka stěračového motoru je šneková, což znamená, že při rozpojení čtyřhranů by nemělo dojít k jejich vzájemnému natočení a při opětovném spojení by měly, při dodržení výrobních vůlí, volně zapadnout. Síla působící z čelistí na polotovar je řízená měřením proudu motoru řídicím systémem stroje, stejně jako v původní variantě firmy Vanad.



*Obr. 7.6. Sestava ovládní čelistí průchozího skličidla*

*1 – nosný rám, 2 – valivé lineární vedení HIWIN HGH 15, 3 – rám vozíku, 4 – lineární pneumatický válec PNEUMAX 1581.20.50.1, 5 – stěračový motorek APS443122194027, 6 – vnější čtyřhran*





*Obr. 7.7. Sestava průchozího sklíčidla s osazeným mechanismem ovládání čelistí*

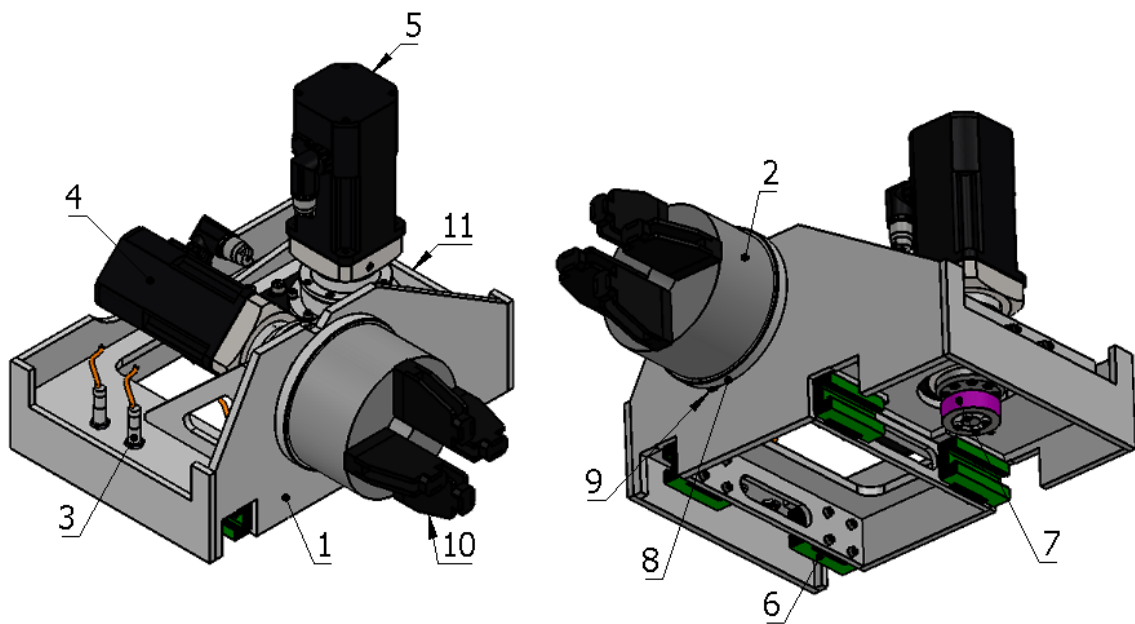
#### **7.4 Pojízdné uložení neprůchozího sklíčidla**

Kompletním návrhem průchozího sklíčidla byly získány veškeré potřebné parametry pro konstrukci sklíčidla neprůchozího, umístěného na dráze, po které zajišťuje přísuv polotovaru do prostoru laserové hlavy. Hlavními parametry jsou velikost sklíčidla, které má vnější průměr 160 mm a následně výška osy rotace polotovaru nad rám stroje. Ta je důležitá především v souvislosti s prostorem pro lineární vedení pojezdu a pro dostatečně pevné stojiny dráhy.

Základem této sestavy bude opět svařenec rámu, tvořený výhradně výpalky, jehož styčné plochy jsou pro zvýšení přesnosti a jakosti povrchu obrobenu. Přímou do rámu je přimontovaná již dříve zmiňovaná planetová převodovka se servomotorem, k jejíž výstupní přírubě je uchycena příruba dle DIN 6350, která slouží pro montáž samotného sklíčidla 4605-160. Jelikož součástí této hnací jednotky není vložený ozubený převod jako u průchozího sklíčidla, je nutné řídicím systémem kompenzovat převodový poměr 1,294. Bezproblémové upnutí polotovaru a jeho manipulaci skrz průchozí sklíčidlo

pomůže zajistit opět snímání polohy natočení vřetene pomocí indukčního čidla, jehož protikus je umístěn na přírubě sklíčidla. Další taková dvě čidla byla umístěna přímo do nosného rámu. Jejich úkolem je spolu s protikusy na vodících tyčích dráhy určovat počáteční a koncovou referenci polohy pojezdného sklíčidla.

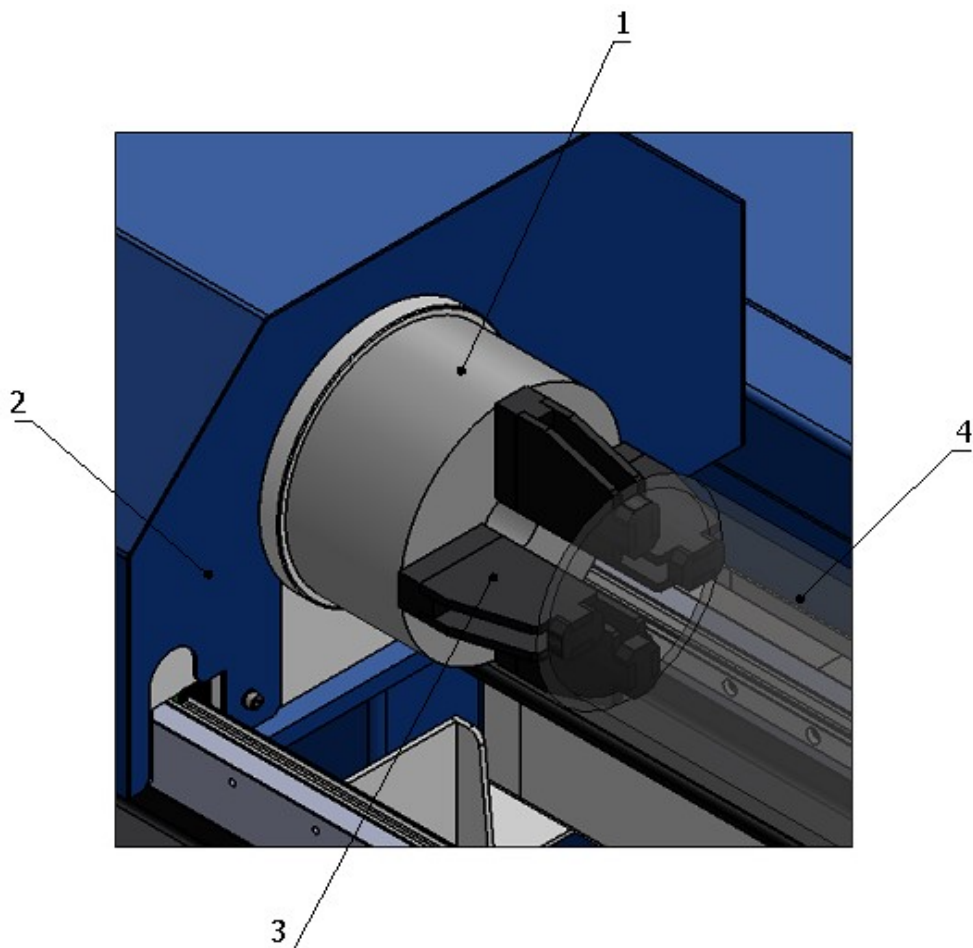
Pojezd tohoto celku zajišťují společně dva prvky – opět již zmiňovaná planetová převodovka 8GF60-090-032S0L3 a servomotor 8LSA35.DA060S000-3 spolu s lineárním vedením HIWIN HGH 30 CA. [29] [30] [32]. Na rámu sklíčidla jsou uchycené vozíky lineárního vedení a jejich kolejnice jsou součástí vodící dráhy. Protože je pohon pojezdu řešen ozubeným převodem pastorek – ozubený hřeben, bylo přistoupeno k obdobné konstrukci jako v případě pohonu průchozího sklíčidla. [28] Hnací jednotka byla usazena do mezirámu, jehož součástí jsou stavěcí a zajišťující šrouby a až celá tato sestava je namontována do hlavního rámu. Díky tomu je možné vymezit vůle v ozubení a případné výrobní nepřesnosti a získat tak plynulejší chod pojezdu.



*Obr. 7.8. Kompletní sestava neprůchozího sklíčidla s pojezdem*

*1 – nosný rám, 2 – sklíčidlo BISON-160, 3 – snímání polohy pojezdu, 4 – pohonná jednotka rotace, 5 – pohonná jednotka přířuvu, 6 – vozík lineárního vedení, 7 – pastorek ozubeného převodu pojezdu, 8 – příruba sklíčidla, 9 – snímání polohy natočení sklíčidla, 10 – upravené čelisti, 11 – mezirám pohonu pojezdu*

Z důvodu maximální využitelnosti délky polotovaru bylo nutné do návrhu zahrnout i čelisti neprůchozího sklíčidla. Jako jejich základ byly použity originální měkké čelisti firmy BISON-BIAL S.A., na ně budou navaženy výpalky, jejichž konec bude zakalen pro dosažení vyšší odolnosti. Výsledný rozměr čelistí byl dimenzován s ohledem na vnitřní průměr průchozího vřetene, díky tomu bude se všemi velikostmi polotovarů, zpracovávaných skrz průchozí sklíčidlo, možno dosáhnout minimální vzdálenosti mezi průchozím a neprůchozím sklíčidlem v koncové poloze dráhy a využít tak téměř celou délku polotovaru. Čelisti jsou navíc opatřeny dorazem, o který se polotovar může opřít při upínání do stroje a přísuvu po podpěrách dráhy. Bude tím tak přesně vymezena poloha polotovaru po upnutí a pro řídicí systém a obsluhu bude snazší orientace laserové hlavy na počátek polotovaru při zahájení pracovního cyklu.



*Obr. 7.9. Pohled na neprůchozí sklíčidlo s upravenými čelistmi*

*1 – sklíčidlo BISON 4605-160, 2 – zakrytovaný rám neprůchozího sklíčidla,  
3 – upravené čelisti, 4 – znázornění upnutého polotovaru (úmyslně zprůhledněn)*

## 7.5 Kontrolní výpočet navržených pohonů

Jedním z požadavků na navrhovaný stroj bylo zachování stejných pohonných jednotek, jaké jsou na základním stroji KOMPAKT Laser. V konstrukci stroje byly tedy použity servomotory 8LSA35.DA060S000-3 a planetové převodovky 8GF60-090-032S0L3 výrobce B&R. Po navržení všech rotačních součástí a vyjasnění rozměrů polotovarů je nutné vhodnost těchto prvků ověřit. Výpočtem bude postupováno směrem od vlastností rotačních součástí k požadovaným nárokům kladených na pohony. Ty budou následně porovnány s technickými listy pohonů. Pokud by se předběžně navržené pohony ukázaly jako nedostatečné, použijí se vypočtené hodnoty přímo k výběru nových pohonů. Kontrolní výpočet byl zpracován dle literatury [35].

Protože zařízení bude pracovat ve dvou režimech – polotovar do průměru vnější opsané kružnice 133 mm a v délce až 6 000 mm upnutý v obou sklíčidlech, nebo polotovar do průměru vnější opsané kružnice do průměru 273 mm v délce do 2 500 mm upnutý pouze průchozím sklíčidlem, je nutné ve výpočtu zohlednit obě tyto možnosti.

Kinematické parametry požadované pro pálení laserem jsou vůči povrchu zpracovaného materiálu následující [5]:

$$v = 2 - 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}, a = 2,9 - 6,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Tyto hodnoty se liší v závislosti na jakosti zpracovávaného materiálu, tloušťky stěny, nebo požadavku na kvalitu řezu. Úvahou nad těmito závislostmi byly pro výpočet použity střední hodnoty těchto veličin a aplikované na kinematicky nejnáročnější konfiguraci. Tím bude zajištěna správná funkce stroje ve všech ostatních případech i s dostatečnou rezervou proti přetěžování pohonů. Případná úprava rychlosti bude provedena řídicím systémem stroje. Výsledné použité hodnoty rychlosti a zrychlení tedy jsou:

$$v = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}, a = 4,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

V druhém zmiňovaném režimu bude pracovat pouze pohon průchozího sklíčidla, bylo proto nutné nejprve navrhnout nejprve jednotku dostačující pro tuto situaci a následně ji doplnit o pohon rotace pojízdného sklíčidla. Pro další výpočty bylo také nutné převést kinematické veličiny vztažené k povrchu na rotační veličiny dle platných kinematických vztahů při průměru polotovaru 273 mm.

$$\omega = 0,7 \text{ rad. s}^{-1}, \varepsilon = 35,9 \text{ rad. s}^{-2}$$

Prvním krokem bylo zjištění momentů setrvačnosti všech rotujících součástí průchozího sklíčidla, tuto hodnotu automaticky vypočítá CAD software po doplnění vlastností materiálů všech součástí.

$$J_{PR} = 2\,9950 \text{ kg. cm}^2$$

Moment setrvačnosti dynamicky nejnáročnějšího polotovaru opět vypočetl CAD software, je jím TR KR 273 x 10 – 2 500.

$$J_{P2} = 7\,099 \text{ kg. cm}^2$$

Celkový moment setrvačnosti zátěže pro druhý režim provozu je tedy:

$$J_{R2} = J_{PR} + J_{P2} = 37\,049 \text{ kg. cm}^2 \quad (1)$$

Dle použité literatury platí při návrhu servopohonu podmínka  $J_{POH} > \frac{J_{R2}}{3}$ , v tomto případě tedy  $J_{POH} > 12\,350 \text{ kg. cm}^2$ , započtením vloženého ozubeného převodu získáme hodnotu  $J_{POH} > 9\,544 \text{ kg. cm}^2$ .

K dalším výpočtům je nutné určit pasivní odpory, které pohon musí překonávat, v tomto případě valivý odpor v kuličkových ložiscích a třecí odpor v podpěrách.

Výrobci ložisek běžně hodnoty pasivní odporů v ložiscích neuvádějí, je proto nutné použít online kalkulačtor firmy SKF, který dokáže při zadání provozních podmínek určit výkonové ztráty v ložisku. [36]

$$M_{LOŽ} = 258,9 \text{ N. mm} = 0,3 \text{ N. m}$$

Odpor v podpěrách je způsoben třením polotovaru o výměnnou vložku. Pro zjednodušení výpočtu je uvažována zátěž v podpěrách rovna hmotnosti založené trubky. Vzhledem k upnutí i ve sklíčidle, podpěry nikdy takovou silou zatíženy nebudou a do výpočtu tak nebude zanesena chyba v neprospěch pohonu. Součinitel tření ocel-ocel je uvažován  $f = 0,15$ . [37]

$$M_{PODP} = \frac{F_T \cdot d}{2} = \frac{F_N \cdot f \cdot d}{2} = 32,6 \text{ N. m} \quad (2)$$

Součet těchto dvou hodnot je výsledný moment potřebný k překonání pasivních odporů v soustavě průchozího sklíčidla. Zásadnější a na pohon náročnější je ovšem rozběhový moment, ten získáme dosazením do následujícího vztahu.

$$M_{R2} = J_{R2} \cdot \varepsilon + M_{LOŽ} + M_{PODP} = 165,7 \text{ N.m} \quad (3)$$

Protože součástí pohonu rotace průchozího sklíčidla je i vložený ozubený převod s převodovým poměrem  $i = 1,29$ , jsou výsledné nároky kladené na pohonnou jednotku následující.

$$M_{POH} = \frac{M_{R2}}{i} = 128,1 \text{ N.m} \quad (4)$$

$$J_{POH} > 9\,544 \text{ kg.cm}^2$$

$$n_{POH} = \frac{2 \cdot \omega \cdot i}{d} = 9,1 \text{ ot/min} \quad (5)$$

Porovnáním požadovaných hodnot s parametry předběžně navrženého pohonu je zřejmé, že je pohonná jednotka značně poddimenzovaná. Z nabídky výrobce B&R byla proto zvolena planetová převodovka 8GF60-110-50-S0N4 s odpovídajícím jmenovitým momentem a převodovým poměrem  $i = 50$  a servomotor 8LSN43-D0030D000-3 se zvýšenými dynamickými vlastnostmi, o výkonu  $P = 1,1 \text{ kW}$ . Otáčky výstupní příruby převodovky budou sice vyšší, než je požadováno, ale tento parametr servomotoru lze regulovat řídicím systémem. Konstrukci sestavy průchozího sklíčidla tato změna nijak neovlivní, pouze bude upravena rozteč kotevních otvorů v uložení převodovky.

Z parametrů pohonu průchozího sklíčidla lze nyní vycházet při návrhu pohonu neprůchozího sklíčidla, který bude sloužit převážně jako ochrana před zkrutem dlouhých tenkostěnných polotovarů. Na jeho parametry proto nebudou kladeny tak vysoké nároky. Pro výpočet bude uvažována totožná obvodová rychlost a zrychlení jako při druhém pracovním režimu s jedinou změnou, a to maximálním průměrem vnější opsané kružnice 134 mm, úhlové parametry proto budou následující.

$$\omega = 1,5 \text{ rad.s}^{-1}, \varepsilon = 73,7 \text{ rad.s}^{-2}$$

Moment setrvačnosti sestavy obou sklíčidel a založeného polotovaru je určen pomocí CAD software.

$$J_{R1} = 37\,384 \text{ kg.cm}^2$$

Výkonové ztráty v ložiscích jsou stejné jako při režimu dva a odpovídají krouticímu momentu:

$$M_{LOŽ} = 0,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Třecí moment v podpěrách se vypočítá taktéž podle stejného vztahu, jako u pracovního režimu dva, ale s obměněnou hmotností polotovaru. Tím nyní bude TR KR 133 x 10 – 6 000 o hmotnosti 182 kg.

$$M_{PODP} = \frac{F_T \cdot d}{2} = \frac{F_N \cdot f \cdot d}{2} = 17,8 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$

Výsledný požadovaný hnací moment režimu jedna je tedy dle již použitého vztahu:

$$M_{R1} = J_{R1} \cdot \varepsilon + M_{LOŽ} + M_{PODP} = 293,6 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (7)$$

Dle vypočtených hodnot pro režim dva je zřejmé, že podmínka kvadratických momentů je splněna již pohonem průchozího sklíčidla. Nyní je ovšem nutné vybrat správnou pohonnou jednotku neprůchozího sklíčidla, která doplní potřebný zbývající krouticí moment. Pohon průchozího sklíčidla dodá do sestavy moment  $M_{K2} = 226,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ , pohon průchozího sklíčidla musí tedy doplnit zbývajících  $M_{K1} = 67,1 \text{ N} \cdot \text{m}$ . I v tomto případě bylo zjištěno, že předběžně navržený pohon je nedostatečný, byla proto zvolena planetová převodovka ze stejné řady 8GF60-90-0500S0L3, pouze s vyšším převodovým poměrem  $i = 50$ .

Pohon přísuvu materiálu je vhodné dimenzovat na vyšší rychlost pro snížení vedlejších časů, byla proto zvolena horní hranice požadovaného intervalu a to  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , zrychlení bylo zachováno na hodnotě  $a = 4,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Do tohoto výpočtu vstupují především dynamická síla proti směru pohybu vozíku se sklíčidlem a třecí síla v podpěrách. Dynamická síla odpovídá následujícímu vztahu, do kterého byly hmotnosti doplněny z CAD software.

$$F_D = (m_{POL} + m_{VOZ}) \cdot a = 1214 \text{ N} \quad (8)$$

Třecí síla je určena dle části předchozího vztahu pro třecí moment.

$$F_T = F_N \cdot f = 27,3 \text{ N} \quad (9)$$

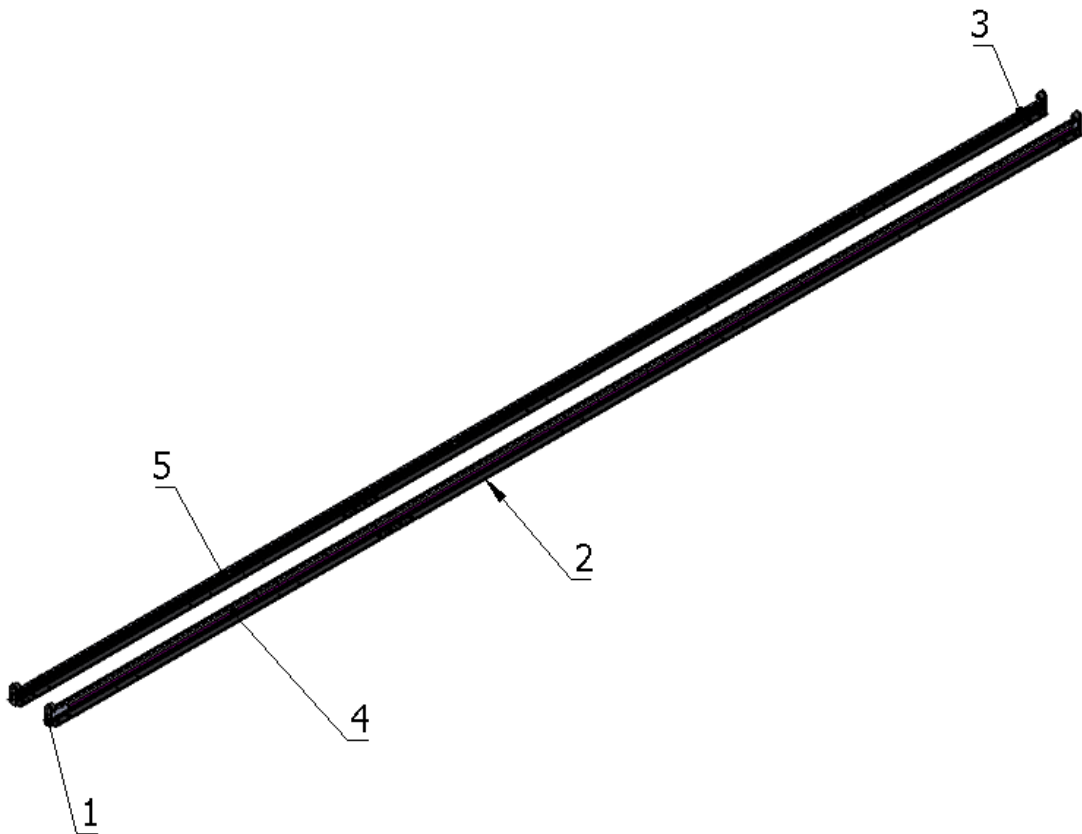
Celková síla, kterou musí pohon pojezdu překonat, je tedy  $F = 1241,3 \text{ N}$ . To při průměru pastorku  $d = 60 \text{ mm}$  odpovídá hnacímu momentu  $M_K = 37,2 \text{ N.m}$ . Otáčky pastorku potřebné pro dosažení požadované rychlosti jsou  $n = 53 \text{ min}^{-1}$ . Z takto získaných parametrů je zřejmé, že v tomto případě předběžně navržený pohon může být použit.

## 7.6 Dráha vozíku neprůchozího sklíčidla

Třetím konstrukčním prvkem navrhovaného stroje je dráha pojízdného sklíčidla. Její nedílnou součástí jsou i dostatečně tuhé stojiny a sklápěcí podpěry polotovaru. Délka dráhy byla dimenzována pro založení polotovaru o délce 6 000 mm s možností zkrácení na polotovar o délce 3 000 mm. Toho bylo docíleno využitím modulární koncepce, kdy vyjmutím jednoho modulu samotné dráhy a přestavením stojin s podpěrami dokáže konstruktér v několika krocích přizpůsobit délku dráhy přání konkrétního zákazníka.

Pro samotné nosníky dráhy byla použita výtahová vodítka italské značky MONTEFERRO, konkrétně typ RP90. Jedná se o válcované profily průřezu ve tvaru T s obrobenými styčnými plochami, které firma Vanad s úspěchem používá pro pojezdy portálů svých strojů. Vyrábějí se v délkách 2 500 a 5 000 milimetrů, což je ideální dělení pro modulární koncepci dráhy. K nim byly přimontovány kolejnice lineárního vedení HIWIN a k jedné straně navíc ozubený hřeben HABERKORN pro pohon pojezdu. Celé dráhy jsou následně uloženy na patky stojin, ve kterých jsou navíc stavitelné ve dvou osách pro dosažení maximální přesnosti. Obě dráhy jsou osazeny protikusy snímání polohy pojezdu a mechanickými dorazy pro případ poruchy. [28] [32] [38]

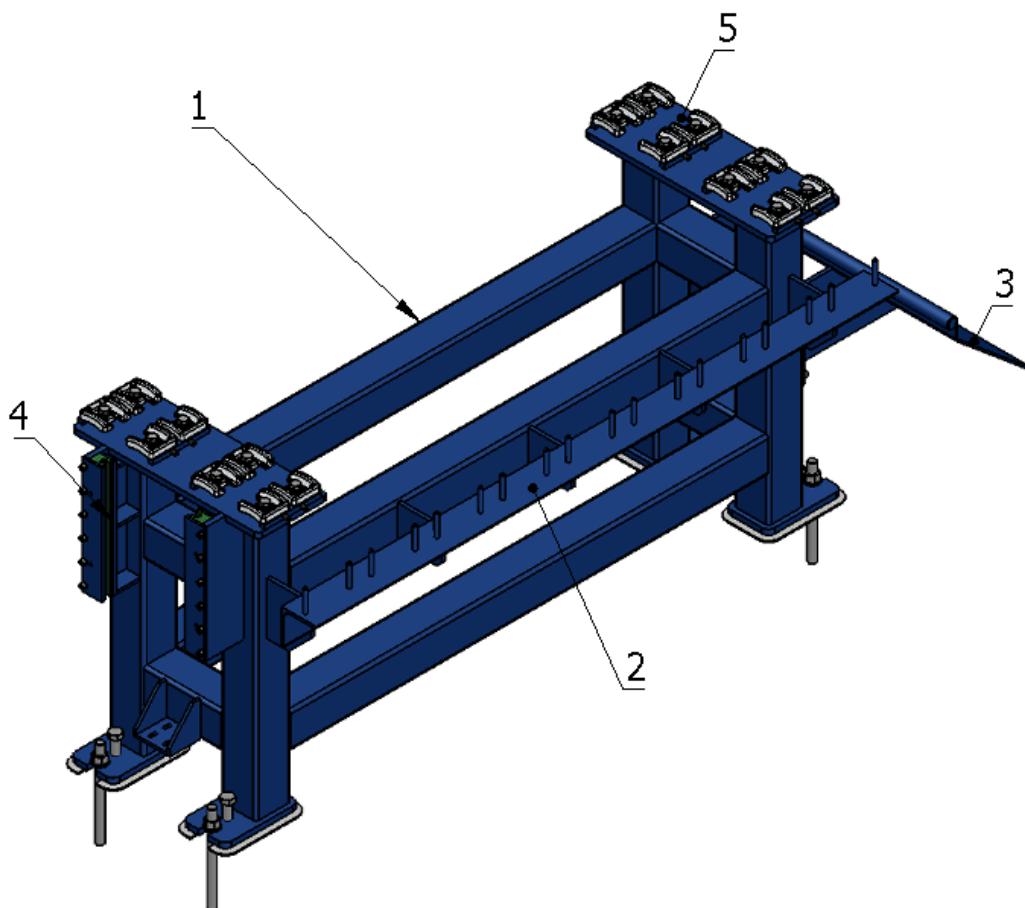




*Obr. 7.10. Ilustrační obrázek dráhy vozíku*

*1 – mechanický doraz, 2 – vodítka MONTEFERRO v délce 5000 +2500 mm,  
3 – protikus snímání polohy, 4 – ozubený hřeben pohonu, 5 – kolejnice lineárního  
vedení*

Spolehlivé a dostatečně tuhé uložení modulů drah je řešeno stojinami svařenými z konstrukčních profilů. Jejich součástí jsou i další prvky jako odkládací místa pro vnitřní podpěry polotovaru a vnitřní rošty, konzoly s držáky pro vložky podpěr a především příprava pro uložení sklápěcích podpěr polotovaru. Kvůli těmto doplňkům a nutnosti zohlednit modulární koncepci celé dráhy, jsou stojiny konstruovány jako svařence o totožném základním rámu, doplněného individuálně o detaily dle potřeby.



*Obr. 7.11. Kompletně vybavená stojina dráhy*

*1 – svařenec rámu, 2 – držák vložek podpěr, 3 – držák vnitřních podpěr, 4 – kluzné vedení podpěr, 5 – příchytka nosníků dráhy*

### **7.6.1 Sklápěcí podpěry**

Ve snaze docílit co nejvyšší přesnosti výpalků a zároveň snížení namáhání sklíčidel byly do konstrukce dráhy zařazeny dvě podpěry. Při délce 6 000 mm by především u menších a slabostěnných profilů docházelo ke značnému průhybu, který by při pracovních otáčkách rostl a měl negativní vliv na kvalitu výpalků. Podpěry lze využít i při zakládání polotovaru, kdy například dílenským jeřábem, nebo vysokozdvižným vozíkem bude polotovar vložen na tyto podpěry, následně upnut do pojízdného sklíčidla a zaveden do pracovního prostoru laseru skrz průchozí sklíčidlo. Aby byl zajištěn volný průjezd neprůchozího sklíčidla, bylo nutné navrhnout tyto podpěry sklápěcí, respektive zasouvací. Po úvaze o působení sil při provozu, byla varianta sklápěcích podpěr zavrhnuta z důvodu rizika přičení podpěr a nutného velkého naddimenzování ovládacích pohonů pro jejich odblokování. Dalším parametrem, který bylo v tomto

okamžiku nutné posoudit, byla možnost zakládání všech požadovaných velikostí a tvarů polotovarů. Tím byla ve výsledku ovlivněna univerzálnost celého stroje a bylo proto zapotřebí věnovat tomuto problému zvýšenou pozornost. S přihlédnutím k platným patentům, konkurenčním výrobkům a především nárokům na složitost a cenu bylo rozhodnuto pro výslednou podobu s výměnnými vložkami dle průměru vnější obvodové kružnice polotovarů. Tyto vložky bude možné, dle přání zákazníka, dodat s původní dodávkou stroje, nebo bude možné vytvořit dfx šablonu se všemi možnými velikostmi, ze které si každý vybere a vypálí velikosti dle potřeby vlastní výroby. Porovnáním běžně dodávaných rozměrů hutních polotovarů, bylo navíc vybráno několik velikostí vložek, které dokáží pokrýt všechny zpracovatelné polotovary navrhovaným strojem, bez ohledu na tvar průřezů s odchylkou do  $\pm 4 \text{ mm}$ , což pro účel podpěr dostačující. Přehled polotovarů a návrhů výsledných rozměrů výměnných vložek je uveden v následující tabulce. V tabulce jsou pouze polotovary, u kterých je garantované upnutí do průchozího sklíčidlo. Vzhledem k závislosti poloměru zaoblení čtyřhranných polotovarů na tloušťce stěny a tím i ovlivnění vnější opsané kružnice, je možné upnout i větší polotovary, nicméně tato možnost není vzhledem k odchylkám v rozměrech polotovarů garantovaná a proto s ní není dále pracováno.

Tab. 1 Hutní polotovary do průměru vnější opsané kružnice 134 mm [39]  
(všechny rozměry v mm)

TR KR	PR 4HR		PR OBD				VLOŽKA
	vnější Ø	strana	vnější Ø	strana A	strana B	vnější Ø	
31,8	25	35,4	30	x	10	31,6	<b>33,7</b>
33,7			30	x	15	33,5	
			30	x	20	36,1	
38	30	42,4	35	x	15	38,1	<b>40,2</b>
42,4			30	x	25	39,1	
			35	x	20	40,3	
			40	x	10	41,2	
44,5			35	x	25	43,0	<b>44,1</b>
			40	x	20	44,7	
48,3	35	49,5	40	x	25	47,2	<b>49,6</b>
51			40	x	30	50,0	
			45	x	25	51,5	
			40	x	35	53,2	<b>54,3</b>
			50	x	20	53,9	
			50	x	25	55,9	
57	40	56,6	50	x	30	58,3	<b>58,6</b>
60,3			50	x	35	61,0	
63,5	45	63,6	60	x	20	63,2	<b>63,6</b>
			50	x	40	64,0	
70	50	70,7	60	x	30	67,1	<b>70,0</b>
			60	x	40	72,1	
76	55	77,8	70	x	30	76,2	<b>77,1</b>
76,1			60	x	50	78,1	
			70	x	35	78,3	
82,5	60	84,9	70	x	40	80,6	<b>83,7</b>
			80	x	20	82,5	
			80	x	30	85,4	
			70	x	50	86,0	
88,9	65	91,9	80	x	35	87,3	<b>90,2</b>
89			80	x	40	89,4	
			80	x	50	94,3	
101,6	70	99,0	90	x	40	98,5	<b>101,1</b>
102			80	x	60	100,0	
			90	x	50	103,0	
			100	x	30	104,4	
108	75	106,1	100	x	40	107,7	<b>107,3</b>
114	80	113,1	100	x	50	111,8	<b>114,0</b>
114,3			100	x	60	116,6	
121	85	120,2					<b>120,6</b>
127	90	127,3	120	x	40	126,5	<b>127,7</b>
			120	x	50	130,0	
133	95	134,4	120	x	60	134,2	<b>133,8</b>

Do rozměrů vložek podpěr je nutné počítat i se zaoblením polotovarů, to je ovšem kvůli tolerovaným rozsahům těchto rozměrů velice komplikované. Navržené rozměry vložek lze tak považovat za dostačující do tloušťky stěny cca 5 mm. Pro silnější polotovary už bude k určení rozměru podpěry přistupovat individuálně, například pomocí parametricky navržené šablony vypálené na míru daným polotovarům. Tato poznámka platí i pro vnitřní podpěry popsané v dalších kapitolách.

Zatahovací podpěry budou ovládány lineárními pneumatickými pohony, jejichž požadovaný zdvih vyplyne z dalších kroků návrhu. Je ovšem nutné navrhnout výpočet sílu zatěžující pneumatické pohony a z ní velikost pístu. K tomuto výpočtu bude využita Tabulka 1, konkrétně rozměry a z nich vyplývající hmotnost největších možných polotovarů upínaných do neprůchozího sklíčidla. Pro výpočet bude uvažována měrná hmotnost materiálu polotovaru  $\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a maximální tloušťka stěny polotovaru  $t = 10 \text{ mm}$ .

Prvním krokem výpočtu bude zjištění, který polotovar o délce 6 000 mm upínaný do neprůchozího sklíčidla má největší hmotnost.

TR KR 133 x 10 - 6000:

$$m_{\circ} = S \cdot l \cdot \rho = \pi \cdot t \cdot (d - t^2) \cdot l \cdot \rho = 182 \text{ kg} \quad (10)$$

PR 4HR 95 x 10 – 6000:

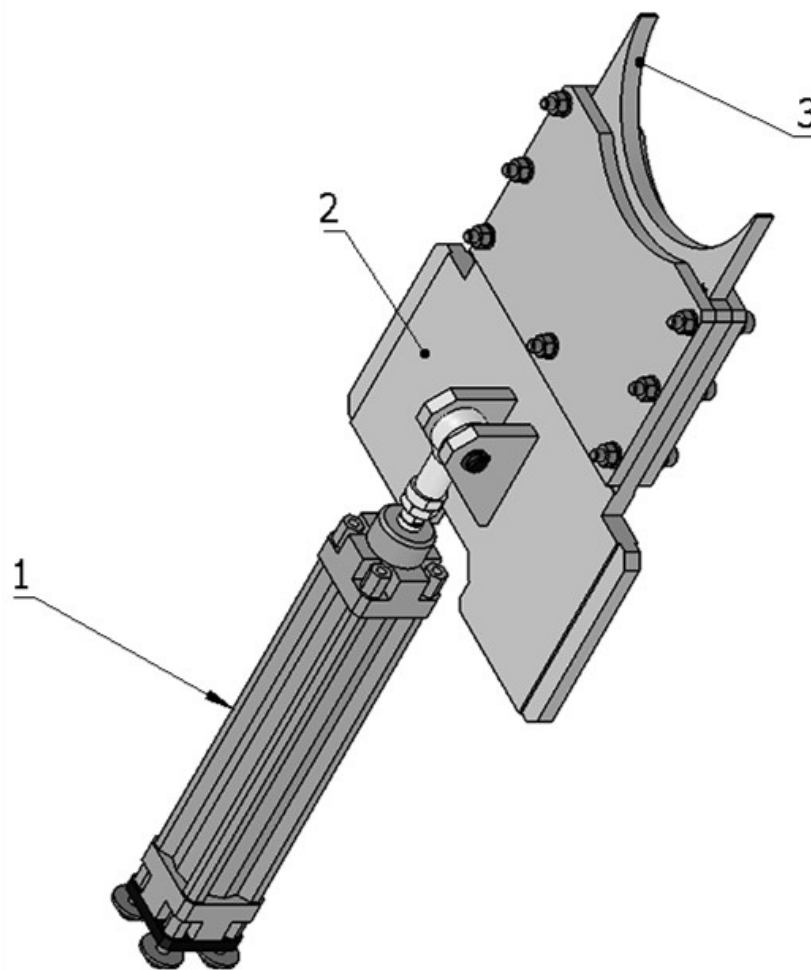
$$m_{\square} = S \cdot l \cdot \rho = 4 \cdot t \cdot (a - t) \cdot l \cdot \rho = 160,1 \text{ kg} \quad (11)$$

PR OBD 120 x 10 – 6000:

$$m_{\square} = S \cdot l \cdot \rho = 2 \cdot t \cdot (a + b - 2 \cdot t) \cdot l \cdot \rho = 150,7 \text{ kg} \quad (12)$$

Největší zatížení podpěr nastane při založení trubky TR KR 133 x 10 – 6000 a to 182 kg, což se po přepočtu na sílu rovná:  $F = m \cdot g = 1785,4 \text{ N}$ . Jelikož je trubka uložena na dvou podpěrách, je každá z nich tedy zatížena silou  $F_1 = \frac{F}{2} = 892,7 \text{ N}$ . Pro běžně používanou hodnotu tlaku  $p = 6 \text{ bar}$  a výrobcem válců doporučenou bezpečnost 25% byla z katalogu získána velikost pístu  $\varnothing 50 \text{ mm}$ . [34] Do výpočtu není započteno tření v kluzném vedení, protože při plné zátěži od polotovaru bude pneumatický válec setrávat ve vysunutě poloze. Pohybovat se bude pouze bez tohoto zatížení a k překonání tření bude mít tedy k dispozici svoji plnou sílu, která je pro toto dostatečná.

Uložení podpěry při jejím zatahování mimo dráhu vozíku bylo vyřešeno kluzným vedením ve vodících lištách z oteruvzdorného plastu firmy MURTFELDT, konkrétně se jedná o profil K 08B-1, primárně určený pro vedení válečkových řetězů, což zaručuje jeho dostatečnou odolnost proti opotřebení. [40] Tyto vodící lišty jsou uloženy přímo v rámu stojin a v nich je vsazen pohyblivý držák vložek, osazený oky pro zajištění čepem s okem pneumatického pohonu.

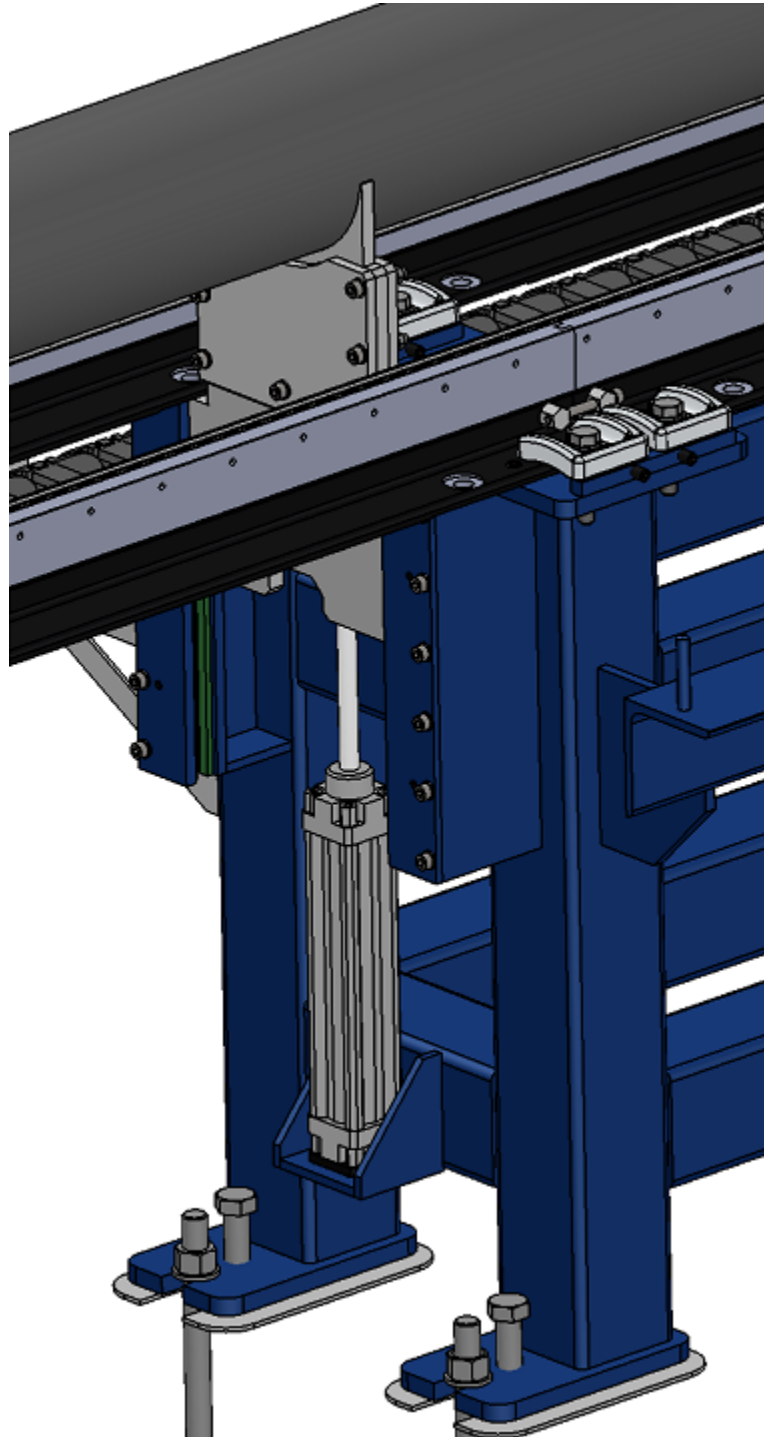


Obr. 7.12. Zásuvná podpora dráhy (v zasunutém stavu)

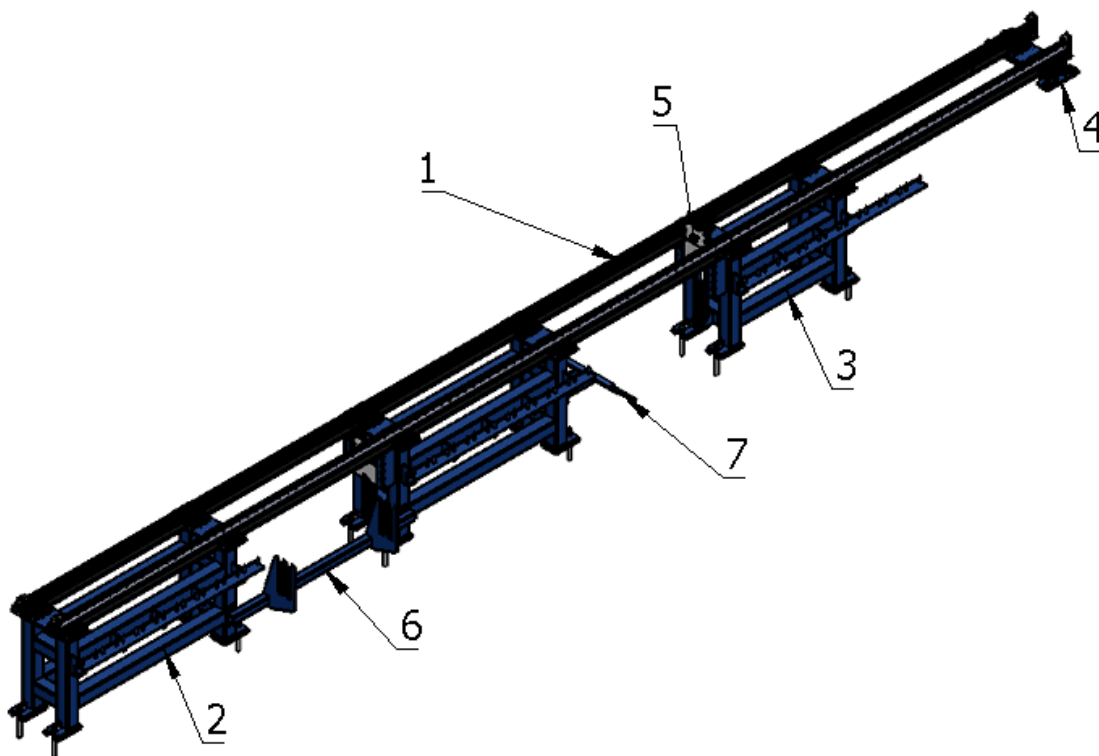
1 – lineární pneumatický válec, 2 – držák pro vkládání vložek a současně kluzné vedení,  
3 – výměnná vložka

Na základě výpočtu zatížení a na základě konstrukce podpěry byl vybrán pneumatický válec PNEUMAX 1319 o průměru pístu 50 mm a zdvihu 150 mm. Jelikož se jedná o poloautomatické zařízení, bude nutné pneumatický válec opatřit snímáním polohy pístu, které bude přímo propojeno s řídicím systémem stroje. [34] Se snímáním polohy pístu úzce souvisí i signál pro zasunutí pístnice, ten bude pocházet z vnitřního odměřování

polohy na servomotoru. V okamžiku, kdy dle souřadnice vozíku, řídicí systém zaregistruje dosažení předem stanovené vzdálenosti, vydá povel k zasunutí podpěry pro zajištění jeho bezpečného projetí. Podpěra zůstane zasunuta až do přejetí vozíku do výchozí polohy a zakládání dalšího polotovaru.



*Obr. 7.13. Zasouvací podpěra usazená v rámu stojiny se založenou trubkou*



Obr. 7.14. Kompletní dráha vozíku

1 – nosníky dráhy, 2 – svařenec stojiny, 3 – zkrácená stojina z důvodu připojení odsávání, 4 – snížená stojina pro montáž na rám základního stroje, 5 – zasouvací podpěra, 6 – držák záchytných roštů, 7 – držák vnitřních podpěr

## 7.7 Ostatní příslušenství stroje

Předchozí kapitoly pojednávaly o součástech stroje, které mají zásadní vliv na funkci navrhovaného rozšíření stroje Vanad KOMPAKT Laser, a zařízení by bez nich nemohlo v žádném případě pracovat. Pro správné fungování bylo ovšem nezbytné stroj doplnit o mnoho detailů, díky nimž bylo vyhověno požadavkům zadání, zvýšena přesnost, produktivita výroby a zlepšena ergonomie obsluhy.

### 7.7.1 Vnitřní podpěry

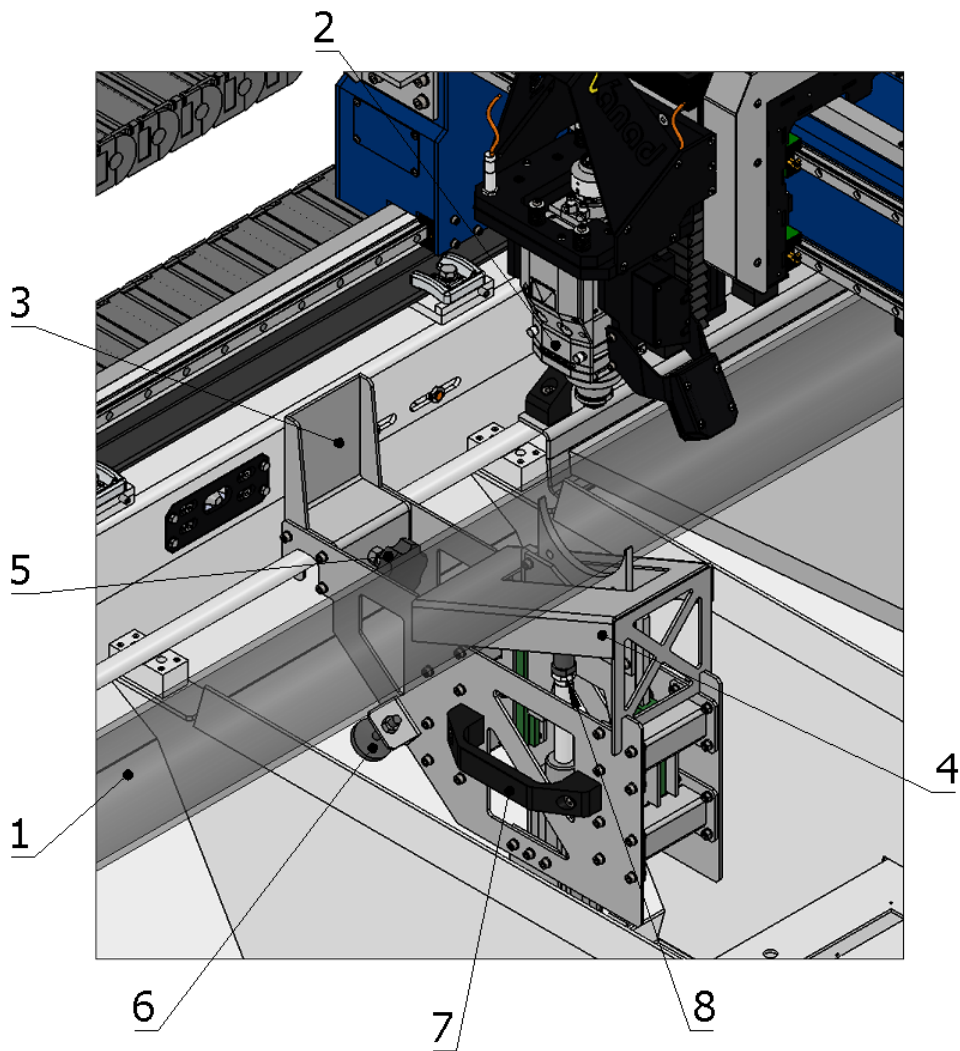
Nejsložitější a zároveň funkci stroje nejvíce ovlivňující jsou vnitřní podpěry umístěvané do vnitřního prostoru základního stroje. Ty jsou po vysunutí pálicího roštu pro výrobu plošných výpalků usazeny na jeho dráhu, zajištěny proti samovolnému uvolnění a případně vyrovnány pomocí stavěcích patek. V základu jsou součástí stroje dvě podpěry, které mohou být umístěny kdekoliv v délce vedení pálicího roštu, nebo



mohou být ponechány v odkládacím přípravku na stojině dráhy pojezdu. S ohledem na pohodlnou manipulaci s těmito podpěrami, byly konstruovány především se zaměřením na co nejnižší hmotnost.

Těleso podpěr je tvořeno rámem zhotoveným z výpalků a svařenců z hutních polotovarů. Princip podpěry je obdobný jako u podpěr dráhy pojezdu, kdy je pneumatickým válcem přisouván držák s vložkou příslušné velikosti. Protože jsou podpěry demontovatelné, je přívod stlačeného vzduchu řešen přes rychlospojky vyvedené z rámu základního stroje. Držák se pohybuje opět v kluzném vedení zhotoveného z otěruvzdorného plastu MURTFELDT. Vzhledem k tomu, že vnitřní podpěry lze využít pro pálení polotovarů o průměru jak v rozsahu do 134 mm, tak i nad 134 mm, pracují podpěry ve dvou režimech:

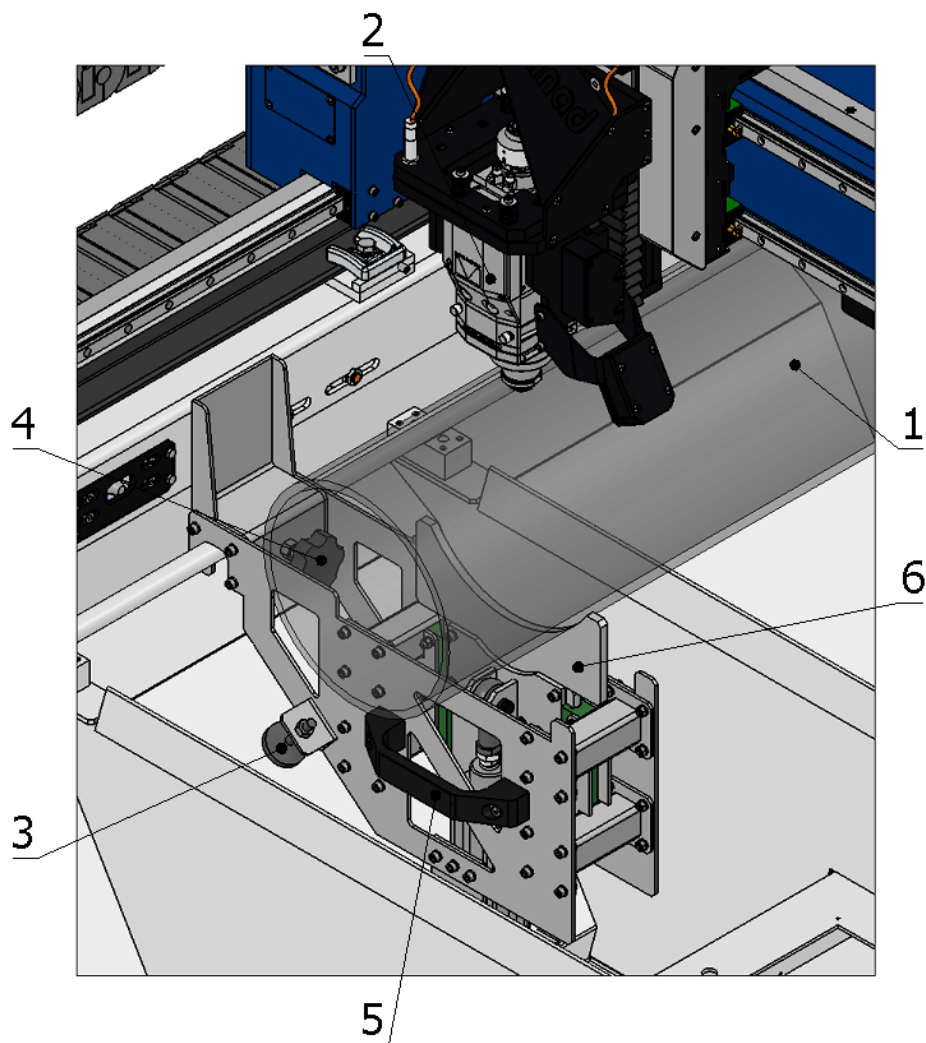
1. Polotovar o průměru vnější opsané kružnice < 134 mm: Podpěry pracují stejně, jako podpěry umístěné na dráze vozíku. Dle tabulky 1 jsou do držáku zakládány vložky odpovídající velikosti polotovaru. Při zavádění polotovaru skrz sklíčidlo jsou podpěry zasunuty kvůli nebezpečí kolize, po upnutí průchozího sklíčidla se vysunou, čímž zachytí polotovar. Výpalek po oddělení od základního polotovaru zůstane ležet v podpěrách, proto je vhodné, aby byly umístěny v páru. Zasunutím podpěr dojde k uvolnění výpalku, k tomu slouží doraz umístěvaný na podpěry dodatečně pouze pro tento režim pálení. Dorazem je výpalek naveden do prostoru, který je součástí podpěry a pojme několik výpalků, díky tomu není nutné po každém výpalku otevírat prostor stroje a odebrat hotový díl.



Obr. 7.15. Vnitřní podpěra pro polotovary do průměru 134 mm

1 – založený polotovar, 2 – laserová hlava, 3 – doraz pro odkládání delších výpalků,  
 4 – vedení výpalků do dorazu, 5 – zajišťovací matice proti posunutí podpěry, 6 – stavěcí  
 patky, 7 – madlo, 8 – mechanismus podpěry vycházející z obrázků 7.12. a 7.13

2. Polotovar o průměru vnější opsané kružnice > 134 mm: V režimu jsou podpěry neustále zasunuty, nutnost výměny vložek dle velikosti polotovaru ovšem zůstává. Polotovar a hotový výpalek je v tomto režimu vždy zakládán „kus za kus“, jelikož neexistuje možnost přisuvu polotovaru skrz průchozí sklíčidlo. Doraz pro vedení a odkládání polotovarů je v tomto případě vyjmut, kvůli větším rozměrům trubky. Z konstrukce podpěry v tomto režimu také vychází maximální rozměr zpracovatelného polotovaru, tím je profil o průměru vnější opsané kružnice 273 mm.



*Obr. 7.16. Vnitřní podpěra pro polotovary nad průměr 134 mm*

- 1 – založený polotovar, 2 – laserová hlava, 3 – stavěcí patky, 4 – zajišťovací matice proti posunutí podpěry, 5 – madlo, 6 – mechanismus podpěry vycházející z obrázků 7.12. a 7.13.*

Stejně jako pro podpěry do průměru vnější opsané kružnice 134 mm, tak i polotovary v rozsahu 134 – 273 mm lze rozdělit dle tohoto parametru do několika skupin, odpovídajícího navrženého rozměru podpěrné vložky, viz tabulka 2.

Tab. 2 Hutní polotovary od průměru vnější opsané kružnice 134 mm [39]  
(všechny rozměry v mm)

TR KR	PR 4HR		PR OBD				VLOŽKA
	vnější Ø	strana	vnější Ø	strana A	strana B	vnější Ø	
140	100	141,4	120	x	80	144,2	<b>143,9</b>
	105	148,5	140	x	40	145,6	
152	110	155,6	140	x	60	152,3	<b>155,1</b>
			120	x	100	156,2	
			140	x	70	156,5	
			150	x	50	158,1	
159	115	162,6	140	x	80	161,2	<b>161,0</b>
168	120	169,7	140	x	100	172,0	<b>169,9</b>
178	125	176,8	160	x	80	178,9	<b>180,2</b>
	130	183,8	150	x	100	180,3	
			160	x	90	183,6	
194	135	190,9	180	x	80	197,0	<b>195,0</b>
	140	198,0					
	145	205,1					
219	150	212,1	200	x	80	215,4	<b>216,4</b>
	155	219,2	180	x	120	216,3	
	160	226,3	200	x	100	223,6	
	165	233,3	200	x	120	233,2	
245	170	240,4					<b>244,3</b>
	175	247,5					
	180	254,6	200	x	150	250,0	<b>251,7</b>
			220	x	120	250,6	
	185	261,6					<b>261,6</b>
273	190	268,7	250	x	100	269,3	<b>270,3</b>

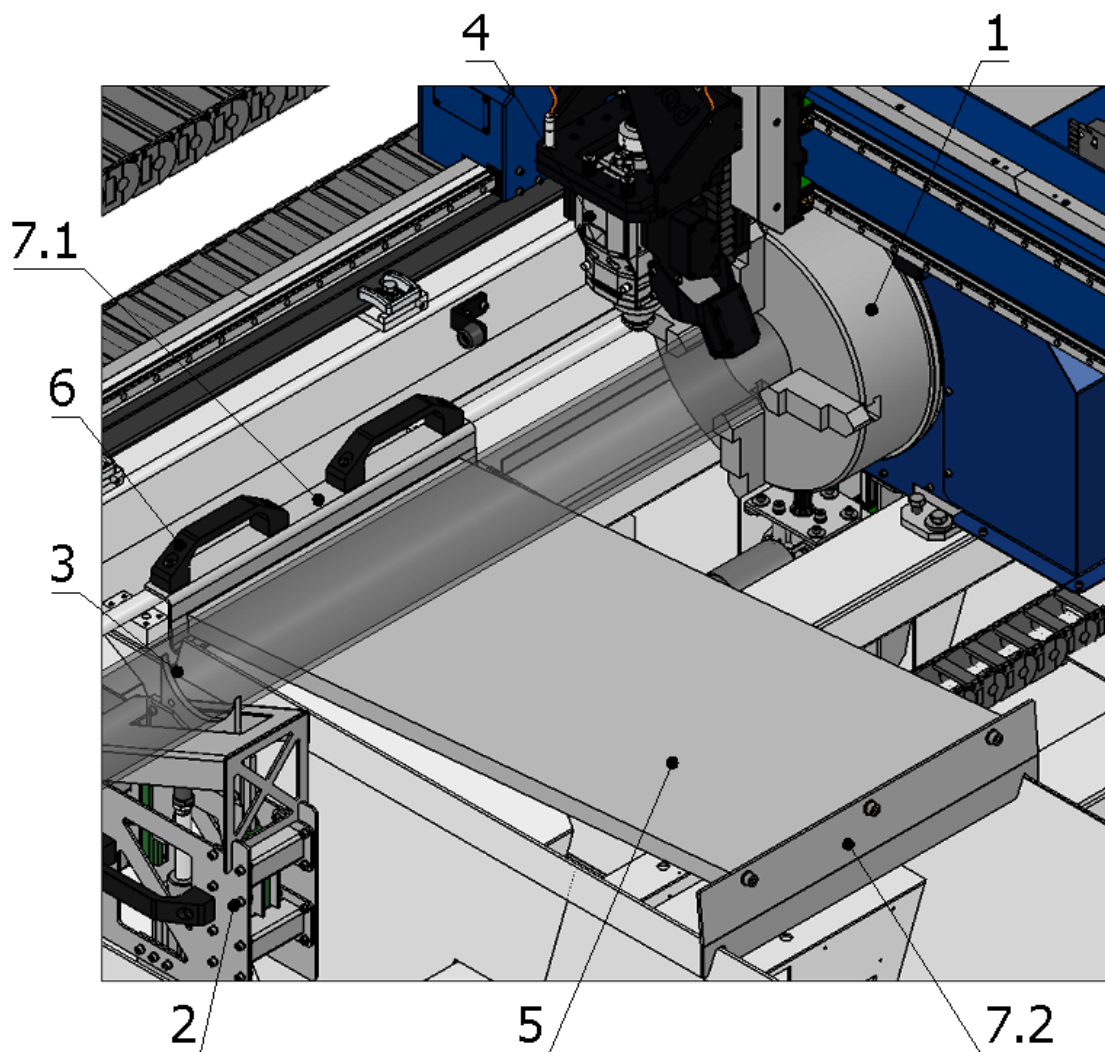
Protože při zpracování polotovarů větších rozměrů budou válce zasunuty a v případě menších rozměrů bude délka nejvýše 3000 mm (tj. polovina než na jakou byly dimenzovány pneumatické válce na dráze pojezdu), byla velikost pístu pneumatického válce zvolena totožná bez provedení příslušných výpočtů. Důvodem byla i využitelnost totožných prvků, jako jsou rozvody a řízení stlačeného vzduchu nebo montážní prvky válců. S ohledem na konstrukci podpěr byl zvolen pouze nižší zdvih – 100 mm.

### 7.7.2 Odkládací rošt

Oba výše zmíněné režimy mohou být rozděleny ještě na dvě varianty, těmi je pálení dlouhých výpalků odkládaných do „zásobníků“ na podpěrách, respektive vyjímaných z prostoru stroje před založením nového polotovaru, nebo pálení výpalků kratších, než je nejmenší možná vzdálenost mezi dvěma vnitřními podpěrami. V tomto případě by

bylo možné využít záchytná šuplata, která jsou součástí rámu stroje Vanad KOMPAKT Laser, hrozí však vzpříčení výpalků a zablokování šuplat. Pro předejití této situace byl stroj doplněn o záchytné rošty. Ty obsluha po vysunutí pálicího roštu a před započítím práce s rotátorem, vsadí na horní hranu komor v rámu základního stroje. Výpalky budou po oddělení od polotovaru zůstat na těchto roštech. Je možné mezi těmito rošty nechat i jednu komoru volnou, do které bude usazena podpěra a bude tak možné rozdělit na menší výpalky i delší polotovar.

Základem záchytného roštu je pozinkovaný pororošt o běžném rozměru 1000 x 500 x 30 mm, doplněný o plechové výpalky sloužící k vymezení polohy na hranách komor a madla pro snazší manipulaci. Rošt byl volen z důvodu nižší hmotnosti a navíc není překážkou odsávání, které má vývody v bocích komor. Plocha roštu je navíc mírně nakloněna, aby se výpalky nehromadily přímo v místě dopadu, ale měly snahu přepadávat ve směru sklonu. Díky tomu bude mírně zvýšena kapacita ložné plochy a navíc se budou výpalky snáze vyjímat.



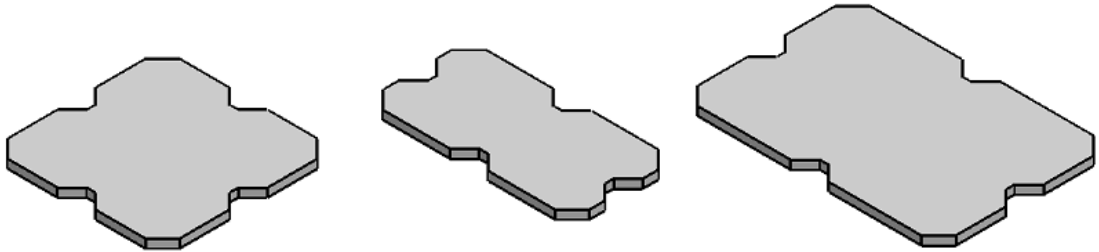
*Obr. 7.17. Vnitřní odkládací rošt*

*1 – průchozí sklíčidlo, 2 – vnitřní podpěra, 3 – polotovar, 4 – laserová hlava, 5 – pororošt 1000 x 500 x 30 (kvůli nárokům na výkon zjednodušen), 6 – madla, 7.1, 7.2 – opěrné plechy roštu pro usazení na hrany komor boxu*

### **7.7.3 Přestavění čelistí sklíčidel pro různé průřezy polotovarů**

Rozhodnutím o zpracovávání vedle kruhových a čtvercových profilů i profilů obdélníkových nastala nutnost vyřešit jejich upínání do sklíčidel stroje. Prvním krokem k řešení tohoto problému byla volba sklíčidel se samostatně stavitelnými čelistmi systémem wescott. Druhým krokem bylo zajištění opakovatelného a jednoduchého nastavení čelistí na požadovaný rozměr polotovaru. Při pohledu do tabulek 1 a 2 je zřejmé, že poměrů stran obdélníkových profilů je několik, v praxi nejčastější využívané jsou ovšem 2:1 a 3:2. Pro tyto poměry byl navržen jednoduchý přípravek, zhotovený

jako výpalek tvarem zřejmým z následujícího obrázku. Ten se upne do čelistí nastavených na kruhový nebo čtvercový profil a proto ho nejprve sevře jen jeden jejich pár a druhý zůstane volný, vzhledem k tvaru přípravku dojde automaticky k vystředění. Pár volných čelistí se následně dotáhne ručně, pomocí stavěcích šroubů systému wescott. Přípravek lze v tuto chvíli vyjmout a založit příslušný profil.



*Obr. 7.18. Přípravky pro nastavení čelistí. Poměry stran zleva 1:1, 2:1, 3:2*

Přestavení čelistí zpět na kruhový nebo čtvercový profil je obdobné, s rozdílem tvaru přípravku.

## **7.8 Krytování rotátoru**

Pro zajištění bezpečnosti obsluhy stroje i dalších pracovišť nebo k zamezení poškození samotného stroje bylo nutné navrhnout odpovídající krytování. Jeho úkolem je zabránit kontaktu s pohyblivými částmi stroje a zároveň zachytit případné odražené paprsky laseru. K vyloučení přímého kontaktu obsluhy s pohybujícími se částmi stroje by postačovalo použít například ochranné ploty, případně optickou závoru. Vzhledem k nutnosti zachytit i laserový paprsek, bylo nutné přistoupit k návrhu neprůhledného souvislého krytu, který ovšem bude snadno odnímatelný pro zajištění dostatku prostoru při obsluze stroje, jako je zakládání polotovaru nebo seřizování a servis rotátoru.

Konstrukčně nejjednodušším řešením by byl kryt s pevnou základnou a vyklápěcí horní částí. Vzhledem k zakládání polotovaru v délce 6 000 mm by to však znamenalo, že by tato odklápěcí část musela být ještě delší pro zajištění pohodlného přístupu ke stroji, navíc bez možnosti podpěry, protože ta by zavázela do prostoru obsluhy. Víko o takových rozměrech by bylo nutné dostatečně vyztužit a zpevnit, aby nedocházelo při manipulaci k prohýbání a kroucení. Tím by nepochybeně narostla hmotnost a opakovaná manipulace s takovým krytem by bylo velice náročná, případně by musel být osazen podpurný prvek, jako je pružinový pant nebo pomocná pístnice známá z vík

zavazadlových prostorů aut. Dalším důvodem, proč bylo od této varianty upuštěno, je požadavek modularity konstrukce pro případ využití stroje ve variantě pro polotovary o délce 3 000 mm.

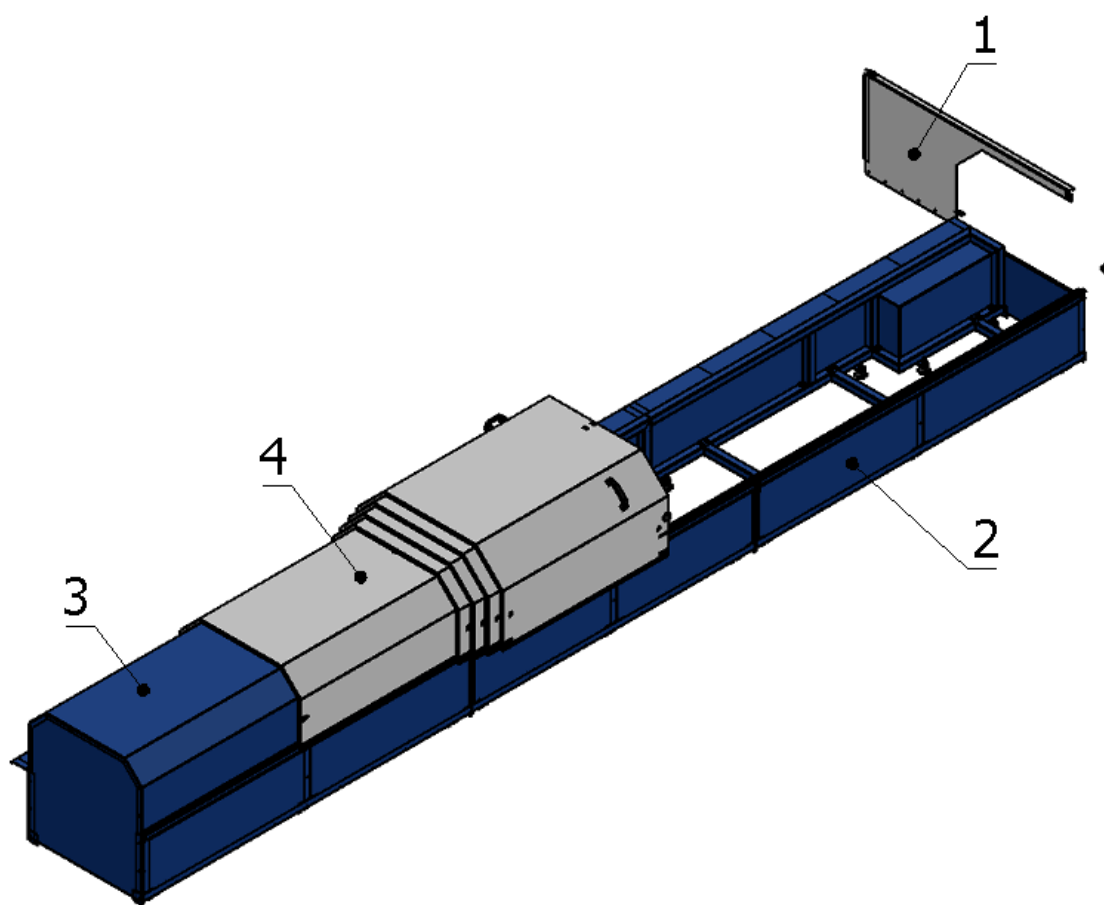
Další možností, jak vyřešit krytování, je teleskopicky zasouvaný kryt, opět s pevnou základnou. Tato varianta je u CNC strojů často používaná a má mnoho výhod. Mezi ně například patří jednoduchost pro manipulaci nebo malý zástavbový prostor. Další velkou výhodou při modulární koncepci stroje je možnost snadného dosažení požadované délky posunutím dorazů jednotlivých dílů, respektive vyjmutím některého z dílů při větším zkracování. Ve stejném duchu byla navržena i spodní pevná část krytu, kdy stačí jeden modul vyjmout a krytování má délku odpovídající délce stroje pro zpracování polotovaru v délce 3 000 mm.

Spodní část krytu je ze čtvercových profilů svařených do větších montážních celků, které jsou následně sešroubovány k sobě. Součástí všech přílozek jsou stavěcí šrouby pro možnost vyrovnání nepřesností způsobených svařováním. Celý tento rám je usazen na stavitelných nohách, které jsou po konečném ustavení připraveny pro svrtání s podlahou. Opláštění rámu je řešeno plechovými deskami svrtanými s profily rámu. Na usazený spodní rám je přimontována kolejnice lineárního rolnového vedení z jedné strany. Ze strany druhé je připravena pouze deska pro volný pojezd rolen. Toto uložení bylo zvoleno pro zamezení přičení jednotlivých krytů v případě použití kolejnice na obou stranách, které by mohlo vzniknout vlivem nepřesností. Součástí pohyblivých krytů, jsou z jedné strany vozíky odpovídající kolejnici na pevné spodní části a z druhé strany rolny vhodné pro pohyb po rovné ploše. [41] Součástí každého krytu jsou dorazy, které zajistí vymezení krytu ve vysunutém i zasunutém stavu. Kryt dosedající na stěnu základního stroje je navíc opatřen madly pro snadné posouvání, západkou, která zajistí zavřený kryt a gumovým dorazem na celé dosedací ploše.

Krytování základního stroje je řešeno plastovými roletami, které by v zadní stěně stroje kolidovaly s dráhou rotátoru i pojízdovým sklíčidlem. Z toho důvodu bylo nutno tuto část upravit. Roleta byla zkrácena a do výšky krytování rotátoru vsazen do původního boxu plech s dosedací plochou rolety a průchodem dostatečným pro průjezd vozíku. Součástí tohoto nového čela jsou i čidla pro kontrolu zavření rolety a zavření krytu rotátoru před spuštěním stroje.

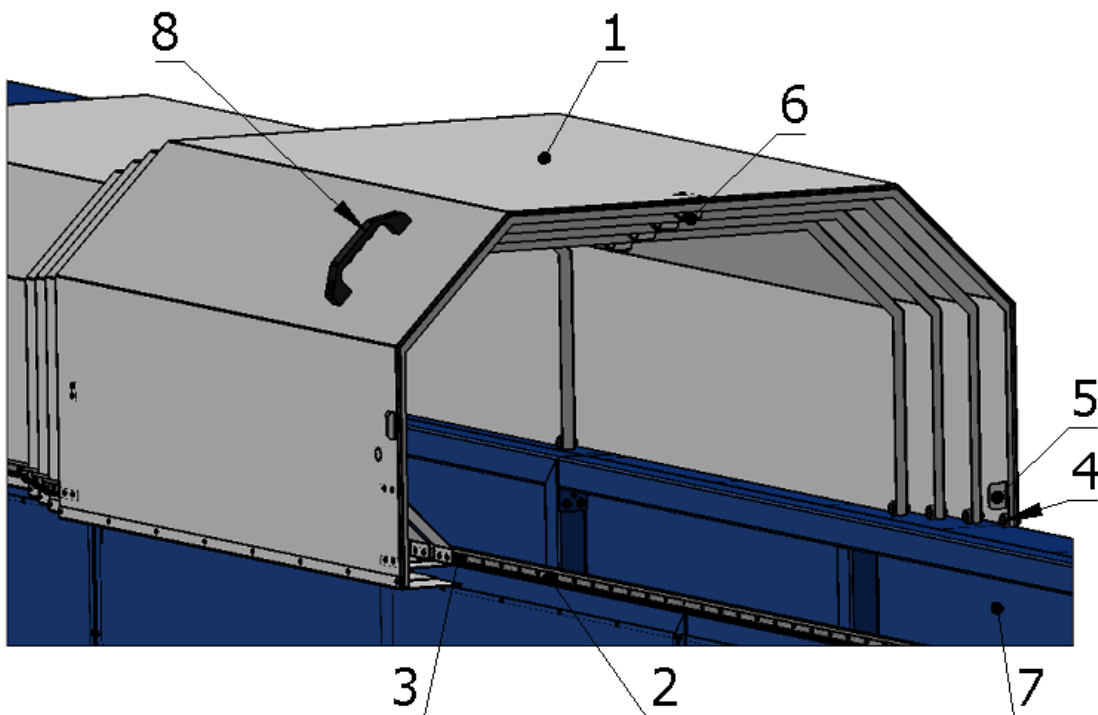


Celé krytování je pohodlně namontovatelné až po usazení dráhy rotátoru a obou sklíčidel.



*Obr. 7.19. Celkový pohled na krytování rotátoru*

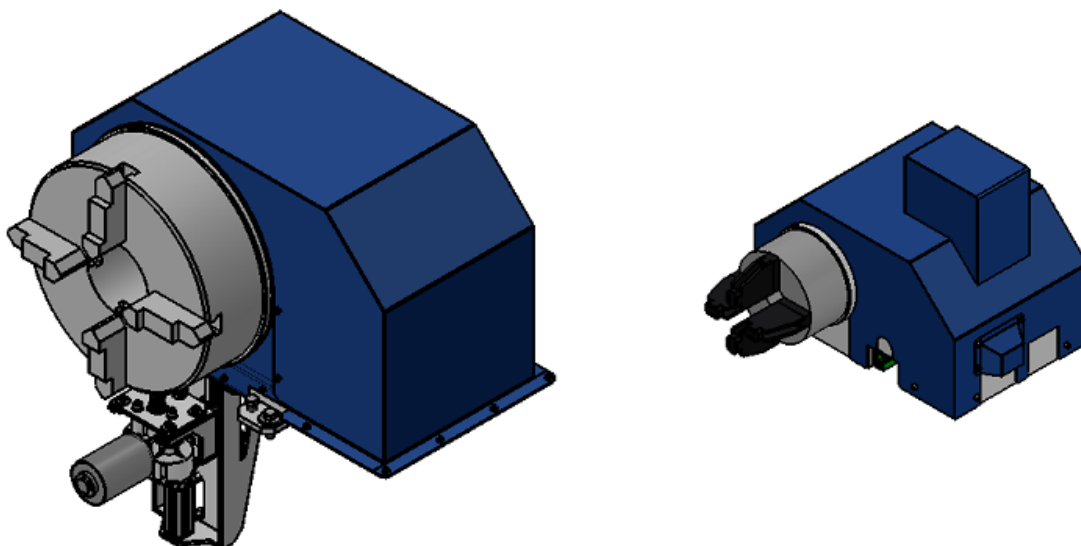
*1 – čelo nahrazující původní roletu, 2 – spodní pevná část krytování, 3 – koncový pevný tubus, 4 – pohyblivé tubusy*



*Obr. 7.20. Detail pohyblivého tubusu*

*1 – plášť tubusu, 2 – kolejnice lineárního vedení, 3 – vozík lineárního vedení,  
4 – podpěrná rolka, 5 – protikus kontroly uzavření krytu, 6 – doraz krytů, 7 – spodní  
pevná část krytování, 8 – madlo*

Krytem proti vnikání nečistot a zabránění zranění obsluhy nebo poškození zařízení jsou opatřena i obě sestavy sklíčidel.



*Obr. 7.21. Krytování obou sklíčidel*

### **7.8.1 Odsávání zplodin z pálení**

Poslední prvek celého stroje, který je nutné zmínit, je řešení odsávání. Konkurenční zařízení, která jsou primárně určena pro pálení do trubek, mají většinou řešeno odsávání skrz trubku až do pojízdného sklíčidla. Toto řešení je ovšem i přes znatelně lepší výsledky, složité a nákladné, proto bylo, vzhledem k tomu, že navrhovaný stroj není primárně určen pro pálení trubek, ale jedná se pouze o rozšíření laseru na plechy, použito původní odsávání tohoto stroje. V případě, že by výkon stávajícího odsávání byl nedostačující, nabízí se dvě řešení. První z nich je navýšení výkonu odsávací jednotky bez žádných konstrukčních úprav kanálů. Druhou variantou je přidání stavitelného tubusu, napojeného na původní odsávací kanál, který bude při použití rotátoru nasměrován k místu řezu. Těmito opatřeními by mělo být zajištěno dostatečné odsátí všech zplodin a nečistot a dosažení řezu v odpovídající kvalitě.

## **8 Zhodnocení dosažených výsledků**

### **8.1 Předběžná kalkulace ceny stroje**

Každé zařízení je konstruováno nejen s ohledem na funkčnost a kvalitu provedení, ale i s přihlédnutím k ceně. Vzhledem k široké nabídce dodavatelů, technologií a materiálů je mnoho možností, jak dosáhnout požadovaného výsledku a proto je vhodné věnovat velkou pozornost poměru mezi vlastnostmi stroje a jeho cenou. Jelikož zařízení

navržené v rámci této práce je prototyp, je složité jeho cenu přesně určit. Pro alespoň přibližnou představu o ceně byla vytvořena předběžná kalkulace na základě ceny nakupovaných dílů a polotovarů. Soupis jednotlivých naceněných položek je v následující tabulce.

*Tab. 3 Cena nakupovaných součástí*

Název položky	Množství [ks]	Cena celkem [Kč]
Skřídlo 4605-160	1	19 770
Skřídlo 4605-400	1	68 569
Pneuprvky	5	15 563
Elektropohony	7	1 488/neuvedeno
Hutní materiál	-	51 997
Spojovací materiál	-	2 000
Lineární vedení a převody	-	41 008
Ložiska ČSN 02 4630 - 6040	2	8 284
Ostatní	-	24 652
<b>Celkem</b>		<b>233 331</b>

Jelikož firma Vanad 2000, a.s. patří k velkým odběratelům firmy B&R, nejsou účtované ceny určovány dle běžných ceníků. Jedná se tedy z pohledu obou firem o citlivou informaci, kterou není možné uvádět ve veřejně dostupném dokumentu, jako je diplomová práce. Z tohoto důvodu není tabulka s přehledem cen kompletní a slouží pouze jako orientační.

Podstatným dílem se na ceně stroje podepíše i práce, jejíž rozsah je vzhledem k prvovýrobě stroje obtížné odhadnout. Navíc se do této položky promítne práce z několika odvětví – výroba výpalků a jejich hranění, obrábění svařenců, lakování a náklady na lakování a v neposlední řadě montáž, která bude při stavbě prototypu značně zdoluhavá. Na ceně práce bude mít i podíl poměr mezi vlastní výrobní kapacitou a výrobou zadávanou do kooperace.

Další položkou, která již nespadá do rozsahu této diplomové práce, je veškerá potřebná elektroinstalace, řídicí jednotky pohonů jak elektrických tak pneumatických a úprava programu v ovládacím panelu stroje.

S přihlédnutím ke všem více zmíněným faktům je zřejmé, že stanovit přesnou cenu stroje by bylo v rámci diplomové práce velice náročné a rozsahem by odpovídalo spíše vlastní práci, pravděpodobně s nutností zamezení zveřejnění. Dle zjištěných dostupných

cen lze ovšem předběžně odhadnout, že by se výsledná cena mohla pohybovat mírně přes půl milionu korunu.

## **8.2 Porovnání dosažených parametrů s požadavky zadání**

V průběhu práce byly v závislosti na průzkumu trhu, dostupnosti součástí, ceně nebo technologičnosti konstrukce několikrát měněny parametry stroje. V této kapitole budou proto porovnány dosažené výsledky s původním zadáním.

Hlavním parametrem tohoto stroje je rozměr zpracovaného polotovaru. Původní požadovaný průměr opsané kružnice byl 30 až 300 milimetrů. Dolní hranice tohoto intervalu byla zachována, horní hranice byla pro případ polotovarů delších než 2 500 mm snížena na 134 mm, pro případ polotovarů do délky 2 500 mm na 273 mm. Maximální délka omezená průměrem 134 mm je pak 6 000 mm. Pokud by zákazník nevyžadoval takto dlouhý polotovar, je možné celý stroj zkrátit na poloviční délku.

Dále původní zadání připouštělo pouze manuální režim provozu, případně neznamenovalo by to zásadní nárůst ceny a složitosti stroje, tak možnost i automatického provozu. Díky vložení mechanismu pro ovládání čelistí průchozího sklíčidla bylo dosaženo možnosti provozu, který je možné nazvat poloautomatický. Obsluha založí do stroje polotovar ručně, navede jej manuálním ovládáním skrz průchozí sklíčidlo do prostoru laseru, kterému určí počátek polotovaru. Následně je spuštěn automatický režim, kdy stroj již pracuje samostatně, dokud nezpracuje veškerý polotovar, nebo nedokončí pálicí plán.

Firma Vanad pro zjednodušení konstrukce požadovala zachování totožných pohonů, jaké jsou použity na původním stroji Vanad KOMPAKT Laser. Tento bod však záleží především na hmotnosti a pasivních odporech v navrhované sestavě. Vzhledem k vysoké setrvačnosti již samotného polotovaru, doplněné o velké průchozí sklíčidlo, bylo nutné všechny pohony předimenzovat. Díky stavebnicovému řešení pohonů firmy B&R, ovšem pouze jeden změnil zástavbové rozměry a přípojovací přírubu.

Samozřejmostí, nezmiňovanou v zadání, byla snaha o minimální zásah do původního stroje. Tomuto požadavku bylo plně vyhověno a pro montáž navrženého rozšíření je nutné připravit pouze několik závitových děr v rámu základního stroje. Veškeré další součásti se montují samostatně. Jediný významný zásah bude tedy do elektrorozvaděče a do řídicího systému.

## 9 Závěr

Cílem této diplomové práce byl kompletní konstrukční návrh rozšíření pro pálení do trubek na CNC stroji KOMPAKT Laser firmy Vanad 2000, a.s.. Součástí návrhu je i průzkum konkurenčních řešení, kompletní 3D dokumentace a výrobní výkresy jednotlivých dílčích sestav.

Celá práce započala ucelením konkrétních požadavků firmy Vanad 2000, a.s., představením stroje KOMPAKT Laser a přiblížením technologie pálení laserem. Následovala rešerše současných konkurenčních řešení, ta obsahuje tři nejzajímavější stroje, které svojí konstrukcí návrh inspirovaly. Součástí této části byla i patentová rešerše, která návrh naopak zásadně omezila.

Z takto získaných informací byly vytvořeny dvě varianty možného provedení stroje a tyto podrobně popsány. Na jejich základě byla po konzultaci s vedoucím oddělení konstrukce firmy Vanad 2000, a.s. jedna vybrána, mírně upravená a doplněná a následně podrobně rozpracována.

Prvním krokem byl výběr vhodných sklíčidel, vzhledem k poměrně přesným požadavkům na průchozí sklíčidlo bylo nejprve vybráno to, konkrétně 4605-400 firmy BISON-BIAL S.A.. Druhé sklíčidlo, téhož výrobce, vychází z velikosti průchozího otvoru, tentokrát 4605-160. Následoval návrh jednotlivých vřeteníků.

Vřeteník průchozího sklíčidla je pevně namontován v rámu původního stroje. Skládá se ze svařovaného rámu, trubky, na které je namontované samotné sklíčidlo a sestavy pohonu rotace. Tato sestava je navíc doplněna o mechanismu zajišťující ovládání čelistí sklíčidla, který pohání stěračový motorek polohovaný pneumatickým válcem.

Neprůchozí vřeteník, v tomto případě zajišťující především spolehlivý a přesný přísuv materiálu je opět založen na svařovaném rámu. Kvůli zamezení zkrutu slabších polotovarů, je i zde umístěn pohon rotace. Dále lze nalézneme pohon pojezdu, respektive přísunu polotovaru s vozíky lineárního vedení.

Po kompletním návrhu všech rotačních částí, rozhodnutí o maximálních velikostech polotovarů byl proveden výpočet určující potřebné pohonné jednotky. Ty byly dle požadavků vybrány z katalogu firmy B&R.

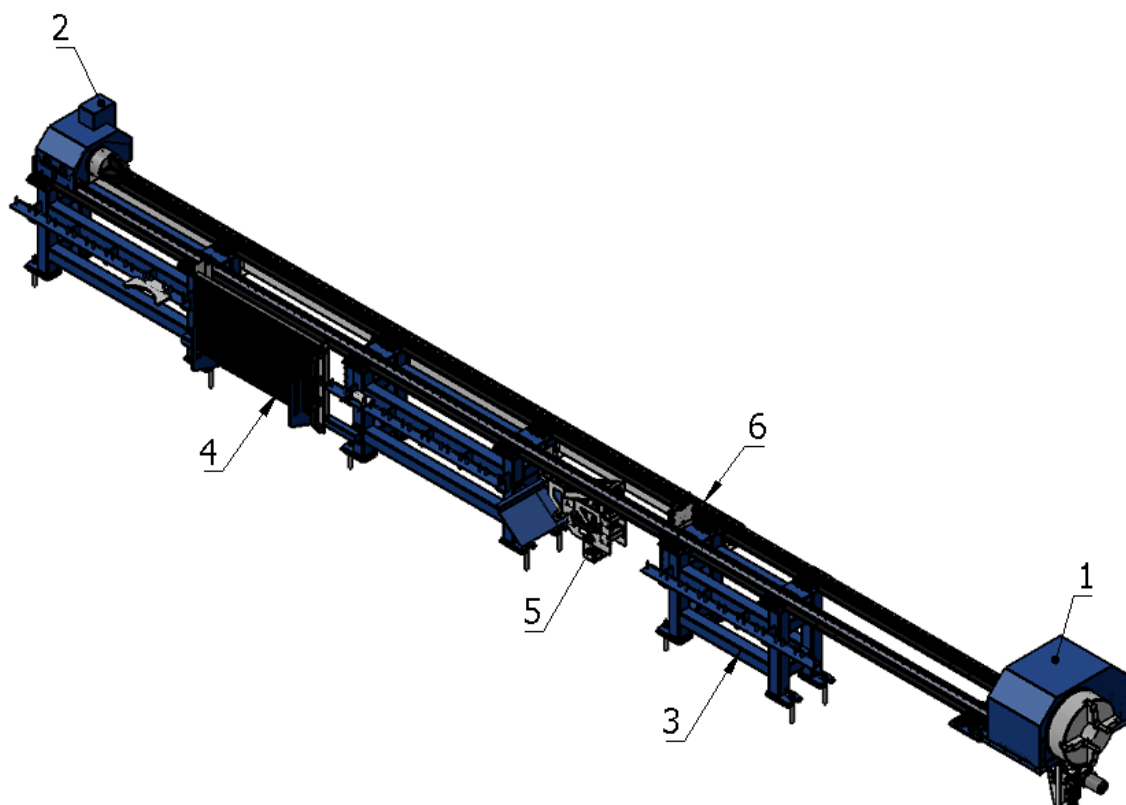
Oba tyto vřeteníky jsou v celkové sestavě umístěny souose, s tím, že pojízdný je usazen na dráze umožňující jeho pohyb. Dráha je částečně ukotvena do základního stroje a částečně k podlaze vlastními stojinami. Ty se skládají ze svařovaných rámu opatřených patkami, právě pro přichycení k podlaze a pro montáž lineárního vedení pojízdného vřeteníku. Dráhu lze při výrobě jednoduše zkrátit vynecháním jednoho modulu, čímž je umožněna menší varianta pro polotovary do délky pouze 3 000 mm. Stojiny navíc obsahují i zasouvací podpěry, které mají za úkol zamezit průhybu delších polotovarů. Možnost zasouvání je zde z důvodu pohybu vřeteníku po dráze, kdy by docházelo ke vzájemné kolizi. Podpěry jsou uloženy v kluzném vedení a jejich zasouvání poháněno pneumatickým válcem.

Obdobné podpěry, ovšem snadno demontovatelné, jsou i součástí příslušenství stroje. Umísťují se do vnitřního prostoru stroje, kde mají za úkol zajišťovat proti průhybu delší výpalky. Požadavek na jejich demontovatelnost vyplývá z nutnosti vysunutí pálícího roštu základního stroje, aby bylo vůbec možné zasunout do prostoru laseru polotovar skrz průchozí sklíčidlo. V případě nevyužití je pro přenosné podpěry připravené odkládací místo na jedné ze stojin dráhy.

Dalším příslušenstvím stroje je demontovatelný rošt, který zabraňuje propadávání výpalků do záchytných šuplat pro pálení do plechů. Důvodem je nebezpečí jejich vzpříčení a zablokování šuplat. Součástí stojin je odkládací místo i pro tyto rošty.

Celé rozšíření pro pálení do trubek je na závěr kompletně zakrytováno z důvodu možnosti odrazu laserového paprsku a zamezení kontaktu obsluhy s pohyblivými částmi stroje. Stejně tak jako dráha pojízdného vřeteníku je i krytování přizpůsobeno úpravě na kratší variantu. Odsávání zplodin z prostoru původního i rozšířeného prostoru je v prvotní fázi řešeno původního odsavačem, až po zkušebním provozu bude rozhodnuto, je-li potřeba zvýšit jeho výkon.

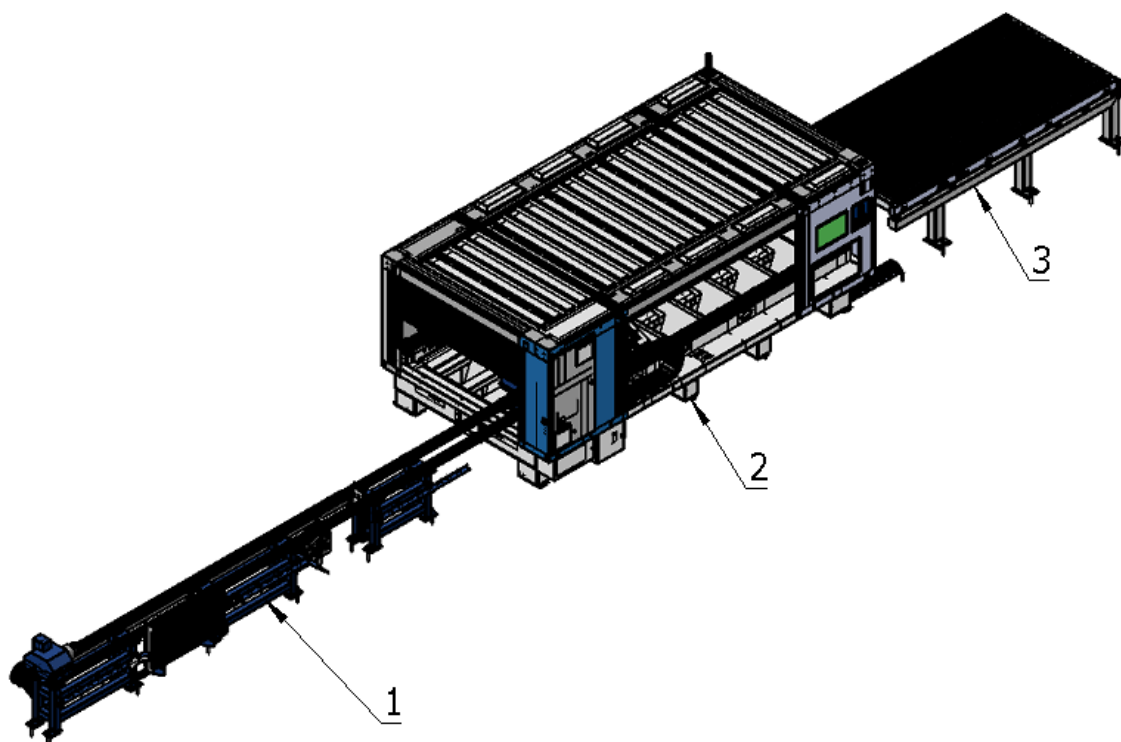
Na závěr práce byla vytvořená přibližná cenová kalkulace, ve které bohužel nelze zveřejnit ceny všech položek, s ohledem na citlivost těchto informací před konkurencí. Odhadem je však možno říct, že cena stroje přesáhne půl milionu korun.



*Obr. 9.1. Kompletní sestava samotného zařízení pro pálení do trubek*

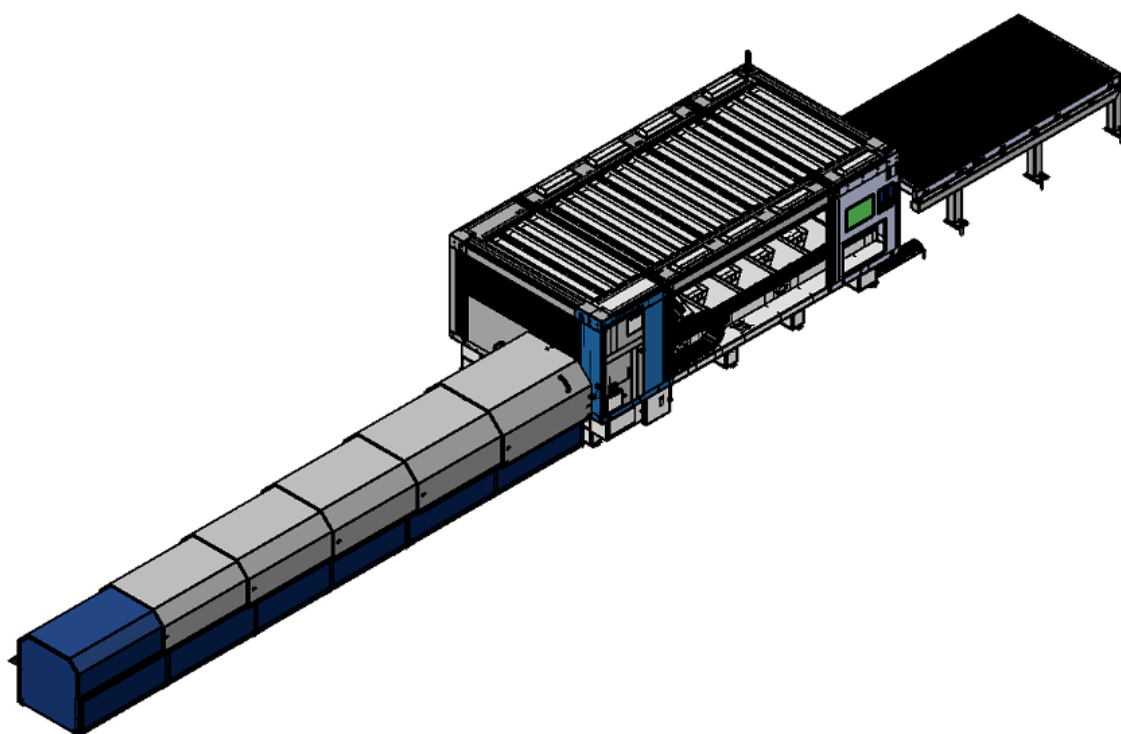
- 1 – vřeteník průchozího sklíčidla, 2 – pojízdný vřeteník neprůchozího sklíčidla,  
 3 – dráha pojízdného vřeteníku, 4 – záchytný rošt v odkládacím rámu, 5 – vnitřní  
 podpěra v odkládacím rámu, 6 – vedení energetického žlabu a samotný žlab*





*Obr. 9.2. Kompletní sestava zařízení připojená ke stroji KOMPAKT Laser (bez krytování)*

*1 – navrhované zařízení, 2 – Vanad KOMPAKT Laser, 3 – vysunutý pálicí stůl*



*Obr. 9.3. Tatáž sestava doplněná o bezpečnosti krytování*

## Použitá literatura

- [1.] **Jersák, Jan.** Dokončovací a nekonvenční technologie obrábění. [Online] 9. květen 2016. [Citace: 11. únor 2018.] [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip).
- [2.] Vláknové lasery. *MediCom*. [Online] [Citace: 3. leden 2018.] [http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove.aplikace.laser.laser\\_fibre](http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove.aplikace.laser.laser_fibre).
- [3.] Princip vláknového - FIBER LASERU. *Leonardo Technology*. [Online] [Citace: 3. leden 2018.] <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-vlaknoveho-fiber-laseru>.
- [4.] Autogenní, plazmové a laserové CNC řezací stroje. *Vanad 2000 a.s.* [Online] [Citace: 3. leden 2018.] [http://www.vanad.cz/download.php?group=stranky3\\_soubory&id=126](http://www.vanad.cz/download.php?group=stranky3_soubory&id=126).
- [5.] dokumentace poskytnutá firmou Vanad 2000 a.s. pro účel diplomové práce. 2018.
- [6.] Stroje pro laserové řezání trubek. *Trumpf GmbH & Co.* [Online] 2018. [Citace: 5. leden 2018.] [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/produkty/stroje-systemy/stroje-pro-laserove-rezani-trubek/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/stroje-pro-laserove-rezani-trubek/).
- [7.] Metal sheet & tube cutting machine. *HSG Laser*. [Online] 2012. [Citace: 10. leden 2018.] <http://www.hsglaser.com/product/category/23>.
- [8.] LaserTube 5. *BLM GROUP*. [Online] 2018. [Citace: 10. leden 2018.] <http://www.blmgroup.com/en/laser-sheet-metal/l5>.
- [9.] European patent office. [Online] [Citace: 20. leden 2018.] <http://www.epo.org/index.html>.
- [10.] Google patents. [Online] [Citace: 20. leden 2018.] [www.patents.google.com](http://www.patents.google.com).
- [11.] **Linder, Bernd a Popp, Torsten.** *Means for supporting workpieces, a workpiece support and a mechanical arrangement for processing workpieces.* DE102016104107A1 7. září 2017.
- [12.] **Dilger, Werner a Karrasch, Ivo.** *Machine assembly for machining rod-shaped workpieces with a device for workpiece support.* EP2017023A1 21. leden 2009.

- [13.] **Boettcher, Christian a Dilger, Werner.** *Clamping means for clamping a rod-like workpiece and the machine tool so that.* DE102012209077B4 12. prosinec 2013.
- [14.] **Linder, Bernd, Popp, Torsten a Gaiser, Bernd.** *Positioning device for positioning workpieces, machine tool with such a positioning device, method for positioning workpieces.* EP2829339B1 28. leden 2015.
- [15.] —. *Clamping device for positioning workpieces, machine tool with such a device, method for positioning workpieces by means of such a clamping device.* EP2826591A1 21. leden 2015.
- [16.] **Keel, Urs, a další, a další.** *Machine for laser processing either flat or cylindrical workpieces ; Method of customising such machine.* EP2377639B1 19. říjen 2018.
- [17.] Sheet/plate cutting capacity. *DMS Laser Profiles Ltd.* [Online] 2017. [Citace: 12. leden 2018.] <https://www.dmslaserprofiles.co.uk/services/laser-cutting/sheet-plate-cutting/>.
- [18.] Power chucks. *Factory of Tooling and Chucks BISON-BIAL S.A.* [Online] [Citace: 12. leden 2018.] <http://www.bison-bial.com/power-chucks-and-hydraulic-cylinders/power-chucks>.
- [19.] HG Series – Heavy Load Ball Type Linear Guideway. *HIWIN Corporation.* [Online] 2017. [Citace: 15. leden 2018.] <http://motioncontrolsystems.hiwin.com/category/hg-series-heavy-load-ball-type-linear-guideway>.
- [20.] **Wilson, Tim.** Putting on the ritz. *Shop Metalworking Technology.* [Online] 15. říjen 2015. [Citace: 15. leden 2018.] <http://shopmetaltech.com/fabricating-technology/fabricating/putting-on-the-ritz.html>.
- [21.] Tube Laser. *Hutchinson Engineering.* [Online] 2018. [Citace: 20. leden 2018.] <http://www.hutchinson-engineering.co.uk/capabilities/laser-technologies/tube-laser>.
- [22.] Sklíčidla silová s ovládáním strojním. [Online] 2015. [Citace: 27. únor 2018.] <http://www.zjp.cz/bison-2015-2-cz/f1700>.
- [23.] Cenová nabídka NV-5493/2017. Zábřeh : ZJP, s.r.o., 1. březen 2018.

- [24.] Special Chucks. [Online] Bison-Bial S.A., 2018. [Citace: 27. únor 2018.] <http://www.bison-bial.com/power-chucks-and-hydraulic-cylinders/power-chucks/special-chucks/26351>.
- [25.] Sklíčidla a lícní desky s ručním ovládním. [Online] 2014. [Citace: 27. únor 2018.] <http://www.zjp.cz/bison-2014-1-cz/f1699>.
- [26.] Cenová nabídka NV-5807/2017. Zábřeh : ZJP, s.r.o., 19. březen 2018.
- [27.] Combined Chucks. *Factory of Tooling and Chucks BISON-BIAL S.A.* [Online] 2018. [Citace: 27. únor 2018.] <http://www.bison-bial.com/lathe-chucks/4605-400>.
- [28.] Ozubené kolo bez náboje s přímým ozubením. [Online] Haberkorn, s.r.o., 2018. [Citace: 25. březen 2018.] <https://eshop.haberkorn.cz/index.php?cl=details&anid=36140001E1&pgNr=1>.
- [29.] 8G premium planetary gearbox. [Online] B&R, 18. duben 2017. [Citace: 5. duben 2018.] <https://www.br-automation.com/cs/produkty/motion-control/8g-premium-planetary-gearbox/planetary-gearboxes-with-output-flange-8gf/8gf60-090hh032klmm/>.
- [30.] 8LS synchronous motors. [Online] B&R, 18. duben 2017. [Citace: 5. duben 2018.] <https://www.br-automation.com/cs/produkty/motion-control/8ls-synchronous-motors/cooling-type-a/size-3/8lsa35ee060ffgg-3/>.
- [31.] Metallic seals for bearings NILOS-RINGS. [Online] duben 2007. [Citace: 8. duben 2018.] <https://www.nilos-ring.com/mstream.ashx?g=111327&a=2&ts=636722882210718954&s=&r=-1&id=139610>.
- [32.] Řada HG/QH. [Online] leden 2018. [Citace: 1. květen 2018.] <https://www.hiwin.cz/download/f15e7f7288ce2f9b68bdea6ad92df5e5>.
- [33.] Elektromotory s vestavěnou převodovkou točné. [Online] 4. září 2003. [Citace: 1. květen 2018.] <http://www.aps-svet.cz/index.php?menu=14>.
- [34.] Pneumatické válce. [Online] [Citace: 1. květen 2018.] [http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu\\_cat04.pdf](http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat04.pdf).

- [35.] **Novotný, František.** Robotika. [Online] 2016. [Citace: 3. červen 2018.]  
<http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ZR-2016.pdf>.
- [36.] SKF Bearing Calculator. [Online] 2018. [Citace: 5. červen 2018.]  
<http://webtools3.skf.com/BearingCalc/home.action>.
- [37.] Součinitel smykového tření. [Online] 26. červen 2016. [Citace: 6. červen 2018.]  
<http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/smykove-treni.php>.
- [38.] Standard Machined Guide Rails. [Online] srpen 2017. [Citace: 11. květen 2018.]  
[http://www.monteferro.it/wp-content/uploads/2015/08/Monteferro\\_Standard\\_Machined\\_Guiderrails.pdf](http://www.monteferro.it/wp-content/uploads/2015/08/Monteferro_Standard_Machined_Guiderrails.pdf).
- [39.] Trubky a jákly. [Online] 2017. [Citace: 12. květen 2018.]  
<https://online.ferona.cz/vyhledavani/315>.
- [40.] Typ K. [Online] [Citace: 14. květen 2018.]  
<https://www.murtfeldt.cz/produkty/vedeni-retezu-remenu-a-kluzne-profilu/vedeni-pro-valeckove-retezy/typ-k/>.
- [41.] Lineární vedení. [Online] [Citace: 21. květen 2018.]  
<http://www.matis.cz/cs/kategorie/linearni-vedeni>.

## Přílohy

- CD
  - Zpráva diplomové práce
  - CAD model sestavy
  - Výkresová dokumentace
- Výkresová dokumentace
  - **1-KSA-VST2-00-01** ROTÁTOR PRO POLOTOVARY DO PRŮMĚRU 134 mm
  - **1-KSA-VST2-00-02** ROTÁTOR PRO POLOTOVARY NAD PRŮMĚR 134 mm
  - **3-KSA-VST2-01-01** TRUBKA PRŮCHOZÍHO VŘETENE – POLOTOVAR
  - **3-KSA-VST2-01-02** PŘÍRUBA PRŮCHOZÍHO VŘETENE – POLOTOVAR
  - **3-KSA-VST2-01-03** VNITŘNÍ NÁKRUŽEK VŘETENE – POLOTOVAR
  - **1-KSA-VST2-01-04** PRŮCHOZÍ VŘETENO – OBROBENÝ SVAŘENEC
  - **3-KSA-VST2-01-05** PASTOREK PRŮCHOZÍHO VŘETENE
  - **2-KSA-VST2-01-06** PRŮCHOZÍ VŘETENO – KOMPLET
  - **1-KSA-VST2-01-07** PRŮCHOZÍ VŘETENO
  - **2-KSA-VST2-02-01** SESTAVA DRÁHY
  - **1-KSA-VST2-03-01** POJÍZDNÝ VŘETENÍK
  - **3-KSA-VST2-04-01** VNITŘNÍ ODKLÁDACÍ ROŠT
  - **2-KSA-VST2-04-02** VNITŘNÍ PODPĚRA – VERZE DO 134 mm
  - **2-KSA-VST2-04-03** VNITŘNÍ PODPĚRA – VERZE NAD 134 mm
  - **1-KSA-VST2-05-01** KRYTOVÁNÍ KOMPLET