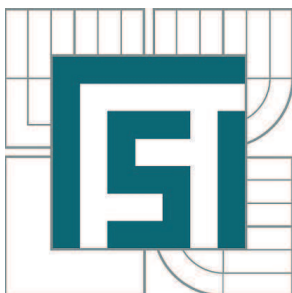


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

AUTOMATIZACE PRACOVIŠTĚ PRO SVAŘOVÁNÍ LASEREM

AUTOMATION OF A WORKPLACE FOR LASER WELDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ ELGER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Elger

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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

Automatizace pracoviště pro svařování laserem

v anglickém jazyce:

Automation of a workplace for laser welding

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je řešení automatizace mezioperační manipulace na laserovém svařovacím pracovišti pomocí průmyslového robotu. Laserem jsou svařovány čtyři rozdílné typy výrobků na čtyřpolohovém otočném stole. Dva ze čtyř typů výrobků přicházejí na odběrové místo neorientovány. Cílem práce je nahradit operátora bez výrazných zásahů do současné struktury výrobní linky a jednotlivých pracovišť.

Cíle diplomové práce:

1. Návrh koncepce pracoviště
2. Volba typu průmyslového robotu
3. Návrh koncového efektoru
4. Řešení bezpečnosti pracoviště
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
3. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
4. MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 13.12.2012

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce na téma „Automatizace pracoviště pro svařování laserem“ je návrh automatizované manipulace s výrobky pro čtyř polohový svařovací laser, který vychází ze zadání reálného projektu pro společnost vyrábějící automobilové díly. V první části práce je proveden rozbor zadání, kde je popsán stávající stav pracoviště a jsou popsány jednotlivé pracovní cykly operace a požadavky zákazníka na pracoviště. Dále se práce zabývá řešením jednotlivých klíčových uzlů pracoviště, včetně návrhu robotu a koncového efektoru. V závěru práce je provedeno bezpečnostní řešení pracoviště a finančně-technické zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace pracoviště, koncový efektor, svařování laserem, bezpečnost

ABSTRACT

The goal of this diploma thesis on the topic of „Automation of workplaces for laser welding“ is the design of a robotic manipulation device for a four position laser welder which has been designed for a real project for automotive parts company. The introduction part of this work analyses the assignment and describes the current state of the workplace, describes each work cycle operation and customer requirements at the workplace. The work then deals with solving individual key nodes at the workplace, including introducing this robot and end effector design. The conclusion of this work explains safety solutions at the workplace, and financial and technical evaluation.

KEYWORDS

Automation of a workplace, end-effector, laser welding, safety

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ELGER, J. *Automatizace pracoviště pro svařování laserem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Automatizace pracoviště pro svařování laserem* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Aleše Pochylého za použití odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....

Bc. Jiří Elger

PODĚKOVÁNÍ


Děkuji tímto Ing. Aleši Pochylému za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat svoji rodině za poskytnutí technického a finančního zázemí a podporu během studia a tvorby diplomové práce.



OBSAH

1 Úvod	13
1.1 Cíle diplomové práce	13
1.2 Další klíčové řešení práce	13
2 Rozbor zadání	14
2.1 Popis celkové součásti	14
2.2 Popis stávajícího toku výroby	15
2.3 Popis jednotlivých svařovaných výrobků	16
2.3.1 Svařování dřívku a raménka ventilu	16
2.3.2 Svařování vodící kulisy a raménka	19
2.3.3 Svařování radiální vačky s hřidelí ozubeného kola	21
2.3.4 Svařování hlavy a dřívku ventilu	23
2.4 Popis svařovaných kusů	26
2.5 Obecné požadavky zákazníka na pracoviště	26
2.6 Doporučení zákazníka na technickou specifikaci zařízení	27
3 Návrh koncepce pracoviště	28
3.1 Umístění pracoviště ve výrobě	28
3.2 Popis pracoviště a jednotlivých částí	29
3.3 Návrh řešení automatizace pracoviště a manipulace s díly	30
3.4 Návrh typu koncového efektoru a úchopné hlavice	31
3.5 Návrh orientace svařovaných dílu 1B a 1D	34
3.6 Způsob kotvení robota	37
3.7 Detekce dílů pro svařování v odběrových místech	38
3.8 Návrh řízení pracoviště	40
3.9 Koncept zajištění bezpečnosti	40
4 Volba typu průmyslového robota	41
4.1 Požadavky pro výběr robotů	41
4.1.1 Průmyslový robot od firmy ABB	42
4.1.2 Průmyslový robot od firmy KUKA	43
4.1.3 Průmyslový robot od firmy FANUC	44
4.2 Zhodnocení vybraných robotů	45
5 Návrh koncového efektoru	46
5.1 Návrh uchopovacích míst	46
5.2 Stanovení uchopovacích sil pro výběr chapadla	47
5.2.1 Výpočty sil pro jednotlivé uchopované díly	48

5.3 Návrh zdvihu chapadla	50
5.3.1 Výběr chapadel	51
5.4 Příslušenství k chapadlům	53
5.4.1 Automatická výměna nástrojů	54
5.4.2 Místo odložení nástrojů	55
5.5 Výsledný koncový efektor	55
6 Konstrukce paletového dopravního systému	56
6.1 Popis dopravníku	56
6.1.1 Odběrové místo pro robota	57
6.1.2 Zakládací a odbírací místo pro pracovníci	57
6.2 Výběr palety	58
6.3 Identifikace palet	58
6.4 Konstrukce palet	59
7 Konstrukční úpravy pracoviště	60
7.1 Otočení dílu 1D v zakládači laseru	60
7.2 Umístění přípravku pro odkládání a výměnu chapadla	62
8 Řízení pracoviště	64
8.1 Řídicí systém pracoviště	64
8.2 Řídicí systém robota	66
9 Bezpečnost robotického pracoviště	67
10 Technicko - ekonomické zhodnocení	69
10.1 Technické zhodnocení	69
10.2 Posouzení strojních časů na pracovišti	69
10.3 Návrh návratnosti investice	69
10.4 Stávající náklady na provoz třísměnného pracoviště	70
10.5 Náklady na nové robotické pracoviště	70
10.6 Výpočet návratnosti investice	71
11 Závěr	72
12 Seznam použité literatury	73
13 Seznam obrázků	75
14 Seznam tabulek	77
15 Seznam použitých symbolů	78
16 Seznam příloh	79

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 Úvod

Navrhované automatizované pracoviště je zadáno od nadnárodní společnosti zabývající se výrobou automobilových dílů, kde je stávající čtyř polohový svařovací laser obsluhován manuálně operátorem, který zakládá a vyjímá svařované kusy podle pracovního postupu.

Společnost má tendenci snižovat stavy svých zaměstnanců u pracovních linek a zároveň pomocí automatizace snižovat náklady na vyráběné součásti. Hlavní důvod automatizace pracoviště je takový, že operátor na výrobní lince nedělá jinou práci než manipulační, kterou by levněji zvládl automat. Tato práce je navíc velmi jednotvárná a nepopulární. Taktéž je důležité i ekonomické hledisko, neboť se jedná o třisměnné pracoviště.

1.1 Cíle diplomové práce


Cílem práce je navrhnout automatizované, bezobslužné pracoviště, kde bude průmyslový robot obsluhovat stávající čtyř polohový svařovací laser, který svařuje čtyři různé typy výrobků. Dva z těchto čtyř typů výrobků přicházejí přes pásový dopravník na odběrové místo neorientovány. Je tedy nutno navrhnout způsob orientování těchto výrobků. Další částí této práce je výběr robotu s ohledem na požadavky firmy a návrh koncového efektoru, který bude manipulovat se čtyřmi svařovanými díly. U každého dílu bude popsáno a navrženo místo úchopu, spočítané úchopové síly a spolu s potřebným zdvihem bude proveden návrh chapadla.

Celková výsledná práce bude obsahovat:

- Návrh koncepce pracoviště
- Výběr průmyslového robotu
- Návrh koncového efektoru
- Bezpečnostní řešení pracoviště
- Celkové technicko-ekonomické zhodnocení celého systému

1.2 Další klíčové řešení práce

- Navrhnout způsob zajištění přesné polohy, pro neorientované součásti
- Návrh míst uchopení svařovaných součástí
- Výpočet uchopovací síly
- Návrh a popis vhodného typu chapadla a úchopových čelistí
- Návrh způsobu řízení pracoviště

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2 Rozbor zadání

Stávající výrobní pracoviště je obsluhováno jednou proškolenou pracovnící a pracoviště pracuje v třísměnném provozu, aby byla plně využita kapacita svařovacího laseru.

Výrobky pro svařování přicházejí z předchozí operace již nalisované a připravené pro svaření. Při odchodu z pracoviště je kvalita svaru zkontrolována automaticky u svařených kusů přes strojní vidění. Svařovací laser má senzorový systém (fotoelektrický snímač), který detekuje, že součást je přesně založena v zakladači laseru a v případě špatného založení nedovoluje pokračovat ve svařovací operaci.

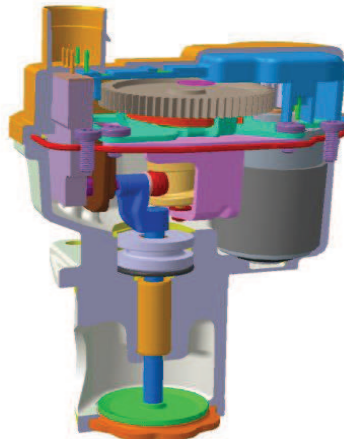
2.1 Popis celkové součásti

Všechny svařované kusy, jsou součástí EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) ventilu zpětného vedení zplodin (obrázek 2), který je podsestavou chladicího modulu zobrazeného na obrázku 1 a je součástí motorové jednotky v automobilech značky Audi. Pro sestavu tohoto ventilu je potřeba svařovat čtyři součásti v operacích nazvané zákazníkem 1B, 1D, 6 a 9.

Systém recirkulace spalin (EGR) se používá u vznětových motorů a slouží ke snížení emisí oxidu dusíku, vznikající při spalovacích teplotách nad 816°C. K tomu se malé množství výfukových plynů, většinou až 10%, vede zpět do spalovací komory. Výfukové plyny absorbují část tepelné energie, která vzniká během spalování a tím se sníží teplota spalování a množství produkovaných NO_x. Tím ale rostou emise prašných částic, protože probíhá nedokonalé spalování a proto musí mít motory vybavené EGR ještě navíc zařízení ke snižování emisí prašných částic. Nejčastěji vysokotlaké vstřikování nebo filtr pevných částic. Nevýhodou EGR je mírný pokles výkonu motoru, který je způsoben horkými spalinami, které proudící do válce motoru mají velký objem a snižují množství nasávaného paliva a kyslíku. Tím vzniká méně energie při jejich hoření. Dalším problémem je zanášení sacího systému nečistotami z výfuků a tím nutnost nasazení složité elektroniky. Systém EGR funguje pouze za určitých podmínek, při určitém barometrickém tlaku a zatížení motoru. Tím se zabrání problémům během jízdy a motor funguje lépe a lze sním snížit emise výfukových plynů vznětových motorů.^{[1] [2]}



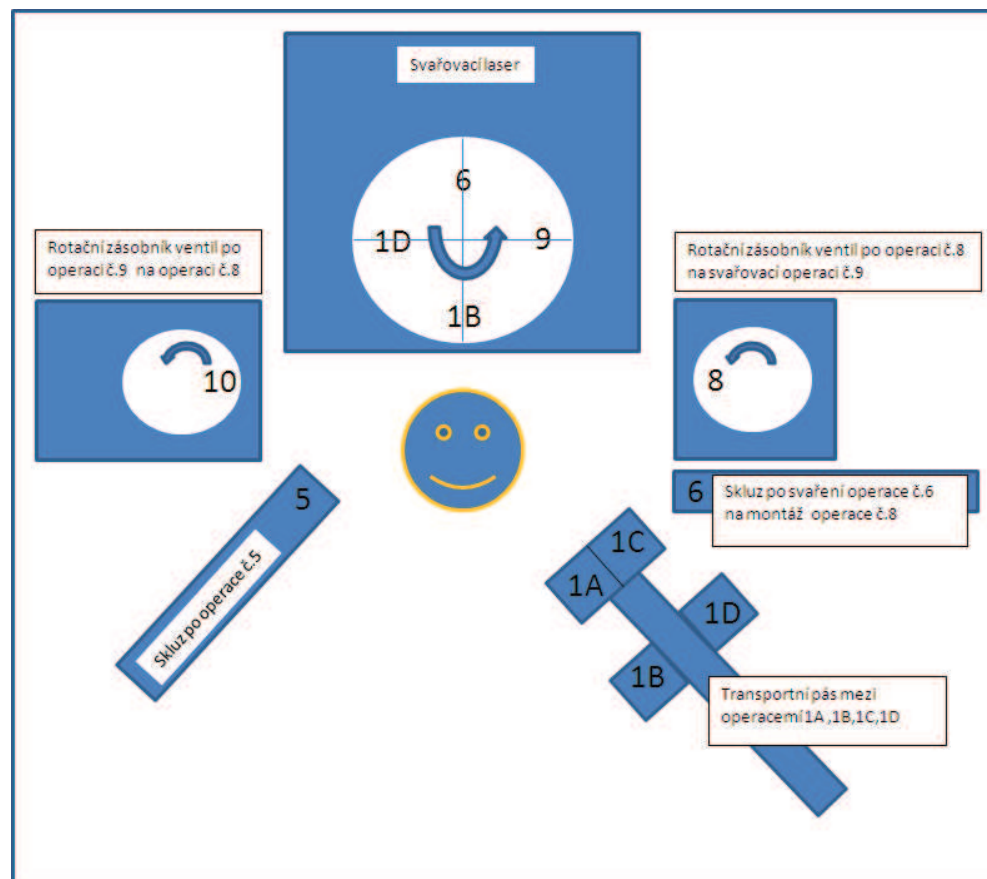
Obr. 1: Chladicí modul Audi




Obr. 2: Ventil zpětného vedení zplodin

2.2 Popis stávajícího toku výroby

V této části je popsán stávající postup pracovní obsluhy, která odebírá materiál z jednotlivých pozic. Při standartní výrobě je níže uvedený sled pohybů prováděn kus po kusu pořád dokola. V případě omezení dodávky jednotlivých dílů jsou odebírány pouze dostupné kusy a laser svařuje pouze tyto typy dílů, nezaložené polohy jednoduše přeskokuje a tyto díly nesvařuje. Samotné svařování probíhá uvnitř stroje, kam nemá obsluha stroje přístup. Po svařování je díl zase poslán na další výrobní operaci.



Obr. 3: Zjednodušené schéma pracoviště

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. Operátor odebere materiál z pásového dopravníku na pozici 1A, pro svařovací operaci 1B
2. Po provedení svařovací operace 1B, operátor odloží svařený materiál na pozici pásového dopravníku označenou 1B
3. Operátor odebere materiál z pásového dopravníku na pozici 1C, pro svařovací operaci 1D
4. Po provedení svařovací operace 1D operátor odloží svařený materiál na pásový dopravník označený 1D
5. Operátor odebere materiál ze skluzu označeného jako 5 pro svařovací operaci na laseru 6
6. Po provedení svařovací operace 6 operátor odloží svařený materiál na skluz v místě označeném 6
7. Operátor odebere materiál z rotačního zásobníku označený jako 8 pro svařovací operaci 9
8. Po provedení svařovací operace 9 operátor odloží svařený materiál na rotační zásobník v místě označeném 10

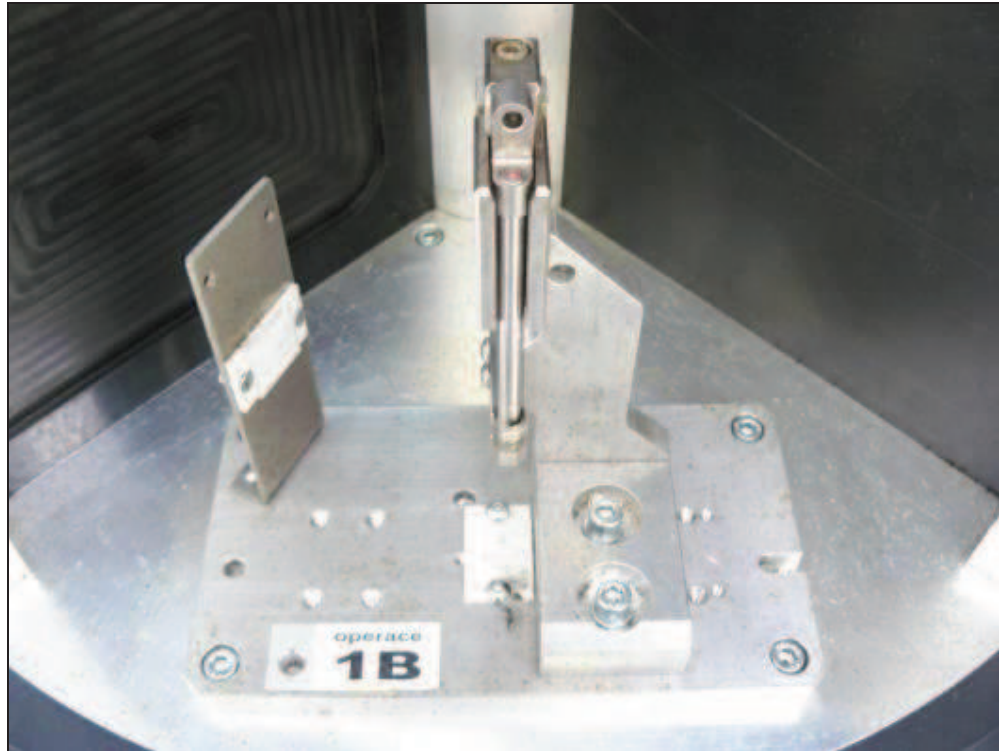
2.3 Popis jednotlivých svařovaných výrobků

2.3.1 Svařování dříku a raménka ventilu

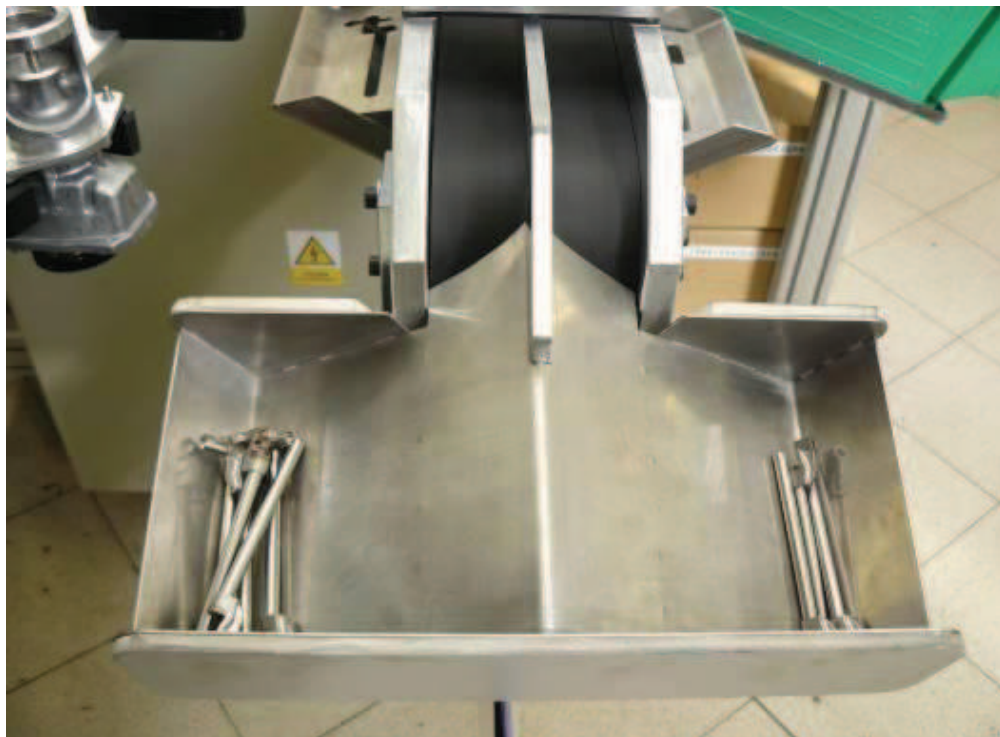
První svařovací operací, ve schématu označenou jako 1B, je přivaření raménka ke dříku ventilu. Raménko je již nalisováno na dříku z předchozí lisovací operace 1A, znázorněno na obrázku 4 a je pásovým dopravníkem dopraveno do odběrového místa 1B, které můžeme vidět na obrázku 6 na pravé straně. Odtud je pracovníci vybrán a vložen kolmo do základacího přípravku svařovacího laseru, obrázek 5. Takt laseru pro tuto svařovací operaci trvá 6 sekund, poté je materiál vyjmut a poslán na další operaci zpátky přes dopravník. Místo vložení do dopravníku je opatřeno ochranou krytkou (poka-yoke) proti vložení špatné součásti do dopravníku.



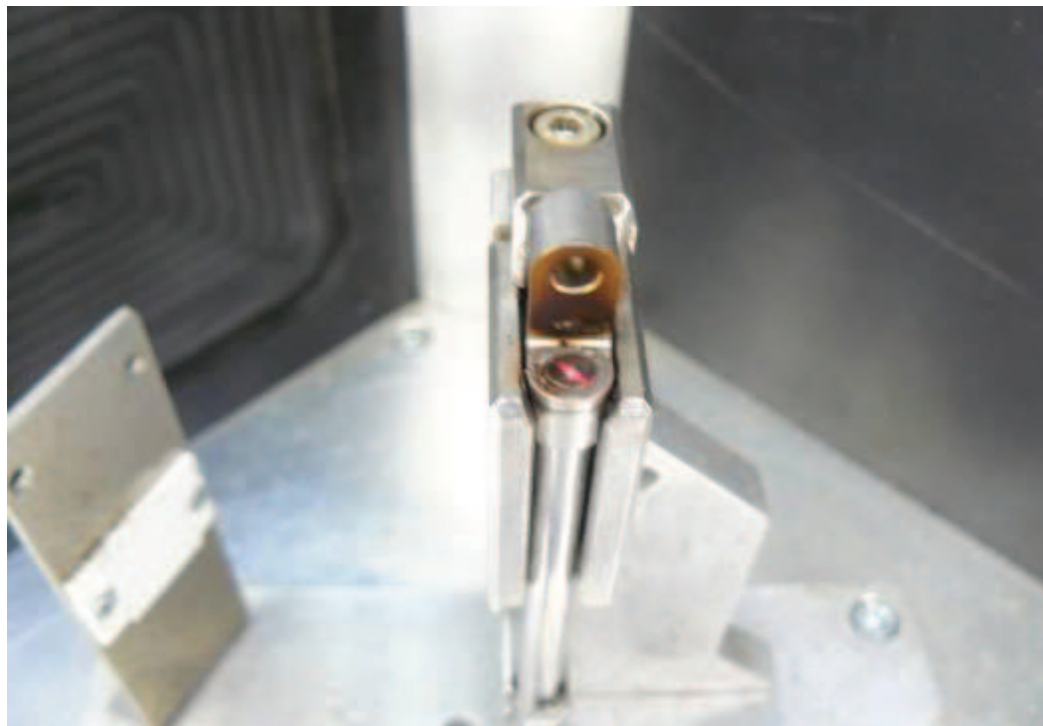
Obr. 4: Vstupní materiál pro svařovací operaci 1B



Obr. 5: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 1B



Obr. 6: Současné odběrové místo pro operace 1B a 1D



Obr. 7: Materiál po svařování



Obr. 8: Místo pro odložení na další montáž



2.3.2 Svařování vodící kulisy a raménka

Druhá svařovací operace 1D je podobná jako první operace. Zde je přivařena vodící kulisa k raménku dřívku ventilu tak, aby kulisa byla kolmá k dřívku ventilu. Kulisa je již nalisována v raménku a je dopravena pásovým dopravníkem na odběrové místo označené ve schématu 1D, na obrázku 6 ho můžeme vidět na levé straně. Odtud je pracovní dřík vybrán a vložen šikmo do zakládacího přípravku svařovacího laseru, obrázek 10. Takt laseru pro tuto operaci je také 6 sekund, poté je materiál vyjmut a poslán na další operaci zpět přes dopravník. Místo pro vložení do dopravníku je také opatřeno ochranou krytkou proti zaměnění součásti.



Obr. 9: Vstupní materiál pro svařovací operaci 1D



Obr. 10: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 1D



Obr. 11: Materiál po svařování



Obr. 12: Místo pro odložení na další montáž

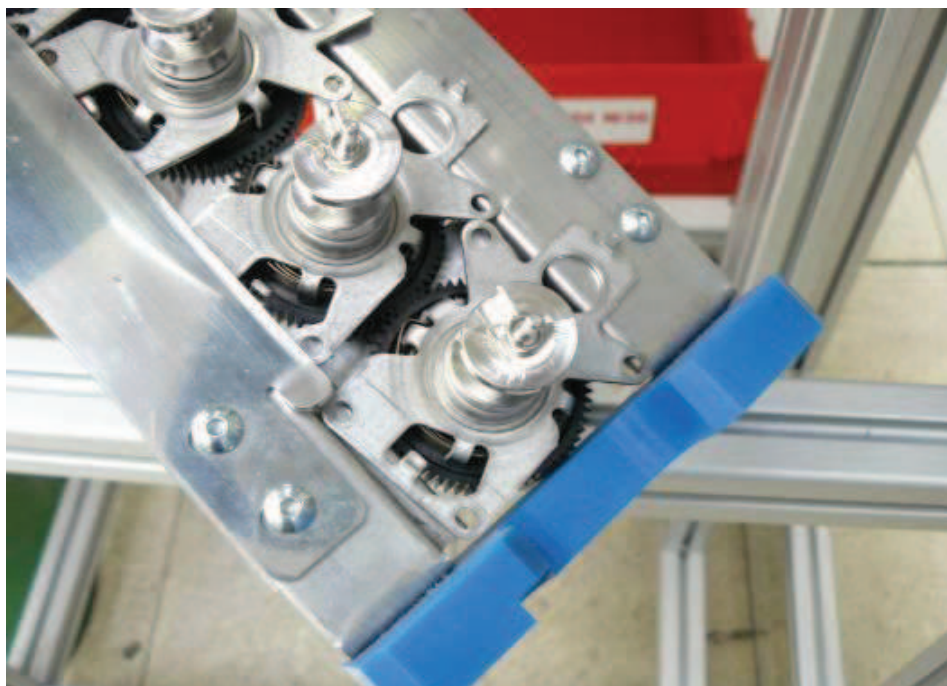


2.3.3 Svařování radiální vačky s hřidelí ozubeného kola

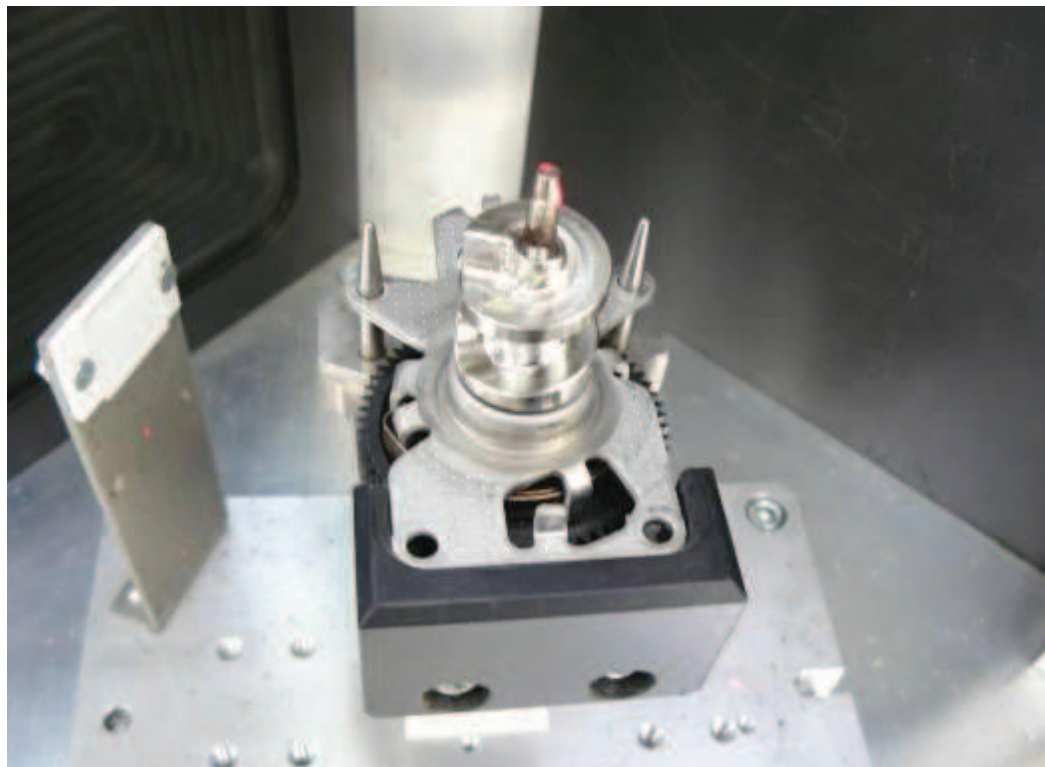
Třetí svařovací operace označená 6 je přivaření radiální vačky s hřidelí ozubeného kola. Radiální vačka přichází pomocí skluzu z předchozí operace 5 již na hřidelí nalisována. Materiál je ze skluzu odebrán a vložen do zakládače laseru a ustaven mezi hroty. Takt laseru pro tuto operaci je 6 sekund, poté je materiál vyjmut a poslán přes skluz na montážní operaci 8. Díl je nutno posílat otočený o 180° než byl uložen v zakládači laseru, protože se při odchodu kontroluje přes strojní vidění kvalita svaru.



Obr. 13: Vstupní materiál pro svařovací operaci 6



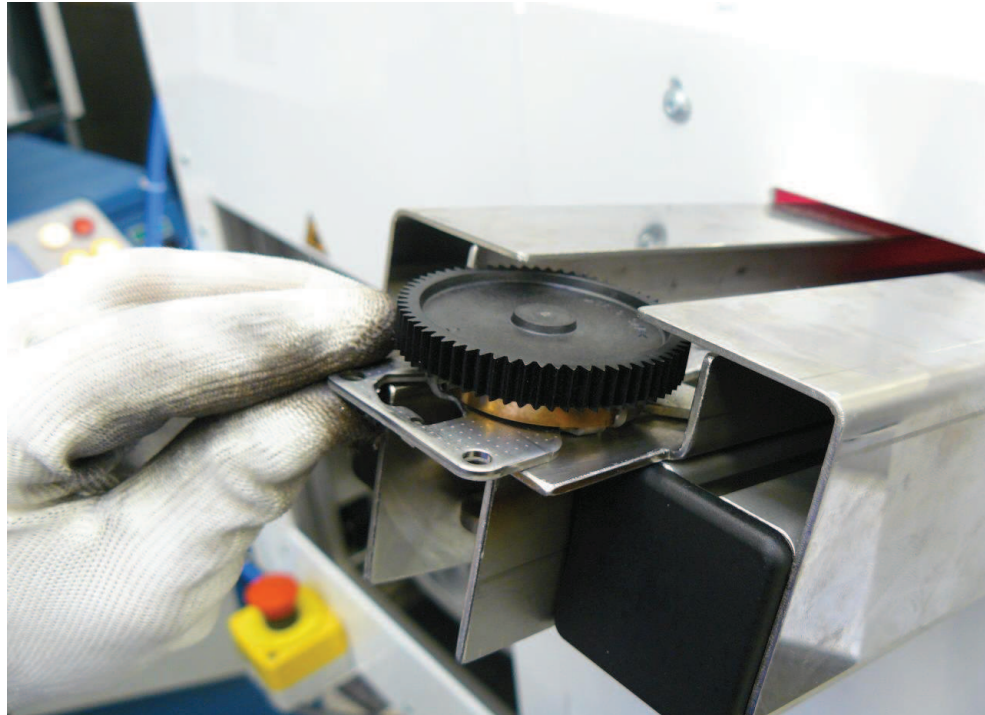
Obr. 14: Odběrové místo



Obr. 15: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 6



Obr. 16: Materiál po svařování



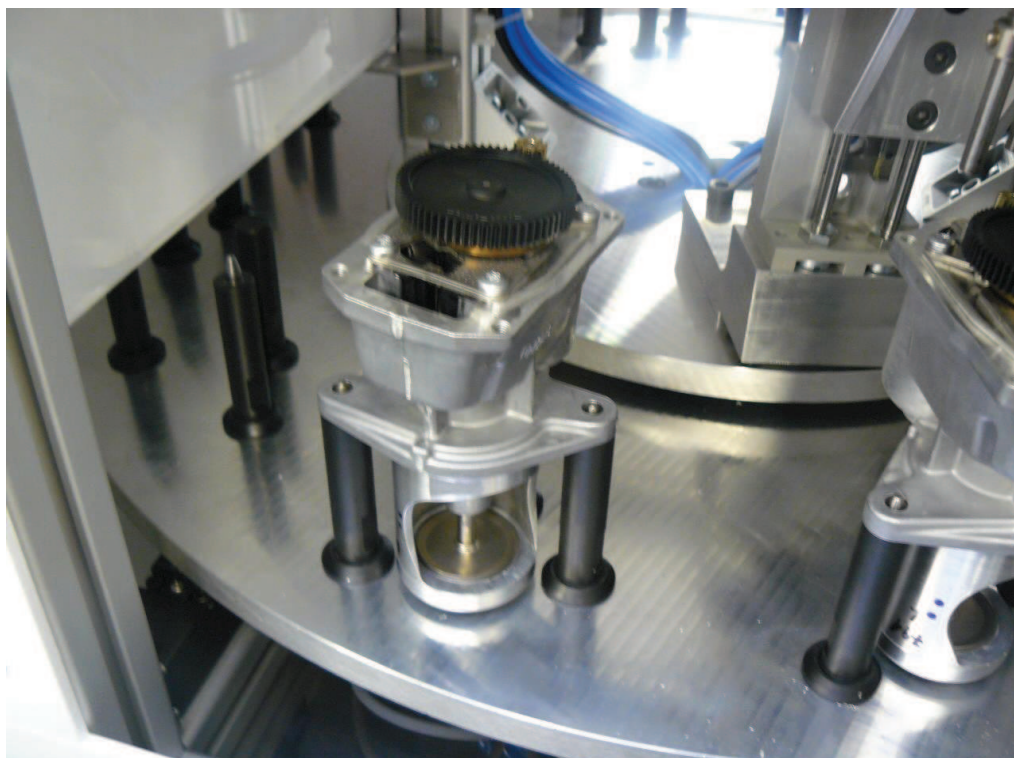
Obr. 17: Místo pro odložení na další montáž

2.3.4 Svařování hlavy a dříku ventilu

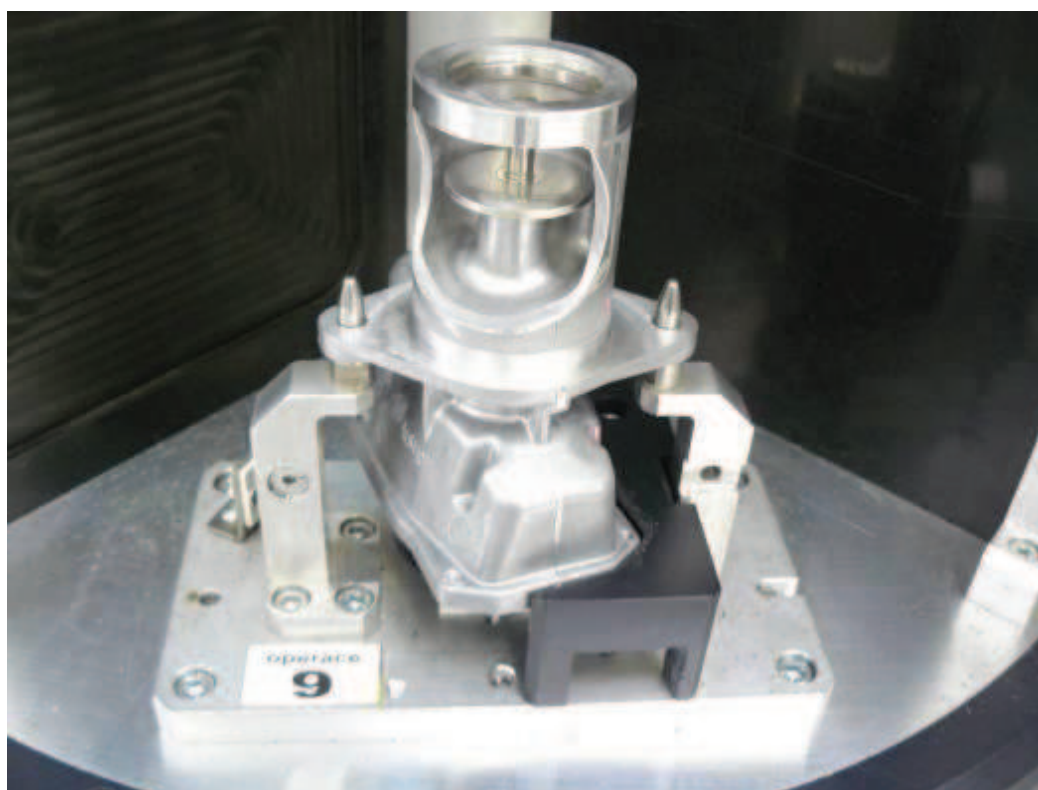
Čtvrtá a poslední svařovací operace je přivaření hlavy ventilu k dříku ventilu. Pro svařovací operaci 9 je připravena lisovaná součást, kam je materiál přiveden pomocí rotačního zásobníku z lisovací operace 8. Materiál je z rotačního zásobníku (Obr. 19) odebrán a vložen operátorem do svařovacího laseru. Takt laseru pro tuto operaci je 11 sekund, poté je materiál vyjmut a poslán rotačním zásobníkem na montážní operaci 10.



Obr. 18: Vstupní materiál pro svařovací operaci 9



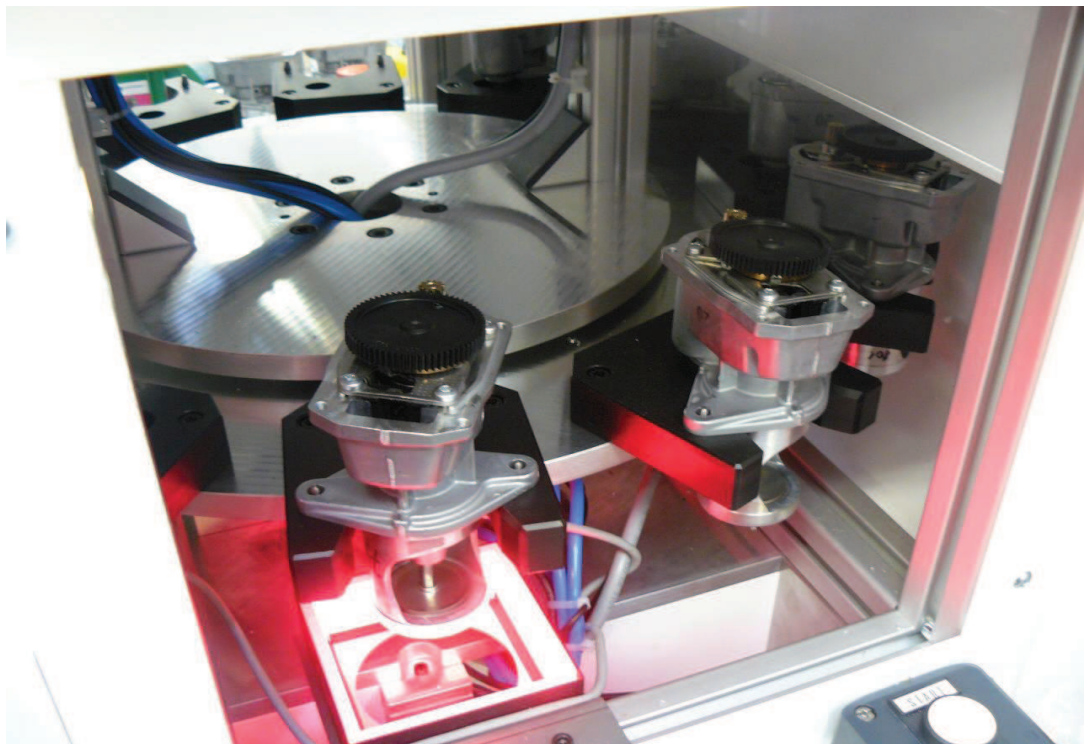
Obr. 19: Odběrové místo



Obr. 20: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro součást 9



Obr. 21: Materiál po svařování







Obr. 22: Místo pro odložení na další montáž (Operace 10)

2.4 Popis svařovaných kusů


Objemy součástí byly zjištěny z dodaných 3D CAD modelů a následně podle jednotlivých dílů a jejich hustot spočítány hmotnosti se zaokrouhlením na gramy každé části. Pro lepší orientaci velikosti jednotlivých svařovaných kusů jsou uvedeny v tabulce 1 s jejich největšími měřitelnými rozměry.

Tab. 1: Vlastnosti svařovaných kusů

Označení součásti	Hmotnost [kg]	Objem [cm ³]	Maximální rozměry délka x tloušťka x výška [mm]	Náhled
1B	0,027	3,338	15,5 x 8 x 97,4	
1D	0,030	29,119	26,8 x 8 x 97,4	
6	0,079	19,254	71,7 x 50 x 52,3	
9	0,614	200,374	95,5 x 86,7 x 136,6	

2.5 Obecné požadavky zákazníka na pracoviště

- systém bude navržen a vyroben tak, aby odpovídal CE požadavkům a obecným ergonomickým předpisům platným v ČR a ovládací prvky budou umístěny tak, aby v souladu s ergonomií pracoviště byly operátory pohodlně dosažitelné (start tlačítka, ovládací prvky, atd.)
- obslužná a kontrolní činnost automatizace nesmí překročit současný čas 60 sekund na kus
- stroj musí být osazen majákem, který signalizuje výrobní stavy a musí být shodný jako na stávající lince
- založení všech komponentů musí být kontrolováno čidly a v případě, že komponent chybí, stroj nesmí operaci provést, ale upozornit na chybu. Zakládací přípravky musí být konstruovány tak, aby byla jednoznačně zajištěna orientace a poloha komponentů. Zakládací přípravek nesmí umožnit

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

založení komponentů obráceně nebo s nedostatečnou definovanou orientací u nesymetrických komponentů. Pro kontrolu správné polohy je preferováno mechanické řešení, před kontrolou elektrickými čidly

- zařízení bude instalováno na podlahu, kde možnost kotvení nesmí překročit 8 cm do hloubky od úrovně podlahy. Pokud konstrukční požadavky strojního zařízení tomu nebrání, tak preferujeme zařízení na pojezdových kolečkách s aretací
- stávající rozvod elektrické energie je 230V nebo 3x400V
- pneumatické obvody navrhovat na tlak 6 barů, rozvod v hale je maximálně 7 barů
- ochranné prvky na rámech a upínkách musí být kombinací následujících ochranných prvků:
 - světelné závory, které umožní snadný přístup k zařízení zepředu
 - posuvné uzavírací panely budou z hliníkových profilů s oknem z čirého a průhledného polykarbonátu, aby zabránily případným zraněním třetích osob se zajištěním proti posunutí
 - ochranné prvky budou vyrobeny s takovým připojením, aby umožňovalo servis a údržbu těch zařízení

2.6 Doporučení zákazníka na technickou specifikaci zařízení

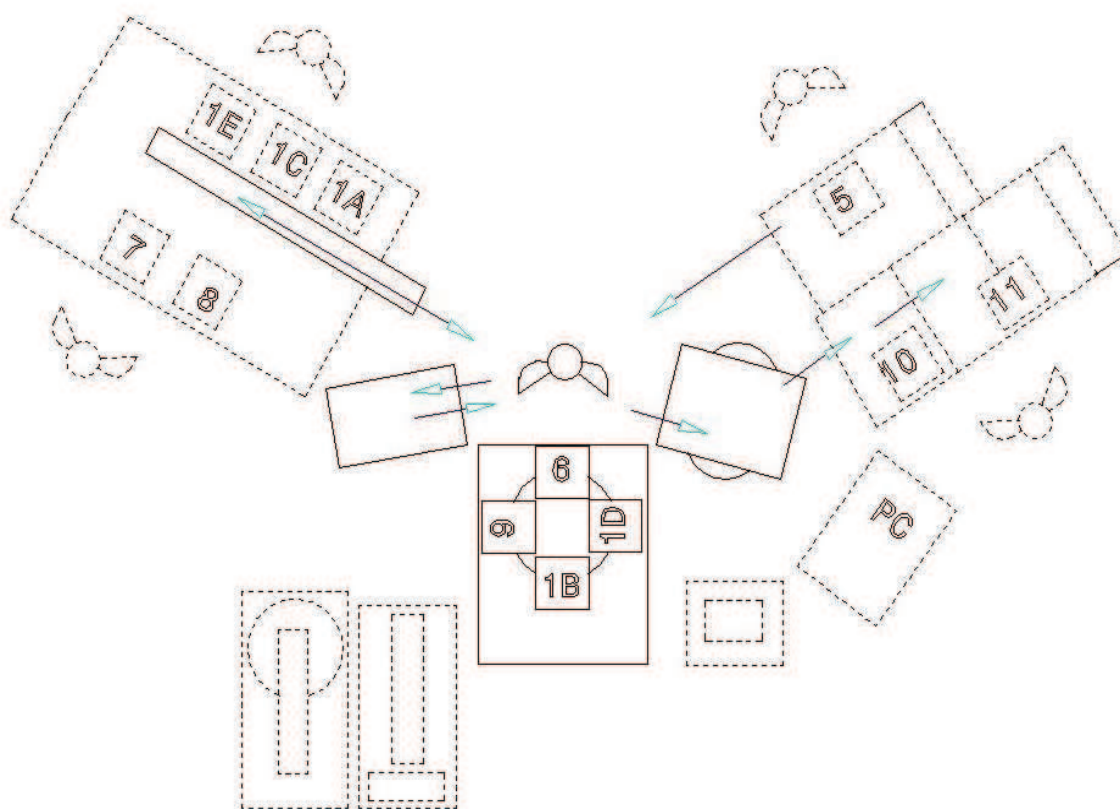
- rámy zařízení z hliníkového stavebnicového systému ITEM, kde není možno z důvodů konstrukčních sil zařízení použít stavebnicový systém, tak použít standartní konstrukční materiály
- pro průmyslového robota není dodavatel předepsán, podmínkou je zastoupení se servisním oddělením v ČR a možnost uzavření pozáruční servisní smlouvy s reakční dobou do 12 hodin
- PLC a připojené díly včetně PLC displeje musí být od stejného dodavatele a to od společnosti SIEMENS
- pneumatické prvky uvažovat od společností Festo nebo SMC
- u snímačů jsou doporučeny společnosti Balluff, Festo, Sick nebo Keyence

3 Návrh koncepce pracoviště

Při návrhu koncepce pracoviště se vychází z požadavku zákazníka na nevýrazné zásahy do současné struktury pracovní linky (zachování toku materiálu) a jednotlivých pracovišť. A dále, pokud možno by neměly být žádné změny v zakládači laseru. Při návrhu koncepce pracoviště proto vycházíme z těchto požadavků. Z toho důvodu tato část práce nebude navrhovat změny v rozmístění zařízení a toku materiálu, ale bude uvažovat nad různými návrhy konstrukčních problémů, které je potřeba řešit při automatizaci výroby.

3.1 Umístění pracoviště ve výrobě

Jak je vidět na obrázku 23, pracoviště je součástí větší výrobní linky, kde jsou dané toky materiálu a při návrhu koncepcí je potřeba zohlednit omezení prostoru dalšími výrobními úseky. Zvláště při návrhu bezpečnostních prvků je potřeba omezit se na vlastní část pracoviště a nezasahovat do okolních pracovišť. Vlastní prvky pracoviště jsou vyznačeny na obrázku nepřerušovaně.

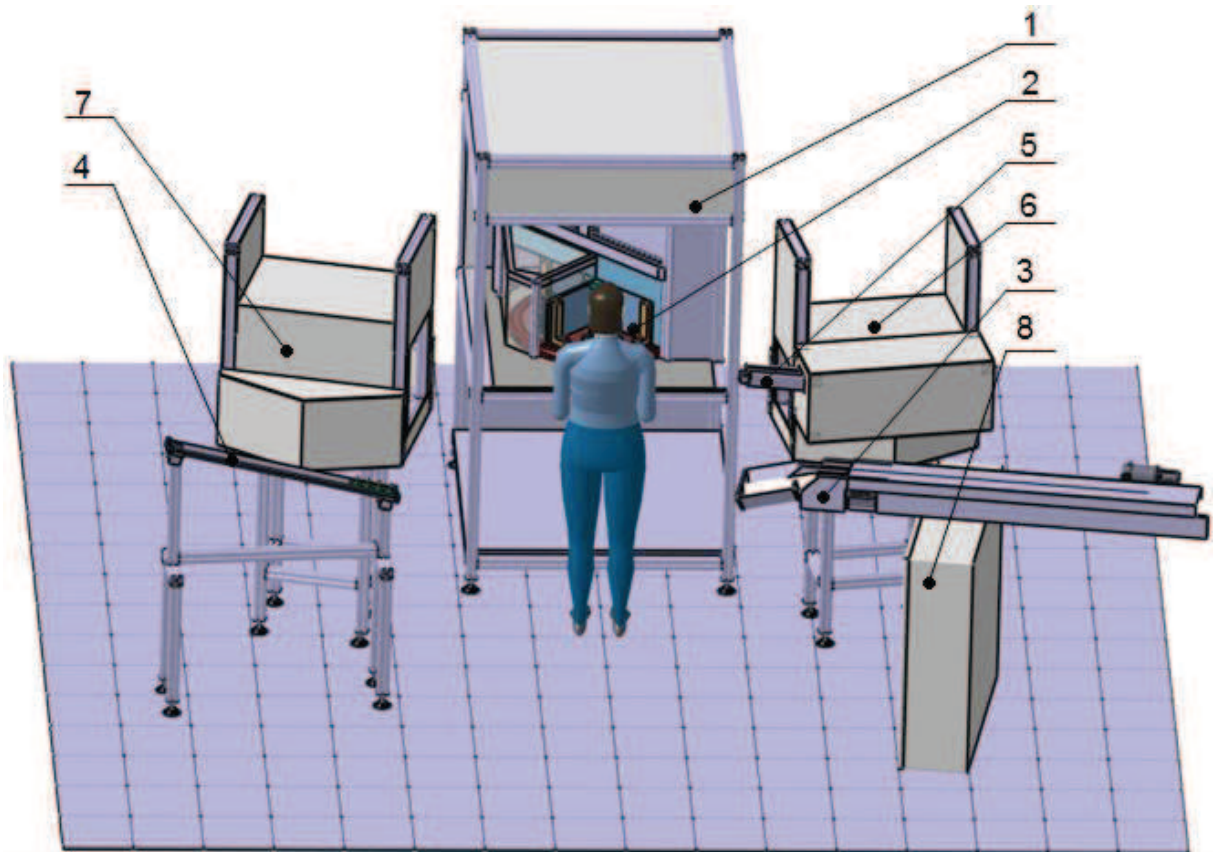


Obr. 23: Schéma pracoviště a okolí



3.2 Popis pracoviště a jednotlivých částí





Pro potřeby návrhu konstrukce a řešení jednotlivých konstrukčních částí byl vytvořen model pracoviště (Obr. 24), kde rozmístění objektů a velikosti zařízení jsou odměřeny z místa pracoviště a dodaného schématu pracoviště. Model je vytvořen pro simulaci a znázornění fungování pracoviště a není dokonalou kopií reálného pracoviště. V modelu jsou pouze prvky řešeného pracoviště a okolní pracoviště v něm nejsou zahrnuta, ale jsou znázorněny na obrázku 23. Pro přílišnou složitost byly v modelu taky vynechány nedůležité detaily (např. šrouby, tlačítka atd.).



Obr. 24: Popis pracoviště

Popis částí modelu

- 1 – Svařovací laser
- 2 – Zakládací místo v laseru (otočný karusel)
- 3 – Pásový dopravník pro přívod a odvod součástí 1B a 1D do/z pracoviště
- 4 – Skluz pro přívod součástí 6
- 5 – Skluz pro odvod součásti 6 k další operaci
- 6 – Rotační zásobník pro odběr součásti 9 z předchozí operace
- 7 – Rotační zásobník pro odvod součásti 9 k další operaci
- 8 – Elektrická rozvodná skříň

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.3 Návrh řešení automatizace pracoviště a manipulace s díly

Při řešení konceptu automatizace celkového pracoviště a způsobem jakým bude manipulováno s jednotlivými díly je možno uvažovat různé metody řešení. Pokud není možné například použití pásových dopravníků, používají se přesně navržené jednoúčelové manipulátory. Při příliš složité potřebné manipulaci je již navrhována manipulace pomocí robotů.^[3]

- Koncepce systému dopravníků
- Jednoúčelový manipulátor
- Průmyslový robot

Koncepce systému dopravníků

V našem případě je potřeba nejen manipulovat s díly, ale také řešit způsob jakým budou svařované díly ukládány do zakládače. Tento koncept by byl proveditelný pouze s přídatnými manipulátory nebo roboty. Toto navrhované řešení by bylo drahé a složité s komplikovaným přizpůsobením případných změn na pracovišti.

Jednoúčelový manipulátor

Koncept s manipulátorem nebo manipulátory v případě našeho pracoviště vychází taky příliš složitě, díly jsou od sebe vzdálené a případný manipulátor by byl příliš obrovský nebo by bylo potřeba více manipulátorů, jenž by si díly předávaly. Navíc je potřeba minimálně jeden díl zakládat pod úhlem a další je potřeba polohovat obráceně o 180°, takže výsledný manipulátor by potřeboval šest stupňů volnosti a v tomto případě je výhodnější volba průmyslového robotu.

Průmyslový robot

Při řešení pracoviště s robotem je velkou výhodou jeho univerzálnost, to je přizpůsobení manipulace a chování podle potřeby, například přeprogramování robotu při změně podmínek výroby či možnost použití robotu po ukončení výroby a použití pro jinou aplikaci. Další výhodou robotu při porovnání například s jednoúčelovým manipulátorem může být jeho rychlost při složitějších manipulačních pohybech.^[3]

Z výše navrhovaných koncepcí byla zvolena koncepce s průmyslovým robotem, umístěným stacionárně uprostřed pracoviště a který bude obstarávat manipulaci s díly a jejich zakládání do svařovacího laseru. Bude se jednat o robot s šesti stupni volnosti a dosahem ramene ke všem odběrovým a odkládacím místům. Výběr určitého typu robotu bude dále rozebrán v další kapitole této práce, která se bude zabývat výběrem robotu.

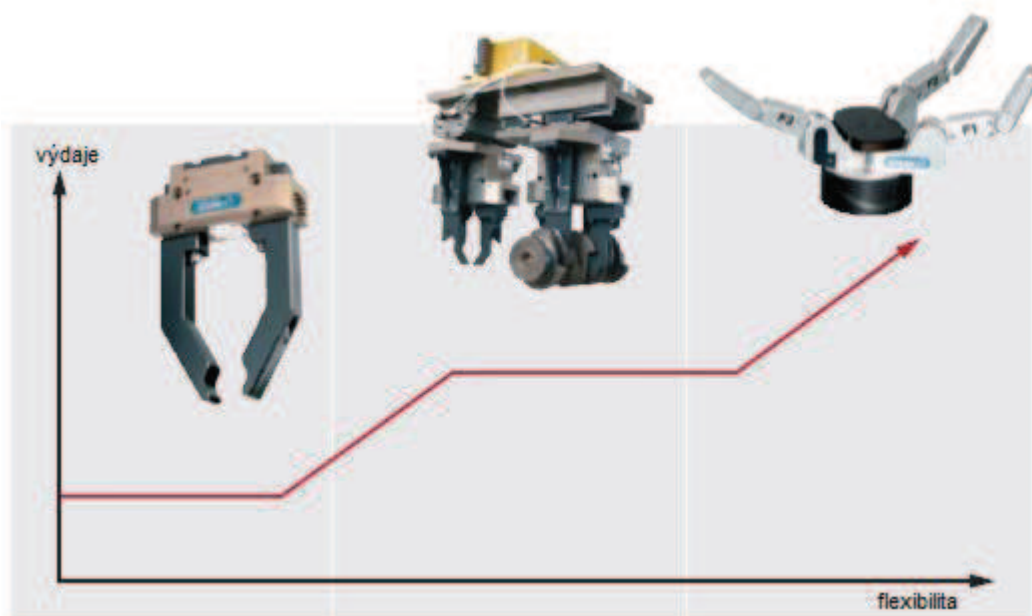


3.4 Návrh typu koncového efektoru a úchopné hlavice

Pro manipulaci se čtyřmi svařovanými díly, z toho dva díly jsou velmi podobné, je potřeba nejprve navrhnout počet uchopovacích hlavice a způsob umístění na koncovém efektoru. Při velkém počtu úchopných prvků na jednom koncovém efektoru nastává problém s hmotností, a když neuvažujeme s výměnou nástrojů, tak tento systém je také příliš komplexní a objemný. U druhého případu, kdy máme výměnu nástrojů, nám při větším počtu uchopovacích hlavice narůstají časy výměny. I když výměnné systémy například od společnosti Schunk jsou v dnešní době velice rychlé, robot přesto dělá zbytečný pohyb do místa výměny nástrojů. Dalším možným řešením jsou adaptivní a antropomorfní chapadla. U těchto typů chapadel musíme počítat s velkou pořizovací cenou, navíc antropomorfní chapadla se nepoužívají v průmyslové praxi.

Zde je navrženo několik možných návrhů úchopných hlavice na koncovém efektoru a způsob jejich výměny:

- adaptivní chapadlo
- antropomorfní chapadlo
- univerzální chapadlo
- dvě paralelní chapadla
 - umístěna na koncovém efektoru, výměna přes otočnou hlavu
 - automatická výměna nástrojů
- tři paralelní chapadla
 - umístěna na koncovém efektoru, výměna přes otočnou hlavu
 - automatická výměna nástrojů



Obr. 25: Poměr flexibility a výdajů na aplikaci chapadel^[4]

Při návrhu koncového efektoru jsme velmi omezeni velikostí svařovaných kusů. Svařované díly 1B, 1D a 6 jsou menší a lehčí než svařovaný díl 9. Dalším výrazným omezením je velmi malý manipulační prostor pro zakládání kusů do polohovadel pro jednotlivé svařování.

Adaptivní chapadlo

Adaptivní chapadla jsou chapadla, která jsou většinou lehká a dokáží tvar svých čelistí přizpůsobit tvaru uchopovaného předmětu a jejich sevření je přitom velmi šetrné a bezpečné.^[5]

Tato chapadla vyrábí například společnost Festo, kde se jedná o pneumatické trojprstové adaptivní chapadlo DHDG, nebo společnost Robotiq, která nabízí elektrické dvojí nebo tříprstové chapadlo. Nevýhodou těchto chapadel jsou velké pořizovací náklady v případě Robotiq u 2 - prstového chapadla činí pořizovací náklady kolem 121,000 Kč a 3 - prstové vyjde na 373,000 Kč.^[6]



Obr. 26: Adaptivní chapadlo od firmy Robotiq^[6]



Obr. 27: Adaptivní chapadlo DHDG (Festo)^[7]



Antropomorfní úchopné hlavice

Jedná se o složitý servosystém s velkým počtem stupňů volnosti napodobující vlastnosti lidské ruky. Která jsou určena pro uchopování předmětů obecného tvaru a používají se v nestrojírenských oblastech nejběžněji jako náhrada amputované horní končetiny.^{[8][9]}



Obr. 28: Chapadlo robota Care-O-bot 3^[10]


Univerzální chapadlo

Uchopení a držení předmětů jsou hlavní úkoly pro robotické manipulátory. Vývoj univerzálních chapadel schopných zvednout neznámé objekty rozdílných tvarů a povrchových vlastností zůstává velmi náročný. Současná navržená chapadla jsou založena na principu více prstů k úchopu, ale tento přístup představuje mechanické a softwarové komplikace. V tomto případě jsou jednotlivé prsty nahrazeny jednotným množstvím zrnitého materiálu, který při přitisknutí na cílový objekt obteče jeho tvar a při použití vakua se zrnitý materiál rychle smrští a ztvdne a drží objekt bez nutnosti senzorické zpětné vazby. Toto otvírá nové možnosti pro navrhování jednoduchých, ale vysoce adaptivních systémů, které umožní rychlé uchycení složitých objektů.^[11]

U tohoto návrhu je také potřeba počítat s problematickým zajištěním přesného uchycení dílů pro přesné zakládání do zakladače laseru a odkládacích míst.



Obr. 29 Jamming gripper^[11]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Paralelní chapadla

Při použití paralelních chapadel by se jednalo o pneumatické paralelní chapadlo od společností Festo nebo SMC podle požadavků zákazníka. Tato chapadla by zajišťovala potřebnou manipulaci a zakládání dílů do svařovacího laseru a na místa uložení. Tento způsob řešení je v praxi nejběžnější a nejlevnější.



Obr. 30: Paralelní chapadlo DHPS (Festo)^[12]

S výše uvedených návrhů se jako nejpřijatelnější řešení pro rozměrové omezení v zakladači laseru a malý přístupový otvor v rotačních zásobnících jeví koncový efektor vybavený automatickou výměnou úchopové hlavice.

Vzhledem k navrženému řešení je nutno vytvořit v pracovní oblasti robota místo, kde bude docházet k výměně chapadel. Protože po výměně úchopové hlavice je další pracovní operací odebrání svařeného materiálu z laseru, je navrženo upevnění výměnného systému přímo na svařovací laser, který je postaven ze stavebnicových hliníkových profilů, na které lze snadno přidávat další komponenty. Předběžně jsou zvolena dvě paralelní chapadla pro manipulaci s díly.

Detailnější provedení chapadel, včetně způsobu uchopení dílu, bude rozebráno dál v této práci, která se bude zabývat návrhem chapadla.

3.5 Návrh orientace svařovaných dílu 1B a 1D

Další konstrukční problém, který je potřeba řešit, při přechodu na plně automatizované pracoviště, je návrh orientace dvou neorientovaných dílu, pro přesné uchopení robotem. V úvahu bereme, že tok dílů na pracoviště není velký a dále, že díly přicházejí z dalšího pracoviště, kde jsou drženy v ruce a je možnost tyto díly přímo zakládat orientovány.

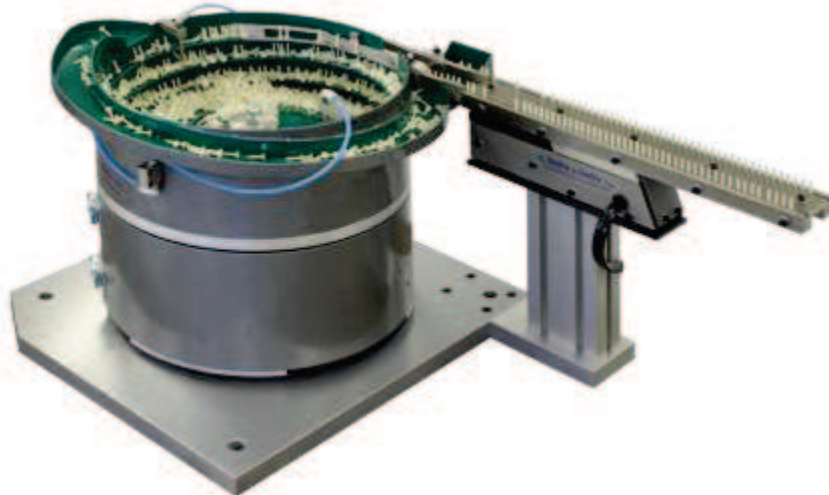
V tomto návrhu uvažujeme nad následujícími řešeními:

- Vibrační zásobník
- Otočný polohovací indexovací stůl
- Dopravník s robotem a kamerou
 - 2D
 - 3D
- Skluz a stávající dopravník
- Modulární paletový dopravník



Vibrační zásobník

Vibrační kruhové zásobníky jsou stroje, které zajistí orientaci a přesné podávání výrobků či materiálu do místa, kde mohou být odebrány již přesně napoložované chapadlem robota. Tyto zásobníky se vybavují většinou elektromagnetickým pohonem, který umožní plynulou regulaci pohybu výrobku. Zásobník je nádoba válcového, kuželového nebo šroubovitého tvaru a je složen ze dvou desek, základové a nosné, soustavou pružin a elektromagnetickým budičem.^[13]



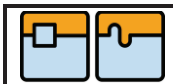

Obr. 31: Vibrační zásobník^[14]

Použití vibračního zásobníku je řešení, při kterém by oba typy výrobku musely mít dva samostatné vibrační zásobníky a vzhledem k délce součástí 1B a 1D je potřeba počítat s velikostí vibračního zásobníku kolem průměru nádoby 500 -700 mm. Dále by bylo potřeba zajistit zpětnou dopravu již svařených součástí na další navazující operace, to by se řešilo odstraněním ochranných krytek proti špatnému vhození dílů (poka-yoke) na dopravníku, protože u robotického programu nehrozí zaměnění výrobků a posílání dílů zpátky přes dopravník, jak tomu bylo u manuálního řešení.

Otočný indexovací stůl

Otočný indexovací stůl je zařízení, které dopravuje součástky, které jsou umístěny na kruhové desce a jsou otáčeny krokovým motorem o předem definovaný úhel – tedy část kruhové dráhy.

U tohoto navrhovaného řešení by indexovací stůl, který by dosáhl k robotu a zároveň by umožnil zakládání dopravovaných dílů z dalšího pracoviště, vyšel příliš velký. V případě jednoho indexovacího stolu, kde by byly dva díly dopravovány spolu, by v případě omezení nebo dodávky jednoho kusu komplikovalo dodání druhého nebo by mohla nastat situace, že nesvařené díly budou zpomalovat zpětné dodání svařených (situace, kdy by se nepřichozí díly nezakládaly). V případě druhé varianty řešení dvou indexovacích stolů, kde by oba díly měly vlastní indexovací stůl, nastává problém s umístěním druhého stolu. Jedno z možných řešení je mít dva indexovací stoly nad sebou, ale pak přichází problém s ergonomií pro pracovníci, která by díly zakládala.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	



Obr. 32: Indexovací stůl^[15]

Dopravník s robotem a kamerou

V tomto návrhu by byl využit stávající dopravník, z kterého by byly díly odebírány pomocí robota vybaveného kamerou. Toto řešení je komplikované, pro velmi složité uchopení dílů, které se nám ne vždy podaří uchytit tak, jak potřebujeme pro vložení do zakladače a bylo by třeba vyřešit způsob přechytnutí těchto kusů.

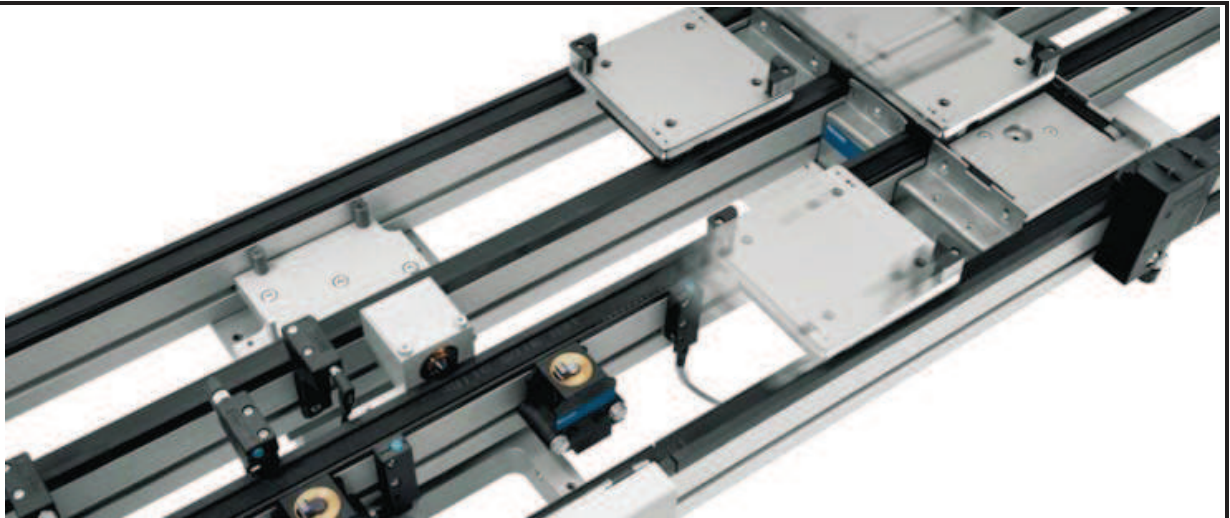
Skluz a stávající dopravník

Jedná se o řešení, kdy by pracovnice na předchozím pracovišti místo do dopravníku, který je opatřený krytem proti vhození nesprávného dílu (poka-yoke), by házela díly do dvou skluzů, které by bylo možné též opatřit stejným krytem, a umožňovaly by součástem pohyb jen v jedné ose. Díly by se musely vracet zpět přes dopravník.

Toto řešení je z uvedených návrhů nejlevnější, ale je potřeba řešit problém s úhlem pro skluz a výslednou výškou pro obsluhu v případě, že bude skluz v úrovni pro ideální úroveň odběru robota, nebo jak nízko povede v případě ideální úroveň odběru pro obsluhu skluzu. Skluz navíc neumožňuje flexibilitu při změně součásti. A dále je potřeba vyřešit způsob zakončení skluzu pro snadný odběr dílu robotem.

Modulární paletový dopravník

Jednalo by se o druh dopravníku, kde by oba díly byly polohovány a manipulovány mezi pracovišti pomocí paletky na dopravníku. Tento koncept lze uvažovat buď jako dva paletové dopravníky oddělené pro každý díl, kde je nevýhoda, že takovýto koncept by byl příliš veliký a dražší než jeden dopravník s rozbočovači, kde by bylo nutné řízení kusů přes systém rozpoznávání palet. Nevýhodou takového dopravníku je pořizovací cena. Výhodou je, že lze konstruovat paletový dopravník na míru a v případě nutnosti jednotlivé segmenty dopravníku vyměňovat. Dále je zařízení flexibilní pro případné změny na pracovišti a také paletku lze přizpůsobit při změně dílu.



Obr. 33: Paletový dopravníkový systém (Bosch Rexroth)^[16]

Pro potřebu naší automatizace bude zvolen paletový dopravní systém, který lze díky modulům doplňovat a měnit k přizpůsobení pracoviště, počtu dopravovaných kusů a v případě změny výroby lze tento dopravník rozebrat a přestavět. Dále nabízí možnosti do budoucna k možné automatizaci sousedního pracoviště. Paletky budou vybaveny zakládačem podobným, jakým je vybaven svařovací laser, aby se předešlo záměně dílů. Tento dopravníkový systém bude dále podrobněji popsán.

3.6 Způsob kotvení robota

V této části návrhu si projdeme možnosti kotvení robota a bude zjištěno, jestli je požadavek o kotvení zařízení kvůli stávajícímu provedení podlahy realizovatelný a navrhneme způsoby kotvení robota. Možné způsoby realizování jsou:

- vybetonování plochy a standardní šroubení k zemi
- ocelové konstrukce na nohách s nízko položeným těžištěm
- těžká deska, která by se kotvila k zemi více šrouby s menší délkou

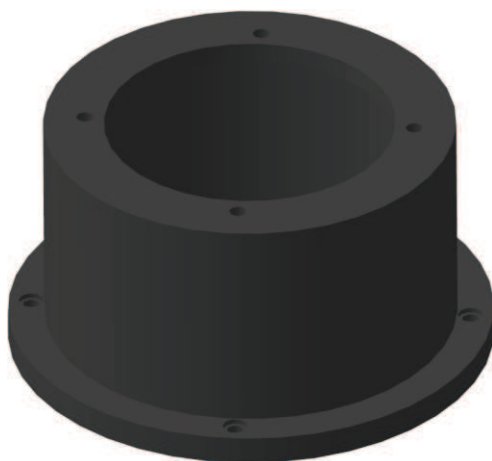
Provoz robotů obecně je kontrolován normou ČSN EN ISO – 10218-2. Součástí této normy je i kotvení robotů včetně zamezení přenosu chvění. O kotvení robotů je vystavený protokol, který je součástí validace provozu robota (se všemi ostatními bezpečnostními prvky).

Kotvení robotů ve většině případů předepisuje výrobce z hlediska bezpečnosti, přesnosti robota a chvění. Je ale velmi pravděpodobné, že hloubka kotvicích šroubů bude muset být větší než požadovaných 80 mm.

Pro zvýšení polohy bude muset být vyroben svařovaný nástavec s dostatečnou tuhostí, aby byla zajištěna správná výška ramene robota vůči svařovacímu automatu a vůdčím ostatním odběrovým místům, aby byly zajištěny co nejkratší dráhy jednotlivých pohybů robota.

Po domluvě se zákazníkem bylo dohodnuto nejjednodušší řešení a to vybetonování potřebné plochy pro dostatečné šroubování robota k zemi. Dále byl

navrhnout kruhový nástavec s přesně umístěnými otvory pro montáž robotu, který je použit v modelu pro zvednutí robotu o 250mm pro lepší dosah a manipulaci s díly.



Obr. 34: Navrhnutý nástavec pro robota

3.7 Detekce dílů pro svařování v odběrových místech

Na automatizované pracoviště, pro potřebu svařování, docházejí díly z dalších pracovišť a v případě omezení nebo zpoždění dodávky dílů je potřeba rozpoznat, že díl nedorazil na odběrové místo a robot musí tuto operaci přeskočit. Možné způsoby jak detekovat přítomnost dílů pro svařování na odběrových místech jsou tyto:

- Detekce kamerou
- Indukční snímače
- Mechanické spínače
- Laserové optoelektrické snímače

Detekce kamerou

Návrh rozpoznávání dílů přes kamerový systém je příliš drahý (kamera, software) a komplikovaný (zorné pole, rozlišení, způsob osvětlení) pro pouhou potřebu detekování dílů na odběrových místech.



Obr. 35: Kamerový senzor^[17]



Indukční snímače

Jedná se o levné bezkontaktní řešení, které lze jednoduše zakomponovat do současných struktur automatického pracoviště. Tyto snímače jsou neopotřebitelné, odolné vůči znečištění a zkratu. Indukční snímače je ale potřeba umístit blízko ke snímanému objektu.^[18]



Obr. 36 Indukční snímač^[19]

Mechanické spínače

Mezi jejich výhody patří, že jsou spolehlivé a robustní a zajišťují bezchybnou funkci při vystavení vibracím, šokovému zatížení a dalším nepříjemným procesním vlivům. Pro krátký zdvih vypínače a nutnost přímého kontaktu nejsou příliš ideální pro automatizaci pracoviště.^[20]



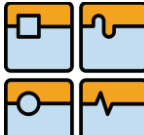
Obr. 37 Mechanický spínač^[21]

Laserové optoelektrické snímače

Laserové optoelektronické snímače kontrolují přítomnost, tvar, barvu, vzdálenost a tloušťku v aplikačních oblastech pro robotiku, automatizaci, montáž a manipulaci. Výhodou těchto snímačů je veliký měřicí rozsah podle konkrétního typu snímače. Navíc cena některých snímačů není příliš velká.^[22]



Obr. 38 Laserový optoelektrický snímač^[23]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pro výběr bude zvolen snímač, který není nutno umísťovat do nejbližší vzdálenosti a dává nám lepší volnost pro výběr nejvhodnějšího místa pro snímání. Z uvedených návrhů proto volím laserový fotoelektrický snímač od společnosti Balluff (požadavek zákazníka na senzory).

3.8 Návrh řízení pracoviště

Pro výběr PLC a přípojných dílů včetně PLC displeje má zákazník požadavek pro použití produktů od společnosti SIEMENS.

Nejjednodušší řešení a nejčastěji v praxi používané pracoviště s robotem řízeno pomocí PLC Siemens, které řídí spojení s ostatními prvky pracoviště, zajišťuje pracovní cykly jednotlivých zařízení a pomáhá kontrolovat bezpečnost celého pracoviště.^[24]

V našem případě systém PLC vyhodnotí informace ze senzorů, bezpečnostních systémů apod. a pošle signál k provedení pracovního cyklu robotu. Po provedení pracovního cyklu řídicí systém robota oznámí dokončení cyklu zpět do PLC. Výběr typu PLC a popis řízení bude dále rozebrán.

3.9 Koncept zajištění bezpečnosti

Při návrhu bezpečnosti pracoviště budeme řešit bezpečnost pro celé pracoviště a nebudou brány v úvahu bezpečnostní prvky jednotlivých stávajících strojních zařízení (svařovací laser, rotační zásobníky atd.), které již jsou v rámci manuálního pracoviště vyřešené.

Pracoviště je navrhované jako plně automatizované a bezobslužné a do pracovní oblasti robota by měl mít přístup jenom odborný servisní technik, který bude obsluhovat robota a řešit potíže při chodu automatizovaného pracoviště. Do blízkosti k robotu bude zabráněn vstup pomocí mechanického oplocení, které je nejběžnějším a nejlevnějším řešením pro zamezení přístupu do nebezpečné zóny robota. Při vstupu do pracoviště se vypne činnost robota (nouzové zastavení), ale nenastane přerušení procesu svařování v laseru. Robota bude možno znovu spustit po odchodu z pracovní oblasti robota a vyresetováním pracoviště a opětovným spuštěním proškolenou technickou obsluhou pracoviště.

Zabezpečení vstupní části do pracoviště lze řešit dvěma způsoby:

- dveře se zámkem
- světelná mříž

Pro pracoviště bude zvolena varianta se zamykatelnými dveřmi proti vstupu neoprávněných osob do prostor pracoviště.

Tento návrh bude detailněji rozebrán v další části této práce, která bude řešit bezpečnost na pracovišti.



4 Volba typu průmyslového robotu

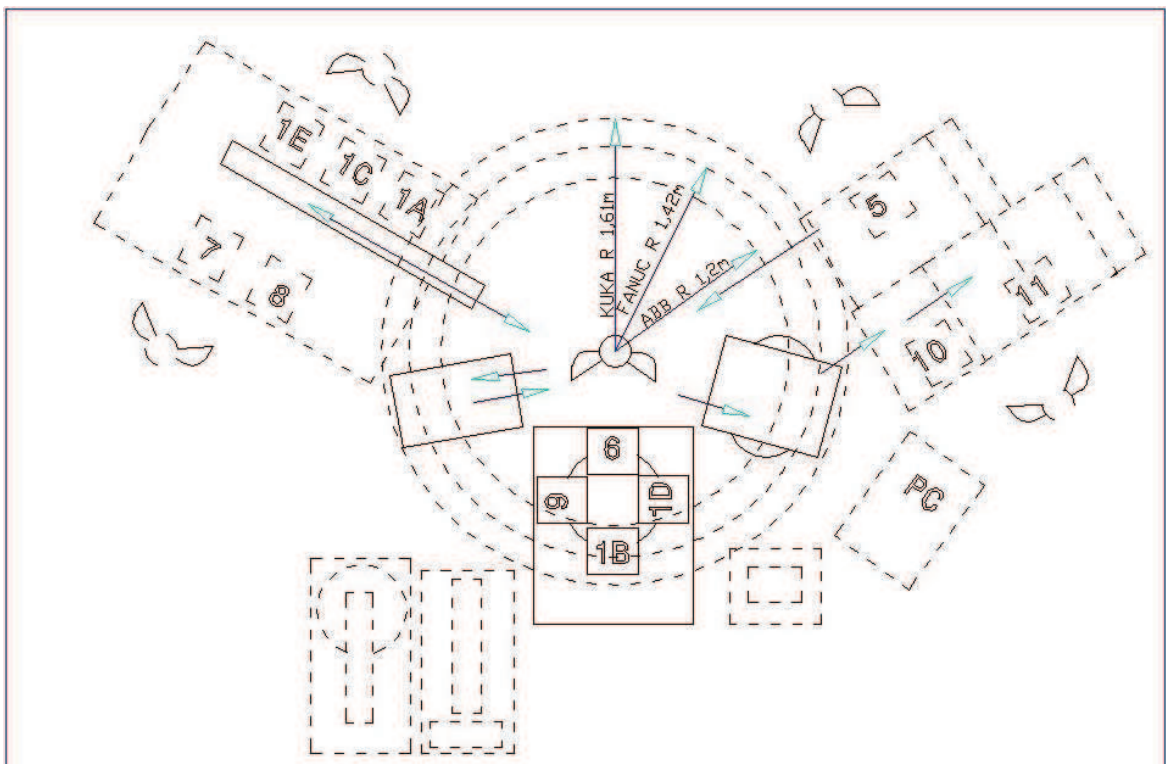
4.1 Požadavky pro výběr robotů

Pro konkrétní výběr robotu záleží na hmotnosti, s jakou bude robot manipulovat, vzdálenost dosahu potřebnou pro manipulaci, kolik stupňů volnosti robot potřebuje k zvládnutí dané aplikace, nutná přesnost polohování výrobku, potřebná rychlost pohybu a další požadavky.^[3]

Při výběru robotu se vycházelo ze zákaznických požadavků, které jsou, aby servisní oddělení pro roboty mělo zastoupení v České republice a další kritérium požadované zákazníkem bylo možnost uzavřít pozáruční servisní smlouvu s reakční dobou do 12 hodin.

Pro potřebu obsluhy svařovacího laseru, kde robot vkládá a vyjímá svařované kusy v zakladači laseru, je kvůli složitosti manipulace nutno uvažovat o robotu s šesti osami volnosti, který je vhodný k manipulaci a obsluze strojů a celková nosnost koncového efektoru a nejtěžšího svařovaného kusu nepřesáhne 5kg. Pro dosah robotu, který vychází ze schématu pracoviště, je ideální poloměr dosahu robota od 1,2m.

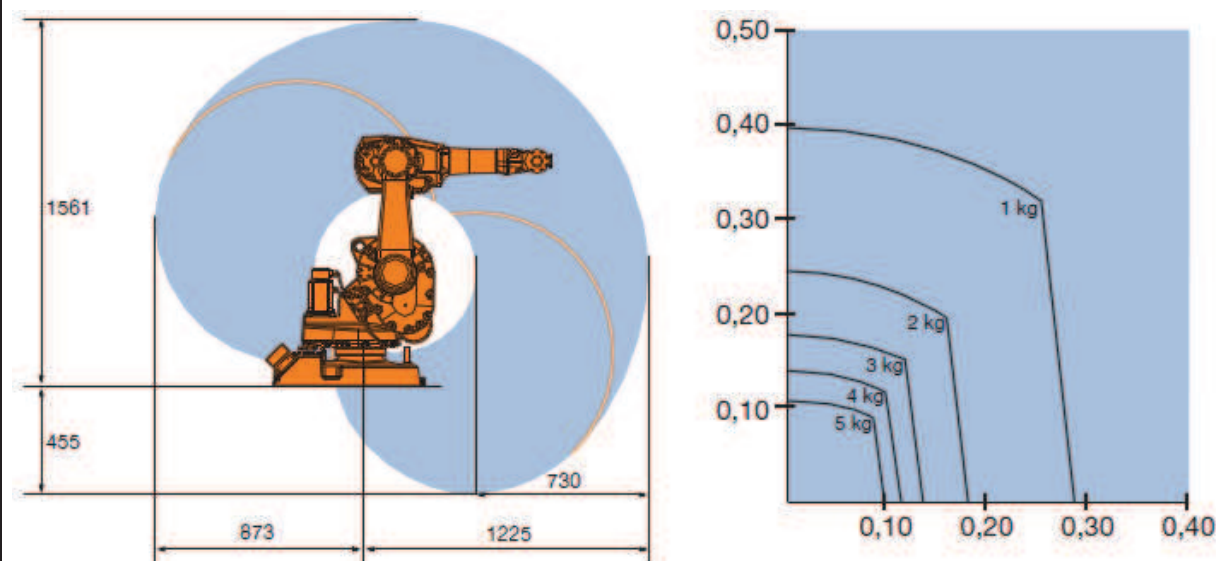
Pro výběr robotu proto uvažujeme výběr ze tří velkých společností, které mají pobočky v České republice a to ABB, KUKA a FANUC.



Obr. 39: Schéma návrhu pro roboty

4.1.1 Průmyslový robot od firmy ABB

Od společnosti ABB byl navržen 6osý robot IRB 1600. Spolehlivý a rychlý robot s opakovatelností polohy $\pm 0,05$ a velmi dobrou přesností dráhy. Tento robot se používá například pro obloukové svařování, montáž, tlakové lití, obsluhu strojů, manipulaci s materiálem a balení. Vyrábí se ve čtyřech variantách a pro naše aplikace postačí s dosahem do 1,2 metrů a nosností 6 kg (IRB 1600-6/1,2).^[25]



Obr. 40: Pracovní oblast a zátěžový diagram pro robot IRB 1600 – 6/1,2^[25]

Robot je řízený řídicím systémem IRC 5, který je pátou generací řídicích systémů společnosti ABB. Kromě jedinečného řízení pohybu robotu, přináší také flexibilitu, bezpečnost, modularitu, pro zákazníka přizpůsobivé uživatelské rozhraní, multi-řízení robotů a počítačový nástroj podpory.^[25]

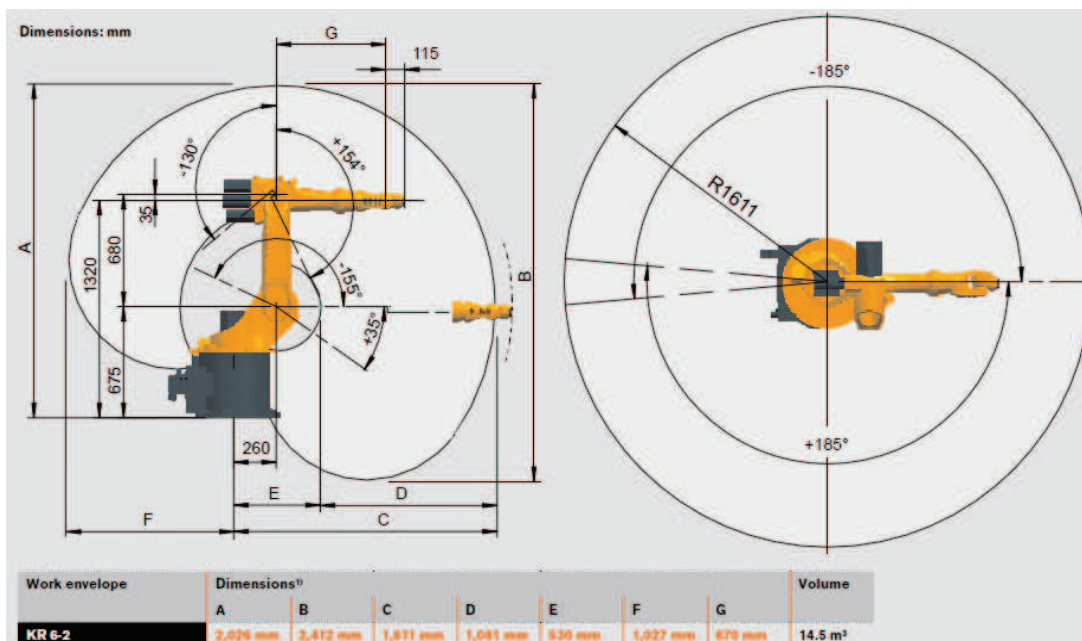


Obr. 41: Řídicí systém robotu IRC 5^[25]



4.1.2 Průmyslový robot od firmy KUKA

Od společnosti KUKA byl navržen 6osý robot KR 6-2, který mistrovsky ovládá pohyby v pracovní zóně ve tvaru pěsti a ideálně se hodí pro prostorově a finančně úsporné koncepce zařízení. Jeho přesnost opakování je $\pm 0,05$ s maximálním dosahem 1,611 metrů a mezní zátěží 6 kg.^[26]



Obr. 42: Pracovní oblast pro robota KR 6-2 ^[26]

Robot je řízený řídicím systémem KR C4, který je výkonný, bezpečný, flexibilní a inteligentní. Jeho revoluční koncept vytváří bezpečný základ pro automatizaci zítřka. Tento systém má jasně strukturovanou architekturu systému, orientovanou na otevřené a výkonné datové standardy. Architekturu, ve které všechny integrované řídicí systémy počínaje SafetyControl přes RobotControl, MotionControl, LogicControl až po ProcessControl mají společnou datovou základnu a infrastrukturu a inteligentně ji využívají a sdílejí.^[26]

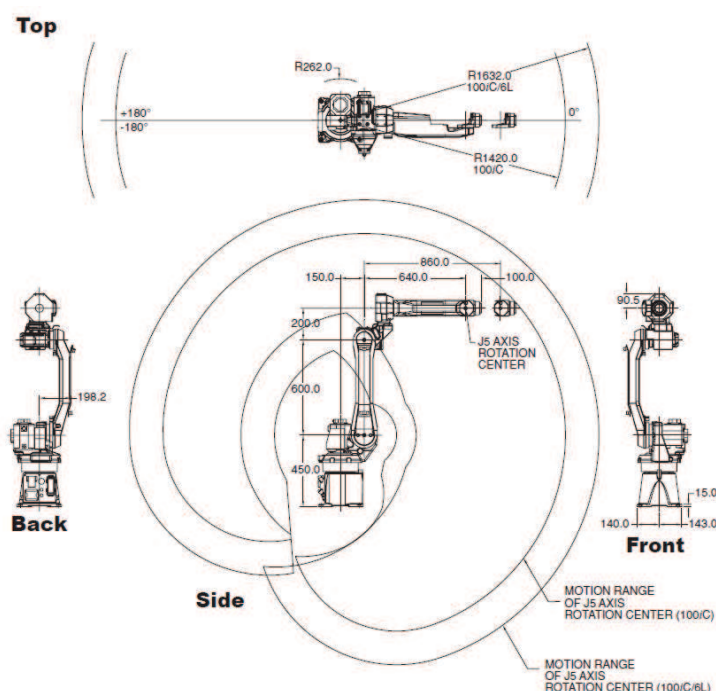


Obr. 43: Řídicí systém robotu KR C4^[26]

4.1.3 Průmyslový robot od firmy FANUC

Od společnosti FANUC byl původně navržen 6osý robot M-6iB nabízející vysokou flexibilitu pro aplikace, které vyžadují nosnost až do 6 kg dosahem 1,373 metrů. Po konzultaci se zástupcem společnosti Fanuc bylo zjištěno, že tento model robotu ale není v současné době aktuální a nemá za sebe náhradu.^[27]

Byl proto po odeslání požadavků do společnosti Fanuc doporučen podobný model AM100iCe, který má přesnost opakování 0,08 a dosah 1,420 metrů s maximálním zatížením zápěstí 10kg.^[27]



Obr. 44: Pracovní oblast pro robot AM100iCe^[27]

Robot je řízený velmi malým řídicím systémem R-30iA Mate, který obsahuje integrovaný 2D systém zpracovávání obrazu pro rychlejší instalaci aplikací vision, který lze snadno upgradovat na 3D systém zpracování obrazu. Řídicí systém má vlastní operační systém Fanuc, který nabízí snadnou obsluhu a vysokou bezpečnost dat v případě výpadku proudu. Dále řídicí systém monitoruje přehřátí a detekuje kolize na principu sledování rozdílu mezi skutečným a předpokládaným proudem motoru.^[27]



Obr. 45: Řídicí systém robotu R-30iA Mate^[27]

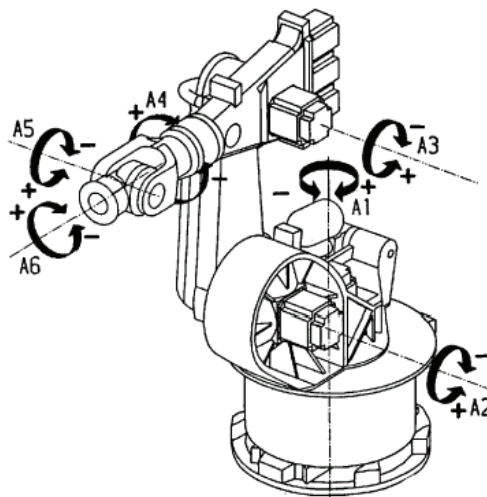


4.2 Zhodnocení vybraných robotů

Pro výběr robotu byla nejhlavnějším kritériem pořizovací cena, rychlost pohybu robotu a pohybový rozsah v jednotlivých osách. V tabulce 2 jsou vypsány jednotlivé charakteristiky pro lepší porovnání vlastností vybraných robotů.

Tab. 2: Specifikace vybraných robotů^{[25][26][27]}

	ABB IRB 1600	KUKA K6-2	Fanuc AM100iCe
Počet os [-]	6	6	6
Cena [Kč]	555000,-	550400,-	539500,-
Pohybový rozsah robota [°]	A1	360	360
	A2	199	250
	A3	290	445
	A4	400	380
	A5	230	380
	A6	800	720
Rychlostní rozsah robota [°/s]	A1	150	210
	A2	160	190
	A3	170	210
	A4	320	400
	A5	400	400
	A6	460	600
Dosah [mm]	1200	1611	1420
Nosnost [kg]	6	6	10
Opakovatelnost[mm]	± 0,05	± 0,05	± 0,08
Váha robota [kg]	250	235	130
Pozáruční smlouva	ANO	ANO	ANO



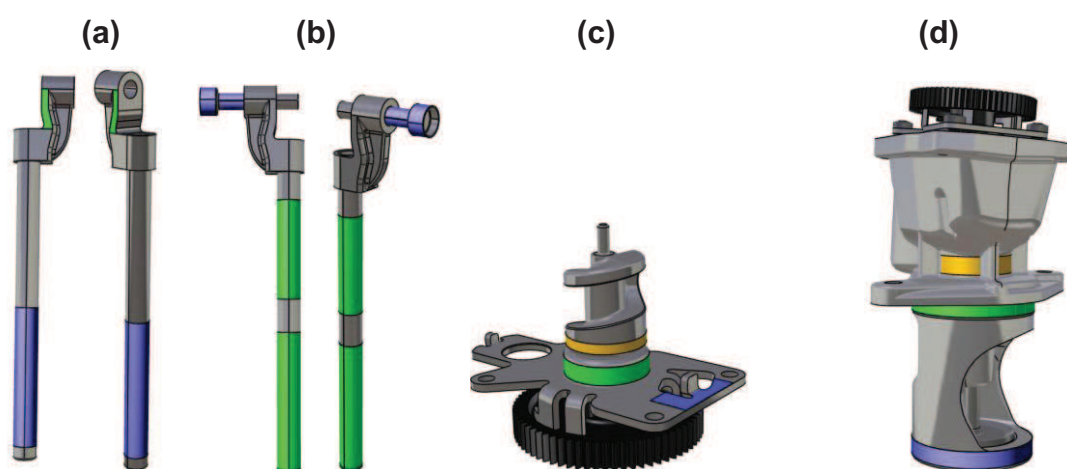
Obr. 46: Označení os robotu^[28]

Pro automatizaci našeho pracoviště byl vybrán robot od společnosti Fanuc, která nabídla nejlepší pořizovací cenu robotu a dále tento robot má většinou lepší pohybový a rychlostní rozsah. Lepší nosnost a váha robotu je také výhodou, i když pro výběr nebyly tyto specifikace podmínkou. Tento robot má akorát horší přesnost opakování než konkurenční dva roboty, pro naši aplikaci je ale i tato horší přesnost dostatečná.

5 Návrh koncového efektoru

Při návrhu koncového efektoru byla zvolena nejvhodnější úchopová místa s ohledem na uchycení svařovaných kusů v zakladači laseru a odběrových a odkládacích místech. A následně vybrán způsob uchopení v čelistech chapadla. Při návrhu je snaha navrhnout co nejmenší chapadlo kvůli nedostatku operačního místa v zakladači laseru. Jak je rozebráno v kapitole 3, kde je návrh typu chapadla, volíme dvě paralelní chapadla, která se budou vyměňovat přes automatickou výměnu nástrojů.

5.1 Návrh uchopovacích míst



Obr. 47: Uchopovací plochy součástí: a) 1B b) 1D c) 6 d) 9

a) 1B

U prvního svařovaného kusu lze uvažovat nad dvěma uchopovacími místy. První možný úchop jsou plochy na raménku vzdálené od sebe 8mm a dlouhé 10mm, zobrazené zeleně (Obr. 47), kde by byl do zakladače kus vkládán robotem svrchu. Další možná úchopová plocha je dole na tyči dříku (označené modře), která je zobrazena modře s průměrem 6mm. Nevýhodou této úchopové plochy je úchop velmi nízko. Pro vyšší a ideální úchop by bylo potřeba upravit zakladač laseru.

b) 1D

U druhé svařované součástky se jako nejlepší úchopová plocha jeví tyč dříku ($\varnothing 6\text{mm}$), která díky jinému způsobu zakládání do zakladače laseru, je uchopitelná skoro po celé její délce (označeno zeleně). Další možností je úchop přes vodící kulisu, který je ale nevýhodný, protože je mimo těžiště. Další úchopy s ohledem na konstrukci zakladače jsou těžko realizovatelné.

c) 6

U součásti s radiální vačkou je nejlepší možný úchop za horní vodící část plechu pro vačku (označený zeleně) na průměru 21,5mm. Dále je navrhovaný úchop přímo za vačku (oranžový), tento úchop je ale problematický, protože se jedná o docela malou plochu a dále vačka se může otáčet a díl by pak nešlo ustavit mezi hroty. Poslední navrhovaná plocha (modrá) není navrhována pro ukládání do zakladače, protože je zanořená v ustavovacím dílu v zakladači, ale lze ji použít po přechytnutí jako způsob jak díl odkládat po svařovací operaci do skluzu.



d) 9

U sestavy tělesa ventilu je pravděpodobně nejideálnější úchopová plocha na sedle ventilu v místě pod přírubou na průměru 46,95mm (označená zeleně). Tato dosedací plocha bude také nejpřesněji vyrobena, neboť se jedná o přípojnou část. Další možná úchopová plocha je označená modře a jedná se o spodní část ventilu a jedná se taky o dosedací plochu. Táto varianta je ale nevhodná, protože je daleko od těžiště. Poslední navrhovaná plocha (oranžová) je kvůli konstrukci žeber a tím potřebného většího zdvihu problematická, navíc se také nejedná o žádnou konstrukčně důležitou plochu a tím vznikají problémy s tolerancemi.

Po vyhodnocení všech možných úchopových ploch jsou pro úchop chapadla zvolené plochy (Obr. 47), které jsou označené zeleně.

5.2 Stanovení uchopovacích sil pro výběr chapadla

U výpočtu sil působících na chapadlo potřebujeme znát koeficient tření mezi čelistí chapadla a uchopovanou plochou, uchopovaný kus budeme brát za suchý povrch a tření vybereme pro ocel na ocel kde je koeficient tření $\mu = 0,2$ (Obr. 49). Bezpečnost se volí $S = 2$ ^[4]

Pro výpočet potřebujeme také znát hmotnost uchopovaného objektu, která je uvedena v tabulce 1 v kapitole Rozbor zadání a dále pro výpočet uvažujeme, že moderní průmyslový robot dosáhne standartní zrychlení asi $a = 20 \text{ m/s}^{-2}$.^[4]

způsob uchycení	směr zrychlení	síla / požadovaná upínací síla na čelisti chapadla
		$F_G = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{Gz} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$ $F_{Gx} = ma_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{Gz} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$ $F_{Gy} = ma_y S$
		$F_G = m(a_z + g) \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S$
		$F_G = m \left(a_x + g \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$
		$F_{Gz} = mg \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S$ $F_{Gy} = ma_y \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_G = m(a_z + g) S$
		$F_G = m \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$
		$F_{Gz} = mg S$ $F_{Gy} = ma \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$

Obr. 48: Vzorce pro výpočet uchopovací síly^[4]

kombinace materiálů	koeficient tření	
	suchý povrch	mazaný povrch
Ocel na litinu	0.2	0.15
Ocel na ocel	0.2	0.1
Ocel na Cu-Sn slitiny	0.2	0.1
Ocel na Po-Sn slitiny	0.15	0.1
Ocel na polyamid	0.3	0.15
Ocel na třecí vrstvu	0.6	0.3
Ocel na Quentes (SCHUNK)	0.3 - 0.4	-

Obr. 49: Koeficienty tření pro různé materiály^[4]

5.2.1 Výpočty sil pro jednotlivé uchopované díly

Podle způsobu navrženého uchycení byly pro jednotlivé díly vypočítány potřebné upínací síly pro volbu chapadel (Obr. 48).

$$\mu = 0,2 \text{ (ocel - ocel)} \quad a_x = a_y = a_z = 20 \frac{m}{s^2}$$

$$S = 2 \quad g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$m_{1B} = 0,027kg \quad \alpha_{1B} = 90^\circ$$

$$m_{1D} = 0,030kg \quad \alpha_{1D} = 90^\circ$$

$$m_6 = 0,079kg \quad \alpha_6 = 120^\circ$$

$$m_9 = 0,614kg \quad \alpha_9 = 156^\circ$$

1) Výpočet pro součást 1B

Pohyb v ose Z

$$F_G = m_{1B} \cdot (a_z + g) \cdot S$$

$$F_G = 0,027kg \cdot \left(20 \frac{m}{s^2} + 9,81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot 2$$

$$F_G = 1,61N$$

Pohyb v ose X

$$F_G = m_{1B} \cdot \left(g + a_x \cdot \frac{\tan\left(\frac{\alpha_{1B}}{2}\right) \cdot 1}{2} \cdot S \right)$$

$$F_G = 0,027kg \cdot \left(9,81 \frac{m}{s^2} + 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\tan\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{2} \cdot 2 \right)$$

$$F_G = 0,805N$$

Pohyb v ose Y

$$F_{G,Z} = m_{1B} \cdot g \cdot S \quad F_{G,Y} = m_{1B} \cdot a_y \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_{1B}}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,027kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2 \quad F_{G,Y} = 0,027kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 1,08N \quad F_{G,Y} = 0,936N$$



2) Výpočet pro součást 1D

Pohyb v ose Z

$$F_{GZ} = m_{1D} \cdot (a_z + g) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_{1D}}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{GZ} = 0,030kg \cdot \left(20 \frac{m}{s^2} + 9,81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{GZ} = 3,161N$$

Pohyb v ose X

$$F_{G,Z} = m_{1D} \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_{1D}}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,030kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 1,04N$$

$$F_{G,X} = m_{1D} \cdot a_x \cdot \frac{\tan\left(\frac{\alpha_{1D}}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,X} = 0,030kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\tan\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,X} = 3N$$

Pohyb v ose Y

$$F_{G,Z} = m_{1D} \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_{1D}}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,030kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 1,04N$$

$$F_{G,Y} = m_{1D} \cdot a_x \cdot S$$

$$F_{G,Y} = 0,030kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot 2$$

$$F_{G,Y} = 1,2N$$

3) Výpočet pro součást 6

Pohyb v ose Z

$$F_{GZ} = m_6 \cdot (a_z + g) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_6}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{GZ} = 0,079kg \cdot \left(20 \frac{m}{s^2} + 9,81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{GZ} = 10,196N$$

Pohyb v ose X

$$F_{G,Z} = m_6 \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_6}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,079kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 3,355N$$

$$F_{G,X} = m_6 \cdot a_x \cdot \frac{\tan\left(\frac{\alpha_6}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,X} = 0,079kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\tan\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,X} = 13,683N$$

Pohyb v ose Y

$$F_{G,Z} = m_6 \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_6}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,079kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 3,355N$$

$$F_{G,Y} = m_6 \cdot a_x \cdot S$$

$$F_{G,Y} = 0,079kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot 2$$

$$F_{G,Y} = 3,16N$$

4) Výpočet pro součást 9

Pohyb v ose Z

$$F_{GZ} = m_9 \cdot (a_z + g) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_9}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{GZ} = 0,614kg \cdot \left(20 \frac{m}{s^2} + 9,81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{156^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{GZ} = 89,507N$$

Pohyb v ose X

$$F_{G,Z} = m_9 \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_9}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,614kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{156^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 29,449N$$

$$F_{G,X} = m_9 \cdot a_x \cdot \frac{\tan\left(\frac{\alpha_9}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,X} = 0,614kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\tan\left(\frac{156^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,X} = 288,864N$$

Pohyb v ose Y

$$F_{G,Z} = m_9 \cdot g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha_9}{2}\right)}{2 \cdot \mu} \cdot S$$

$$F_{G,Z} = 0,614kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{156^\circ}{2}\right)}{2 \cdot 0,2} \cdot 2$$

$$F_{G,Z} = 29,449N$$

$$F_{G,Y} = m_9 \cdot a_x \cdot S$$

$$F_{G,Y} = 0,614kg \cdot 20 \frac{m}{s^2} \cdot 2$$

$$F_{G,Y} = 24,56N$$

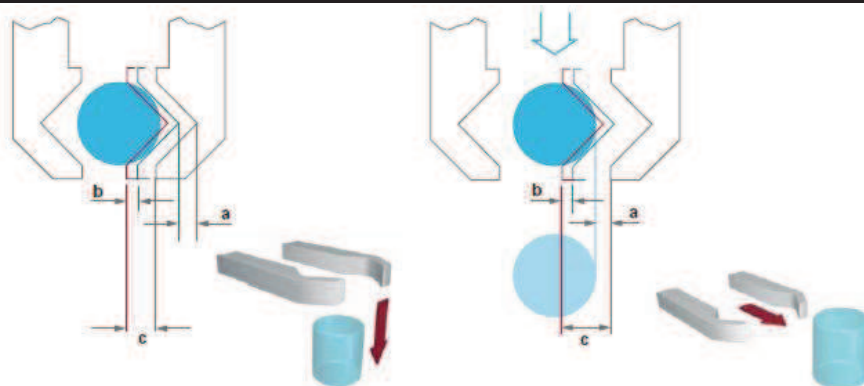
Tab. 3: Spočítané síly pro jednotlivé díly

Síla / Požadované upínací síly na čelist chapadla				
Označení dílu	1B		1D	
Směr zrychlení v ose Z	F _G = 1,61N		F _{G,Z} = 3,161N	
Směr zrychlení v ose X	F _G = 0,805N		F _{G,Z} = 1,04N	F _{G,X} = 3N
Směr zrychlení v ose Y	F _{G,Z} = 1,08N	F _{G,Y} = 0,936N	F _{G,Z} = 1,04N	F _{G,Y} = 1,2N
Označení dílu	6		9	
Směr zrychlení v ose Z	F _{G,Z} = 10,196N		F _{G,Z} = 89,507N	
Směr zrychlení v ose X	F _{G,Z} = 3,355N	F _{G,X} = 13,683N	F _{G,Z} = 29,499N	F _{G,X} = 288,864N
Směr zrychlení v ose Y	F _{G,Z} = 3,355N	F _{G,Y} = 3,16N	F _{G,Z} = 29,499N	F _{G,Y} = 24,56N

5.3 Návrh zdvihu chapadla

Při výběru chapadla potřebujeme znát nejen potřebnou sílu, ale také zdvih chapadla. K úspěšnému úchytu uvažujeme velikost otevření v závislosti na formě čelisti a směru přístupu chapadla k uchopovanému objektu. Z toho důvodu je zdvih čelisti chapadla nezbytný pro úchyt a je nazýván požadovaný zdvih čelisti (c). Jak je znázorněno na obrázku 50, chapadlo musí být otevřeno víc pro radiální úchop, tj. když chapadlo najede na objekt z boku, než pro axiální, tj. nájezd chapadla shora.^[4]

Další pojmy jako upínací rezerva (b) a otvírací rezerva (a) jsou vzdálenosti k zajištění bezpečnosti s ohledem na rozměr obrobku. Pokud by některé svařované kusy měli vyjít menší v průměru kvůli výrobní toleranci, upínací rezerva to kompenzuje a díky tomu je chapadlo schopno bezpečně uchopit objekty v případech menších rozměrů. Otvírací rezerva umožňuje větší otevření chapadla než je nutné pro standardní rozměry obrobku k zabránění případným kolizím s nadměrnými objekty.^[4]



Obr. 50: Axiální (vlevo) a radiální (vpravo) úchop dílu^[4]

Tab. 4: Návrh potřebného zdvihu pro chapadla

Součást	Uchopovací velikost	Způsob úchopu	c	a	b
1A	8 mm	Radiální	5 mm	2 mm	0,5 mm
1D	Ø 6 mm	Radiální	5 mm	2 mm	0,5 mm
6	Ø 21,5 mm	Axiální	5 mm	4,5 mm	0,5 mm
9	Ø 46,95 mm	Radiální	10 mm	6,5 mm	1 mm

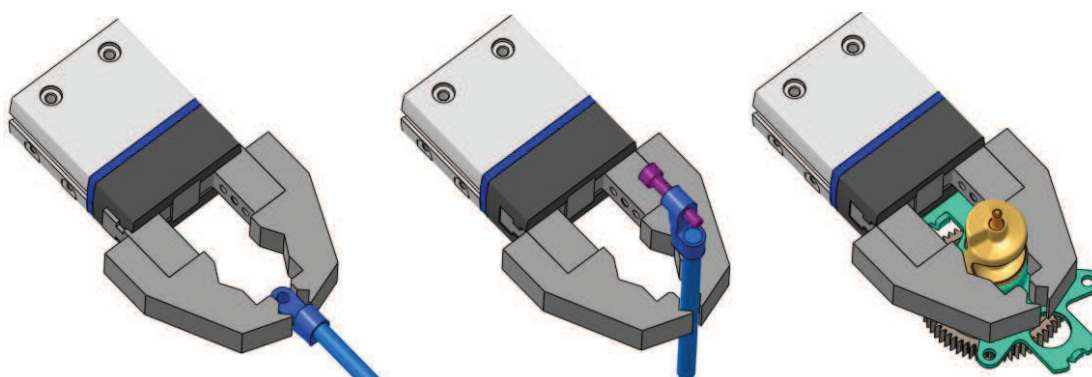
Z navržené tabulky 3 vyplývá, že součásti 1A, 1D a 6 by bylo možné brát jedním chapadlem s minimálním zdvihem 5 mm. Poslední součást 9 bude možno brát chapadlem s minimálním zdvihem 10 mm.

5.3.1 Výběr chapadel

S ohledem na požadavky zákazníka byla zvolena chapadla od firmy Festo, která budou počítána na pracovní tlak maximálně do 6 barů.

Pro první tři svařované kusy bylo vybráno pneumatické paralelní chapadlo DHPS velikosti 16 s pojištěním síly úchopu při uzavření, s rozevřením čelistí 10 mm a kódovým označením DHPS-16-A-NC, kde způsob uchycení bude přes silový styk.

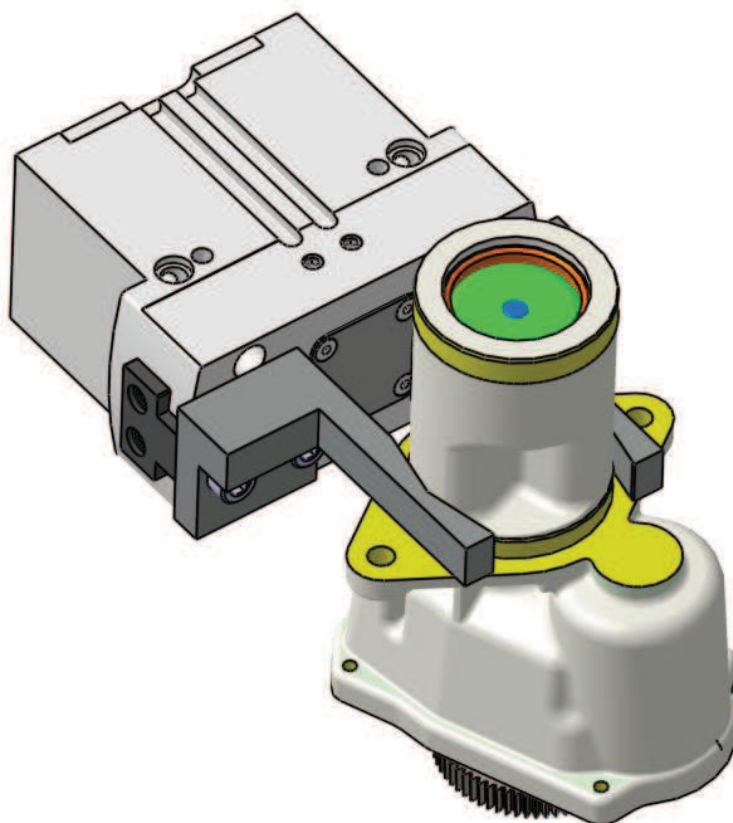
Pro čtvrtý svařovaný kus bylo vybráno pneumatické paralelní chapadlo HGPT velikosti 40 s pojištěním síly úchopu při uzavření, celkovém rozevření čelistí 20 mm a kódovým označením HGPT-40-A-B-G2. U tohoto chapadla bude uchycení také provedeno přes silový styk.



Obr. 51: Zobrazení uchopení dílů do chapadla (1B, 1D, 6)

Pro první chapadlo byly navrženy multifunkční ocelové čelisti s dvěma prizmaty, kde je úchyt proveden přes silový styk. První prizma s úchytovým úhlem 90° slouží k uchycení dílů 1B a 1D, druhé prizma s úchytovým úhlem 120° slouží k uchycení dílu 6.

Protože hmotnost čtvrtého výrobku (9) je řádově větší a zdvih chapadel a síla čelistí musí být také větší, byl pro tento výrobek navržený jiný typ chapadla a úchopných čelistí. Z tohoto důvodu bude nutné mezi operacemi dílu 6 a 9 a pak znovu mezi 9 a 1B být prováděna výměna nástroje.



Obr. 52: Zobrazení uchopení dílu do chapadla (9)

Pro druhé chapadlo jsou navrženy tenké ocelové úchopné čelisti, zprostředkující silový úchop přes prizmata. Čelisti jsou ztenčené z důvodu omezeného prostoru v zakladači laseru a mají úchopový úhel 156° .

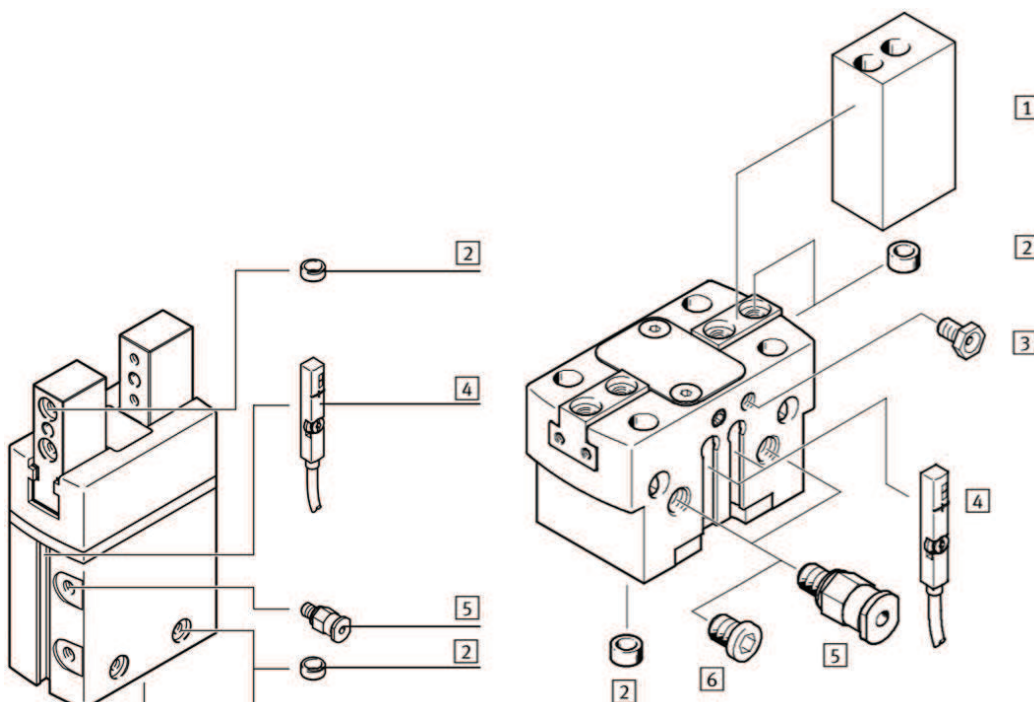
V následující tabulce jsou vypsány technické specifikace vybraných chapadel a i když chapadla byla vybrána poměrně velká a v případě prvního chapadla (DHPS) i silově velmi předimenzována, tak je nutno tato chapadla volit z důvodu potřebných zdvihů čelistí.



Tab. 5: Technické údaje pro vybrané chapadla^[29]

Obecné technické údaje		
typ chapadla	DHPS	HGPT
velikost	16	40
konstrukce	páka	
	nucený průběh pohybu	
způsob činnosti	dvojčinný	
funkce úchopu	paralelní	
počet čelistí	2	2
max. tíha externího palce chapadla [N]	1,5	3,1
zdvih každé čelisti [mm]	5	10
připojení pneumatiky	M3	M5
přesnost opakování [mm]	≤0,02	±0,025
max. přesnost při výměně [mm]	≤±0,2	0,2
max. pracovní frekvence [Hz]	3	2
rotační symetrie [mm]	≤Ø0,2	≤Ø0,2
montážní poloho	libovolná	libovolná
síla úchopu každé čelisti	rozevření	105
	sevření	96
celková síla úchopu	rozevření	210
	sevření	190
hmotnost [g]	184	821

5.4 Příslušenství k chapadlům



Obr. 53: Další příslušenství pro chapadla^[29]

- 1 – čelist chapadla
- 2 – středící dutinka ZBH
- 3 – mazací hlavice
- 4 – magnetické čidlo SMAT-8M
- 5 – šroubení s nástrčnou koncovkou (pro připojení hadic na stlačený vzduch s tolerovaným vnějším průměrem)
- 6 – záslepka B-M5-B

Pro snímání polohy čelistí chapadel bude použito magnetické čidlo polohy SMAT-8M-U-E-0,3-M8D, které se usazuje do T drážky s analogovým výstupem 0 až 10 V.

5.4.1 Automatická výměna nástrojů

Jak bylo rozebráno v kapitole Návrh koncepce pracoviště, jako nejlepší volba se jeví koncepce dvou chapadel a automatické výměny nástrojů. Pro automatickou výměnu nástrojů volím rychlovýměnný systém SWS od společnosti Schunk a to typ SWS-005, protože Festo nenabízí automatickou výměnu nástrojů.

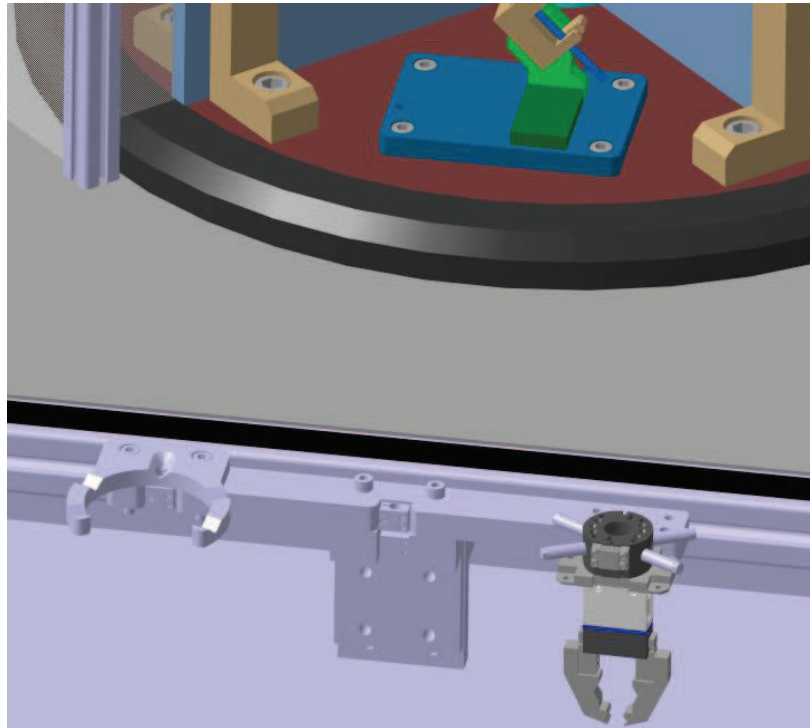
SWS nabízí samoudržovací uzamykací systém při ztrátě tlaku, monitorování spojení pomocí indukčních snímačů.



Obr. 54: Rychlovýměnný systém SWS (Schunk)^[30]

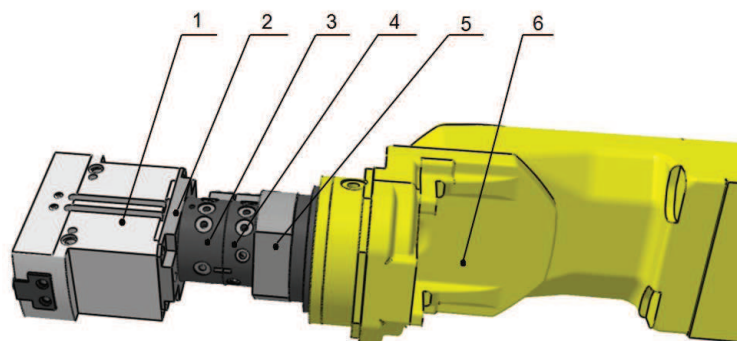


5.4.2 Místo odložení nástrojů



Obr. 55: Odkládací místo

5.5 Výsledný koncový efektor



Obr. 56: Koncový efektor robotu

- 1 – Chapadlo Festo (DHPS nebo HGPT)
- 2 – Příruba pro připojení chapadel (Navržena pro obě chapadla)
- 3 – Spodní díl výměny nástrojů SWA-005 E10 Schunk
- 4 – Vrchní díl výměny nástrojů SWK-005 E10 Schunk
- 5 – Redukční příruba A-SWK-005-ISO-A-50 Schunk
- 6 – Průmyslový robot Fanuc AM100iCE

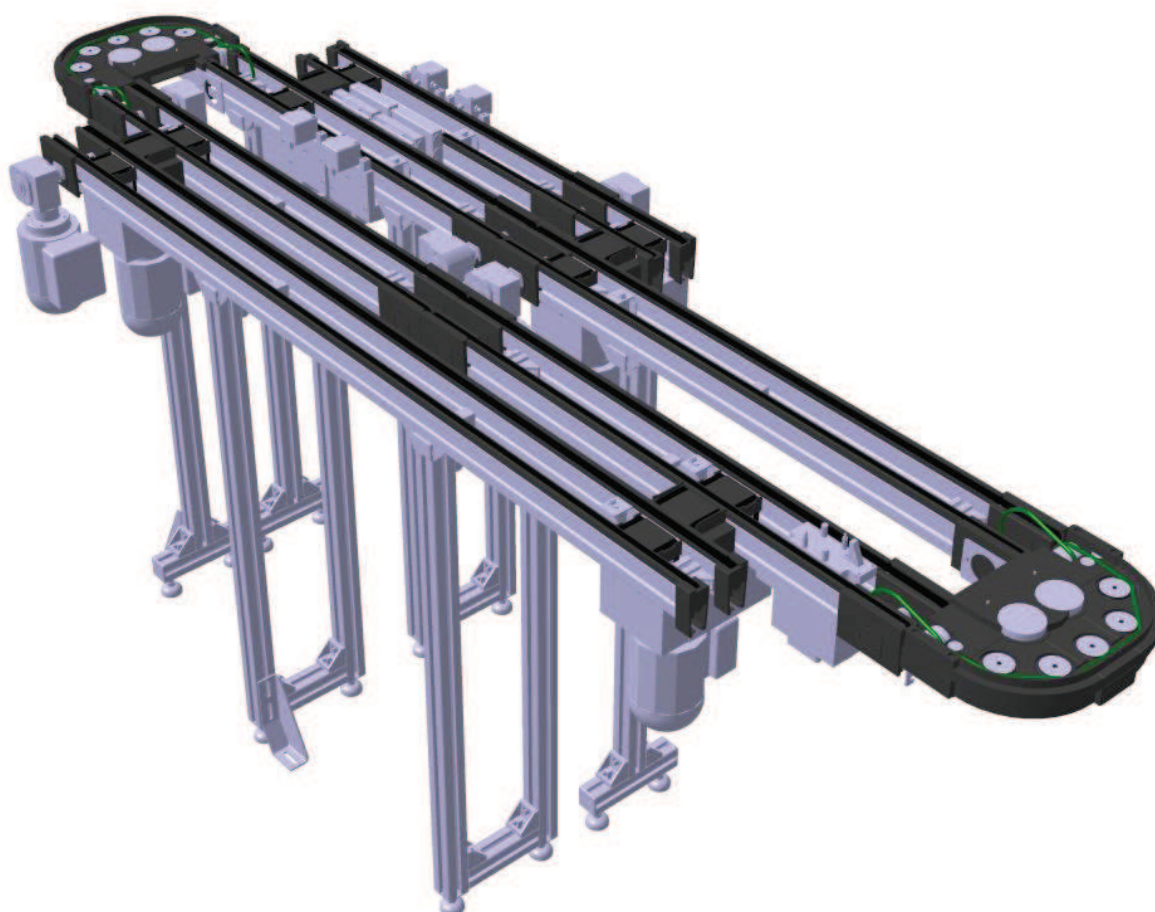
6 Konstrukce paletového dopravního systému

Jak bylo rozebráno v kapitole 3. Návrh koncepce pracoviště pro polohování součástek 1B a 1D bude použit paletový dopravník. Ten byl zvolen od společnosti Bosch Rexroth a to nejmenší verze paletového dopravníku řady TS, kde budou díly přesně upevněny v paletkách. Konstruovaný paletový dopravník bude zajišťovat manipulaci pro obě součásti současně přes systém rozpoznávání palet.

Tento dopravníkový paletový systém TS1 se vyznačuje modulárním stavebnicovým uspořádáním, vysokou provozní spolehlivostí a nejrozumnějším spektrem pro různé průmyslové aplikace. Tento systém je velice flexibilní a umožňuje propojení manuálních a automatizovaných pracovišť.^[31]

6.1 Popis dopravníku

Dopravník byl konstruován s cílem, aby nedocházelo k zpomalování toku materiálu, proto jsou na dopravníku navrženy systémy příčníků, které převádějí palety mezi jednotlivými pásovými sekcemi. Jednotlivé palety pak budou podle svého označení rozdělovány mezi tyto sekce přes systém identifikace palet. Dopravník je vybaven zásobovacími sekcemi, které umožňují hromadění palet připravených pro pracovní operaci.

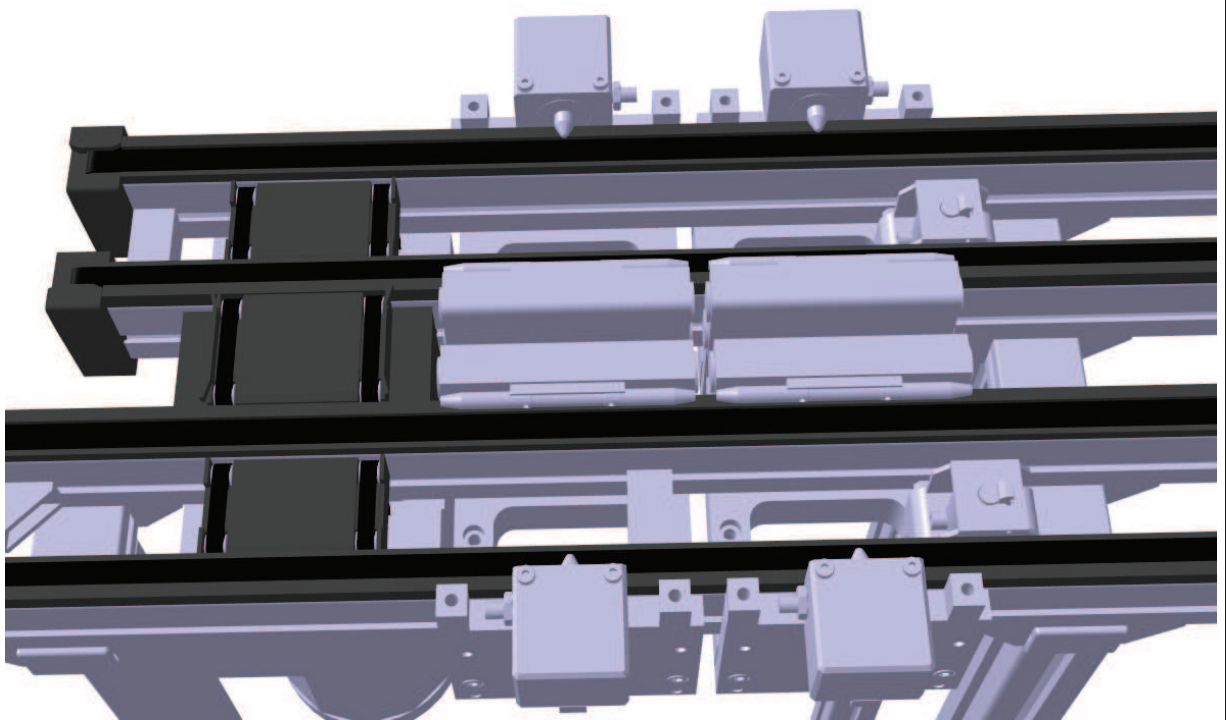


Obr. 57: Navržený paletový dopravník



6.1.1 Odběrové místo pro robota

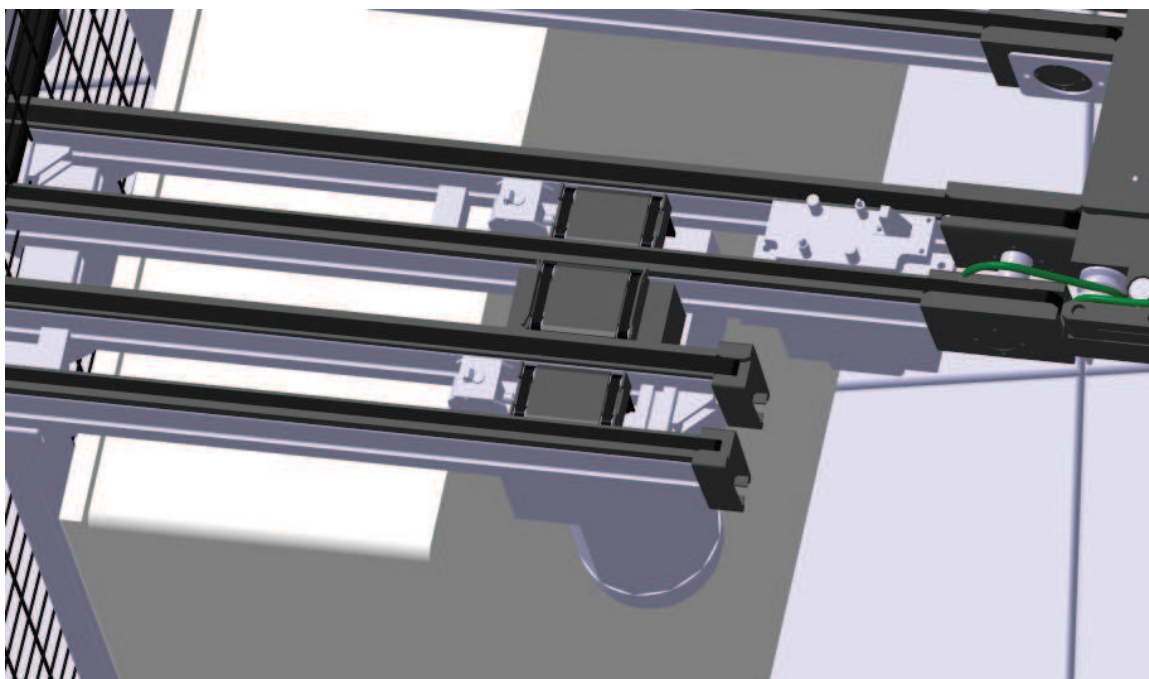
Odběrové místo pro robota má celkem čtyři polohovací jednotky. Na jedné sekci jsou dvě polohovací jednotky, jedna pro paletu, kde bude robot odkládat svařený díl z laseru a druhá pro odběr dílu do laseru. Po odebrání dílu do laseru jsou palety prohozeny, první paleta odjede z odběrového místa a druhá paleta bude zastavena na první polohovací jednotce pro odložení dílu a na druhé polohovací místo přijede nová paleta, která dosud stála ve frontě před ní. Před polohovacími jednotkami je zastavovací jednotka, která vytváří zásobovací sekci palet.



Obr. 58: Odběrové místo pro robota

6.1.2 Zakládací a odbírací místo pro pracovníci

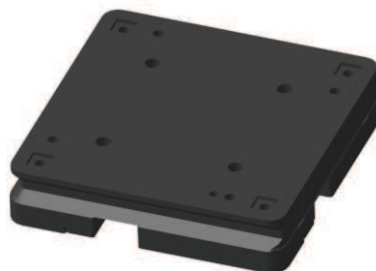
Odebírací a odkládací místo kam bude pracovníce na vedlejším pracovišti odkládat nalisované díly do palet a odebírat svařené díly, je řešeno jako flexibilní. Tato část konstrukce je díky modulárnímu systému možno přeskládat, prodloužit a přizpůsobit tak požadavkům pracoviště. Pro polohování palet je na pásové sekci, která vede k pracovníci, navržen výtah pro palety, který danou paletu zastaví pro vyjmutí svařeného dílu a založení nalisovaného dílu připraveného ke svaření. Tato část dopravníku má před polohovacím výtahem dvě pásové sekce s jednotkou na zastavování palet, kde vznikají opět zásobovací sekce palet. Řízení tohoto dopravníku bude pracovníci posílat palety střídavě nebo je možnost instalování potřebných tlačítek a potřebný druh palety (paleta pro 1B, nebo pro 1D) by bylo možno stisknutím určitého tlačítka přivolat.



Obr. 59: Manipulační místo pro zakládání dílů

6.2 Výběr palety

Vybraná paleta je velikosti 1 (80x80) typ WT 1/K z plastického materiálu PA66 s celkovou nosností 3 kg na paletu a s přesností polohování uváděnou výrobcem na $\pm 0,02$.

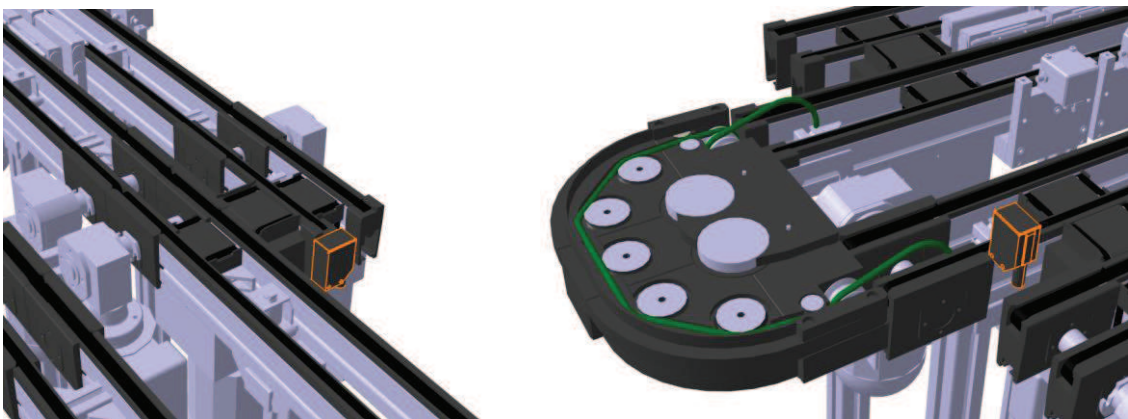


Obr. 60: Paleta WT 1/K

Budou dva druhy palet pro díly 1B a 1D. Každý díl má vlastní zakládací paletku, která je označena identifikačním dílcem a má zakládač podobný jako je zakládač v laseru, který je vyroben ze stejného materiálu jako je paleta (PA66).

6.3 Identifikace palet

Rozpoznávání palet bude zprostředkováno přes identifikační systém ID 15 od stejného výrobce jako paletový dopravník. Palety budou mít na sobě mobilní datové značky, které budou obsahovat identifikační číslo, a systém pak rozezná, jestli se jedná o paletu pro díl 1B nebo 1D. Čtení je prováděno bezkontaktně dynamicky při dopravní rychlosti až do 20 m/min.^[16]

Obr. 61: Zapísovací a čtecí hlava^[16]

Obr. 62: Umístění senzorů pro identifikaci palet

6.4 Konstrukce palet



Obr. 63: Schématické znázornění palet

U paletek bude v principu zajištěn podobný základní princip, jak je v zakladači laseru pro názornou představu, byl vytvořen schématický model obou druhů palet. Detailnější konstrukce ukládání dílů na paletky není náplní práce.

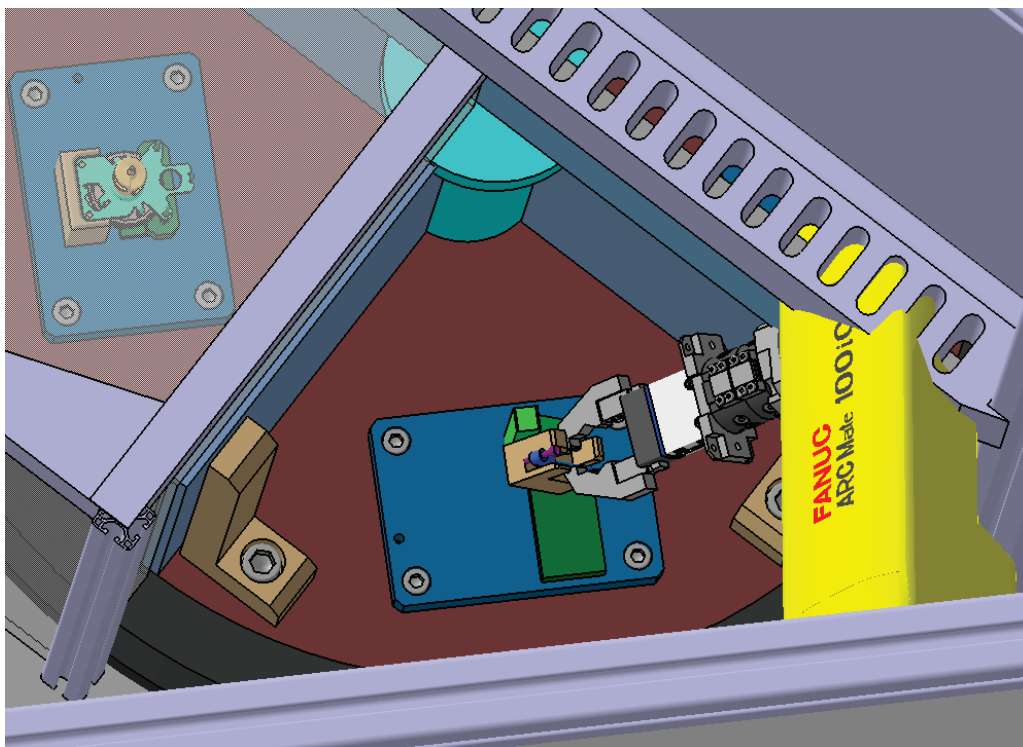
7 Konstrukční úpravy pracoviště

Tato část práce slouží k popisu dalších dílčích problémů, které jsem v průběhu mé práce zjistil a bude nutné je vyřešit pro dokončení celkového konceptu automatizace svařovacího pracoviště. Zjištěný technický problém je vždy popsán a zobrazen a je navržen způsob řešení daného problému.

Uvedený výčet problému jistě není kompletní a konečný.

7.1 Otočení dílu 1D v zakládači laseru

Při řešení vkládání svařovacího dílu 1D do přípravku bylo zjištěno, že chapadlo včetně přípravku na výměnu nástroje se nevejde do vnitřního prostoru svařovacího automatu, neboť svařovací přípravek je konstruován pod úhlem (cca 45°) a rameno robotu zasahuje do dělicí stěny rotačního stolu. Dalšími simulacemi bylo prokázáno, že na uvedenou pozici nelze žádným způsobem najet a rameno robotu se do prostoru nevejde ani bez koncového efektoru (zkoušeno softwarem Delmia). Na obrázku 65 lze vidět přiblížení ramene robotu bez kolize, které je velice blízko zakládacímu přípravku, že na něj nejde umístit koncový efektor.



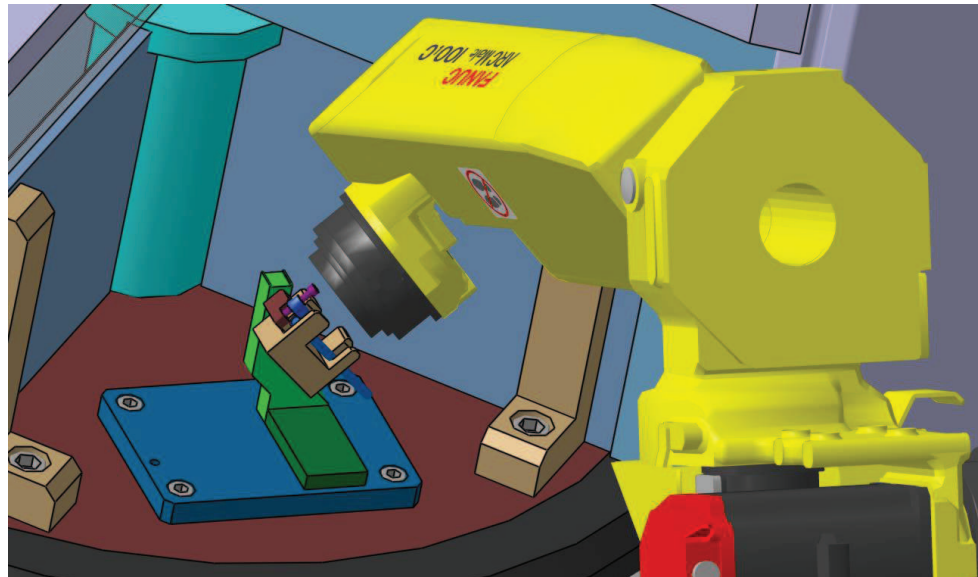
Obr. 64: Kolize při vyjímání dílu

Tento problém je způsobený natočením svařovacího přípravku pro boční vkládání. Tato poloha vkládání je jistě pro obsluhující personál anatomicky příznivější a přirozenější, ale pro robot je výhodnější vkládání čelní, neboť je rychlejší a vyžaduje méně pohybů robotické ruky.

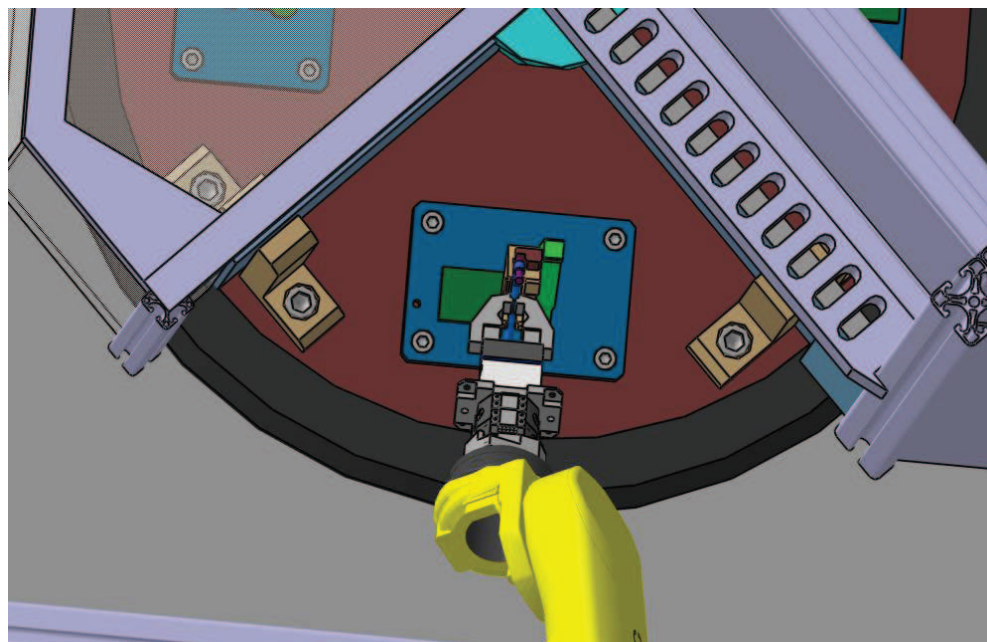
Navrhuji tedy přípravek pro svařování (zelený držák a béžový přípravek) pootočit o 90° a vkládat lisovanou součást 1D z čela. Tento zásah do svařovacího



automatu ale znamená přeprogramování svařovacího automatu na novou polohu výrobku.



Obr. 65: Přiblížení k dílu bez kolize



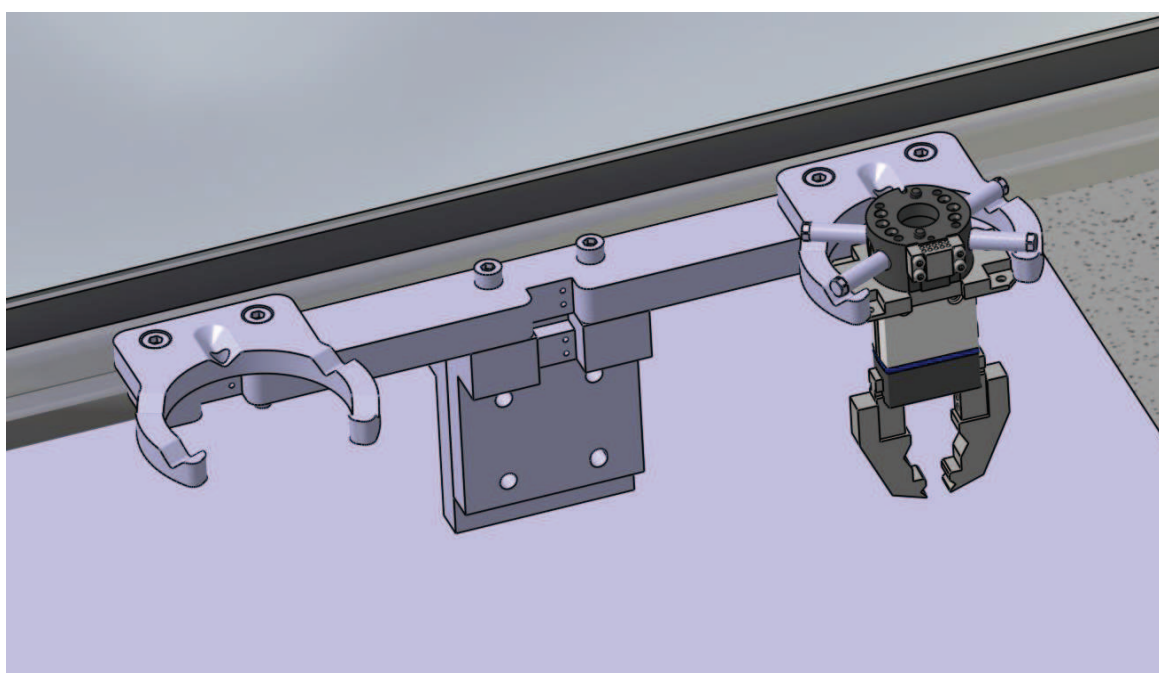
Obr. 66: Nový přístup k dílu

7.2 Umístění přípravku pro odkládání a výměnu chapadla

Jak již bylo popsáno výše, moje varianta uvažuje s výměnou chapadla mezi operacemi 6 a 9 a po ukončení operace 9 opět návrat k prvnímu chapadlu.

Pro odkládání chapadel jsem navrhl jednoduchý přípravek, který by byl namontován přímo na svařovacím laseru. Toto umístění navrhuji v nejbližším možném místě, aby byly opět minimalizovány časy při výměně nástroje. Odložení chapadla by mělo být signalizováno čidly, která by dávala povely do systému řízení.

Umístění čidel by bylo na spodním hranolu odkládacího přípravku a zakomponováno do systému řízení stroje.



Obr. 67: Odkládací místo pro výměnu nástrojů

7.3 Přítomnost svařovaného dílu ve svařovacím přípravku

Pro kontrolu správného umístění svařovaného výrobku ve svařovacím přípravku navrhuji infračervený reflexní snímač, který by byl umístěn na konstrukci odběrových místech. Navrhuji použít výrobek firmy Balluff, typ BOS-5k.

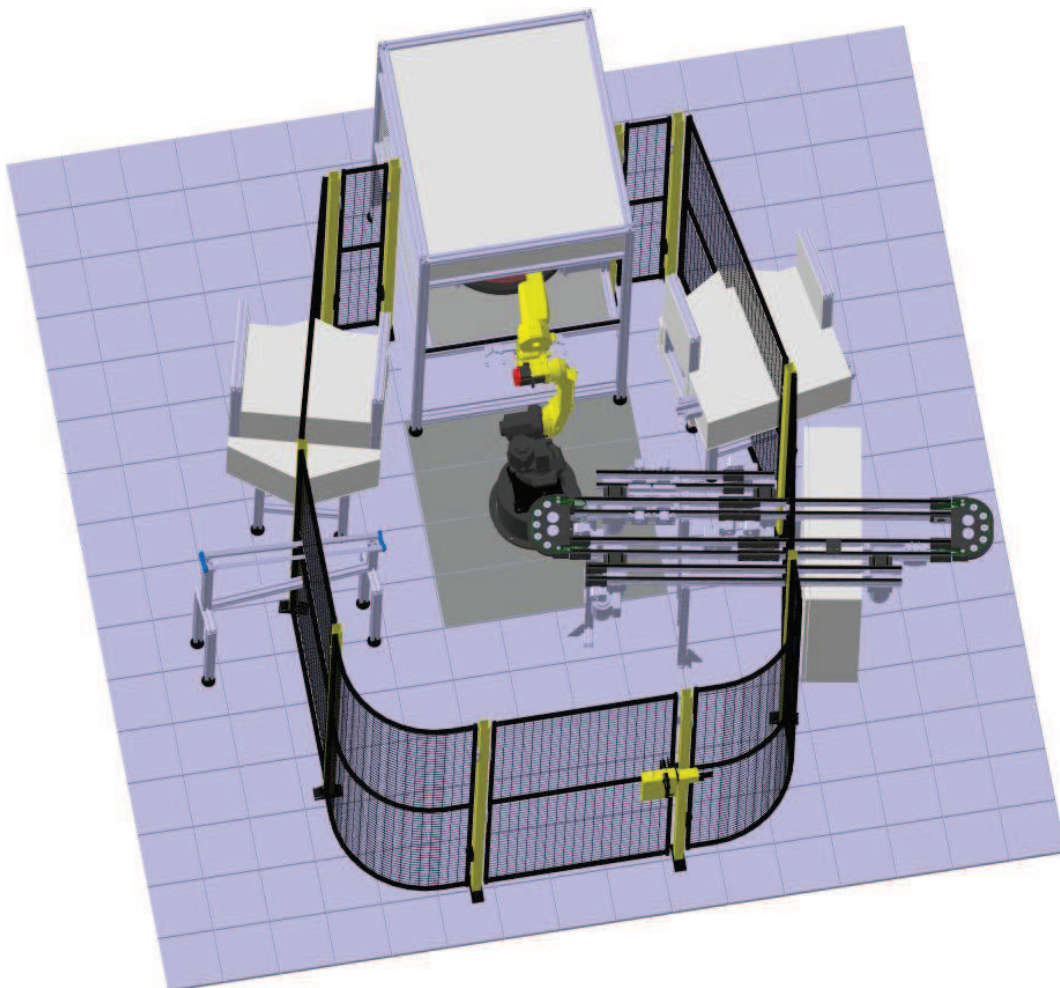
Jedná se o kvalitní reflexní snímač (odraz paprsku od zrcátka). Snímač má rozměry 42,3x19,5x10,8mm. Snímací vzdálenost je 0,1...4m. Funkce výstupu je typu PNP se spínacím kontaktem a připojení lze provést pomocí kabelu o délce 2m PVC.^[22]

**Obr. 68 Optoelektronické snímače BOS-5K^[32]**

Uvedený snímač bude použit pro všechny čtyři typy výrobků, důležité je namíření snímacího paprsku na vhodné místo na všech typech výrobků.

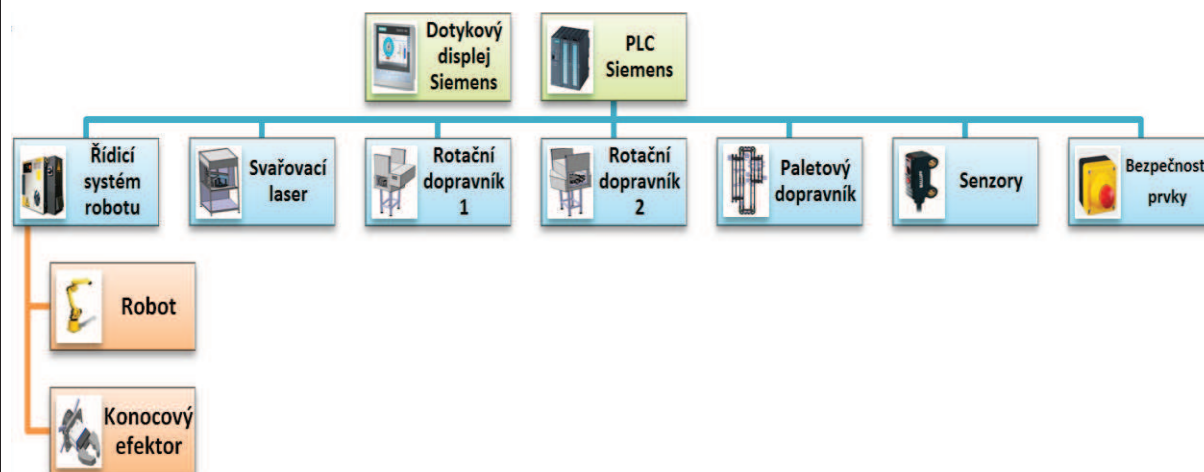
7.4 Úprava stávajících polohovacích zařízení a skluzů

Pro snadnější vkládání jednotlivých dílů bude nutno upravit koncové tvary skluzu pro odvod 6 dílů. Současné tvary vložení sice umožňují, ale pouze s „přechytnutím“ součástky. Toto přechytnutí je možné, ale opět prodlužuje celkový čas stroje a po jednoduché úpravě skluzů není nezbytné.

**Obr. 69: Výsledná podoba automatizace pracoviště**

8 Řízení pracoviště

Jak bylo popsáno v kapitole 3. Návrh koncepce pracoviště volíme způsob řízení na bázi PLC (**P**rogrammable **L**ogic **C**ontroller) Siemens, který bude obsluhovat všechny systémy pracoviště a plně spolupracovat s řídicím systémem robota a svařovacího laseru. Dále bude ovládat rotační dopravníky, paletový dopravník, senzory a bezpečnostní prvky.



Obr. 70: Schéma řízení

Z uvedeného obrázku je zřejmé, že bude nutný zásah i do řízení stávajícího svařovacího laseru a rotačních dopravníků a jejich zakomponování do celého řízení robotického pracoviště.

Z tohoto důvodu a z důvodu obsluhovat i velmi rychlé procesy navrhujeme použít k řízení celé výrobní linky velmi výkonný řídicí systém od firmy Siemens (požadavek zákazníka).

8.1 Řídicí systém pracoviště

Pro řízení všech operací a dle požadavků zadavatele bude navržen řídicí systém PLC Simatic S7 – 300. Tento systém je určen pro řízení náročných automatizačních úloh. Jedná se o středně rychlý řídicí systém a svou výkonností a modularitou překoná nižší řady výrobků Siemens (S7-200) a je nejprodávanějším systémem řady S7^[33]

Systém S7-300 má tyto jedinečné vlastnosti:

- lze volit CPU z několika typů
- v některých typech je i zabudovaný PROFIBUS
- rychlé čítání, měření frekvence, polohování v několika osách současně
- izochronní režim sběrnice PROFIBUS
- stejná instrukční sada pro všechny modely řady Siemens PLC
- individuální systém časových přerušení
- Ethernet včetně funkcí
- Profibus nebo RS422/RS 485
- pevná telefonní linka
- možnost použití více druhů operátorských panelů

[33]



K navrženému PLC dále navrhujeme použít dotykový panel TP177micro – grafický s vektorovou grafikou.




Obr. 71: Siemens PLC S7-300^[34]

Dotykový panel je nedílnou částí řídicího systému. V dnešní době jsou již obvyklé dotykové LCD panely, které už překonaly klasické dotykové obrazovky. Dotykové panely řady BASIC jsou dnes základní součástí ovládání mezi PLC a člověkem. Pro náročnější aplikace je možno použít nějaký z COMFORT modelů.^[33]



Obr. 72: Dotykový displej TP177micro^[35]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 66
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8.2 Řídicí systém robota

Pro řízení vlastního robota je navržen středně výkonný řídicí systém R-30iA mate. Tento řídicí systém má otevřenou architekturu a snadnou integraci do celého systému řízení. Systém řízení obsahuje jedinečný koncept FANUC Robotics – „plug-in option“, které poskytuje flexibilitu zvláštních aplikací.

Charakteristika řídicího systému

- snadný download a upload řídicích programů na server
- vestavěný Ethernet (100 Base TX)
- Fanuc I/O – link
- fieldbus (příslušenství pro PROFIBUS – nutno objednat zvlášť toto příslušenství je nutné kvůli integraci do výrobní linky.)
- pokročilé funkce I/O (robot si sám může ovládat chapadla, komunikace s externími stroji (Simatic S7 – 300, svařovací laser)
- možnost zálohy I/O na paměťovou kartu
- připojení pomocí USB i PCMCIA i pomocí sériových rozhraní
- všechny komponenty v krytí IP 54
- nouzové zastavení
- možnost dálkové diagnostiky

[27]

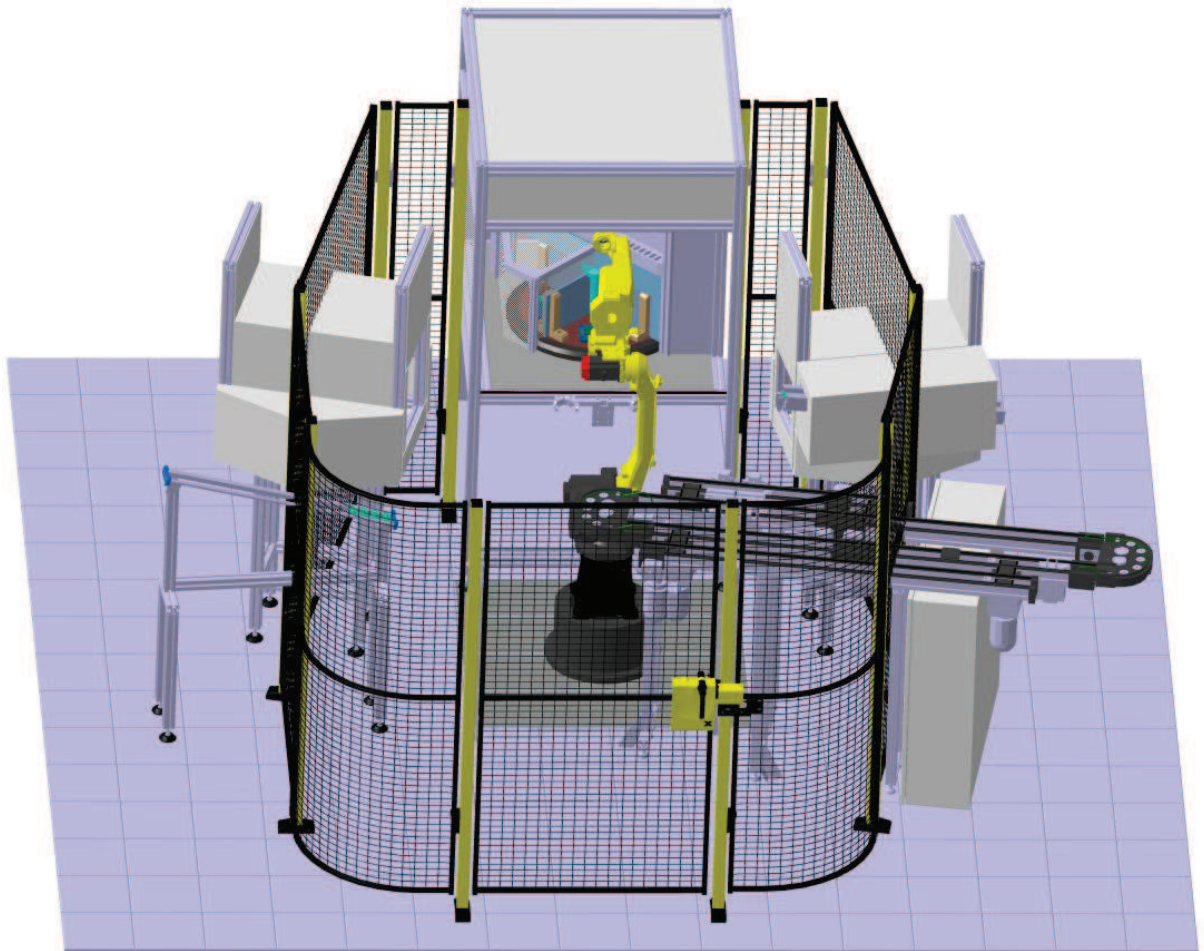


9 Bezpečnost robotického pracoviště





Jak již bylo napsáno v kapitole 3. Návrhu koncepce pracoviště, do pracoviště robota by měl mít přístup pouze proškolený servisní technik a přístup do pracovní oblasti robota bude zamezen pomocí mechanického oplocení, které bylo vybráno od společnosti Axelent pro jeho snadnou montáž a demontáž, kde jsou panely navrženy tak, aby byly v případě potřeby jednoduše vyměněny.^[36]

Do prostor pracoviště je možný jen jeden vstup přes dveře vybavené zámkem X-Lock, který má mechanickou závoru, která zajišťuje dveře v uzavřeném stavu. Tento zámek je navržen, aby umožnil pouze vědomé otevření nebo zavření dveří z vnější strany. Z vnitřní strany nelze X-Lock zamknout, ale vždy je možné jej odtud otevřít. Aby bylo zabráněno náhodnému spuštění stroje, tak je zámek vybaven destičkou se třemi otvory, kterými lze pomocí visacího zámku zajistit dveře v otevřené poloze a tím zajistit maximální bezpečnost během práce. V případě tohoto zámku lze použít všechny standartní spínače.^[36]

Řídicí systém PLC a řídicí systém robota jsou umístěny mimo pracoviště a chráněny proti přístupu nepovolanými osobami bezpečnostním heslem.



Obr. 73: Pohled na celé pracoviště

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Splnění podmínek bezpečnosti pracoviště podle nařízení vlády č. 176/2008 Sb., je splněno, když se splní první podmínka a to, že je potřeba vyloučit nebo co nejvíce omezit nebezpečí a to bezpečným návrhem a konstrukcí strojního zařízení.^[37]

To je splněno způsobem zamezení přístupu do oblasti s robotem, kam nesmí obsluha vstoupit, dokud nejsou zastaveny všechny nebezpečné pohyby, v našem případě je to pohyb robota. Dále robotickou buňku nebude možné spustit, pokud v pracovním prostoru robota někdo bude, s výjimkou použití teach pendantu robota, kdy půjde robota spustit s rychlostí 25%. Toto bude možno kontrolovat buď nášlapnými rohožemi, nebo laserovými skenery.

Dále budou splněny všechny zákony a nařízení vlády a brány v úvahu doporučení technických norem.

Důležité směrnice a nařízení vlády

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/104/ES

Nařízení vlády č. 176/2008 Sb., o technických požadavcích na strojní zařízení

Nařízení vlády č. 378 / 2001 Sb., kterým se stanovují bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí.

Nařízení vlády č. 170/2011 Sb., kterým se mění Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na výrobky.

Důležité normy

ČSN EN ISO 12 100-1 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 1: Základní terminologie, metodologie

ČSN EN ISO 12 100-2 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 2: Technické zásady


ČSN EN ISO 14 121-1 Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika - Část 1: Zásady

ČSN EN ISO 13 850 Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci

ČSN EN ISO 13 849-1 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci

ČSN EN ISO 13 855 Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla

ČSN EN ISO 10 218-1 Roboty pro výrobní prostředí - Požadavky na bezpečnost - Část 1: Robot

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

10 Technicko - ekonomické zhodnocení

10.1 Technické zhodnocení

Technickým zhodnocením pracoviště obsluhy svařovacího automatu se rozumí zvětšení technické úrovně samotného pracovního cyklu. V našem konkrétním případě jde o nahrazení monotónní, nezajímavé a nudné práce bez tvůrčího myšlení. Navíc tato práce vkládání součástí je vzhledem k rychlostem svařovacího automatu velmi rychlá, a tudíž je pro pracovnice velmi vysilující. Zadavatel má velké problémy s obsazením tohoto pracovního místa, které je navíc provozováno v trojsměnném provozu.

V podstatě se jedná o osm jednoduchých pracovních operací v rozmezí jedné minuty. Při takto jednotvárné práci je nutno dělat častější pracovní přestávky k regeneraci sil, což značně ovlivňuje produktivitu pracoviště.

Pracovní cyklus robota by měl být minimálně stejně rychlý, jako cyklus pracovnice (požadavek zadavatele). To se dá teoreticky vypočítat, ale teoretický výpočet rychlosti robota je velmi nepřesný a složitý, neboť zahrnuje velkou množství neznámých parametrů (tvary drah, zrychlení robota ve třech osách, doba reakce řídicího systému, rychlost výměny nástroje...)

Pokud bude mít robot stejnou dobu zakládání jako pracovnice, tak dojde k navýšení produktivity práce, neboť robot nemusí dělat pracovní přestávky (vyjma své vlastní údržby), které jsou dány zákoníkem práce.

10.2 Posouzení strojních časů na pracovišti

Požadavek zákazníka byl, aby automatizované pracoviště nepřekročilo současný stav manuálního pracoviště 60 sekund. Z toho vyplývá, že robot musí každý díl stihnout odebrat ze zakladače, odjet a umístit na odkládací místo, přijet k odebíracímu místu, odebrat díl a založit do zakladače za 15 sekund. Dále v tomto celkovém čase musí robot provést dvakrát výměnu nástroje, kterou může ale provádět při otáčení zakladače laseru. Pro zjištění přesných časů pohybu robota by bylo potřeba znát dynamiku robota. Také způsob programování robota včetně naprogramované a odzkoušené rychlosti, s kterou robot bude bezpečně zvládat manipulaci s díly, také výrazně ovlivní odhadnutou dobu.

10.3 Návratnost investice

Protože při instalaci manipulačního robota se podstatně nezvětší produktivita práce na pracovišti, která je dána rychlostí práce svařovacího laseru a rychlostí práce navazujících pracovišť, návratnost investice budeme posuzovat z nákladů na provoz třísměnného pracoviště a nákladů na zařízení a provoz manipulačního robota. Obecně se uvádí, že by návratnost investice pro automobilový průmysl měla být v rozmezí 1-2 roku. Tato podmínka je ale dle mého názoru platná pro jednoúčelové zařízení. Navržený robot je ale velmi univerzální, má velkou životnost a po přeprogramování a výměně koncového efektoru může být použitý i pro jiné další operace.

10.4 Stávající náklady na provoz třísměnného pracoviště

Náklady na provoz pracoviště jsou následující. Vzhledem k tomu, že na třísměnný provoz (včetně dovolených, nemocí apod.) je potřeba minimálně počítat 3,5 násobek jednoho pracovníka. Převody z eur na koruny v následujících tabulkách byl proveden při aktuálním kurzu (1€ = 25,60 Kč)

Tab. 6: Současné celkové náklady na provoz pracoviště

Č. p.	Položka	Počet pracovníků	Cena (Kč)	Cena Celkem (Kč)	Cena (Eu)
1	Hrubá měsíční mzda zaměstnance	1	15 000 Kč	15 000 Kč	586 €
2	Zdravotní pojištění zaměstnance (7% hrubé mzdy)	1	1 050 Kč	1 050 Kč	41 €
3	Sociální pojištění zaměstnance (25% hrubé mzdy)	1	3 750 Kč	3 750 Kč	146 €
4	Celkové měsíční náklady na 1 zaměstnance	1	19 800 Kč	19 800 Kč	773 €
5	Měsíční náklady zaměstnavatele pro 3 směnný p.	3,5	19 800 Kč	69 300 Kč	2 707 €
4	Roční náklady zaměstnavatele	3,5	237 600 Kč	831 600 Kč	32 484 €
5	Náklady na zaškolení pracovníka (1 % roč. nákl.)	3,5	23 760 Kč	83 160 Kč	3 248 €
Náklady na roční trojsměnný provoz celkem				914 760 Kč	35 733 €

10.5 Náklady na nové robotické pracoviště

Tab. 7: Celkové náklady na robotické pracoviště

Č. p.	Zařízení	Výrobce	Kusů	Cena (Kč)	Cena Celkem (Kč)	Cena (Eu)
1	AM100iCE (Robot)	Fanuc	1	531 200 Kč	531 200 Kč	20 750 €
2	R-30iA Mate (řízení robota + externí trafo)	Fanuc				
3	ProfiBUS DP Slave karta	Fanuc	1	33 024 Kč	33 024 Kč	1 290 €
4	A-SWK-005-ISO-A-50 (adaptabilní část)	Schunk	1	5 100 Kč	5 100 Kč	199 €
5	SWK-005 E10 (vrchní díl výměny nástrojů)	Schunk	1	25 000 Kč	25 000 Kč	977 €
6	SWA-005 E10 (spodní díl výměny nástrojů)	Schunk	2	10 000 Kč	20 000 Kč	781 €
7	Odkladač nástrojů pro SWS-005	Schunk	1	20 000 Kč	20 000 Kč	781 €
8	Adaptační nástavec – vlastní výroba	Obecný	1	3 500 Kč	3 500 Kč	137 €
9	DHPS-16-A-NC (chapadlo 1)	Festo	1	6 562 Kč	6 562 Kč	256 €
10	HGPT-40-A-B-G2 (chapadlo 2)	Festo	1	11 749 Kč	11 749 Kč	459 €
11	Čelisti pro chapadlo DHPS	Obecný	2	350 Kč	700 Kč	27 €
12	Čelisti pro chapadlo HGPT	Obecný	2	450 Kč	900 Kč	35 €
13	SMAT-8M - Analogové vyhodnocování polohy	Festo	2	1 664 Kč	3 328 Kč	65 €
14	CPE14-M1BH-5/3GS-QS-6 Elektromagnetický ventil	Festo	2	2 418 Kč	4 835 Kč	94 €
15	FRC-1/4-D-MIDI-KC - komb.jednotka úpravy vzduchu	Festo	1	5 257 Kč	5 257 Kč	205 €
16	PLC S7-300 (řídící systém)	Siemens	1	64 400 Kč	64 400 Kč	2 516 €
17	Ovládací zařízení TP177micro (dotykový HMI displej)	Siemens	1	10 270 Kč	10 270 Kč	401 €
18	Další příslušenství (kabely apod.)	Obecný	1	5 600 Kč	5 600 Kč	219 €
20	BOS-2K (optický snímač polohy)	Balluff	4	2 200 Kč	8 800 Kč	344 €
23	Oplocení Axellent (bezpečnostní oplocení)	Axellent	1	38 400 Kč	38 400 Kč	1 500 €
24	Stop tlačítka	Sick	3	538 Kč	1 613 Kč	21 €
25	Stavový maják	Sick	1	1 306 Kč	1 306 Kč	51 €
26	Vybetonování podlahy	Obecný	1	5 000 Kč	5 000 Kč	219 €
27	Podstavec pro robota	Obecný	1	10 000 Kč	10 000 Kč	344 €
28	Paletové dopravníkový systém TS1	Rexroth	1	256 000 Kč	256 000 Kč	10 000 €
29	Paletky pro dopravník	Rexroth	46	512 Kč	23 552 Kč	20 €
CENA DODÁVKY BRUTTO					1 136 897 Kč	
CENA MONTÁŽE A ZPROVOZNĚNÍ					341 069 Kč	
CENA DODÁVKY A MONTÁŽE ELEKTRO					60 000 Kč	
CENA KONSTRUKTÉRŮ					92 278 Kč	
CENA PROGRAMOVÁNÍ A ROZCHOZENÍ ROBOTA					111 496 Kč	
CENA ZA ŠKOLENÍ OBSLUHY ROBOTA					zdarma k robotu	
CENA CELKEM					1 741 740 Kč	







10.6 Výpočet návratnosti investice

Návratnost investice je dána podílem nákladů na zřízení robotického pracoviště k celkovým ročním nákladům na provoz stávajícího pracoviště.

Tab. 8: Návratnost investice

Č. p.	Položka	Počet	Cena (Kč)	Cena Celkem (Kč)	Cena (Eu)
1	Celkové náklady na robotické pracoviště	1	1 741 740 Kč	1 741 740 Kč	68 037 €
2	Současné celkové náklady na provoz pracoviště	1	914 760 Kč	914 760 Kč	35 733 €
Doba návratnosti v rocích			1,90		

$$\text{Doba návratnosti v rocích} = \frac{\text{Celkové náklady na robotické pracoviště}}{\text{Současné celkové náklady na provoz pracoviště}}$$

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 72
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

11 Závěr

Tato práce se zabývá automatizací reálného pracoviště se svařovacím laserem, kdy výsledkem je vznik bezobslužného pracoviště obsluhované průmyslovým robotem, který nahrazuje původního manipulačního operátora. Na začátku práce je detailně popsán současný stav a dále jsou navržena koncepční řešení konstrukčních problémů při automatizaci, jako je například řešení pro zajištění přesné polohy dílu pro robota, zvolení koncového efektoru pro manipulaci s díly nebo návrh možného způsobu kotvení robota. V další části práce byly popsány požadavky pro výběr robota a zvolen nejvhodnější typ a k němu navržen koncový efektor pro manipulaci s díly. Dále byl navržen plán 3D buňky včetně řešení paletového dopravníku a způsobu zajištění bezpečnosti provozu samotného pracoviště a okolí. Nakonec bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení celého návrhu.

Dle mého názoru je hlavním omezením pro zpracovatele automatizace tohoto pracoviště snaha investora zachovat původní rozmístění svařovací linky. To vzhledem k polohám jednotlivých podavačů a manipulátorů a poloze svařovacího automatu zbytečně zvětšuje nutný akční rádius robota, prodlužují se dráhy robota a tím se i zpomaluje rychlost. Větší robot je i z investičních nákladů dražší.

Chápu ale investora, že nechce příliš zasahovat do již fungující linky – třebaže její práce není příliš ideální.

Při návrhu pracoviště byly nejobtížnější části návrhy uchopovacích míst na obrocích, kde uchopení za nejvhodnější místa není možné, protože by součást nešla založit do zakladače. Dalším větším problémem bylo zajištění způsobu polohování dvou neorientovaných součástí.

Přínos této diplomové práce pro moji další činnost vidím ve velkém seznámení s produkty firmy Festo, Schunk a dalšími produkty, které jsem musel využít při návrhu jednotlivých chapadel, výpočtu upínací síly chapadla, podrobné seznámení s různými typy čidel a jejich vlastnostmi.



Dalším výrazným poznatkem pro mě byla práce s jednotlivými moduly dopravníku od firmy Bosch Rexroth řady TS1, seznámení s komponenty a jejich funkcemi, řazeními a řízením.

Při dalším dopracování této práce by bylo nutno se zaměřit na pneumatickou část celého systému chapadla, celého systému řízení, případně na úpravu jednotlivých navazujících polohovacích zařízení pro zjednodušení odkládání výrobků pro navazující operace.



12 Seznam použité literatury

- [1] Systém recirkulace spalin. ESF, CENIA. Vítejte na Zemi [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=system_recirkulace_spalin&site=doprava
- [2] Obvody ventilu EGR. CHEVROLET EUROPE SERVICE MANUAL [online]. 2011 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.autocats.ws/manuals/chevrolet/tis0911/cs/documents_2011/Sparkm300/SM-M/92340624.CS.html
- [3] Robotizovaná pracoviště a manipulátory | ESY s.r.o. SY s.r.o. – Průmyslová automatizace, Elektronika, Software | ESY s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.esy.cz/robotizovana-pracoviste-a-manipulatory.html>
- [4] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005, 248 p. ISBN 35-402-5657-1.
- [5] MAREK, Pavel. Motek 2011. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2011 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/motek-2011.html>
- [6] Buy and Sell Used Robots. *Automation | Robotics | Robotize* [online]. 2010 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.robotize.com.au/marketplace/?catid=MmQ2NjYyfDjkNjJN3xHcmlwcGVyfEdyaXBwZXJbc2VsXQ==>
- [7] DHDG Adaptive gripper - Industrial devices - Components - red dot 21 – global design directory. *Red dot 21 – global design directory* [online]. 2012 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.red-dot-21.com/products/single/dhdgadaptivegripper-adaptivegripper>
- [8] 37 – Vícerozsahové a adaptivní chapadla. *STROJÍRENSTVÍ maturitní otázky* [online]. 2011 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-maturita.blogspot.cz/2011/10/53-vicerozsahove-adaptivni-uchopne.html>
- [9] Automa :: Antropomorfní chapadla pro nestrojírenské aplikace. KARNÍK, Ladislav. *Odborné časopisy* :: [online]. 2003 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28997
- [10] Robot v rozličných aplikacích. ŠMÍD, Jiří. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/robot-v-rozlicnych-aplikacich.html>
- [11] Brown, E., Rodenberg, N., Amend, J., Mozeika, A., Steltz, E., Zakin, M., Lipson, H., Jaeger, H. (2010) "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material," *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 107, no. 44, pp.18809-18814.
- [12] MAREK, Pavel. Nová generace standardních chapadel. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-standardnich-chapadel.html>
- [13] Vibrační kruhové zásobníky. KŘÍŽ, Libor. *Vibrační technika Libor Kříž* [online]. 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.liborkriz.eu/cz/produkt/vibracni-kruhove-zasobniky.html>
- [14] Vibrační zásobníky typ B. *Allbiz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/vibracni-zasobniky-typ-b-g21255>
- [15] One Ring to Rule them All - WEISS CR 2600. *Total Industrial Plant Solutions* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.tipscd.com/2013-01-25/productivity-profiles/one-ring-to-rule-them-all-weiss-cr-2600/>
- [16] Material and Information Flow Technology - Bosch Rexroth AG. BOSCH REXROTH AG. *Bosch Rexroth: The Drive & Control Company* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product_groups/assembly_technology_1/material_information_flow_technology/index
- [17] Strojové vidění, 1. díl. *DesignTech.cz - otevřený publikační portál věnovaný nejen CA technologiím* [online]. 2008 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/cit-reseni/strojove-videni-1-dil.htm>
- [18] Indukční snímače. BALLUFF CZ S.R.O. *Balluff: Sensors worldwide* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/products/Uebersicht-Induktive-Sensoren.jsp>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 74
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [19] LM12 indukční snímač M12x1, konektor. *CNCShop.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/lm12-indukcni-snimac-m12x1-konektor>
- [20] Mechanické snímače. BALLUFF CZ S.R.O. *Balluff: Sensors worldwide* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/products/Uebersicht-Mechanische-Sensoren.jsp>
- [21] Selet Koncové spínače v plastovém provedení. *OEM Automatic Czech* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elecktricke_Stroje/Koncove_spinae/Koncove_spinae_v_plastovem_provedeni/Selet_Koncove_spinae_v_plastovem_provedeni/605044-603791.html
- [22] Optoelektronické snímače. BALLUFF CZ S.R.O. *Balluff: Sensors worldwide* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/products/Uebersicht-Optoelektronische-Sensoren.jsp>
- [23] Panasonic - Fotoelektrický sensor EX-L200. *OEM Automatic Czech* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elecktricke_Stroje/Fotoelektricke_snimae/Laserove_fotoelektricke_snimae/Panasonic_-_Fotoelektrick_sensor_EX-L200/604914-805374.html
- [24] Aukuso - Řídící systémy. *Průmyslová automatizace - Aukuso* [online]. 2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://aukuso.cz/ridici-systemy-13/>
- [25] ABB. *Technologie pro energetiku a automatizaci* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/>
- [26] KUKA ROBOTER CEE GMBH. *KUKA průmyslové roboty - Společnost* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
- [27] FANUC ROBOTICS. *Průmyslové roboty, robotizace, automatizace* [online]. 2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.fanucrobotics.cz/>
- [28] Articulating Arm Robots, 4 and 6 Axis. *Industrial Material Handling Equipment, Factory Automation Systems* [online]. 2008 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.eaglesystemsintegration.com/articulating-arm-robot.htm>
- [29] FESTO S.R.O. *Pneumatic & Electric Automation Worldwide* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.festo.com/net/startpage/>
- [30] SCHUNK GMBH & CO. KG. *SCHUNK GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik* [online]. 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.cz.schunk.com/schunk/index.html?country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE>
- [31] DOPRAVNÍKOVÉ SYSTÉMY BOSCH REXROTH - T+T Technika a trh. *Časopis T+T Technika a trh* [online]. 2012 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://m.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/dopravnikove-systemy-bosch-rexroth>
- [32] BALLUFF BOS 5K-PS-RR10-02. MONDETA S.R.O. *Mondeta s.r.o. - Automatizace* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.mondeta.cz/reflexni-snimace/263-balluff-bos-5k-ps-rr10-02.html>
- [33] PLC SIMATIC S7-300: Univerzální řídicí systém pro automatizaci výrobních technologií. SIEMENS. *Siemens Answers: Siemens Česká republika* [online]. 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=ee5ad951ae&ctxp=home>
- [34] Siemens S7-300 PLC. *DIYTrade - Largest China Product Directory* [online]. 2010 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.diytrade.com/china/pd/7411236/Siemens_S7_300_PLC.html
- [35] SIEMENS. *Human Machine Interface: Operator Control and Monitoring Systems SIMATIC HMI - Siemens* [online]. 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/human-machine-interface/Pages/Default.aspx>
- [36] AXELENT. *AXELENT - machine guard* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.axelent.com/cz/default.asp>
- [37] Zabezpečení robotizovaného pracoviště: Základní informace - 2 část. In: *Svět svaru* [online]. 2009 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/safety/2009-2_Zabezpečení%20RP_část2.pdf

13 Seznam obrázků

Obr. 1: Chladicí modul Audi	14
Obr. 2: Ventil zpětného vedení zplodin	15
Obr. 3: Zjednodušené schéma pracoviště	15
Obr. 4: Vstupní materiál pro svařovací operaci 1B	16
Obr. 5: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 1B	17
Obr. 6: Současné odběrové místo pro operace 1B a 1D	17
Obr. 7: Materiál po svařování	18
Obr. 8: Místo pro odložení na další montáž	18
Obr. 9: Vstupní materiál pro svařovací operaci 1D	19
Obr. 10: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 1D	19
Obr. 11: Materiál po svařování	20
Obr. 12: Místo pro odložení na další montáž	20
Obr. 13: Vstupní materiál pro svařovací operaci 6	21
Obr. 14: Odběrové místo	21
Obr. 15: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro díl 6	22
Obr. 16: Materiál po svařování	22
Obr. 17: Místo pro odložení na další montáž	23
Obr. 18: Vstupní materiál pro svařovací operaci 9	23
Obr. 19: Odběrové místo	24
Obr. 20: Zakládací a vyjímací místo v laseru pro součást 9	24
Obr. 21: Materiál po svařování	25
Obr. 22: Místo pro odložení na další montáž (Operace 10)	25
Obr. 23: Schéma pracoviště a okolí	28
Obr. 24: Popis pracoviště	29
Obr. 25: Poměr flexibility a výdajů na aplikaci chapadel ^[4]	31
Obr. 26: Adaptivní chapadlo od firmy Robotiq ^[6]	32
Obr. 27: Adaptivní chapadlo DHDG (Festo) ^[7]	32
Obr. 28: Chapadlo robota Care-O-bot 3 ^[10]	33
Obr. 29: Jamming gripper ^[11]	33
Obr. 30: Paralelní chapadlo DHPS (Festo) ^[12]	34
Obr. 31: Vibrační zásobník ^[14]	35
Obr. 32: Indexovací stůl ^[15]	36
Obr. 33: Paletový dopravníkový systém (Bosch Rexroth) ^[16]	37
Obr. 34: Navrhnutý nástavec pro robota	38
Obr. 35: Kamerový senzor ^[17]	38
Obr. 36: Indukční snímač ^[19]	39


Obr. 37 Mechanický spínač ^[21]	39
Obr. 38 Laserový optoelektrický snímač ^[23]	39
Obr. 39: Schéma návrhu pro roboty	41
Obr. 40: Pracovní oblast a zátěžový diagram pro robot IRB 1600 – 6/1,2 ^[25]	42
Obr. 41: Řídicí systém robotu IRC 5 ^[25]	42
Obr. 42: Pracovní oblast pro robota KR 6-2 ^[26]	43
Obr. 43: Řídicí systém robotu KR C4 ^[26]	43
Obr. 44: Pracovní oblast pro robot AM100iCe ^[27]	44
Obr. 45: Řídicí systém robotu R-30iA Mate ^[27]	44
Obr. 46: Označení os robotu ^[28]	45
Obr. 47: Uchopovací plochy součástí: a) 1B b) 1D c) 6 d) 9	46
Obr. 48: Vzorce pro výpočet uchopovací síly ^[4]	47
Obr. 49: Koefficienty tření pro různé materiály ^[4]	48
Obr. 50: Axiální (vlevo) a radiální (vpravo) úchop dílu ^[4]	51
Obr. 51: Zobrazení uchopení dílů do chapadla (1B, 1D, 6).....	51
Obr. 52: Zobrazení uchopení dílu do chapadla (9).....	52
Obr. 53: Další příslušenství pro chapadla ^[29]	53
Obr. 54: Rychlovýměnný systém SWS (Schunk) ^[30]	54
Obr. 55: Odkládací místo	55
Obr. 56: Koncový efektor robotu	55
Obr. 57: Navržený paletový dopravník	56
Obr. 58: Odběrové místo pro robota	57
Obr. 59: Manipulační místo pro zakládání dílů	58
Obr. 60: Paleta WT 1/K	58
Obr. 61: Zapisovací a čtecí hlava ^[16]	59
Obr. 62: Umístění senzorů pro identifikaci palet	59
Obr. 63: Schématické znázornění palet	59
Obr. 64: Kolize při vyjímání dílu	60
Obr. 65: Přiblížení k dílu bez kolize.....	61
Obr. 66: Nový přístup k dílu	61
Obr. 67: Odkládací místo pro výměnu nástrojů	62
Obr. 68 Optoelektronické snímače BOS-5K ^[32]	63
Obr. 69: Výsledná podoba automatizace pracoviště	63
Obr. 70: Schéma řízení	64
Obr. 71: Siemens PLC S7-300 ^[34]	65
Obr. 72: Dotykový displej TP177micro ^[35]	65
Obr. 73: Pohled na celé pracoviště	67

14 Seznam tabulek

Tab. 1: Vlastnosti svařovaných kusů.....	26
Tab. 2: Specifikace vybraných robotů ^{[25][26][27]}	45
Tab. 3: Spočítané síly pro jednotlivé díly.....	50
Tab. 4: Návrh potřebného zdvihu pro chapadla	51
Tab. 5: Technické údaje pro vybrané chapadla ^[29]	53
Tab. 6: Současné celkové náklady na provoz pracoviště.....	70
Tab. 7: Celkové náklady na robotické pracoviště	70
Tab. 8: Návrh návratnosti investice.....	71

15 Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
a_x	$[m.s^{-2}]$	zrychlení ve směru osy x
a_y	$[m.s^{-2}]$	zrychlení ve směru osy y
a_z	$[m.s^{-2}]$	zrychlení ve směru osy z
F_G	[N]	uchopovací síla
g	$[m.s^{-2}]$	tíhové zrychlení
m_{1B}	[kg]	hmotnost dílu označeném 1B
m_{1D}	[kg]	hmotnost dílu označeném 1D
m_6	[kg]	hmotnost dílu označeném 6
m_9	[kg]	hmotnost dílu označeném 9
S	[-]	bezpečnost
α	[°]	úhel rozevření čelistí
μ	[-]	koeficient tření

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 79
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

16 Seznam příloh

Příloha 1 - 13-A3-R-1000-001 – Výkres pracoviště

Příloha 2 - 13-A3-R-1100-001 – Výkres modulárního paletového dopravníku

Příloha 3 - 13-A3-R-1200-001 – Výkres chapadla DHPS

Příloha 4 - 13-A3-R-1300-001 – Výkres chapadla HGPT