

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Diplomová práce

Konstrukce pracovní stanice – Bosch Powertrain s.r.o.

Bc. Marek Hodač

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Hodač

Inženýrství údržby

Název práce

Konstrukce pracovní stanice – Bosch Powertrain s.r.o.

Název anglicky

Workstation design – Bosch Powertrain s.r.o.

Cíle práce

Cílem diplomové práce je analýza stávající konstrukce pracovní stanice, nebo analýza požadavků na zcela novou výrobu, a návrh nové konstrukce pracovní stanice, nebo její části, pro vybraný výrobek společnosti Bosch Powertrain. Návrh bude obsahovat popis výrobku, modelovou a výkresovou dokumentaci stanice a finanční analýzu.

Metodika

Úvodem proběhne analýza současného stavu výroby pro zvolený výrobek, doprovázená popisem zvoleného výrobku. Na základě analýzy a požadavků na obsluhu, bude podle rozsahu vypracován návrh celku, nebo části nové pracovní stanice. Návrh bude zahrnovat modelovou a výkresovou dokumentaci, podmínky bezpečnosti práce, technické a finanční zhodnocení.

Osnova

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (analýza současného stavu, popis výrobku, požadavky na obsluhu)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (návrh variant, modelová a výkresová dokumentace, podmínky pro údržbu, technické a finanční zhodnocení)
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

50 – 60

Klíčová slova

výrobek, konstrukce, dokumentace, údržba

Doporučené zdroje informací

CROWE, Clayton T. *Engineering fluid mechanics : SI version*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-40943-5.

JANÁKOVÁ, Anna. *Abeceda bezpečnosti a ochrany zdraví při práci : prevence rizik, služby pro prevenci rizik, zdravotní způsobilost k práci, odborná způsobilost, informace o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci, prostředky osobní ochrany, pracovní prostředí a pracoviště, organizace práce a pracovní postupy, bezpečný výrobek, bezpečnost technických zařízení, požární ochrana, úrazy, nemoci z povolání, pojištění*. Olomouc: Anag, 2011. ISBN 978-80-7263-685-3.

Předpisy, vyhlášky a firemní literatura

ŠŤASTNÝ, Jiří; TŘEŠTÍK, Boleslav; ČESKÁ MATICE TECHNICKÁ. *Manuál technické dokumentace*. České Budějovice: Česká matice technická v nakl. Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-352-4.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 7. 12. 2022

prof. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 16. 12. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Konstrukce pracovní stanice – Bosch Powertrain s.r.o." jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 29.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval společnosti Bosch Powertrain s.r.o. za umožnění vzniku této diplomové práce a všem zaměstnancům společnosti, kteří mi ochotně poskytli pomoc při práci, jmenovitě panu Ing. Pavlu Petrovi, který za společnost práci vedl, a dále Ing. Milanu Kolářovi. Zároveň chci vyslovit velké poděkování vedoucímu práce profesorovi Martinu Pexovi za významnou pomoc při psaní této práce.

Konstrukce pracovní stanice – Bosch Powertrain s.r.o.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem plně automatizovaného pracoviště v jihlavském závodu společnosti Bosch Powertrain s.r.o., určeného pro zakládání finálně obrobených tlakových zásobníků paliva, takzvaných railů do blistrů. Účelem pracoviště je nahradit manuální zakládání očištěných railů z pracovního stroje do blistrů v poloze požadované balícím předpisem. Takto uložené zásobníky paliva se dále dopravují ke kompletaci.

V teoretické části je HFR rail (Hot Forged Rail), popsán jako zájmový výrobek a je uvedena jeho úloha ve vstřikovacích systémech Common Rail. Následuje podrobný rozbor současného stavu manuálního pracoviště a výčet požadavků výrobního oddělení na formu automatizace. Dále jsou vytyčeny cíle práce a metodika využitá při řešení návrhu.

V praktické části je kompletně rozpracován konstrukční návrh s důrazem na uchopovací část robota a mezioperační kontrolu. Na závěr je uvedena finanční kalkulace a zhodnocení finálního řešení s ohledem na předem dané požadavky. V přílohové části jsou uvedeny sestavné výkresy pracoviště a nejdůležitější výrobní výkresy.

Klíčová slova:

výrobek, konstrukce, technická dokumentace, údržba, automatizace, Common Rail, kontrolní systémy, CAD systémy

Workstation design – Bosch Powertrain s.r.o.

Abstract

The thesis deals with the design of a fully automated workplace at the Bosch Powertrain plant in Jihlava, intended for the placement of finally machined fuel pressure vessels, known as rails, into blister packs. The purpose of the workplace is to replace the manual placement of cleaned rails from the working machine into blister packs in the position required by the packaging instructions. These stored fuel vessels are then transported for further assembly.

In the theoretical part, the HFR rail (Hot Forged Rail) is described as a product, and its role in Common Rail injection systems is outlined. A detailed analysis of the current state of the manual workplace is followed by a list of the manufacturing department's requirements for the form of automation. The goals of the thesis and the methodology used in the design solution are then defined.

The practical part comprehensively develops the design with a focus on the robot's gripping mechanism and interoperation control. In conclusion, financial calculations and an evaluation of the final solution are presented, considering the predefined requirements. The appendices include assembly drawings of the workplace and the most important production drawings.

Keywords:

product, design, technical drawing, maintenance, automation, Common Rail, control systems, CAD systems

Obsah

1	Úvod	1
2	Rozbor současného stavu	2
2.1	Bosch Powertrain s.r.o.	2
2.2	Common Rail systém a jeho komponenty	3
2.2.1	Common Rail	3
2.2.2	HFR Rail.....	5
2.2.3	Součásti HFR railu	5
2.2.4	Proces výroby	6
2.3	Analýza současného stavu pracoviště.....	8
2.3.1	Činnost pracoviště	8
2.3.2	Layout pracoviště	9
2.4	Požadavky na automatizaci	10
2.4.1	Stupeň automatizace a seřizování.....	10
2.4.2	Layout, bezpečnost a údržba.....	10
2.4.3	Rozpočet.....	11
2.5	Analýza možností automatizace	11
2.5.1	Tříosé roboty	12
2.5.2	Čtyřosé roboty.....	13
2.5.3	Šestiosé roboty.....	14
2.6	Analýza možností uchopování.....	15
2.6.1	Mechanické uchopovače	15
2.6.2	Magnetické uchopovače	15
2.7	Koncept projektu a varianty.....	16
2.7.1	Robotizace	16
2.7.2	Varianty uchopovacího uzlu.	18
2.7.2.1	Uchopování jednoduchou čelistí	18
2.7.2.2	Uchopování zdvojenými čelistmi	19
2.7.2.3	Uchopování manuálně stavitelným chapadlem	19
2.7.2.4	Uchopování automaticky stavitelným chapadlem	19
2.7.2.5	Uchopování dvěma posuvnými chapadly	19
2.7.3	Robotické testy.....	20
2.7.3.1	Test dynamiky robota a upínání	20
2.7.3.2	Odhazování railů.....	21

3	Cíle práce	24
4	Metodika práce.....	25
4.1	Výběr typu uchopovacího uzlu.....	25
4.2	Konstrukční rozpracování výsledné varianty.....	25
4.3	Ověření návrhu.....	25
5	Výsledky	26
5.1	Výběr varianty uchopování	26
5.1.1	Volba hodnotících kritérií	26
5.1.2	Stanovení vah kritérií.....	27
5.1.3	Výběr výsledné varianty metodou PATTERN.....	29
5.2	Konstrukční rozpracování.....	30
5.2.1	Robotická část.....	31
5.2.1.1	Uchopovací uzel	31
5.2.1.2	Ustavení robotů	37
5.2.2	Natáčecí jednotka	40
5.2.2.1	Konstrukce otáčení railu	42
5.2.2.2	Řešení upínání.....	44
5.2.2.3	Kontrolní část	49
5.2.3	Stůl pro NOK kusy	53
5.2.4	Zabezpečení pracoviště	54
5.3	Ověření návrhu.....	56
5.3.1	Hodnocení stupně automatizace.....	56
5.3.2	Hodnocení prostorového rozložení a požadavků údržby.....	57
5.3.3	Hodnocení bezpečnosti pracoviště	58
5.3.4	Finanční zhodnocení.....	58
6	Závěr.....	60
7	Bibliografie	61
8	Seznam obrázků, seznam tabulek	67
8.1	Seznam obrázků	67
8.2	Seznam tabulek	68
	Přílohy	69

Seznam použitých zkratk

CRS	Common Rail systém, případné písmeno M značí modularitu
CP	(Common Rail Pump) vysokotlaké čerpadlo, číslo uvádí generaci
CRI	(Common Rail Injector) vstřikovač paliva
PCV	(Pressure Control Valve) tlakový regulační ventil
RPS	(Rail Pressure sensor) snímač tlaku paliva
FRL	(Fuel Return Line) přepadové vedení paliva
LWR	(Laser Welded Rail) svařovaný rail
HFR	(Hot Forged Rail) za tepla kovaný rail
DMC	(Data Matrix Code) graficky kódovaná informace o výrobku
NOK	(not OK) nevyhovující kus
EMC	(Electrochemical Machinig) elektrochemické obrábění
TEF	(Technical Functions) název oddělení ve firemní struktuře
CE	(conformité européenne) certifikace evropské shody
SCARA	(Selective Compliance Assembly Robot Arm) typ kinematické strukury průmyslového robata
NO	(normally open) stav dvoustavového prvku
NC	(normally closed) stav dvoustavového prvku
TEF	(Technical Functions) název oddělení ve firemní struktuře
CE	(conformité européenne) certifikace evropské shody
MKP	Analýza metodou konečných prvků
SPC	(Statistical Process Control) motoda kontroly ve výrobním porcesu
ND	Náhradní díl

Seznam použitých pojmů

Blistr	Trvalý pevný obal pro uložení výrobků a manipulaci s nimi během výrobního procesu
Skejt	Vozík určený pro paletizaci blistrů a jejich následnou manipulaci.
Gitterbox	Krychlová nádoba určená pro uchovávání různých typů výrobků, obvykle volně ložených.
Gripper	Strojní celek určený pro uchopování předmětů.
Takt	Doba mezi dokončením dvou po sobě následujících výrobků ve výrobě.
Von Misses Stress	Metoda používaná k vyjádření úrovně napětí v materiálu, která zohledňuje kombinaci různých typů napětí.
Back Light	Metoda osvětlení umístěné za objektem, které slouží k vytvoření kontrastu a oddělení objektu od pozadí pro lepší detekci při použití strojového vidění.

1 Úvod

V poslední době společnost Bosch, respektive její divize Power Solutions značně investuje do vývoje a výroby elektrických řešení pohonů v oblasti automotive. Vývoj v oblasti elektromobility se rychle posouvá a elektromobily dosahují vlastností plně srovnatelných s běžnými automobily se spalovacím motorem.

Ovšem v současné chvíli je nemohou plně nahradit, ať už z důvodů náročností aplikací, jako je nákladní přeprava, zemědělství a další Off-highway řešení. Nebo současného nízkého objemu výroby z důvodů nedostatku zdrojů, jako jsou suroviny potřebné především pro výrobu akumulátorů. Případně nedostatku zdrojů pro výrobu elektrické energie, nebo její vyšší ceny v důsledku vyhrácené světové situace. A v současné době také nepřipravenosti energetické přenosové soustavy, která pro takový případný značný odběr energie, není koncipována.

Z těchto důvodů společnost Bosch nepřestává v inovacích komponent pro osvědčené spalovací systémy, zejména v oblasti Common Rail systémů, kde je světovým leaderem. V této činnosti se angažuje také vývojové oddělení české části divize PS Bosch Powertrain s.r.o., sídlící v Jihlavě. Další inovace a optimalizace se provádí nejen na vyráběných komponentech, ale i na samotných výrobních linkách. Toto dokresluje údaj o výši investic, které jenom za rok 2022 celkově činí jednu miliardu korun. [1]

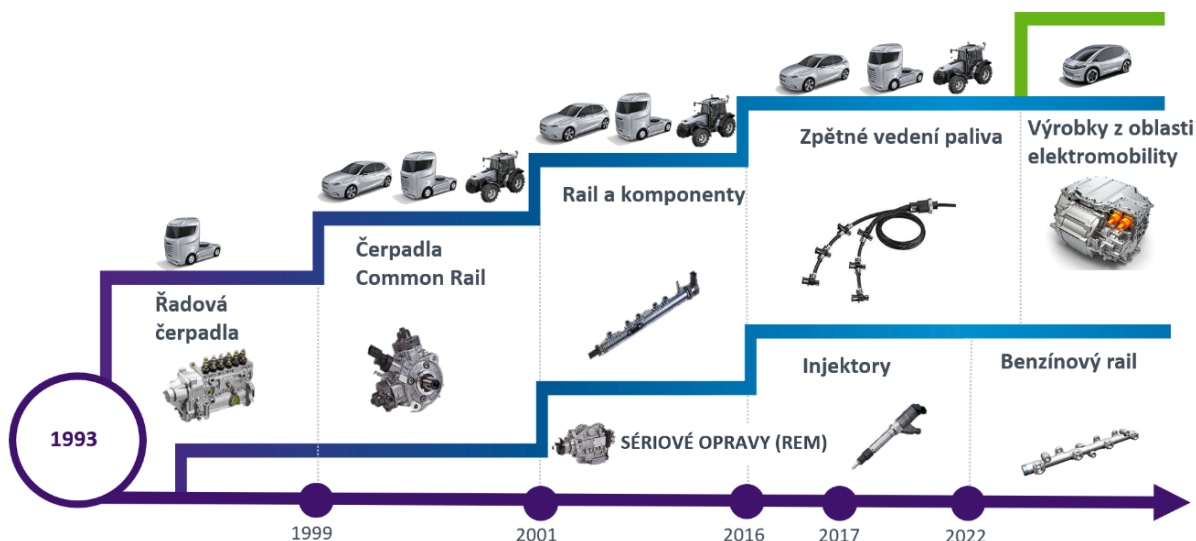
Právě s touto optimalizací výrobního procesu by měla pomoci tato práce.

2 Rozbor současného stavu

V úvodu kapitoly je uvedeno několik shrnujících informací k samotné společnosti Bosch Powertrain s.r.o.. Následuje popis HFR railu (Hot Forged Rail), jako zájmového výrobku, kterým se práce zabývá. Následně je rail uveden do souvislosti se systémem Common Rail a jsou zmíněny prvky, které po kompletaci tvoří funkční celek se samotným railem. Dále se již pokračuje k hlavnímu tématu práce a rozboru pracoviště v současném stavu před plnou automatizací. Po uvedení požadavků na tuto automatizaci je také provedena analýza typů robotizace vhodných pro toto zadání.

2.1 Bosch Powertrain s.r.o.

Společnost se ve čtyřech jihlavských závodech, zaměřuje na výrobu komponent k dieselovým spalovacím systémům. Výroba počíná roku 1993 řadovými palivovými čerpadly a postupem času se přechází k výrobě částí Common Rail systému. Nejprve se jedná o vysokotlaká čerpadla, následují zásobníky paliva takzvané raily, a to včetně všech dílů obou typů výrobků. Od roku 2016 se přidává výroba zpětného vedení paliva, respektive od roku 2017 výroba palivových injektorů. V roce 2022 došlo k náběhu výroby railů pro zážehové motory. Jihlavský závod se tak postupně stal celosvětově největším výrobním závodem pro moderní a inovativní dieselové vstřikovací systémy Common Rail v rámci skupiny Bosch. Průběh výroby v jihlavských závodech zobrazuje následující obrázek. [2] [3]



Obr. 1 Historie výroby v Jihlavě [3]

Významný milník nastává v těchto letech, kdy se od roku 2023 do výrobního portfolia výrobků společnosti zařazují výkonové komponenty elektromobilů. Jedná se o kompletní pohonné jednotky včetně výroby statorů a rotorů a dále takzvaných e-náprav. [1]

V roce 2022 společnost zaměstnávala 3 800 zaměstnanců a patří tak k největšímu zaměstnavateli v Kraji Vysočina. Ve stejném roce dosahuje obrátu ve výši 22,9 miliard korun. [4]

2.2 Common Rail systém a jeho komponenty

Tato kapitola je věnována popisu systému Common rail, je uveden jeho princip a výčet komponent celého systému. A dále je detailně popsán rail z ocelového výkovku, který je pro tuto práci zájmovým výrobkem a je uveden i proces jeho výroby.

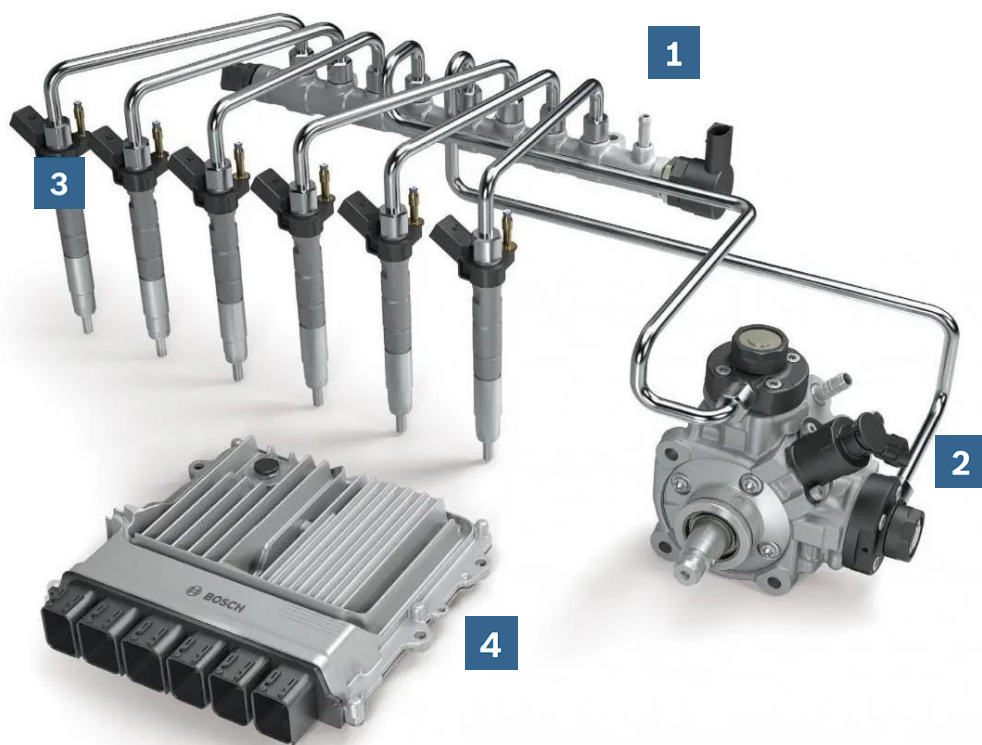
2.2.1 Common Rail

Common Rail systém (CRS) představuje inovativní technologii v oblasti vznětových motorů, která přináší výrazné zlepšení výkonu, efektivity a emisních standardů. Tento systém byl vyvinut s cílem optimalizovat spalovací procesy v dieselových motorech a zvýšit jejich účinnost. Funkce Common Rail systému spočívá v tom, že palivo není do válců dopravováno přímo z palivového čerpadla, ale je shromažďováno v tzv. common rail zásobníku. Tento zásobník v podobě silnostěnného potrubí slouží, jako rezervoár paliva pod vysokým tlakem, ze kterého jsou jednotlivým válcům motoru dodávány dávky paliva. Toto je hlavní rozdíl oproti starším systémům, kde byl vstřikovací tlak vytvářen vždy pro konkrétní okamžik vstřiku paliva, ať už se jednalo o řadová čerpadla, rotační čerpadla nebo sdružené vstřikovací jednotky (Pumpe – Düse). [5], [6], [7]

CRS umožňuje přesné řízení tlaku paliva, dále je klíčovou výhodou systému vlastnost přesného dávkování objemu paliva. Zároveň s možností variabilního časování vstřikování paliva. To znamená, že lze přesně nastavit vstřikování paliva do válců v závislosti na aktuálních provozních podmínkách, což má za úkol řídicí jednotka. Toto přesné řízení umožňuje konstrukce vstřikovačů, prvním typem konstrukce je využití elektromagnetického ventilu a druhou možností je použití piezoelektrického krystalu. Obě tyto technologie umožňují provádět rychlé a krátké pohyby jehly trysky. Všechny popsané skutečnosti přispívají k optimálnějšímu průběhu hoření palivové směsi a je možné zvýšit výkonové parametry motoru a zároveň snížit spotřebu paliva, což má za následek snížení emisí škodlivých látek, jako jsou oxidy dusíku (NOx) a pevné částice. Tyto vlastnosti souvisí také s vysokou hodnotou tlaku paliva, která se běžně pohybuje okolo 200 MPa. Při vyšších tlacích dochází k lepší atomizaci paliva, což znamená lepší rozptýlení paliva

a to znovu přispívá k lepšímu prohoření směsi. Zmíněné vlastnosti, mají vliv také na vyšší spolehlivost a životnost motoru z důvodu lepší čistoty spalovacího prostoru, protože nedochází tvoření velkého množství pevných částic a karbonových úsad. [5], [6], [8], [9]

Common Rail systém je dnes standardem v moderních dieselových motorech díky svým výhodám v oblasti efektivity, emisních standardů a výkonu. Jeho pokročilá technologie přispívá k udržitelnějšímu provozu vozidel a snižuje negativní dopady na životní prostředí.



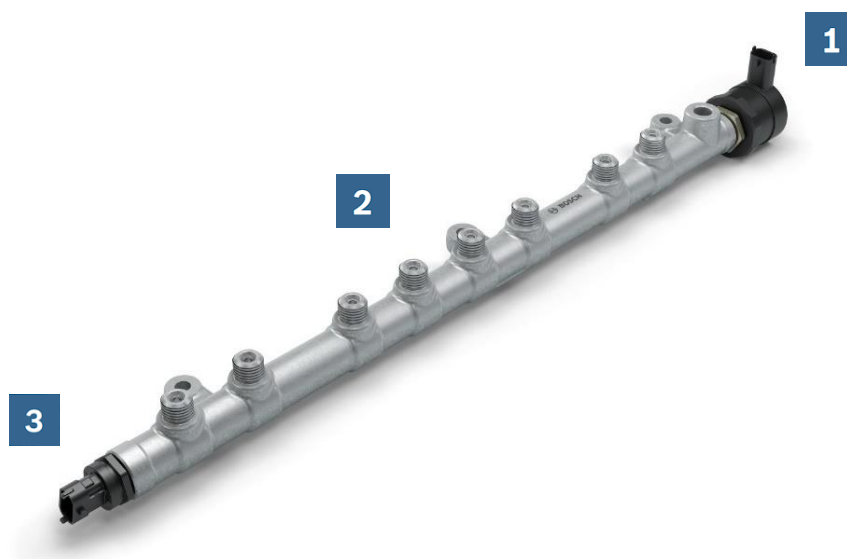
Obr. 2 Common Rail systém [10]

Na předchozím obrázku (obr. 2) jsou vyobrazeny tři hlavní komponenty CRS v propojeném stavu a řídicí jednotka (označena číslem 4). Číslem 1 je označený samotný rail, který je detailně popsán v následující podkapitole 2.2.2. Dále se pod číslem 2 nachází vysokotlaké čerpadlo CP4 provedené ve dvouhlavé variantě, propojené dvěma vysokotlakými trubkami s railem (z každé hlavy jednou). Poslední komponentou je vysokotlaký vstřikovač CRI pod číslem 3, jedná se o konkrétně o piezoelektrický model, zde uvedený v počtu šesti kusů.

2.2.2 HFR Rail

Hlavní komponentou systému Common Rail je právě vysokotlaký zásobník paliva – rail. Ten vytváří dostatečnou zásobu paliva, které je dodáváno vysokotlakým čerpadlem. Tato zásoba umožňuje dále dodávat vstřikovačům požadované množství paliva o stále vysokém provozním tlaku.

Na obrázku 3 je uveden HFR rail vyráběný z polotovaru kovaného z legované uhlíkové oceli. Tento konkrétní výrobek je umísťován do vysoce náročných „Off-Highway“ aplikací v rámci modulárních Common Rail systému (MCRS), například pro využití ve velkých stacionárních a lodních motorech, nebo u stavebních a zemních strojů, rail je v těchto aplikacích konstruován pro akumulaci paliva o tlaku 160 až 220 MPa. [11]



Obr. 3 Rail HFNR 25 [11]

2.2.3 Součásti HFR railu

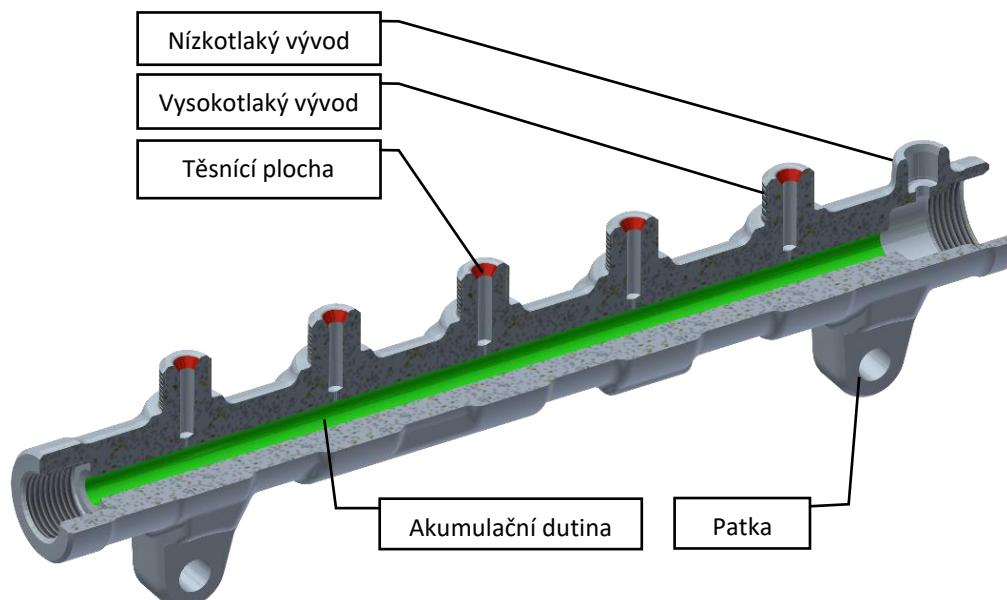
Rail tvoří ve většině případů celek s tlakovým regulačním ventilem (PCV – Pressure Control Valve) a snímačem tlaku paliva (RPS – Rail Pressure Sensor), obě tyto komponenty jsou umístěny na koncích railu vyobrazeného na obrázku 3. PCV ventil je na obrázku označen číslem 1 a má za úkol udržovat bezpečnou hodnotu tlaku paliva v railu, v případě jejího překročení přepustí palivo do nízkotlakého vývodu railu a odtud se vrací zpět do nízkotlaké části vedení paliva. Tato činnost je zajišťovaná pomocí elektromagnetického ventilu. Číslo 2 označuje samotné těleso obrobené z výkovku. RPS snímač je na stejném obrázku u čísla 3 na levé straně, tento snímač měří tlak paliva v railu v reálném čase a tuto informaci předává řídicí jednotce. [5]

2.2.4 Proces výroby

Proces výroby tohoto typu railu v případě, že je vyráběn velkosériově je popsán v následujícím odstavci. Jestliže je výrobní dávka menší, může se proces odlišovat. Popisované prvky jsou viditelné na řezu railu uvedeného na obrázku 4.

V současné době v jihlavském závodě funguje systém výrobních hnízd, který umožní bez přímého zásahu lidské obsluhy obrobek polotovaru railu do konečné podoby pouze v rámci tohoto jednoho automatizovaného hnízda. Volně ložené výkovky jsou pomocí strojového vidění roboticky vyjmuty z gitterboxu, označeny DMC kódem, a dále vloženy na první operaci třískového obrábění, tedy axiální obrábění konců railu. Toto znamená, že jsou vytvořeny vnější přesné válcové plochy a zároveň slepé dutiny na koncích railu, tyto plochy zajistí ustavení obrobku pro další výrobní operace.

Touto operací je znovu axiální obrábění, ovšem tato operace je prováděna na dalším stroji. Jedná se o hluboké vrtání průchozí dutiny railu, přenesení výrobku znovu zajišťuje robot. Po vytvoření dutiny se obrobek znovu přenáší do prvního stroje pro provedení radiálního obrábění, kdy se obrábí všechny vývody. Vytváří se propojovací kanály z radiálních vývodů do hlavní průchozí dutiny. Obrobeky jsou i kuželové těsnicí plochy a závity sloužící k uchycení vysokotlakých trubek pomocí převlečných matic.



Obr. 4 Řez railem [3]

Poslední operací ve výrobním hnízdě je kartáčování, tato operace zajišťuje odstranění hrubých otřepů, vzniklých na přechodu ploch průchozí dutiny a radiálně vrтанých kanálů vývodů. Dále robot přenáší hotový obrobek k výstupu z hnízda. Takto obrobený rail je připraven na povrchovou úpravu zinkováním.

Po provedení povrchové úpravy se již rail dostává na pracoviště řešené v rámci diplomové práce. Rail se označuje další částí DMC kódu a vkládá se do pracoviště ECM (Electrochemical Machinig), toto pracoviště má za úkol elektrojiskrově odstranit zbytek otřepů na rozmezí radiálních otvorů a axiální průchozí dutiny. Pro tento proces je nutná přítomnost elektrolytu, který je ovšem velmi agresivní pro ocel a je nutné ho co nejdříve po skončení operace zcela odstranit z výrobků. K tomu slouží prací stroj, který je součástí celého pracoviště ECM, rail se do něj vloží a prochází následujícími operacemi. Nejprve se elektrolyt neutralizuje, pak se odstraňuje praním a následně se rail pasivuje, konečnou operací je sušení horkým vzduchem. Dále už zbývá jen odebrání railu z výstupu pracího stroje. Tato činnost je již vlastním tématem práce a dosavadní proces činnosti je popsán v kapitole 2.3.1.

Z pracoviště ECM paletizované raily pokračují na operaci nazývanou autofretáž. Autofretáž je výrobní proces, při kterém jsou vnitřní plochy součásti vystaveny vysokému tlakovému namáhání. Toto namáhání způsobí plastickou deformaci součásti, tato deformace při následném odlehčení brání v návratu zbytku deformace, která je elastická. To tedy znamená, že součást již není smrštěna na původní rozměr a dochází ke vzniku tlakových napětí na vnitřní straně součásti, a naopak tahových napětí na vnější straně. Výsledkem metody je, že při následném provozu zbytkové napětí snižuje velikost namáhání railu tlakem pracovního média. Zvláště výhodné využití této skutečnosti je při provozu, kdy dochází k cyklickému namáhání, protože dochází k prodloužení životnosti součásti. [12]

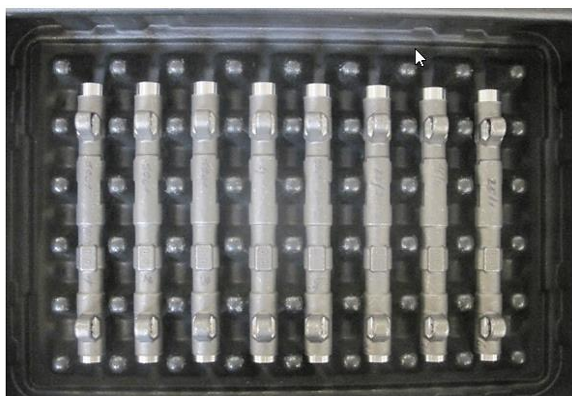
V případě této konkrétní aplikace je v railech běžně vytvářen tlak dosahujících hodnot kolem 800 MPa. Mimo zpevňování railu metoda slouží také jako kontrola kvality railu. Kdyby se například ve výkovku nacházel vměstek, dojde k destrukci tohoto nevyhovujícího railu.

2.3 Analýza současného stavu pracoviště

Kapitola rozebírá operace probíhající na současném pracovišti a popisuje rozložení pracoviště. Popis je doplněn názornými fotografiemi.

2.3.1 Činnost pracoviště

Částečně automatizované pracoviště je umístěno na výstupu pracího stroje, úkolem obsluhy je odebírat očištěné obrobky z dopravníku a pomocí endoskopu kontrolovat kvalitu odjehlení hrany na přechodu zmíněných ploch. Po této kontrole raily podle balicího předpisu obsluha zakládá do připravených blistrů. Důvodem pro tuto manuální činnost je nutnost zakládání railu do blistru tak, aby vysokotlaké vývody směřovaly vždy dolů směrem ke dnu blistru kvůli zabránění jejich poškození, nebo případnému znečištění. Dalším důvodem je to, aby žádná část railu nepřesahovala přes hranu blistru, protože tyto blistry je nutno paletizovat kvůli další výrobní logistice. Orientace railu v blistru také záleží na jeho délce, krátké raily se zakládají podle vzoru na obrázku 5 a raily delší podle obrázku 6.



Obr. 5 Svislé zakládání railu [3]



Obr. 6 Vodorovné zakládání railu [3]

Obsluha vždy na plně obsazený blistr umístí nový prázdný, výtah blistrů se kvůli požadavkům na ergonomii sníží a obsluha pokračuje v zakládání. Takto paletizované raily na pojízdném přípravku, takzvaném skejtu pokračují dále do montážního procesu.

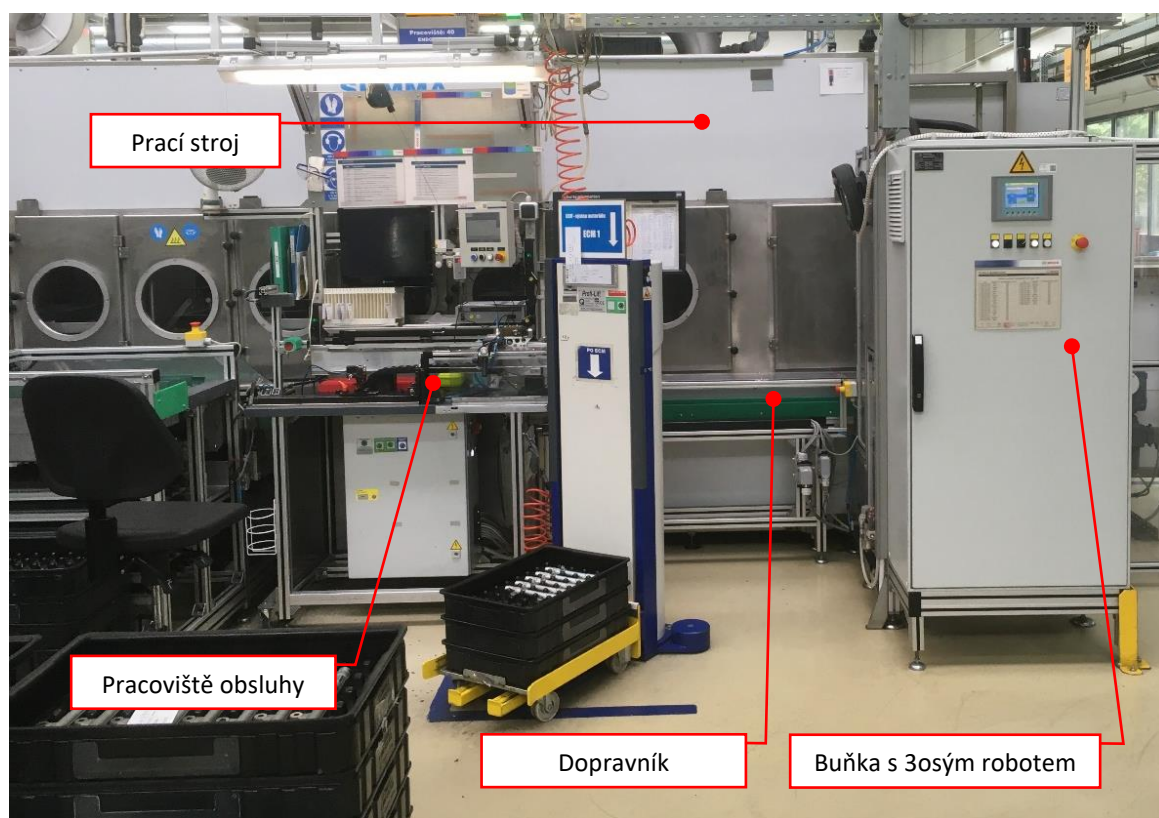
Výrobní portfolio railů, které projdou tímto pracovištěm v současné chvíli činí asi pět desítek typů. Od celkové délky railu kolem 200 mm až po hranici možnosti pracího stroje, která je 600 mm.

Současná částečná automatizace pracoviště spočívá v přenášení railů vyjmutých z pracího stroje pomocí tříosého robota, ten odebírá raily z lůžek, které rail svírají na válcových koncích čtyřmi body. Lůžka jsou v pracím stroji umístěna tak, že se raily do výstupní části stroje posunou vždy v páru. Po dokončení praní se odklopí horní část přídržného lůžka a výrobek je možné odebrat směrem svisle vzhůru. Raily se v lůžkách nachází v orientovaném úhlu, a to takovém, v jakém byly elektrochemicky obráběny.

Již paletizované raily, opouští řešené pracoviště a pokračují na proces autofretáže.

2.3.2 Layout pracoviště

Prací stroj je rozměrově náročný, jeho půdorys je obdélníkový o stranách 5 x 2 metry. Na obrázku 7 se v pozadí nachází prací stroj, v pravé části je umístěna buňka se zakrytým odebíracím kartézským robotem. Zprava do leva vede pásový dopravník, na který robot odkládá raily, které na pásu pokračují ke stolu obsluhy. Ve střední části je viditelný pomocný výtah pro paletizaci blistrů.



Obr. 7 Přední pohled na pracoviště [3]

2.4 Požadavky na automatizaci

Výrobní oddělení závodu poptává u oddělení TEF 2 řešení automatizace pracoviště a vyjmenovává požadavky uvedené v následující podkapitolách 2.4.1., 2.4.2., 2.4.3, rozdělených podle tématických celků.

2.4.1 Stupeň automatizace a seřizování

Pracoviště by mělo být plně automatizované z pohledu manipulace s výrobky. Tedy, že musí dojít k vyjmutí railu z pracího stroje, dále má být podle balícího předpisu rail natočen a založen do blistru. Správné natočení a usazení do blistru musí být zaručeno, aby nemohlo dojít k zastavení výroby. Založení podle balícího předpisu je nutné ze dvou důvodů. Prvním je logistický požadavek na možnost paletizace blistrů, kdyby byl rail nevhodně založen, nebylo by možné raily stohovat na sebe. Druhý požadavek je kvalitativního charakteru, raily jsou ukládány tak, aby všechny jejich vývody směřovaly ke dnu, nebo alespoň ke stěně blistru. Tímto se zajišťuje, aby při dalších výrobních a logistických činnostech nebyla poškozena těsnící plocha vývodu (viz obr. 4), nebo nedošlo k případnému zapadnutí nečistot do vnitřních otvorů railu.

Dále musí být zajištěna možnost načítání DMC kódu na výrobcích.

Samozřejmostí je dodržení taktu výrobní linky, který je výrobním oddělením požadován v délce 18 sekund na jeden rail.

Práce seřizovačů by měla být co nejméně náročná a s minimem počtu zásahů. To znamená, že při změně typu vyráběných railů nesmí vznikat zbytečně dlouhé prostoje při případné nutnosti přenastavení zařízení na daný typ výrobku.

2.4.2 Layout, bezpečnost a údržba

Rozměry budoucího pracoviště by se měly udržovat v rámci současného rozložení, nesmí přesahovat do přiléhající uličky. V případě schválení projektu by mělo být možné, ideálně bez provádění dalších změn, toto řešení umístit i na paralelní výrobní linky, které se mírně liší v layoutu.

Budoucí pracoviště je třeba zajistit z pohledu bezpečnosti práce. Nesmí dojít k ohrožení pracovníků. Řešení musí odpovídat normám bezpečnosti práce a musí splňovat nároky na certifikaci o evropské shodě CE.

Zároveň je třeba zachovat přístup k servisním bodům samotného pracího stroje a okolních výrobních zařízení. Tyto body jsou přehledně vyznačeny v příloze 1, na obrázku je samostatně vyobrazen celý prací stroj a jsou vyznačeny následující servisní místa:

- přístupy pro údržbu jednotlivých pracovních sekcí pracího stroje (8x), zvýrazněny oranžovou barvou,
- místo pro údržbu a výměnu řetězového dopravníku, zvýrazněno červenou barvou,
- místo pro údržbu elektromotoru, který pohání řetězový dopravník, motor zvýrazněn červenou barvou,
- místo pro přístup do elektrického rozvaděče stroje, zvýrazněno zelenou barvou,

2.4.3 Rozpočet

Investice do projektu, musí být návratná do tří let provozu nového zařízení. Rozpočet se v obdobných projektech určuje tak, že nesmí přesáhnout velikost nákladů vynaložených na obsluhující pracovníky v rámci požadované doby.

2.5 Analýza možností automatizace

Projektový vedoucí oddělení TEF při předběžné analýze layoutu a požadavků na automatizaci určuje, že pro automatizaci pracoviště bude využito některého z průmyslových robotů výrobce Stäubli. Druh robotizace se vybere na základě další detailnější analýzy vlastností těchto robotů.

Termín průmyslový robot nyní definuje norma ČSN ISO 8373 jako: „automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní, k užití v průmyslových automatických aplikacích“. [13]

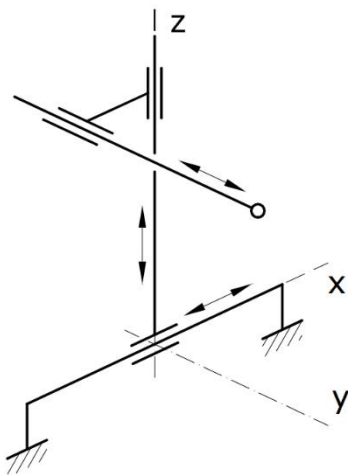
V podkapitolách 2.5.1, 2.5.2 a 2.5.3, jsou uvedeny základní typy současných průmyslových robotických systémů, které se běžně využívají při automatizaci výrobních operací. Pro každý typ je uvedena kinematická struktura, princip funkce, výhody a nevýhody řešení. Z popisu jsou v tomto případě vypuštěny manipulátory, které svými vlastnostmi, neodpovídají požadavkům uvedeným v předchozí kapitole. Protože jejich účelem je pomáhat lidské obsluze s přenášením těžkých břemen a nemají schopnost plné autonomie. Vzhledem k charakteru požadované manipulace s výrobky nebude uveden ani popis robotů pracujících na principu paralelogramu, protože se nejedná o vhodnou aplikaci.

2.5.1 Třiosé roboty

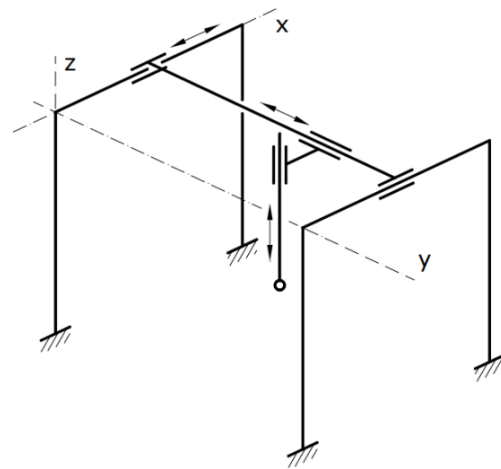
Třiosé roboty, jsou principiálně jednoduché a pohybují se translačně v kartézských souřadnicích (v osách X, Y, Z), mají tedy tři stupně volnosti, viz obrázek 8 a 9. Na obrázcích je také vidět, že konstrukční provedení může být různé podle aplikace. Na obrázku 8 je vyobrazen kartézský robot stojanový pro méně náročné aplikace. A na obrázku 9 je vyobrazený robot stejné struktury, ale portálové konstrukce. Tato konstrukce dosahuje vyšší tuhosti, což zajišťuje vynikající stabilitu, a tedy i přesnost. Jejich konstrukce je ideální pro širokou škálu průmyslových aplikací, kde je klíčovým parametrem jednoduchá navigace ve třech rozměrech. [14], [15], [16]

Jednou z hlavních výhod třiosých robotů je, že díky své robustní konstrukci jsou schopny pracovat s větším zatížením a na rozsáhlejším pracovním prostoru než jiné typy robotů. Tato vlastnost se nevyužívá jenom při manipulaci s výrobky, ale také v oblastech výroby, jako je frézování, broušení nebo řezání, kde je potřeba precizní provedení pohybů. [15], [17]

Nicméně, nevýhody třiosých robotů lze nalézt ve srovnání s víceosými variantami. Jejich omezený pohyb ve třech rozměrech může být nevýhodou v situacích, kde je potřeba vykonávat složitější pohyby a dosahovat větší flexibilitu, například měnit orientaci výrobků a tak dále. V případě náročnější aplikace s vysokými požadavky na přesnost (opakovatelnost) může být nevýhodou vyšší cena konstrukce, viz obrázek 9, a také nižší rychlost pohybu. A dále složitější programování při případném rozšíření funkce. [17]



Obr. 8 Kartézský robot stojanový [17]



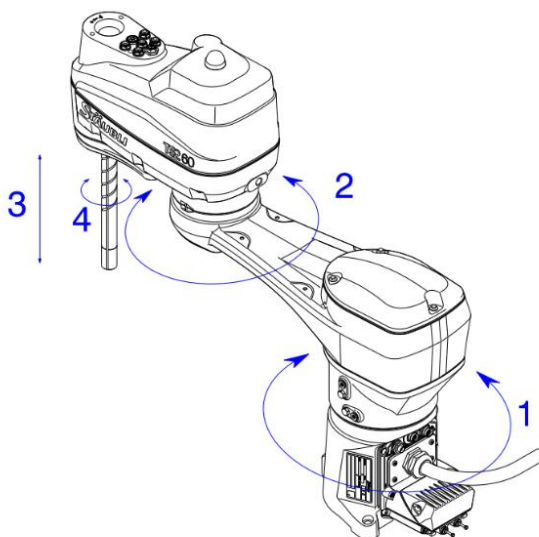
Obr. 9 Kartézský robot portálový [17]

2.5.2 Čtyřosé roboty

Čtyřosé roboty, známé také jako SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), představují v průmyslové automatizaci významný pokrok. Tyto roboty mají čtyři stupně volnosti, což jim umožňuje pohyb ve dvou rovinách, rotaci kolem své vlastní osy a také rotaci neseného předmětu, viz obrázek 10. Tato konstrukce poskytuje větší flexibilitu a rozsah pohybu ve srovnání s jednoduššími modely robotů. [16], [14], [15], [18]

Výhody čtyřosých robotů jsou mnohostranné. Jejich schopnost pohybu ve dvou rovinách jim umožňuje dosáhnout na široký pracovní prostor a to rychleji, než ostatní typy průmyslových robotů srovnatelných vlastností. SCARA roboty jsou tedy ideální pro aplikace, které vyžadují rychlost, přesnost a opakovatelnost, jako jsou montáže, manipulace s materiály nebo balení a paletizace. Díky své kompaktní konstrukci jsou tito roboti také prostorově úsporní, což je v průmyslových provozech často klíčový faktor. [16], [14], [15]

Nevýhodou čtyřosých robotů ve srovnání s víceosými, je hlavně menší nosnost při srovnatelné velikosti a hmotnosti robotů. V průmyslu se však čtyřosé roboty stávají častou volbou díky své vynikající kombinaci zmíněné rychlosti, přesnosti a kompaktního designu. Jejich využití v oblasti automatizace přináší efektivitu a konkurenceschopnost do průmyslových procesů, což přispívá k celkovému posunu směrem k modernějším a efektivnějším výrobním systémům. [14], [15]



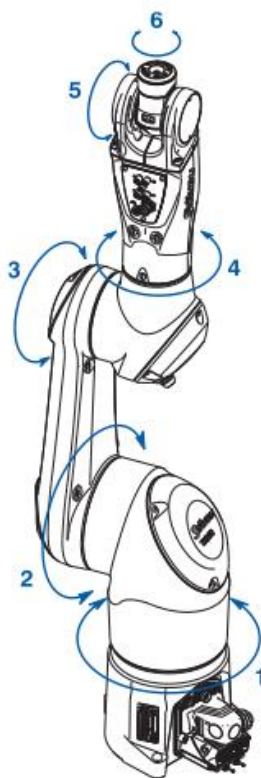
Obr. 10 Čtyřosý průmyslový robot Stäubli TS2 (SCARA) [19]

2.5.3 Šestiosé roboty

Šestiosé neboli angulární roboty představují jednu z nejvíce pokročilých a všestranných kategorií průmyslových robotů. Jejich konstrukce zahrnuje šest rotačních kloubů (odtud angulární roboty), což jim umožňuje pohyb ve všech třech rozměrech a rotaci kolem tří os. Tento počet stupňů volnosti v kombinaci s jejich schopností pracovat ve složitých úhlech dělá z šestiosých robotů vhodné nástroje pro náročné průmyslové úlohy. Pohyby těchto robotů umožňují napodobovat pohyb lidské ruky, viz obrázek 11. [14], [20]

Výhody šestiosých robotů spočívají zejména ve velké flexibilitě a schopnosti dosáhnout na libovolný bod ve třech dimenzích s vysokou přesností. To je klíčové při aplikacích, jako jsou manipulace s výrobky, svařování, lakýrnické práce. Šestiosé roboty jsou schopny simulovat lidský pohyb, což je výhodné zejména v oblastech, kde je potřeba precizní a náročná práce s objekty různých tvarů a velikostí. [17]

Nevýhody šestiosých robotů mohou zahrnovat vyšší pořizovací náklady a náročnější údržbu kvůli jejich složitější konstrukci. I řízení kloubových robotů je komplikovanější než u kartézských robotů, protože vyžaduje výpočty inverzní kinematiky a dynamiky v prostoru s mnoha stupni volnosti, kde některé polohy lze dosáhnout různými způsoby. [21]



Obr. 11 Šestiosý robot Stäubli TX2 [22]

2.6 Analýza možností uchopování

Tato kapitola se zabývá analýzou upínací techniky, pro přenos výrobků, využitelné na robotech. Uvedeny jsou základní druhy relevantní pro téma práce.

2.6.1 Mechanické uchopovače

Nejrozšířenějším systémem uchopování výrobků je pomocí mechanické síly vytvořené aktuátorem a přenesené nějakým typem čelistí na výrobek. Přenos síly bývá zajištěn různými pákovými převody, paralelogramy a podobně. Způsob přenosu síly závisí na vlastnostech manipulovaného předmětu. Uchopení může být pomocí dvou, tří i čtyř a více bodů. Předmět může být i obejmut přízpusobivou čelistí. [23]

Pro speciální aplikace je třeba navrhovat vlastní čelisti, nebo celé uchopovače a jejich mechanismus. Obecně se, ale tyto komponenty nakupují od společností, které se na výrobu upínací techniky zaměřují, jedná se o sofistikované, přesné a spolehlivé výrobky. Tyto univerzální chapadla ve valné většině vyvozují svoji sílu pomocí působení stlačeného vzduchu, nebo elektrické energie. Výrobci nabízí velké množství typů se značným rozsahem upínací síly, zdvihu čelistí, možností snímání polohy, možnosti vystředění atd. Vzhled jednoho z těchto výrobků, konkrétně paralelního dvouprstového uchopovače je patrný na obrázku 17, 29 a v příloze 5.

Při výběru chapadla je nutné zohlednit, zda bude manipulovaný výrobek uchopen pouze třecí silou, kdy je třeba při výpočtu počítat s bezpečnostním faktorem proti vyklouznutí obrobku při zrychlení robota. Nebo jestli bude využit i tvarový styk mezi výrobkem a čelistí. [24]

2.6.2 Magnetické uchopovače

V průmyslové praxi je rozšířen také systém magnetického uchopování v oblasti robotické manipulace. Zařízení využívají síly magnetického pole k uchopení a přenášení různých feromagnetických předmětů. Princip fungování magnetických uchopovačů spočívá v použití elektromagnetů nebo permanentních magnetů k vytvoření silového pole, které umožňuje zachycení a fixaci objektů. Tato technologie přináší několik klíčových výhod. Jsou schopny pracovat s různými typy objektů, bez ohledu na jejich velikost, orientaci a do jisté míry i jejich tvar. Charakter upínání, který není založen na přímém stačování čelistmi eliminuje opotřebení a zabraňuje poškození předmětů, což může být u některých výrobků rozhodující. Chapadlo může přenášený výrobek uvolnit v místě, kde by kvůli prostoru při použití čelistí nebylo proveditelné. Magnetické uchopovače bývají i cenově efektivní a mohou být snadno integrovány do existujících robotických systémů či výrobních linek.

2.7 Koncept projektu a varianty

Po analýze požadavků výroby projektový vedoucí určuje následující základní rysy pracoviště, ze kterých se bude vycházet při návrhu variant.

Vzhledem k požadavkům se k pracovišti přistupuje spíše, jako k pružnému výrobnímu systému, který se v principu skládá z buněk, mezi kterými je zajištěn pohyb výrobků. Tyto výrobky mají obdobné požadavky na proces výroby a je tak možné jednoduchými úpravami pracoviště využívat pro několik typů těchto výrobků, případně měnit určení pracoviště. Protikladem zmíněného systému jsou transferové linky, kde jsou jednotlivé části jednoúčelové a mezi sebou nezastupitelné. [16]

Jak již bylo uvedeno, pro automatizaci se využije výrobků společnosti Stäubli, zároveň se s českou částí společnosti bude spolupracovat při ověřování proveditelnosti uvažovaných variant. Varianta s použitím tříosého lineárního robota se nebude rozpracovávat. A to z důvodu náročnější konstrukce vyložení rámu do výstupní části pracího stroje, dále náročnějšího programování pohybů oproti průmyslovým robotům, hůře proveditelnými případnými změnami po realizaci a srovnatelné cenové náročnosti s použitím robotického řešení.

Základní koncept pracoviště je tedy takový, že bude obsahovat tři základní části, tedy robotickou část, dále jednotku pro otáčení a kamerové snímání railu. Tato jednotka má obsahovat dvě pracovní pozice pro dodržení taktu. Poslední částí má být stanice sloužící k zajištění výstupní logistiky. Hrubé rozložení pracoviště je zobrazeno na obrázku 12.

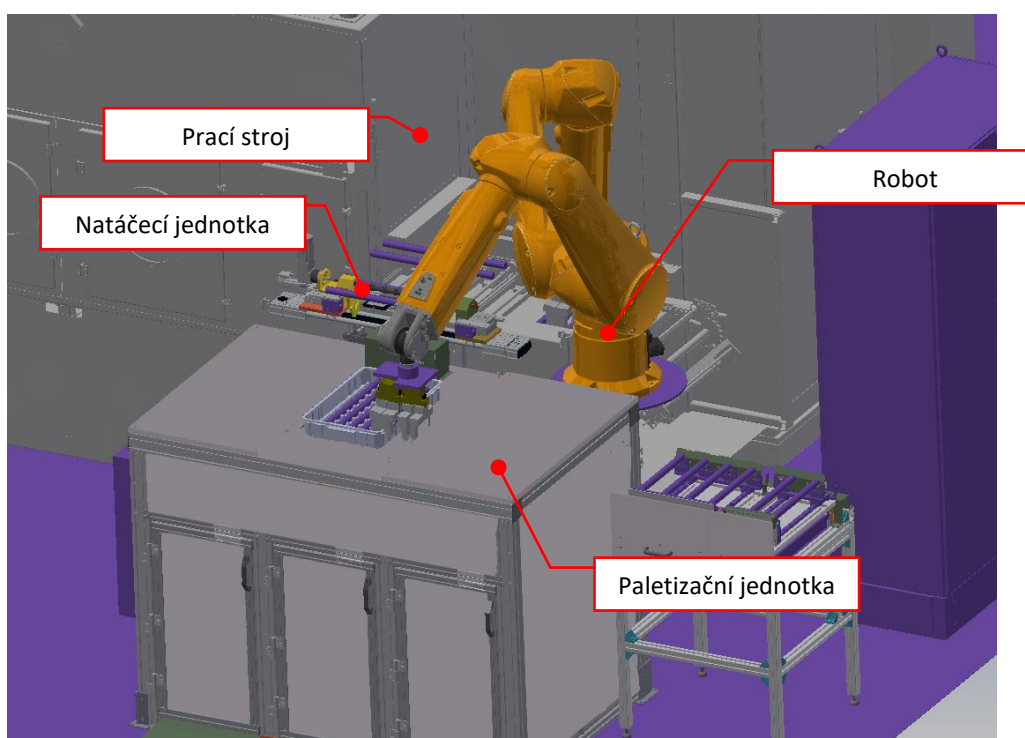
Pro zmíněnou výstupní část, kde má docházet k paletizaci blistrů se využije samostatná stanice. Principiálně je podobná se stanicí, která je použita na vstupu výrobků do operace ECM a zajišťuje zde naopak depaletizaci blistrů. Tato stanice je také výrobkem oddělení TEF 2, stanice byla přidána při předchozí optimalizaci výrobního procesu. Budou provedeny jen změny nutné pro součinnost s novým pracovištěm.

2.7.1 Robotizace

Dále jsou uvedeny tři základní varianty použitých robotů, které byly uvažovány s ohledem na určený koncept projektu. V každém odstavci je uvedena jedna varianta a stručný popis její funkce, také je zhruba uveden čas taktu pro jeden výrobek.

První analyzovaná varianta (obr. 12) pracuje s jedním šestiosým robotem, vzhledem k velikosti potřebného dosahu je nutné volit průmyslového robota Stäubli řady TX2 160L s prodlouženým ramenem. Dosah robota činí 2010 mm a nosnost až 25 kg. [25]

Robot má odebrat rail z pracího stroje a vložit ho do jednotky natáčení, proces ihned opakuje s druhým railem. Následně vyjímá první již natočený rail a zakládá ho do paletizační jednotky, stejně tak s druhým railem. Při předběžném výpočtu taktu, kdy se nejprve uvažuje o přenášení jednoho výrobku, se čas ukazuje jako příliš vysoký okolo 35 sekund. Protože robot má vysoké užitečné zatížení, pokračuje se s výpočtem pro zdvojené chapadlo, a tedy přenášení dvou výrobků zároveň. S touto úpravou dochází ke snížení taktu zhruba na 22 sekund, ovšem to pořád není dostatečná hodnota, a navíc dochází k problému s manipulačním prostorem a nutnosti odkládání railů mimo blistr, z důvodu lichého počtu pozic v blistru. Proto se přistupuje k návrhu další varianty.



Obr. 12 Koncept rozložení pracoviště [3]

Druhá varianta využívá dvou šestiosých robotů rozměrové řady TX2 – 90, tento robot má dosah 1000 mm a nosnost až 14 kg. [25] Princip funkce zůstává stejný, jako v předchozí variantě, pouze první robot zajišťuje manipulaci mezi pracím strojem a natáčecí jednotkou a druhý mezi natáčecí jednotkou a paletizací. Znovu je vyzkoušen výpočet taktu pro přenos jednoho výrobku. U této varianty je hrubý takt 15 sekund, a to již splňuje předepsanou hodnotu. Zároveň může být budoucí uchopovací uzel kompaktní a není potřeba konstrukce dalších odkládacích míst.

Ukazuje se, že pro funkci pracoviště z pohledu manipulace s výrobkem je pátá a šestá osa robota nadbytečná. Této skutečnosti se využívá a z finančních důvodů se varianta 2 modifikuje na variantu 3, kdy se na namísto šestiosých robotů použije čtyřosých robotů Stäubli TS2-100. Tímto krokem by bylo možné ušetřit asi jednu třetinu nákladů na roboty.

Ovšem je třeba brát v úvahu, že užitečné zatížení robota SCARA dosahuje zhruba poloviny zatížení šestiosého robota se stejným rozsahem, který v tomto případě činí 1000 mm. Přesnost opakovatelnosti je srovnatelná. Čas taktu je teoreticky stejný, jako u varianty 2. [19]

K hrubému výpočtu taktu pracoviště a kontrole dosahu robotů byly použity zjednodušené 3D modely. V případě ověření varianty 3 byl kontrolován pohyb ramen robota v rámci výstupní části pracího stroje i celého budoucího pracoviště. Všechny varianty splňují požadovaný dosah. Na základě uvedených informací projektový vedoucí určuje k rozpracování variantu 3, tedy s využitím dvou kusů robota SCARA.

2.7.2 Varianty uchopovacího uzlu.

V této kapitole jsou uvedeny varianty uvažované ke konstrukčnímu rozpracování. Vždy je uveden popis možné funkce a výčet komponent, které návrh obsahuje, dále jsou uvedeny výhody a případné nevýhody. Z uvedených variant se dále v kapitole 5.1. vybere nejvhodnější řešení.

Analýzou portfolia vyráběných railů a funkce pracoviště ECM, bylo zjištěno, že většina railů na výstupu z pracího stroje je orientovaná tak, že jeho vysokotlaké vývody směřují směrem vzhůru. Tato skutečnost značně omezuje možnost použití magnetických chapadel, protože nelze dosáhnout spolehlivého upnutí anebo v případě přenášení railů do blistru zabránění jejich pootočení. Proto se při návrhu variant uvažuje spíše s použitím uchopování čelistmi.

2.7.2.1 Uchopování jednoduchou čelistí

V případě uchopování railu jednou čelistí (obr. 13) by byla konstrukce uchopovacího uzlu velmi jednoduchá. Konstrukční činnost by spočívala pouze v návrhu čelisti, výběru vhodného chapadla konstrukce příruby pro uchycení k robotu. Sestava má mnoho výhod, mimo zmiňované jednoduché konstrukce by byla také levná a v zásadě by nebylo třeba žádného seřizování při změně typu vyráběného dílu. Ovšem je zde možné předpokládat nevýhodu v nespolehlivosti upnutí a případnému vychýlení osy railu při manipulaci.

2.7.2.2 Uchopování zdvojenými čelistmi

Tato varianta je v zásadě modifikací předchozí, počet a velikost komponent zůstává stejný, pouze se mění konstrukce čelisti na zdvojenou (viz obr. 5). Touto změnou je možné zajistit spolehlivost upnutí, ovšem eliminuje předchozí výhody. Nyní již není možné jedním typem čelistí obsloužit všechny typy výrobků, protože povrch výrobků je velmi proměnlivý a u každého typu jiný. Čelisti by mohly být společné pouze pro nízké jednotky výrobků, toto vytváří nutnost konstrukce mnoha typů čelistí a jejich výměny seřizovačem při změně výroby.

2.7.2.3 Uchopování manuálně stavitelným chapadlem

Při odstraňování nedostatků předchozí varianty je použit nový princip. Uchopovací uzel se skládá z jednoho chapadla, které je uloženo tak, aby umožňovalo změnu pozice při změně výroby. Takovéto uložení může být řešeno pomocí připravených pozic, nebo může být chapadlo uloženo na lineárním vedení a při práci zabrzděno manuální pákovou brzdou. Takovéto řešení zajistí, že čelisti budou vždy posunuty na vhodné místo povrchu railu. Druhou funkční součástí je jednoduchá pevně uložená vidlice, o kterou by se rail na dalším místě opřel a tím by se zajistila stabilita. Výhodou řešení je, že by stačil jeden typ čelistí, také cena by byla příznivá. Nevýhodou stále zůstává nutnost zásahu seřizovače při změně výroby, ovšem náročnost činnosti by se snížila.

2.7.2.4 Uchopování automaticky stavitelným chapadlem

Tato varianta se snaží dále automatizovat přechozí. Je zde znovu využito opěrné vidlice a posuvného chapadla, ovšem manuální brzda je nahrazena pneumatickou. Zde by bylo možné docílit automatického přenastavení pomocí automatického odbrzdění a posunutí chapadla robotem. Tato varianta zcela odstraňuje zásah seřizovače, ale značně narůstá složitost konstrukce.

2.7.2.5 Uchopování dvěma posuvnými chapadly

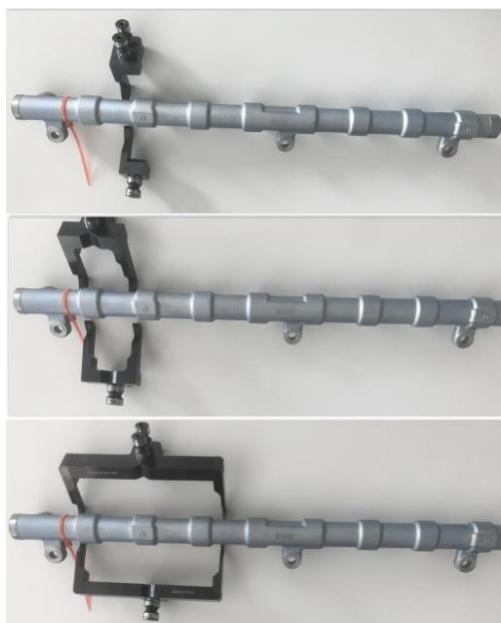
Poslední varianta znovu modifikuje předchozí. Změna spočívá v nahrazení pevné opěrné vidlice druhým chapadlem. Obě chapadla jsou automaticky posuvná. Výhodou zůstává plná automatizace přestavování, a navíc je možné rail uchopovat tak, aby se jeho těžiště nacházelo vždy v ose rotace příruby robota. Takovéto řešení by se mělo pozitivně projevit na rychlosti pohybů robota z důvodu snížení setrvačných sil. Nevýhodou této varianty je zvýšení ceny a hlavně náročnost konstrukce.

2.7.3 Robotické testy

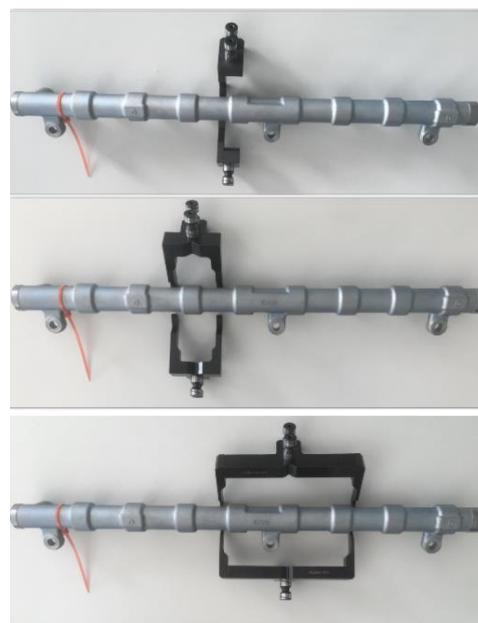
Tato kapitola uvádí dva reálné testy, které byly provedeny, aby bylo možné kvalifikovaně rozhodovat o dalším výběru varianty.

2.7.3.1 Test dynamiky robota a upínání

První test má za cíl zkontrolovat, zda typ robotizace určený k rozpracování splňuje požadavky na maximální dynamické namáhání robota. A dále se ověřuje způsob upínání railů. Pro provedení testu je použito paralelní chapadlo Schunk a set testovacích čelistí. Všechny tyto čelisti jsou uvedené na obrázcích 13 a 14. Jedná se o jednoduché čelisti nacházející se v horní části obrázků, ostatní čelisti jsou již zdvojené, rozdíl je pouze v šířce vyložení prstů. Pro testování je dále vybrán nejtěžší vyráběný rail, který váží 3,5 Kg. Test probíhá ve spolupráci se společností Stäubli, a je využit přímo robot SCARA TS2-100.



Obr. 13 Uchopení mimo těžiště [3]



Obr. 14 Uchopení v těžišti [3]

Test se v první fázi soustředí na způsob uchopení railu mimo jeho těžiště (obr. 13), ověřuje se, zda osa railu zachovává při pohybu svoji orientaci a dále se sleduje zatížení robota. Ve druhé fázi se pokračuje s upnutím v těžišti railu, nebo alespoň v blízkosti těžiště, tak jak to dovoluje tvar čelistí (obr. 14), kontrolují se stejné parametry.

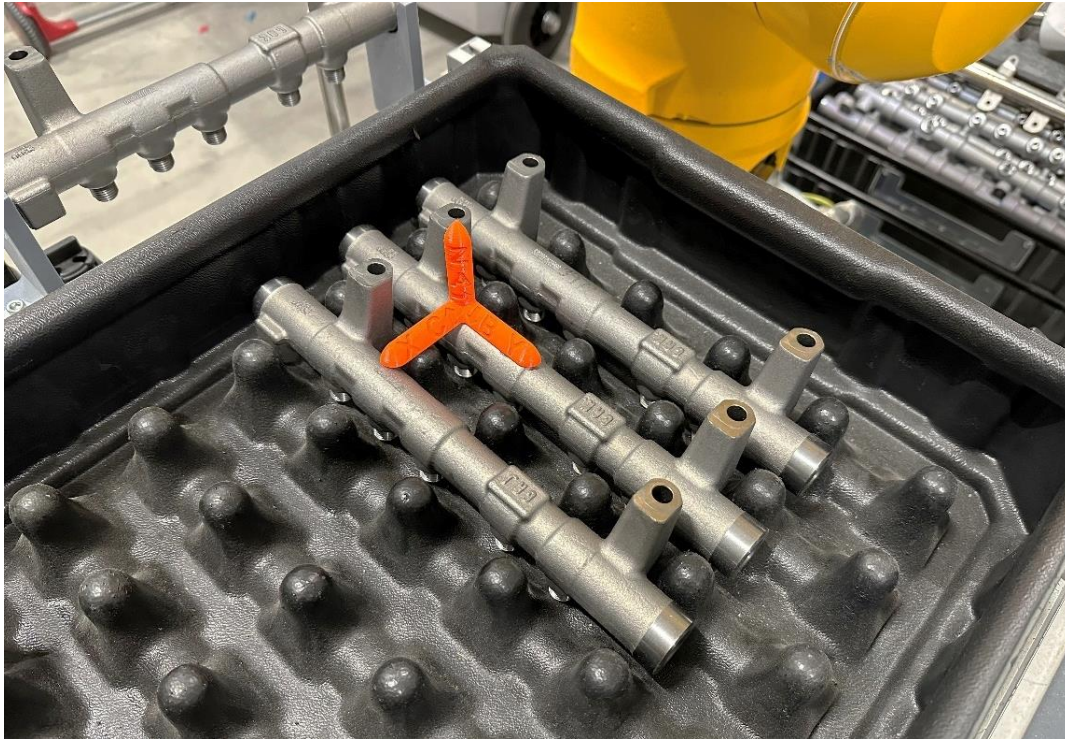
Výsledky testu jsou jednoznačné, při uchopování jednoduchými čelistmi nelze spolehlivě zajistit, že rail nezmění orientaci, a to ani v případě upnutí v těžišti. Dále společnost Stäubli doporučuje raily upínat, tak aby se jejich těžiště nacházelo ideálně v ose příruby robota. V případě, že tomu tak není je nutno snižovat pracovní rychlost robota, aby nedocházelo k jeho přetěžování vlivem vysokých setrvačných sil.

2.7.3.2 Odhazování railů

Blistr pro uložení railů obsahuje výstupky rozložené v pravidelném čtvercovém vzoru. Při manuální zkoušce zakládání railu se ukazuje, že pro několik typů railů z výrobního portfolia je třeba dosáhnou přesnější polohy mezi výstupky, aby při spouštění na dno blistru nedošlo k uvážnutí railu o některou z částí členitého povrchu. V takovém případě výrobek nesplňuje požadavek na orientaci usazení a zároveň může zasahovat do prostoru, kde se při paletizaci umísťuje následující blistr. Nebyl by tak splněn požadavek na správné založení.

Proto se provádí druhý test, který se soustředí na kontrolu robotického zakládání railů do blistru. Účelem testu je předejít případným problémům při zakládání railů do blistru. Pro test byl vybrán výrobek, který je tvarově složitý a je prostorově rozměrný zejména v místech, kde se v blistru dotýká výstupků. Zároveň se jedná o výrobek, u kterého bylo pocitově nejnáročnější založení při manuální zkoušce. Pro účely testu byl využit angulární robot Stäubli TX2-90 vybavený pneumatickým paralelním chapadlem Schunk PGB 80, chapadlo je osazeno univerzálními zdvojenými čelistmi. Blistr je pevně založen v nastavitelném zkušebním stole.

Princip zkoušky je následující. Robot uchopí rail, který byl manuálně vložen do připravených vidlic, a následně ho přenesse nad první pozici blistru a dojde k odhození railu viz. obrázek 15. Pro získání statisticky relevantních hodnot se takto postupuje sedmkrát a využívají se další pozice blistru. Při první části testu je bod odhození nastaven v ideální poloze vyznačené při manuální zkoušce. A zároveň při nejnižší možné výšce odhození, tedy takové, kdy se čelisti mohou otevřít, aniž by se zachytly o výstupky blistru. Při každém odhození se do tabulky zaznamenává výsledek založení. V další části zkoušky se postupuje tak, že se v programu robota zvolí posunutí polohy bodu odhození v osách x, y o jeden milimetr od ideální polohy a sleduje se v jaké pozici začne docházet k nespolehlivému založení. Rozsah posunutí je ve zmiňovaných osách volen od -5 do +5 milimetrů, viz tabulka 1 a 2. Následně je proveden ještě test výšky odhození, zde se postupuje po 10 milimetrech do výšky 80 mm nad blistrem, viz tabulka 3.



Obr. 15 Test odhození [3]

Následující tabulky obsahují výsledky pokusů odhození. Zeleně je označen pokus odhození v předpokládané ideální poloze, znaménko + značí pozitivní výsledek založení a znaménko – naopak negativní výsledek.

Tabulka 1 Záznam odhazování – osa x [3]

		Pokus odhození						
Osa X		1	2	3	4	5	6	7
Odsazení od ideální pozice [mm]	-5	+	+	+	+	+	+	+
	-4	+	+	+	+	+	+	+
	-3	+	+	+	+	+	+	+
	-2	+	+	+	+	+	+	+
	-1	+	+	+	+	+	+	+
	0	+	+	+	+	+	+	+
	1	+	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+	-
	4	+	+	+	+	+	-	-
5	+	+	+	+	-	-	-	

Z tabulky 1 vyplývá, že v ose X, dochází v určitém vzoru k chybným založením railu. K problémovému založení začíná docházet u poslední pozice hodnoty X + 3 mm, a dále přibývá s hodnotou X + 4 a X + 5 mm. Dále je vidět, že k chybám dochází ke konci pozic v blistru, to může znamenat chybné ustavení blistru při testu. Ovšem přípustné není ani jedno špatné odhození.

Tabulka 2 Záznam testu odhazování – osa y [3]

		Pokus odhození						
Osa Y		1	2	3	4	5	6	7
Odsazení od ideální pozice [mm]	-5	+	+	+	+	+	+	+
	-4	+	+	+	+	+	+	+
	-3	+	+	+	+	+	+	+
	-2	+	+	+	+	+	+	+
	-1	+	+	+	+	+	+	+
	0	+	+	+	+	+	+	+
	1	+	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+	+
	4	+	+	+	+	+	+	+
	5	+	+	+	+	+	+	+

Z tabulky 2 je patrné, že pokusy odhození byly úspěšné v celém rozsahu nastavených hodnot.

Tabulka 3 Záznam testu odhazování – osa z [3]

		Pokus odhození						
Osa Z		1	2	3	4	5	6	7
Odsazení od ideální pozice [mm]	0	+	+	+	+	+	+	+
	10	+	+	+	+	+	+	+
	20	+	+	+	+	+	+	+
	30	+	+	+	+	+	+	+
	40	+	+	+	+	+	+	+
	50	+	+	+	+	+	+	+
	60	+	+	+	+	+	+	+
	70	+	+	+	+	+	+	+
	80	+	+	+	+	+	+	+

Tabulka 3 uvádí pokusy, kdy byla měněna výška odhození, ani zde nebylo zaznamenáno chybné založení.

Závěrem lze konstatovat, že předpokládaná ideální pozice bodu odhození byla zvolena chybně a ideální bod odhození je vhodné při programování robota posunout na $x = -2$ mm, $Y = 0$. Tím se zvětší toleranční pole správného odhození. Při zkoušce bylo dále zjištěno, že odhazování z vyšší výšky je možné a mohlo by například pomoci zkrácení času taktu, ale dochází ke ztuhlému zvyšování hluku při dopadu railu a také možnému zvýšenému opotřebení blistrů. Tímto testem bylo dále ověřeno, že při konstrukci pracoviště je možné použít zmiňovanou paletizační jednotku bez dalších úprav. Zakládání bude spolehlivě zajištěno, protože jednotka disponuje funkcí vystředění blistru v pracovním prostoru s přesností na ± 1 milimetr ve všech osách.

3 Cíle práce

Hlavním cílem práce je provést návrh konstrukčního řešení automatizace pracoviště, při čemž se bude vycházet z požadavků výrobního oddělení. Přihlížet se bude také k informacím zjištěných při analýze v teoretické části práce a ze skutečností vycházejících z reálných testů. Celkový cíl lze rozdělit na dílčí části:

- provést výběr uchopovacího uzlu, na základě požadavků z kapitoly 2.4,
- vytvořit layout pracoviště s ohledem na koncept a určený typ robotů a konstrukce jednotlivých funkčních celků pracoviště,
- řešení ověřit z pohledu splnění požadavků.

4 Metodika práce

Pro dosažení cíle práce bude postupováno podle následující metodiky. Metodika v zásadě odpovídá způsobu návrhu nového výrobku, jak je popsán v kapitole 8.3. v normě ČSN EN ISO 9001:2015. [26]. Rozložení kapitol výsledkové části odpovídá kapitolám metodiky.

4.1 Výběr typu uchopovacího uzlu

Prvním dílčím cílem je výběr varianty uchopovacího uzlu pomocí vícekriteriálního rozhodování s ohledem na požadavky v kapitole 2.4. Správné posouzení variant je zvláště důležité z důvodu aplikace uchopovacího uzlu na robota SCARA, který má nižší užitečné zatížení než velikostně srovnatelné šestiosé roboty. Je tedy nutné splnit vysoké nároky na automatizaci uchopování velmi rozsáhlého spektra výrobků a zároveň nepřetížit robota hmotným uchopovacím uzlem. Proto se do rozhodování zařazují výsledky reálných testů a doporučení výrobce robotů.

4.2 Konstrukční rozpracování výsledné varianty

Druhý dílčí cíl již detailně rozpracovává zvolenou variantu. Podle typového spektra výrobků bude vytvořen vhodný uchopovací uzel odpovídající technickým požadavkům robota. Pro tuto práci bude výrazně využito modelovacího programu Autodesk Inventor, vizuální výstupy z tohoto programu budou doprovázet praktickou část práce. Dále bude řešeno bezpečné ustavení robotů, pomocí vhodné konstrukce podstavce. A bude uveden popis konstrukce natáčecí a kontrolní jednotky. Následuje krátká část o funkci stolu pro nevyhovující kusy a kapitola s konstrukcí oplocení pracoviště. Nejdůležitější technické výkresy budou součástí přílohové části práce. A je na ně v práci průběžně odkazováno.

4.3 Ověření návrhu

Třetí dílčí cíl, se zaměřuje na ověření konstrukčního návrhu s ohledem na všechny technické požadavky a s důrazem na četnost a náročnost zásahů seřizovačů při změnách ve výrobě. Zhodnocena bude i finanční náročnost řešení, ta bude srovnána s požadavkem na návratnost. Součástí je i kontrola plnění požadavků na bezpečnost práce.

5 Výsledky

Následuje praktická část práce, je zde provedeno konstrukční řešení na základě vybrané varianty robotizace a rozložení pracoviště. Při provádění konstrukce je využíváno programu Autodesk Inventor 2023, jsou využity výstupy tohoto programu ve formě obrázků modelů, pevnostní analýzy a vypočtené fyzikální vlastnosti modelů. Tento program je využit i při tvorbě výkresové dokumentace, která je přílohou práce. Při vytváření modelů a výkresů je dále využíváno technické literatury, jako jsou strojnické tabulky, nebo knihy a učebnice zabývající se pravidly technického kreslení atd. Jedná se podklady označené následujícím čísly citací. [27], [28], [29], [30], [31]

5.1 Výběr varianty uchopování

Tato kapitola se soustředí na výběr varianty uchopovacího uzlu, která by měla být určena k rozpracování. Provedení správného výběru je klíčové pro dodržení požadavků, když má být zároveň použito robotizace pomocí robotů typu SCARA, která byla určena projektovým vedoucím, jak bylo uvedeno v kapitole 2.7.1

Pro kvalifikované rozhodnutí se využije vícekritériální rozhodovací metody PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Number), postup stanovení celkového ohodnocení jednotlivých variant je blízký metodě bazické varianty. Rozdíl spočívá v tom, že zatímco v metodě bazické varianty se bazická varianta odvozuje od nejlepších hodnot kritérií v daném souboru variant, slouží v tomto případě jako určitý základ hodnocení varianta vytvořená z nejhorších hodnot kritérií, tedy dílčí ohodnocení variant nabývajících nejhorších hodnot důsledků je vždy rovno jedné. [32], [21], [33]

5.1.1 Volba hodnotících kritérií

Nejprve je třeba zvolit vhodná hodnotící kritéria, ty se z části skládají ze zadaných požadavků, z části z nároků určené robotizace a také konstrukčních a finančních nároků.

Vliv na setrvačné síly – Toto kritérium udává, jak moc je řešení schopno omezit velikost setrvačných sil, působících na robota, vzniklých při pohybu uchopovacího uzlu s upnutým výrobkem. Kritérium je zvoleno kvůli doporučujícímu stanovisku výrobce robotů, kdy říká, že raily je vhodné uchopovat tak, aby se pracovní osa č. 4 robota nacházela v ose těžiště railu (viz. kapitola 2.7.3.2).

Stupeň automatizace – Hodnocení varianty z pohledu splnění požadavků na četnost a náročnost zásahů seřizovače při změně výroby (viz. kapitola 2.4.1).

Hmotnost – Jednoduché zhodnocení předpokládané hmotnosti uchopovacího uzlu, i při výborném splnění ostatních požadavků, nesmí hmotnost přesáhnout dovolenou nosnost robota.

Náročnost konstrukce – Toto kritérium už nevychází přímo z požadavků, ale hodnotí, jak náročná bude mechanická konstrukce té, které varianty.

Finanční náročnost – Kritérium, které znovu dopředu hodnotí nákladovou náročnost varianty.

5.1.2 Stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah jednotlivých kritérií jsou použity dvě následující tabulky. Obě tabulky zachycují postup při stanovení váhy pomocí metody párového srovnávání. Tabulka 4 slouží ke stanovení pořadí kritérií podle jejich četnosti výskytu ve středu tabulky. Princip je tedy takový, že se v páru porovnává kritérium z řádku a sloupce a důležitější se zapíše do příslušné buňky. Počet výskytů se sečte a podle velikosti součtu se určuje pořadí kritéria.

Tabulka 4 Určení pořadí kritérií

Kritérium	Vliv na setrvačné síly	Stupeň automatizace	Hmotnost	Náročnost konstrukce	Finanční náročnost	Suma	Pořadí
Vliv na setrvačné síly	Vliv na setrvačné síly	Vliv na setrvačné síly	Vliv na setrvačné síly	Vliv na setrvačné síly	Vliv na setrvačné síly	5	1.
Stupeň automatizace		Stupeň automatizace	Stupeň automatizace	Stupeň automatizace	Stupeň automatizace	4	2.
Hmotnost			Hmotnost	Hmotnost	Hmotnost	3	3.
Náročnost konstrukce				Náročnost konstrukce	Finanční náročnost	1	5.
Finanční náročnost					Finanční náročnost	2	4.

Podle výsledného pořadí v tabulce 4 zapisujeme kritéria do tabulky 5 a pokračuje se k určení váhy kritéria. Řádky a sloupce v tabulce 5 se znovu porovnávají v párech a hodnotí se jejich vzájemná závislost. Číslem 1 se označí silná závislost, číslem 2 částečná závislost a

číslem 3 případná nezávislost. V řádcích se pak číselné hodnoty sečtou a tyto řádkové sumy se následně dělí sumou celkovou a vychází výsledná váha kritéria.

Tabulka 5 Stanovení váhy kritérií

Kritérium	Vliv na setrvačné síly	Stupeň automatizace	Hmotnost	Finanční náročnost	Náročnost konstrukce	Suma	Váha
Vliv na setrvačné síly	1	2	1	2	2	8	0,421
Stupeň automatizace		1	1	1	2	5	0,263
Hmotnost			1	1	1	3	0,158
Finanční náročnost				1	1	2	0,105
Náročnost konstrukce					1	1	0,053
					Suma	19	1

Výsledkem tabulky 5, jsou tedy váhy jednotlivých kritérií. Kritérium, které bude nejvíce ovlivňovat následný výběr varianty řešení je „**vliv na setrvačné síly**“. Toto kritérium by mělo zajistit, že výsledné řešení uchopovacího uzlu bude co nejméně omezovat rychlost pohybů robota a tím přispěje ke zkrácení času taktu. Dalším důležitým kritériem je „**stupeň automatizace**“, to přispěje při výběru k naplnění požadavků na co nejnižší pracnost případného seřizování pracoviště při výrobě. Naopak kritérium „**náročnost konstrukce**“ je upozaděno pro dosažení lepších vlastností.

5.1.3 Výběr výsledné varianty metodou PATTERN

Tato kapitola se již soustředí pouze na výběr varianty. Do tabulky 6 se zapisuje hodnocení jednotlivých variant uvedených v kapitole 2.7.2, přiděluje se číselně v rozsahu 1 až 5, kdy 1 je nejnižší hodnocení a 5 nejvyšší. Uvedené hodnocení je následně děleno maximálním hodnocením uděleným pro dané kritérium v řádku. Následně se hodnocení násobí vahou příslušného kritéria (tab. 5). Pak se již hodnoty pouze sečtou a pro lepší názornost se převedou na relativní vyjádření, nazvané jako relativní technická úroveň. [21]

Do následující tabulky není zapsána varianta 2.7.2.1, protože zjevně nesplňuje požadavek na spolehlivou manipulaci s výrobkem. Ostatní varianty jsou uvedeny v záhlaví tabulky.

Tabulka 6 Výběr varianty metodou PATTERN

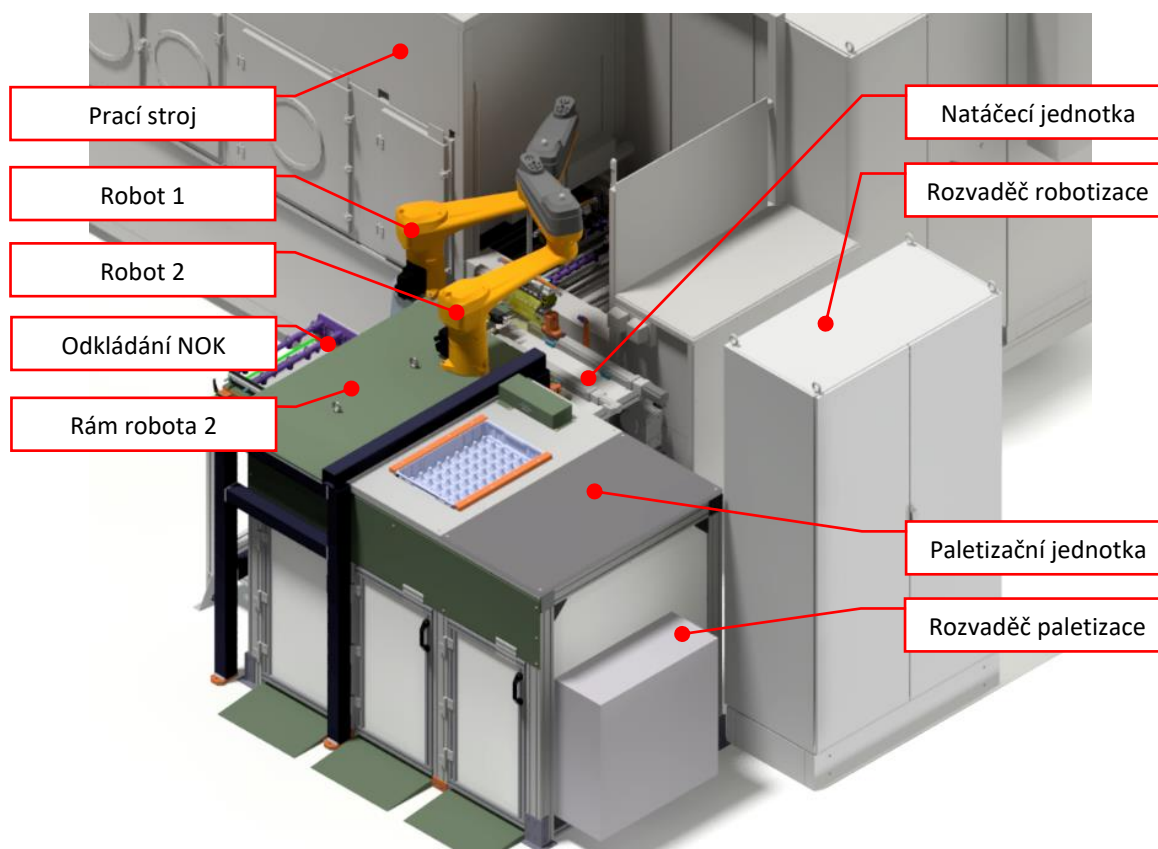
Kritérium	Váha	Dvojitá čelist		1x man. posuvná čelist		2x aut. posuvná čelist		2 posuvné čelisti	
Vliv na setrvačné síly	0,421	3 0,6	0,25	3 0,6	0,25	3 0,6	0,25	5 1	0,42
Stupeň automatizace	0,263	1 0,2	0,05	3 0,6	0,16	5 1	0,26	5 1	0,26
Hmotnost	0,158	5 1	0,16	4 0,8	0,13	3 0,6	0,09	2 0,4	0,06
Cena	0,105	3 1	0,11	3 1	0,11	2 0,7	0,07	1 0,3	0,04
Náročnost konstrukce	0,053	4 1	0,05	4 1	0,05	3 0,75	0,04	2 0,5	0,03
Celkem	1	0,62		0,69		0,72		0,81	
Relativní technická úroveň		100,00 %		111,85 %		115,93 %		130,18 %	
Pořadí z technického hlediska		4.		3.		2.		1.	

Matova PATTERN v tabulce 6 určuje jako nejlepší variantu se dvěma posuvnými čelistmi, která spolehlivě zajistí plnou automatizaci a uchopování railu tak, aby jeho těžiště procházelo osou č. 4 robota. Nevýhodou varianty je náročná konstrukce, ovšem to je v zájmu co nejvyššího snížení taktu pracoviště. Vybraná metoda tedy bude detailně rozpracována v následující části diplomové práce.

5.2 Konstrukční rozpracování

Tato kapitola detailně pojednává o průběhu konstrukce jednotlivých částí pracoviště. Vysvětluje se funkce dílů v podsestavách a funkce podsestav v celku strojního zařízení.

Na následujícím obrázku (obr. 16) je vyobrazené pracoviště již jako hotový celek ve finálním stavu (bez oplocení). Obrázek je uveden zde na začátku kapitoly, aby měl čtenář při popisu představu o funkci a rozložení jednotlivých sestav a podsestav. Detailní vyobrazení pracoviště ve formě sestavného výkresu je uvedeno, v příloze práce číslo 2.



Obr. 16 3D model výsledného řešení automatizace [3]

Stručný popis funkce automatizovaného pracoviště je následující. Robot 1 uchopuje očištěný výrobek z pracího stroje a přenáší ho do pracovní osy otočné jednotky. V této pozici je výrobek upnut pomocí dotyků, které jsou součástí natáčecí jednotky. Robot uvolňuje čelisti a uvolňuje pracovní plochu. Otočná jednotka zajistí orientaci výrobků požadovanou balícím předpisem a zároveň načítá DMC kód výrobku. Robot 2 najíždí k railu uchopí ho a přenáší nad blistr, umístěný v paletizační jednotce, poté rail zakládá a proces se opakuje.

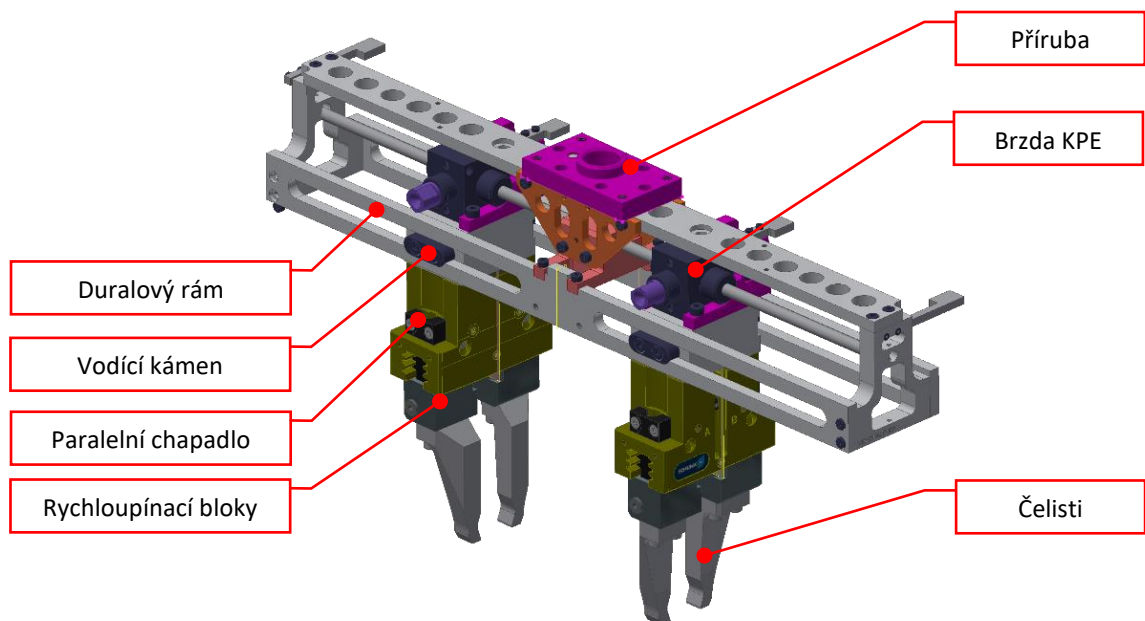
5.2.1 Robotická část

Tato kapitola se týká konstrukce částí pracoviště, které přímo souvisí s roboty. Jedná se primárně o řešení uchopovacího uzlu, který je detailně rozebrán v podkapitole 5.2.1.1. Tato podkapitola vyčnívá nad ostatní v rozsahu, neboť se neomezuje pouze na popis výsledného řešení, ale sleduje postupný vývoj při optimalizaci konstrukce uchopovacího uzlu. Podkapitola 5.2.2 se zabývá ustavením robotů.

5.2.1.1 Uchopovací uzel

V kapitole 5.1.3 byla ke konstrukčnímu rozpracování uchopovacího uzlu vybrána varianta se dvěma plně automaticky posuvnými chapadly. Koncept uzlu by měl splňovat automatizační požadavky. Ovšem vzhledem ke skutečnosti, že pro konstrukční rozpracování byly vybrány roboty typu SCARA, je třeba při návrhu uchopovacího uzlu věnovat zvláštní pozornost jeho hmotnosti, aby nedošlo k překročení maximálního zatížení robota.

Při prvním hrubém návrhu uchopovacího uzlu je využito množství obráběných duralových dílů, které tvoří nosnou klec uchopovacího uzlu. Pro upínání railů jsou zvoleny dva paralelní pneumatické uchopovače Schunk, každý se svěrnou silou 470 N. Tyto chapadla jsou uložena na propojovací kostce, která je spojuje s pneumatickou brzdou KPE. Předběžně se se do návrhu přidávají i rychloupínací bloky pro výměnu čelistí, kdyby se v budoucnu objevila nutnost jejich výměny.

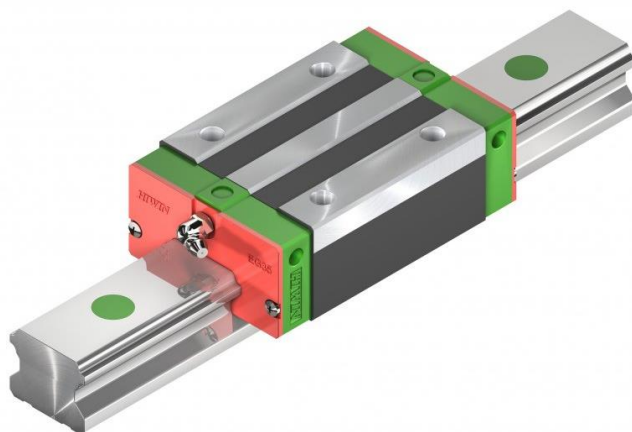


Obr. 17 Uchopovací uzel – první koncept [3]

Princip činnosti uchopovacího uzlu na obrázku 17 měl být následující. Chapadla s čelistmi je možné posouvat pomocí kamenů ve vodících drážkách duralové klece, tento posun činil 70 milimetrů pro každé chapadlo, rozsah posunu dostačuje pro vhodné uchopení všech typů dosud vyráběných railů. Aretaci každého chapadla na zvoleném místě zajišťovaly brzdy KPE-6 od výrobce Festo, tato součást brzdí pomocí síly pružiny, která přitlačuje mosazné třecí členy k průběžné ocelové tyči o průměru 6 mm, brzdící síla činí 180 N. Odbrzdění pro změnu polohy se provádí pomocí externího přípravku, který přidrží chapadlo na místě a zároveň přivádí stlačený vzduch potřebný pro stlačení pružiny. Dále je na kleci umístěna ocelová příruba normalizovaného tvaru, sloužící k upnutí na robota. [34]

Návrh splňuje požadavky na uchopování a přenášení railů. Přestavování pozice čelistí je automatizované. Ovšem návrh je výrobně náročný a vzhledem ke své složitosti by mohl být v reálném provozu nespolehlivý, z tohoto důvodu by bylo vhodné tento návrh ověřit reálnou zkouškou, to ovšem není z časových důvodů možné. Proto se přistupuje k prověření dalších možností řešení.

V pořadí druhý návrh se snaží využít získaného principu posuvu a brzdění chapadel a zároveň více pracovat s běžně vyráběnými komponentami, které by tento posuv umožňovaly. Z toho důvodu se volí lineární vedení pomocí kolejnic a vozíků s oběžnými kuličkami od výrobce HIWIN. Pro udržení co nejnižší hmotnosti se použije kolejnice nejmenší standardní řady EGR 15 a kompaktního vozíku EGH 15 CA, viz obrázek 18. Pro brzdění je možno využít dva typy vyráběných brzd, které odpovídají požadovanému stupni automatizace vybrané varianty gripperu. Za prvé jde o pneumatickou brzdu brzděnou při stálém přívodu tlakového vzduchu (typ NO – normally open), a za druhé brzdu permanentně brzdící pomocí síly pružiny, odbrzděnou při přívodu tlakového vzduchu (typ NC – normally closed). Protože je možné využít brzdu, jako pasivní bezpečnostní prvek volí se stále brzděná varianta NC. Přídržná síla činí 400 N. Brzda se pevně spojí s vozíkem a zajistí ho tak proti pohybu.



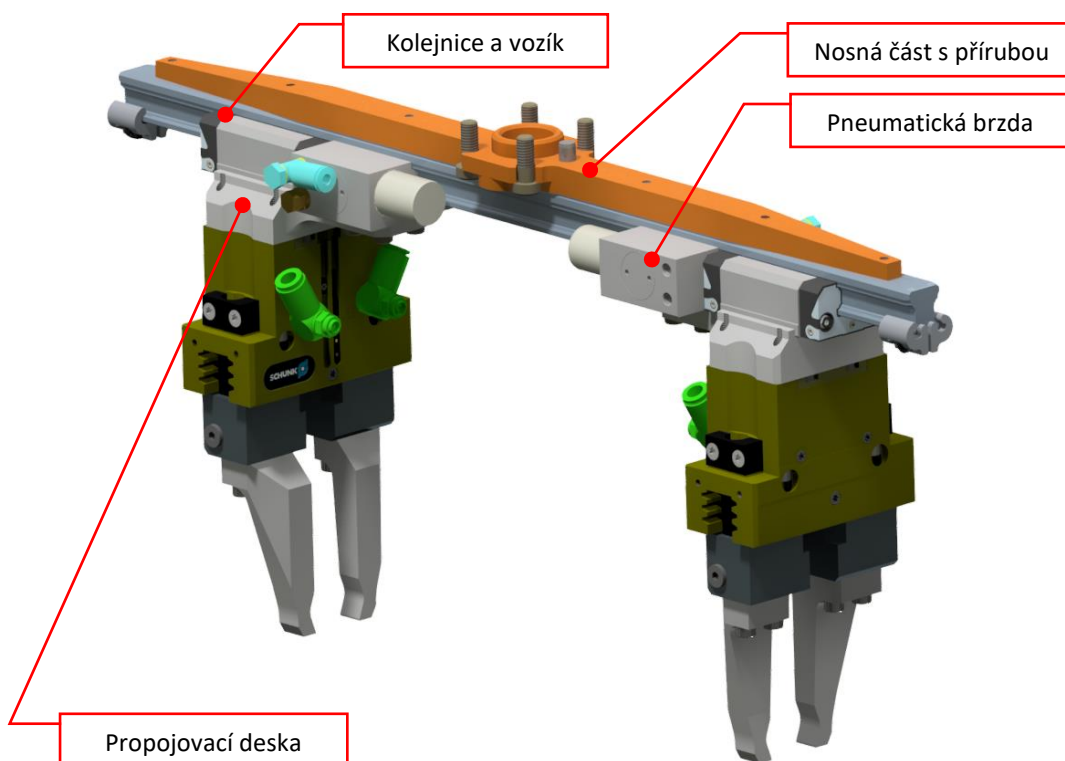
Obr. 18 Vozík EGH na kolejnici EGR-R výrobce HIWIN [35]

Předchozí řešení uzlu odstraňuje nedostatky první varianty, týkající se výrobní náročnosti. Následuje konzultace s projektovým vedoucím, který dále požaduje prověření možnosti přidání odměřování pozice chapadel.

Další analýzou výrobního portfolia společnosti HIWIN se zjišťuje, že se vyrábí zvláštní odměřovací vozíky s integrovaným magnetickým snímačem, který odečítá polohu z magnetické pásky, umístěné přímo na kolejnici. Tyto systémy ovšem existují pouze pro velikostní řadu 20 a vyšší, také prodlužují délku vozíku o 41,5 mm. Obě tyto skutečnosti řešení zvětšují velikost a následkem je i zbytečné zvýšení hmotnosti. Dále výrobce nabízí možnost použití čtecí hlavy MAGIC a magnetické pásky, které je možno umístit libovolně, podle požadované konstrukce. I tato možnost je částečně rozpracována, při tom se dbá na pečlivé ustavení hlavy, aby při pohybu robota byla funkce odměřování zaručena. Výrobce je požadovaná vzdálenost $0,2 \pm 0,1$ mm. Výsledkem aplikace tohoto systému je zvýšení hmotnosti, tvořené zejména ustavovacími přípravky. Uspokojující výsledek není možné zaručit bez reálné zkoušky. Tato zkouška není proveditelná kvůli časové náročnosti. [36]

Proto se přistupuje k další analýze trhu s lineárními vedeními. Výsledkem je nalezení obdobné možnosti řešení odměřování s využitím výrobků společnosti Bosch Rexroth. Výrobce nabízí odměřovací systém lineárního vedení IMScompact (Integrated Measuring System). Použitím tohoto systému by došlo k odstranění předchozích nedostatků.

Dále již následuje tvorba finální konstrukce uchopovacího uzlu.



Obr. 19 Uchopovací uzel – finální řešení [3]

Výsledné řešení uchopovacího uzlu, které zachovává dříve získaný princip funkce a přidává možnost integrovaného odměřování je vyobrazené na předchozím obrázku (obr. 19). Nosník z konstrukční oceli ČSN 02 11523 plní pevnostní funkci a zároveň obsahuje přírubu sloužící k propojení s robotem SCARA TS2-100. Rozměry těchto přírub jsou normalizovány podle normy ISO 9409-1, konkrétní značení přírub je 9409-1 Ø 50 mm, 4xM6. [37] Vystředění je zajištěno přesnou válcovou plochou o průměru 40 mm. Pro zamezení pohybu přírub je využit kolík ČSN EN ISO 2338 s průměrem 6 mm. Uchytení s přírubou robota je zajištěno pomocí šroubů M6, podle normy ČSN EN ISO 4762 (02 1143), touto normou se řídí i veškeré další šroubová spojení, pokud není uvedeno jinak. Ke zmíněnému nosníku je šesti šrouby M4 uchycena kolejnice lineárního vedení zmíněného systému Bosch Rexroth IMSC řady 15, to značí šířku kolejnice 15 mm. Tato kolejnice obsahuje v hlavové části magnetický pásek s nerezovou krytkou, na koncích kolejnice je tato páska zajištěna svěrnými sponkami. Kolejnice je spolu hlavním nosníkem také nosnou částí celé sestavy, poloha mezi nimi je zajištěna dvěma kolíky ČSN EN ISO 2338 s průměrem 4 mm. Na kolejnici jsou umístěny dva vozíky SNS 15 (Slimline, normal, standard height), které již obsahují plně integrovaný magnetický snímač polohy bez zvětšování své základní velikosti. Tento vozík je nejmenší možné konstrukce a jeho únosnost dosahuje v kolmých osách síly $F_{zmax} = 3,29 \text{ kN}$ v obou směrech. Přesnost odměřování udávaná výrobcem činí $\pm 0,02 \text{ mm/m}$ a opakovatelnost 0,01 mm. Tyto přesnosti v řešené aplikaci plně postačují. [38]

Kontrola únosnosti je provedena následujícím výpočtem (1). Kde F_z je síla zatěžující vozík při maximálním zrychlení a_z robota ve směru osy z, hmotnost m je zadána jako součet hmotností součástí uložených na vozíku včetně nejtěžšího manipulovaného railu s 20% rezervou. Hmotnost je dělena dvěma, kvůli rozložení síly na dva vozíky.

$$(1) \quad F_z = m \cdot (g + a_z) = 3 \cdot (9,81 + 2,1) = 35,7 \text{ N}$$

$$F_z \ll F_{zmax}$$

Zatížení vozíku vyhovuje s rezervou dvou řádů.

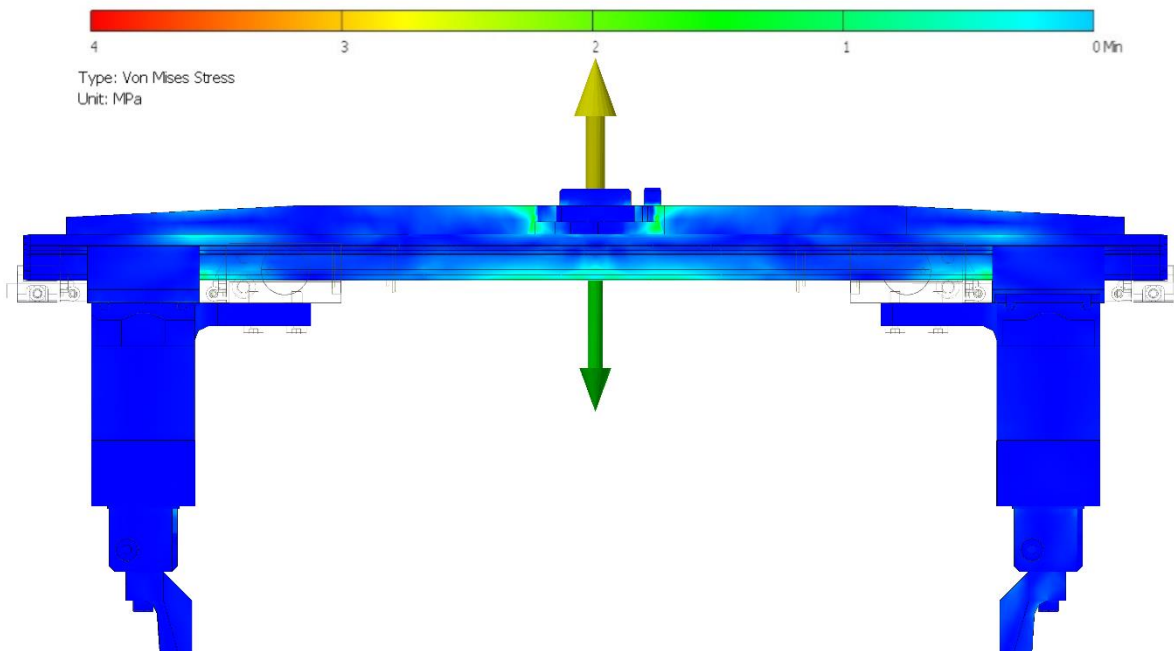
Sestava uchopovacího uzlu dále obsahuje duralovou propojovací desku uchycenou k vozíku šrouby M4. Deska spojuje s vozíkem chapadlo a zároveň pneumatickou brzdu MKS 1505, tato brzda zajišťuje vozík proti pohybu přidržovací silou 400 N, respektive 1050 N s případným využitím tlakového vzduchu o tlaku 6 barů.

Nastavování pozice chapadel bude pro každý rail individuální podle jeho tvaru. Nastavení proběhne tak, že robot jedním uchopovačem stiskne pevný nastavovací přípravek, následně se přivedením tlakového vzduchu uvolní permanentně brzděná brzda MKS 1505 AK a robot může nastavit pozici vozíku podle předem daných hodnot.

Přesné odměření polohy zajistí měřící systém ISM integrovaný do lineárního vedení. V požadované poloze se brzda znovu zabrzdí. Identický proces následuje pro druhý uchopovač. Tato funkce zajišťuje upnutí každého railu přesně v místě jeho těžiště a dochází tak k eliminaci zbytečného vzniku setrvačných sil působících na robota.

Celý uchopovací uzel je pevnostně kontrolován pomocí MKP programu Autodesk Inventor. Uzel (obr. 20) se nachází v pozici s maximálně vyloženými chapadly, ve kterých je upnutý rail o nejvyšší hmotnosti 3,5 Kg (ten je z obrázku vyříznut). Těžiště railu se nachází právě v ose 4 robota SCARA. Celá sestava je opatřena pevnou vazbou v místě příruby a jsou zavedeny následující silové účinky. Vloženo je tíhové zrychlení představované zelenou šipkou a dále je vložena maximální možná hodnota zrychlení robota ve čtvrté ose, tedy $a_z = 2,1 \text{ m/s}^2$. Dále je uvažována vlastní hmotnost sestavy a výrobku.

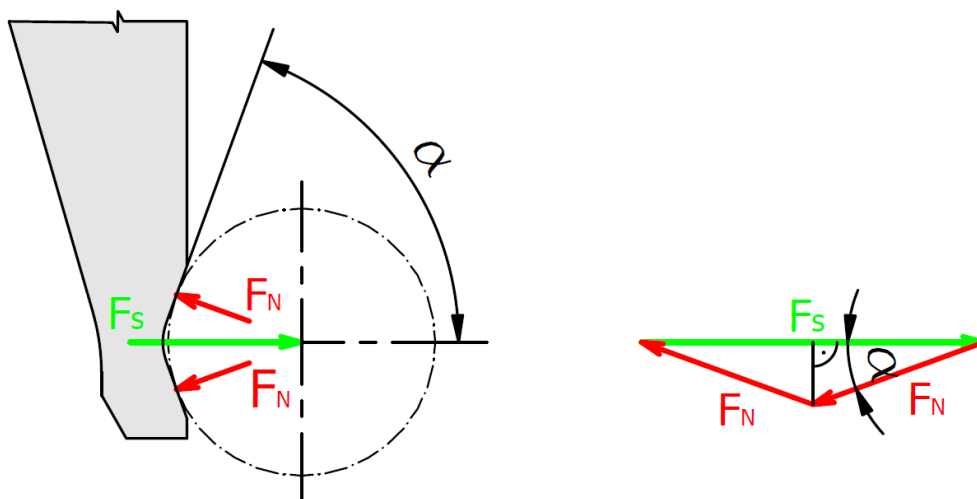
Na následujícím obrázku (obr. 20) je vidět výsledek analýzy programu. Maximální namáhání činí 13,8 MPa v místě, kde je nosník a kolejnice spojen kolíkem, tento kolík je při zrychlení robota namáhán na stříh. Protože je zbytek sestavy namáhán mnohem méně, je pro názornost rozložení napětí v sestavě měřítko celkového napětí upraveno. Úprava spočívá v posunutí maximální hodnoty na 4 MPa, to dovoluje zobrazit i menší napětí. Program určuje že bezpečnostní faktor je minimálně 15. Maximální posunutí, které je možné naměřit na kocích kolejnice činí 0,01 mm.



Obr. 20 Analýza gripperu pomocí MKP

Na obrázku uchopovacího uzlu (obr. 19) jsou vyobrazeny také čelisti sloužící k uchopování railu, s ohledem na zdvih uchopovače jsou konstruovány jako stranové se šrouby mimo bod dotyku s výrobkem. Přesné ustavení na uchopovače je řešeno pomocí rychloupínacích čepů Schunk BSWS-A. Čelist je frézována z oceli ČSN 14220 pro zvýšení životnosti povrchu cementována a povrchově zakalena.

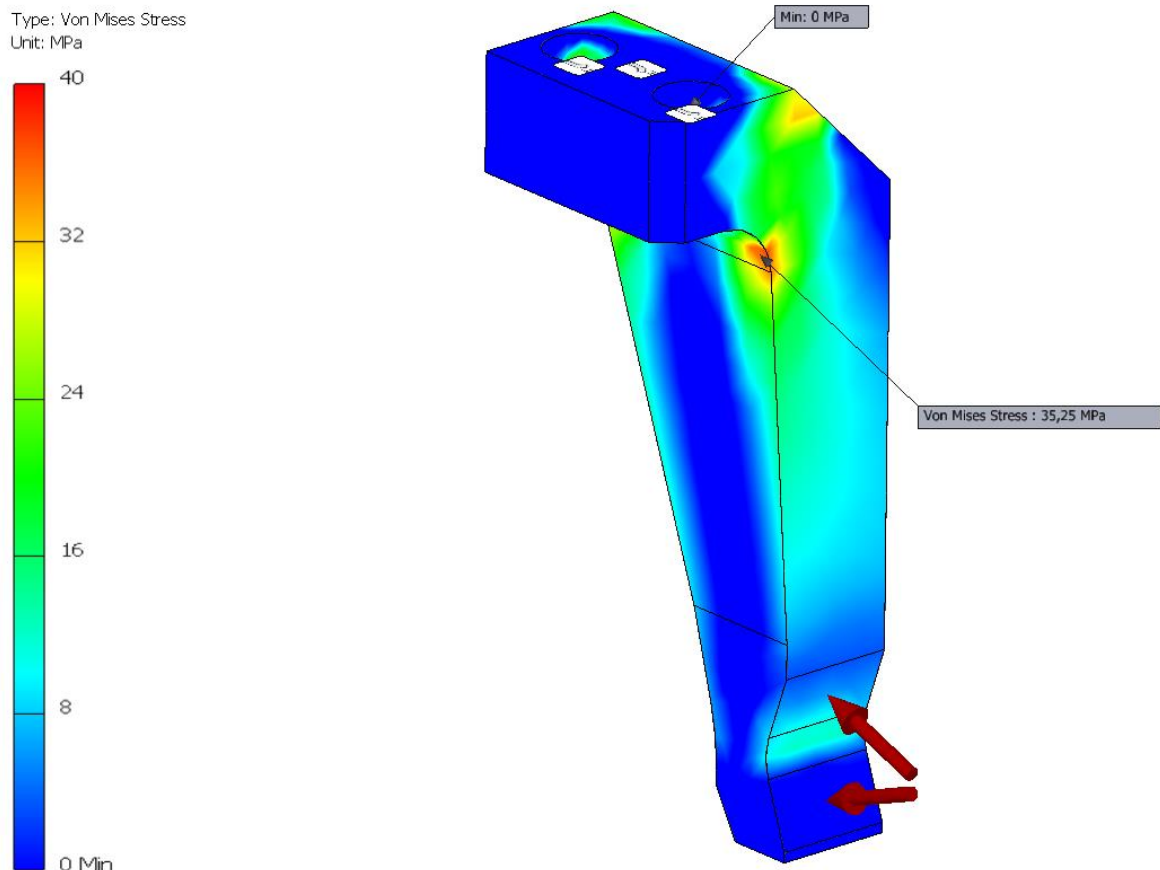
Při návrhu samotné čelisti bylo postupováno následovně. Nejprve se určí základní rozměry, délka vyložení minimálně 55 milimetrů, aby nedošlo ke kolizi mezi částí přenášeného railu a uchopovacím uzlem. Délka však nesmí přesahovat maximální doporučenou hodnotu udávanou výrobcem chapadla. V tomto případě i se započtenými rychlovýměními přípravky. Tedy 90 mm milimetrů, což konstrukční řešení s vyložením 78 mm do délky a 12 mm do strany splňuje. Dále následuje pevnostní analýza vzhledem k tomu, že čelist je vysoce namáhaná. Pro kontrolu je, jako v předchozím případě využito programu Autodesk Inventor 2023. Na základnu čelisti s otvory pro ustavení polohy jsou umístěny pevné vazby a na pracovní dotykové plochy je umístěna zátěž v podobě sil vypočtených pomocí vzorce (2). Vstupní hodnota pro výpočet je maximální svěrná síla chapadla uváděná výrobcem, tato síla je pro jednu čelist dále dělena dvěma. Úhel mezi dotykovými plochami činí 140°, tento údaj je také potřebný k výpočtu normálových sil na plochu. Pro přehlednost je uveden obrázek 21 se základními silovými poměry na čelisti. [39]



Obr. 21 Zobrazení sil na čelisti [3]

$$(2) F_N = \frac{F_s}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{235}{2 \cdot \sin 70} = 133,3 \text{ N}$$

Dále již následuje obrázek s výsledky zmíněné kontroly pevnosti. Jedná se o výsledný tvar čelisti po několika optimalizacích v místech koncentrace napětí. Průběh napětí v čelisti je barevně vyobrazen. Maximální napětí dosahuje hodnoty 35,25 MPa, nejnižší faktor bezpečnosti je 7,5. V nejvzdálenějším bodě čelisti od základny činí maximální posunutí 0,026 mm.



Obr. 22 Kontrola čelisti pomocí MKP

Výrobní výkres čelisti je uveden v příloze 5.3

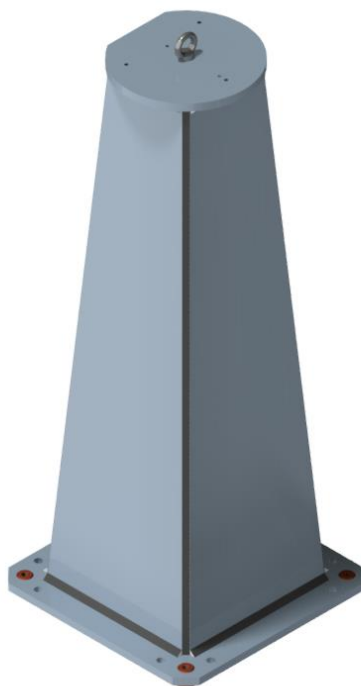
5.2.1.2 Ustavení robotů

Při provozu robotů obecně dochází k přenosu sil na rám pro ustavení robota. Tyto síly mohou být značné, a to v závislosti na hmotnosti přenášeného výrobku, ale zejména na nastavení rychlosti pohybu robota. Proto je vždy třeba volit vhodný způsob ustavení robota pro každou aplikaci zvlášť podle konkrétní předpokládané zátěže a s ohledem na možnosti layoutu pracoviště.

V případě robota, který se nachází blíže k pracímu stroji je možné využít volné místo a přistupuje se ke konstrukci rámu svařovaného z ocelových desek ve tvaru jehlanu viz obrázek 23. Desky jsou vypalovány laserem, nebo řezány vodním paprskem ze zaručeně svařitelné konstrukční oceli ČSN 02 11523 o tloušťce 10 mm. Funkční plochy rámu jsou pro zajištění jejich rovnoběžnosti třískově obráběny po svaření rámu. Pro ustavení robota a zajištění vzájemné polohy jsou použity dva kolíky ČSN EN ISO 2338 o průměru 8 mm, dále jsou použity tři šrouby ČSN EN ISO 4762 M12. Rám je opatřený v každém rohu spodní desky závitovými nivelačními přípravky, pomocí kterých je možné robota vyrovnat. Toto je velmi důležitá funkce zvláště u čtyřosých robotů, protože ty z principu nemohou samy kompenzovat případné nepřesnosti. Celý rám je ukotven do podlahy výrobní haly přes nivelační přípravky, případně přes 8 dalších otvorů připravených pro šrouby do velikosti M12.

Rám tohoto typu zajistí pevné a bezpečné ustavení robota, protože je rám samostatný nemůže docházet k přenosu nežádoucího chvění z robota na jiné části pracoviště. Toto řešení je s výhodou využito, také kvůli poměrně vysoké výšce umístění robota, která je 1,4 metru nad podlahou haly. Rám je opatřený ochranným nátěrem RAL 7035. Při manipulaci s rámem je možné využít závity M16 umístěné ve středu základny a horní desky pro montáž závěsného oka.

Sestavný výkres rámu je uvedený v příloze práce číslo 3.



Obr. 23 Rám robota ve tvaru jehlanu [3]

Druhý robot, který přenáší raily do blistrů má, kvůli svému umístění značně omezený prostor pro rám. Je třeba rozhodnout, jestli je možné riskovat uložení robota přímo na paletizační stanici, která je sestavena z duralových profilů 90x90 mm. Nebo konstruovat svařovaný rám z ocelových profilů. V případě uložení na paletizační stanici je třeba také zajistit spolehlivou metodu vyrovnání robota, z již dříve zmíněných důvodů.

Protože není možné provést reálnou zkoušku provozu robota v takových podmínkách předem a zjistit tak velikost provozních vibrací a zatížení, rozhodlo se přímo přistoupit k volbě bezpečnějšího řešení. Konstruuje se rám ve tvaru stolu z dutých ocelových profilů čtvercového průřezu o straně 60 mm a tloušťce stěny 4 mm. Takovýto tvar rámu je zvolen, aby svými částmi neomezoval funkci jednotky pro paletizaci. K rámové konstrukci je přímo přivařena ocelová deska, na které je robot uchycen. Samotná deska má tloušťku 15 mm a robot je k této desce uchycen identickým způsobem, jako při řešení předchozího podstavce. Pro vyrovnání stolu je také znovu využito stejného nivelačního přípravku umístěného do každé nohy stolu. Protože samotný rám má hmotnost 150 kilogramů, je opatřen závěsnými oky pro usnadnění manipulace například s použitím vysokozdvizného vozíku.

Sestavný výkres toho stolu je uvedený jako příloha číslo 4.



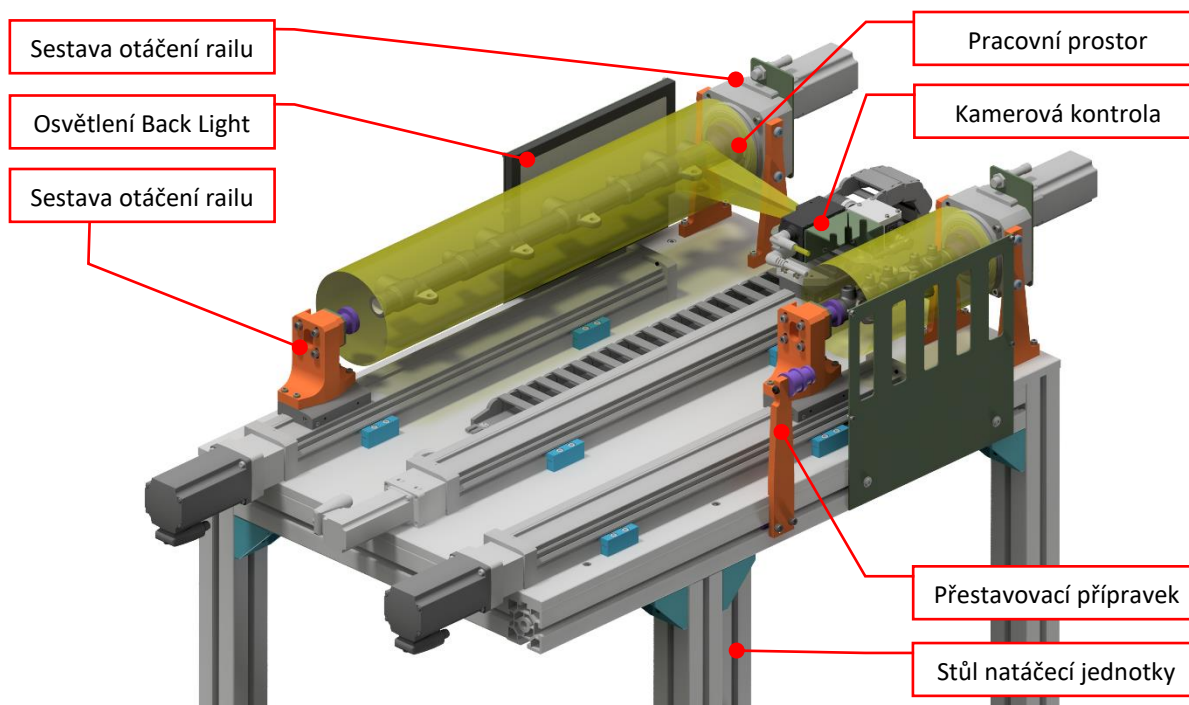
Obr. 24 Stojan robota 2 [3]

5.2.2 Natáčecí jednotka

V počáteční části kapitoly jsou vyjmenovány požadavky na konstrukci týkající se přímo otočné jednotky. Následně je uveden detailní popis funkce natáčecí jednotky spolu s obrázkem výsledného řešení. V podkapitolách jsou uvedeny obrázky a popis řešení jednotlivých podsestav. V příloze práce číslo 6, je uveden sestavný výkres celé natáčecí a kontrolní jednotky.

Natáčecí jednotka má dva hlavní úkoly. Za prvé výrobek-rail naorientovat podle požadavku balčího předpisu. A za druhé načíst DMC kód vyznačený na railu. Omezujícími faktory, na které je třeba brát ohled při konstrukci, jsou definovány v kapitole 2.4. a ve vybrané variantě projektu 2.7.1.3. Tyto faktory zahrnují:

- nutnost kompatibility s celým výrobním portfoliem
- neomezit servisní body pracího stroje
- minimalizovat nároky na seřizování
- minimalizovat cenu řešení
- pracovní část natáčecí jednotky musí být zdvojená z důvodů dodržení taktu pracoviště



Obr. 25 Natáčecí a kontrolní jednotka [3]

Při návrhu bylo přihlíženo k principiálně podobnému řešení již dokončené automatizace krytkování LWR railů (Laser Welded Rail). Při návrhu jsou využity zkušenosti získané z reálného provozu tohoto pracoviště. [24]

Princip funkce otočné jednotky (obr. 25) je následující. Robot 1 nese rail a zastavuje se nad jednou ze dvou paralelních pracovních os v místě, kde se nachází ultrazvukový snímač. Pomocí tohoto snímače dochází ke kontrole přítomnosti railu v čelistech a zároveň odečtení jeho vzdálenosti od snímače. Dále robot posouvá výrobek přímo do osy pracovní pozice, polohu výrobku koriguje podle dříve odečtené hodnoty vzdálenosti. V této pozici robot stojí a čeká na upnutí railu, k upnutí dojde při přiblížení kuželových dotyků. Jeden dotyk je nepohyblivý a je součástí podsestavy „otáčení railu“, druhý dotyk je pohyblivý a je součástí sestavy „upínání railu“. Když je rail bezpečně upnutý, robot rozevře čelisti a uvolňuje pracovní prostor, tento prostor je na předchozím obrázku 25 představený objemem průhledného válce. Nyní otočná jednotka zajistí orientaci výrobků požadovanou balícím předpisem a zároveň načítá DMC kód výrobku. Postup natočení je detailně popsán v kapitole 5.2.2.3. Tímto jsou provedeny úkoly natáčecí jednotky a k railu najíždí Robot 2, svírá čelisti a natáčecí jednotka uvolňuje kuželové dotyky. Robot vyjímá rail z prostoru natáčecí jednotky a přenáší ho nad volnou pozici v blistru, umístěného v paletizační jednotce, a uvolňuje výrobek. Tímto je proces kontroly a manipulace s výrobkem ukončen a začíná nový cyklus.

Po obsazení všech pozic blistru výrobky zajistí paletizační jednotka jeho paletizaci na skejt a do pracovní pozice přemístí nový prázdný blistr. Tato činnost z pohledu taktu probíhá v překrytém čase natáčení railů. Paletizační jednotka není řešena v rámci této práce, protože se jedná o již hotový a ve výrobě ověřený projekt. Bylo provedeno pouze několik úprav menšího rozsahu nutných pro použití v tomto projektu.

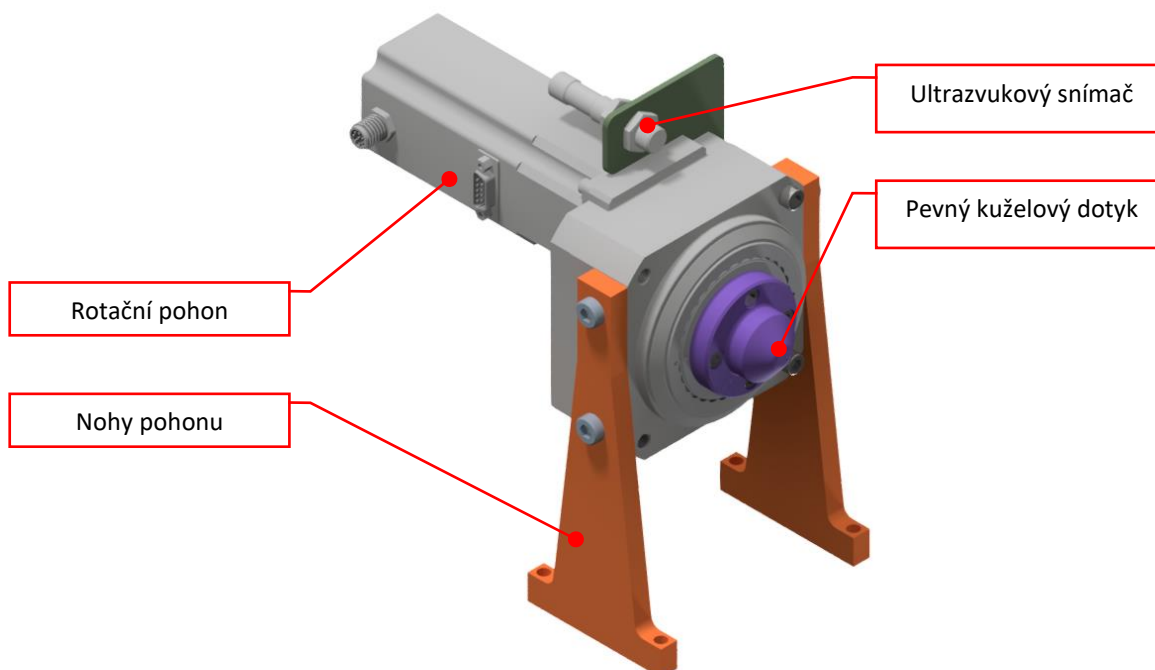
Důvodem pro využití kuželových dotyků pro upínání railů je jejich jednoduchost a spolehlivost. Tento přístup využívá vlastností kuželových ploch, které umožňují vzájemné vystředění s protikusem při přiblížení. Bez ohledu na to, zda dochází k dosednutí na kuželovou plochu protikusu, nebo jen na její kruhovou hranu, tento způsob dokáže zkorigovat případné osově nepřesnosti a zajistit přesné upnutí railu do pracovní osy.

5.2.2.1 Konstrukce otáčení railu

Tato podkapitola pojednává o funkci podsestavy „otáčení railu“ a popisu jednotlivých použitých komponent. Podsestava je vyobrazena na obrázku 26.

Úkolem podsestavy je upnutí railu a následně zajistit jeho rotaci. Ústřední součástí podsestavy je rotační jednotka Festo ERMO 32 s integrovanou převodovkou a vlastním krokovým motorem. Otočný pohon ERMO 32 je pro aplikaci vybrán, protože se již osvědčil při automatizaci krytkování, zmiňované dříve. Princip požadované funkce v obou aplikacích je v podstatě identický. Pohon krokovým motorem zajišťuje přesné řízení otáčení. Základní vlastnosti rotační jednotky jsou následující.

Otáčivý pohyb vyvozený rotační jednotkou se na rail přenáší přes kuželový dotyk, který je pevně uložen na rotační přírubě pohonu. Kužel je vysoustružen z chrom-manganové konstrukční oceli, podle ČSN 41 4220 (W. Nr. 1.731). Pro zvýšení životnosti při opakovaném upínání je cementována a kalena na hodnotu tvrdosti HRC 55+2. Přesné ustavení kuželového dotyku na přírubě pohonu a zároveň přenos kroutícího momentu zajišťují středící pouzdra Festo ZBH-7 (vnější průměr 7 mm) a šrouby M5, podle ČSN EN ISO 4762 (02 1143).



Obr. 26 Podsestava otáčení railu [3]

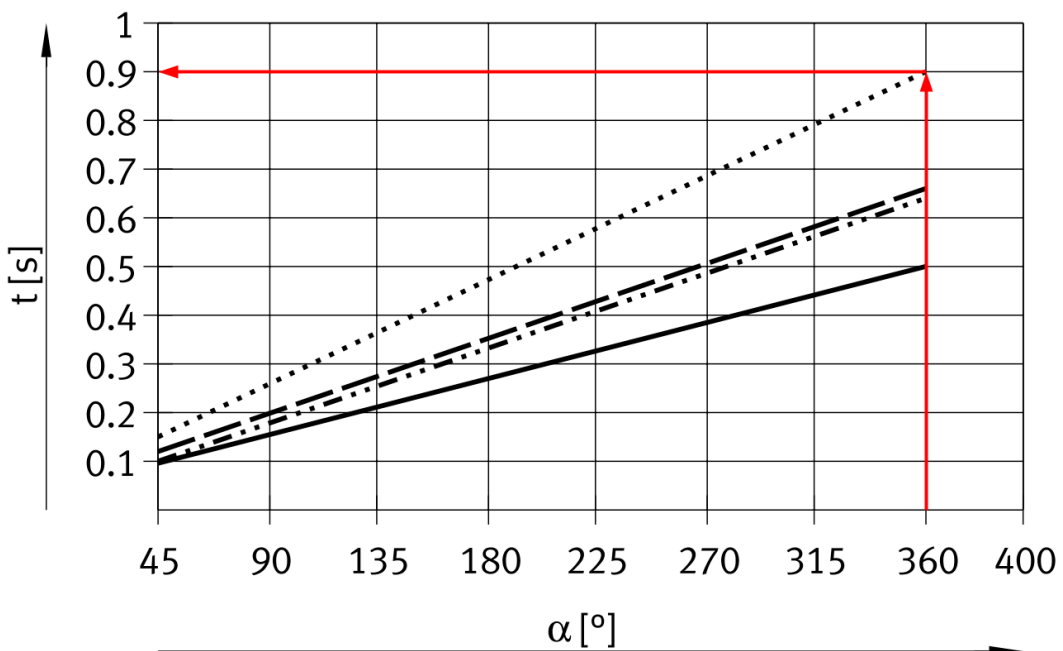
Pohon je k základní desce stolu (viz obr. 26) uchycen pomocí dvou noh z konstrukční oceli. Ustavení přesné pozice noh na základní desce stolu je u každé z nich zajištěno dvěma válcovými kolíky ČSN EN ISO 2338 (022150) o průměru 5 mm a dvěma šrouby M6, podle ČSN EN ISO 4762 (02 1143). V případě spojení noh s rotačním pohonem je použito šroubů M8 s nízkou válcovou hlavou, podle DIN 6912 a poloha je zajištěna středícími pouzdry ZBH-12.

Poslední součástí podsestavy je ultrazvukový snímač polohy. Ten má za úkol kontrolu přítomnosti railu v čelistech robota a také hrubou kontrolu jeho vzdálenosti od kužele před jeho vložením mezi kužely.

Následuje výčet základních vlastností otočného pohonu Festo ERMO 32. [40]

- Jmenovitý krouticí moment 5 Nm
- Jmenovité otáčky 50 1/min, maximální otáčky 100 1/min
- Maximálně přípustná osová statická síla 450 N, respektive dynamická 800 N
- Opakovatelná přesnost natočení $\pm 0,1^\circ$

V grafu 1 je odečten čas potočení $t=0,9$ sekund na jednu otáčku při nominálních parametrech. V grafu předepsaným výrobcem platí pro velikost pohonu 32 tečkovaná čára.

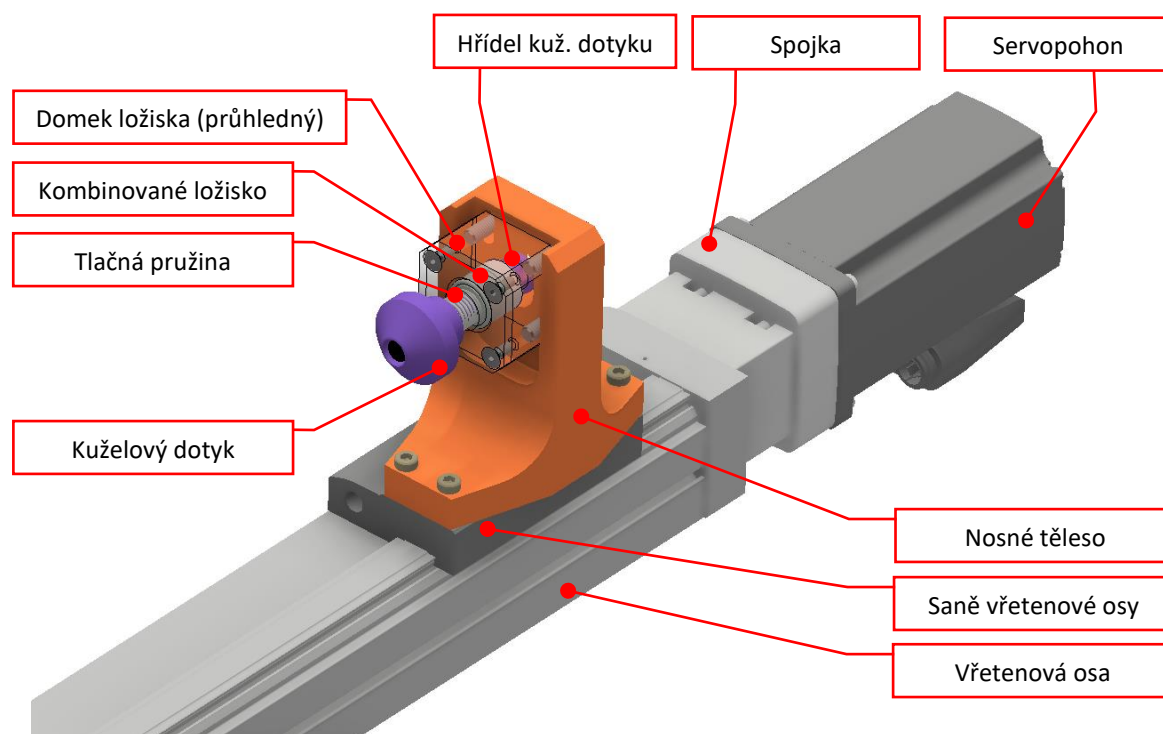


Graf 1 ERMO závislost rychlosti potočení na úhlu [40]

5.2.2.2 Řešení upínání

V této kapitole je řešena podsestava „upínání railu“, viz. obrázek 27. Úkolem pro tuto podsestavu je za prvé upnutí railu a umožnění jeho otáčení a za druhé zajistit tyto funkce pro celé výrobní portfolio.

Princip podsestavy je následující. Upínání railu je umožněno přiblížením kuželového dotyku a stlačením railu. Pohyb kuželu je vyvozen vřetenovou lineární osou poháněnou servomotorem. Požadované otáčení railu dovoluje uložení kuželového dotyku ve valivém ložisku. Otáčení aktivně zajišťuje podsestava „otáčení railu“, popsána v předchozí kapitole. Zmiňovaná vřetenová osa má pracovní zdvih 500 milimetrů a zajišťuje i druhý požadavek, kterým je upínání různě dlouhých railů.



Obr. 27 Sestava upínání [3]

Dále se již text soustředí na volbu nakupovaných komponent a konstrukci vyráběných dílů podsestavy. Tato podsestava je v rámci otočné jednotky použita dvakrát paralelně vedle sebe, pro dodržení taktu pracoviště, jak bylo uvedeno dříve. Pro funkci popsanou ve druhém podstavci by nejlépe vyhovovalo použití lineární osy s pohonem přes ozubený řemen, nebo vřetenové osy.

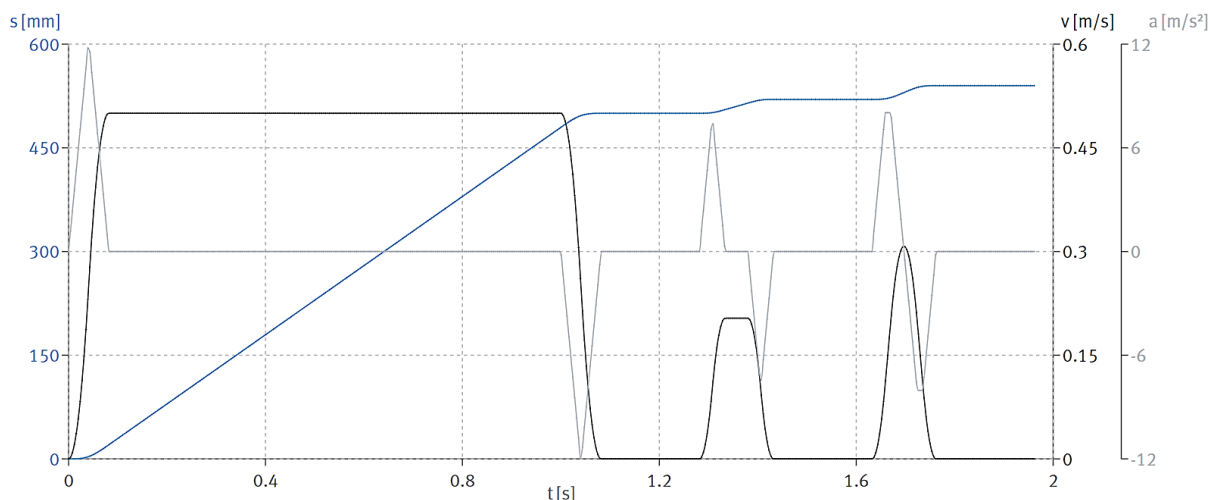
Vřetenové osy obecně dosahují vyšších výkonů oproti řemenovým při srovnatelné velikosti. Tyto lepší vlastnosti jim propůjčuje použití kuličkového pohybového šroubu, který transformuje otáčivý pohyb motoru na posuvný pohyb saní s vysokou účinností. Je tak možné použít menší motory, a není třeba použít převodovky. Mají vyšší přesnost a lepší plynulost provozu, pohonná jednotka se na osu připojuje přímo v ose.

Řemenové osy mají oproti tomu nižší hmotnost a mohou být levnější, zvláště při větších pracovních zdvizích. Převod otáčivého pohybu z motoru na posuvný pohyb zajišťuje ozubená řemenice a řemen, proto je třeba použít větší motory s vyšším kroutícím momentem, nebo do sestavy zařadit převodovku. Základní způsob připojení pohonu je kolmo k ose, případně paralelně s osou.

Pro účely konstrukce „otočné jednotky“, není délka zástavbového prostoru rozhodující a důležitější je spíše dodržet nižší šířku stolu a volný prostor mezi osami. Proto je pro další konstrukci vybrána vřetenová varianta lineární osy Festo EGC řady 70 s velikostí pracovního zdvihu 500 milimetrů. Dále se pro výběr ostatních komponent osy a zároveň kontrolu únosnosti a dynamiky pohybu pohonu použije webového nástroje Festo Electric Motion Sizing viz tabulka 7 a graf 2.

Tabulka 7 Výsledky základních vlastností pohonu [41]

Krok	Dráha s [mm]	Vnější síla F [N]	Rychlost v [m/s]	Zrychlení a [m/s ²]	Brzdění a [m/s ²]	Přejezd t [s]	Prodleva t [s]
1	500	0,00	0,50	12,25	12,25	1,08	0,2
2	520 (480)	-350,00	0,20	8,18	7,81	0,15	0,2
2	540 (500)	+350,00	0,31	8,18	8,03	0,13	0,2



Graf 2 Dynamika pohybu osy v aplikaci [41]

Výsledkem návrhu pomocí nástroje Festo Motion Sizing je kombinace následujících komponent, vřetenová osa Festo EGC-70-540-BS-10P-KF-0H-ML-GK poháněná servomotorem Festo EMME-AS-60-S-LS-AM, které jsou propojené osovou sadou EAMM-A-S38-60P-G2 (spojkou). Tyto komponenty zajistí požadované výkonové vlastnosti a dynamiku pohonu. Následuje komentář hodnot v tabulce 7, hodnoty dráhy a vnější síly zadává uživatel, jako vstupní hodnoty. Řádky tabulky mají následující význam, řádek jedna znamená posun saní vřetenové osy v celém pracovním zdvihu v nezatíženém stavu. Řádek dva simuluje upínání railu, jedná se o 20 milimetrový krok zpět na hodnotu 480 mm se zatížením silou 350 N působící proti pohybu (proto znaménko minus). Ve třetím řádku je simulováno uvolnění railu, kdy působí síla 350 N ve směru pohybu. Pro přehlednost grafu jsou hodnoty dráhy zadané kumulativně a dále je zadána prodleva 0,2 sekundy. Tuto simulaci graficky interpretuje graf 2. V grafu je uražená dráha s zobrazena modrou barvou, rychlost v černou čarou a zrychlení a šedou čarou, čas t je na vodorovné ose.

Výsledná varianta zároveň vychází jako nejlevnější, a to i ve srovnání s řemenovou osou, kde by bylo nutné využít převodovku, což by navýšilo cenu a zástavbový prostor s ohledem na šířku stolu sestavy „otočné jednotky“. Vřetenová osa umožňuje přenášet osovou sílu až 400 N a dosahuje opakovatelnosti $\pm 0,02$ mm. [42]

Následuje popis funkce dílů zajišťujících upínání railu umístěných na vybraném vřetenovém pohonu.

Na saních pohonu je pomocí čtyř šroubů DIN 6912 uchyceno těleso, které nese pohyblivý kuželový dotyk pro upínání railu. Sestava je řešena tak, že upnutí se dosahuje postupně využitím tlačné pružiny, to umožňuje jemné stlačení railu bez jeho poškození dosedacích ploch a bez rázů v systému. Pro zajištění možnosti otáčení kuželového dotyku a zároveň jeho pohybu v axiálním směru společně se zmiňovanou tlačnou pružinou je dotyk řešený jako dělený. Samotná kuželová část je spojena šroubem ČSN EN ISO 4762 M4 s hřídelem, který prochází kombinovaným ložiskem až za nosné těleso, kde je osazen větším průměrem určeným pro opření o těleso ve stavu, kdy není kuželový dotyk zatížen. Hřídel je ve vnitřním kroužku ložiska uložen s vůlí pro zajištění volného posunutí při stlačování railu. Mezi ložiskem a kuželovou částí dotyku je vložena tlačná pružina. Ložisko je uloženo s přesahem v ložiskovém domku a je opřeno vnějším kroužkem o zadní část, v přední části domku je ložisko zakryté plechovým víkem. Díly jsou konstruovány tak, že je možné kuželový dotyk rychle vyměnit v případě opotřebení, nebo při nutnosti osazení jiným dotykem, dále je možné vyřadit tlačnou pružinu a upínat raily bez postupného nástupu síly.

Robot SCARA z principu neumožňuje naklápění přenášeného výrobku mimo rovinu XY, neumožňuje tak ani případnou korekci chyby vzniklé při zakládání v této rovině. Proto ložiskový domek svojí konstrukcí umožňuje posun v radiálním směru pro vyrovnání těchto případných nepřesností, domek je veden v drážce tělesa, vzájemně jsou tyto součásti vyrobeny v přechodném uložení. Domek se po nastavení požadované polohy přitáhne k tělesu čtyřmi šrouby M5, pohyb šroubů je umožněn v drážkách v tělese.

Vřetenová osa je k desce stolu uchycena pomocí přípravku Festo MUE-70/80. Přesné polohy je dosaženo přitlačáním na dva kolíky uložené v desce.

Následuje stručná výpočtová část. Nejprve je kontrolována velikost momentu působícího na saně pohonu, který vznikne při upínání railu viz vzorec 3. Velikost axiální síly F_A může činit maximálně 400 N, což je dříve zmíněná vlastnost pohonu a maximální velikost ramena L síly vůči pohonu činí 71 mm = 0,071 m. Maximální dovolená hodnota momentu $M_{y\ max}$ činí 51 Nm.

$$(3) \quad M_y = F_A \cdot L = 400 \cdot 0,071 = 28,4 \text{ Nm}$$

$$M_y < M_{y\ max}$$

Hodnota momentu síly s rezervou vyhovuje.

Za druhé je kontrolováno ložisko SKF NX 10 Z (obr. 28), jedná se o ložisko kombinované. Přenos axiální síly je zajištěn pomocí kuliček, zatímco radiální složku přenášejí jehličky. Protože ložisko bude provozováno při nízkých otáčkách, nebo spíše kývavým pohybem a zároveň zatěžováno axiální silou míjivého charakteru, bude provedena jeho kontrola z pohledu statické pevnosti. Ložisko je namáháno hlavně axiální přitlačnou silou F_A a radiální složka namáhání pochází pouze od vlastní hmotnosti railu rozdělenou na dva kuželové dotyky, proto se ve výpočtu radiální složka zanedbá.



Obr. 28 Ilustrační obrázek kombinovaného ložiska typu NX [43]

Pro výpočet je použito následujících vztahů. Vzorec (4) udává hodnotu statického zatížení ložiska P_0 , vzorec (5) již udává výpočet hodnoty statické bezpečnosti S_0 . Vstupními hodnotami jsou součinitel axiálního zatížení ložiska $Y = 1$ [27], a základní axiální statická únosnost $C_0 = 8\,500\text{ N}$. [44] Doporučená hodnota součinitele statické bezpečnosti při nepřetržitém pohybu s jistotou špičkového zatížení a s požadavkem na zabránění vzniku trvalých deformací činí $S_0 \geq 2$, podle katalogu SKF a vychází empirického pozorování [44]. Pro tuto konkrétní aplikaci se hodnota zvyšuje na $S_0 \geq 4$.

$$(4) \quad P_0 = F_A \cdot Y = 400 \cdot 1 = 400\text{ N}$$

$$(5) \quad S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{8500}{400} = 21,25$$

$$S_0 = 21,25 > 4$$

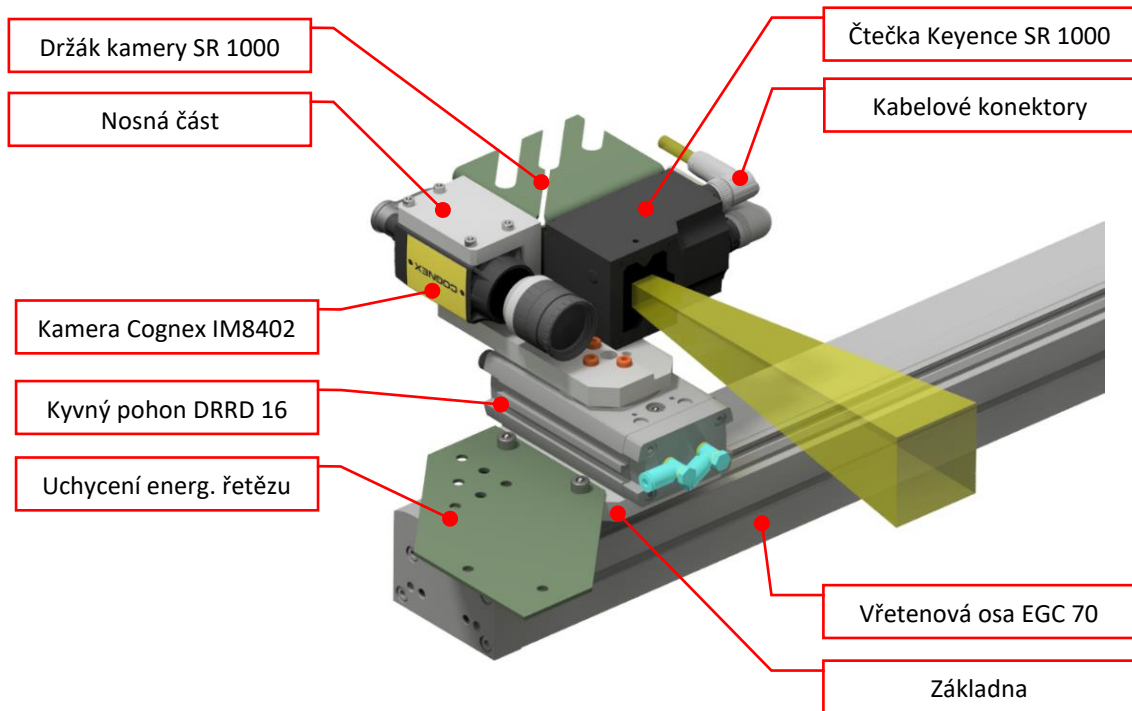
Hodnota součinitele statické bezpečnosti s rezervou vyhovuje.

Zvolené ložisko je předimenzované SKF NX 10 Z, ale v bude v aplikaci ponecháno kvůli jeho bezkonkurenčně kompaktním rozměrům. Jiné typy ložisek, které jsou určeny pro přenos axiálního zatížení mají minimálně dvojnásobný průměr vnějšího kroužku, a dále by bylo třeba použít ložiska v páru, to by vedlo ke zvětšení rozměrů domku ložiska a celého nosného tělesa.

5.2.2.3 Kontrolní část

Následuje řešení podsestavy, která má za úkol zajišťovat vlastní kontrolní část. Princip činnosti podsestavy v rámci „otočné jednotky“ je následující. Dvojice kamer zajišťuje kontrolní činnost, kamera pro strojové vidění Cognex In-Sight 8402M zajišťuje ve spolupráci s dříve popsanou podsestavou „otáčení railu“, natočení railu do úhlu požadovaným balícím předpisem. A to tak, že kamera snímá otáčející se rail a čeká okamžik, kdy se předem daná část railu ocitne v referenční poloze. V případě této aplikace se jedná o natočení vysokotlakého vývodu (viz obr. 4) do roviny kolmé na osu objektivu kamery. V tuto chvíli dostává otočný pohon z podsestavy „otáčení railu“ pokyn k rotaci do požadované polohy. Následně může druhá kamera Keyence SR-1000 provést načtení DMC kódu. Sestava je řešena tak, že jsou kamery natáčeny o 180° mezi paralelními pracovními osami pro upínání a natáčení railu. Důvod k tomuto řešení je jednoduchý, cílem je dosáhnout nižší ceny komponent, protože tyto dvě kamery tvoří podstatnou část ceny automatizace.

Pro zajímavost je možné uvést, že v době tvorby této práce je na webových stránkách evropských obchodníků veřejně dohledatelná cena za již použitou čtečku Keyence SR-1000 v přepočtu kolem 45 000 korun. A v případě nové průmyslové kamery Cognex In-Sight 8402M, bez objektivu cenu zhruba 150 000 korun.



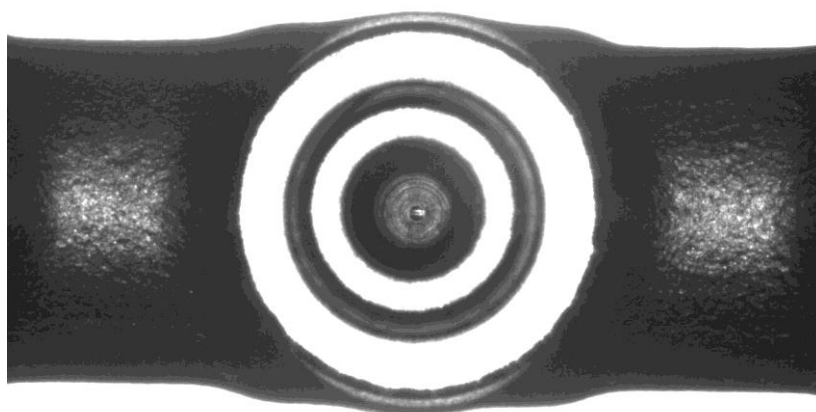
Obr. 29 Kamerová kontrola [3]

Výběr kamer proběhl ve spolupráci s oddělením TEF 1, tyto kamery jsou již v podobných aplikacích použity a jejich spolehlivá funkce je ověřena. Následuje výčet několika vlastností, kamer důležitých pro tuto aplikaci. Čtečka kódů Keyence disponuje vlastností samoostření ve vzdálenostech čtení 110 až 1000 milimetrů, dále obsahuje vlastní světelný emitor pro osvětlení výrobku, hmotnost čtečky činí 200 gramů. Ke kameře budou připojeny dva kabely, jeden napájecí a druhý datový. [45]

Kamera pro strojové vidění Cognex In-Sight 8402M disponuje rozlišením 1600x1200 pixelů a pracovní paměť 512 MB. Ke kameře je připojen jeden kabel, který je datový a zároveň i napájecí (technologie PoE – Power over Ethernet), hmotnost kamery je 132 gramů. Tato kamera ovšem nemá vlastní přísvit ke kontrole výrobku, proto bude použito osvětlovacího panelu typu BL (Back Light) pro osvětlení výrobku ze zadní strany, proti kameře. Požitím tohoto systému dojde ke zvýraznění kontury railu. [46]

Na následujícím obrázku (obr. 30) je uvedena fotografie přímo ze zmiňované kamery, kdy snímá rail v referenční poloze. Jak již bylo uvedeno jedná se o pohled na vysokotlaký vývod, natočený svým čelem kolmo ose kamery. V této poloze je vidět plocha mezikruží, jejíž hrany tvoří přesný kruhový tvar, který má kamera naučený jako referenční. Kdyby čelo vývodu nebylo kolmo k ose, došlo by k deformaci kružnic na elipsy a v tomto případě již kamera rozezná, že nejde o polohu referenční.

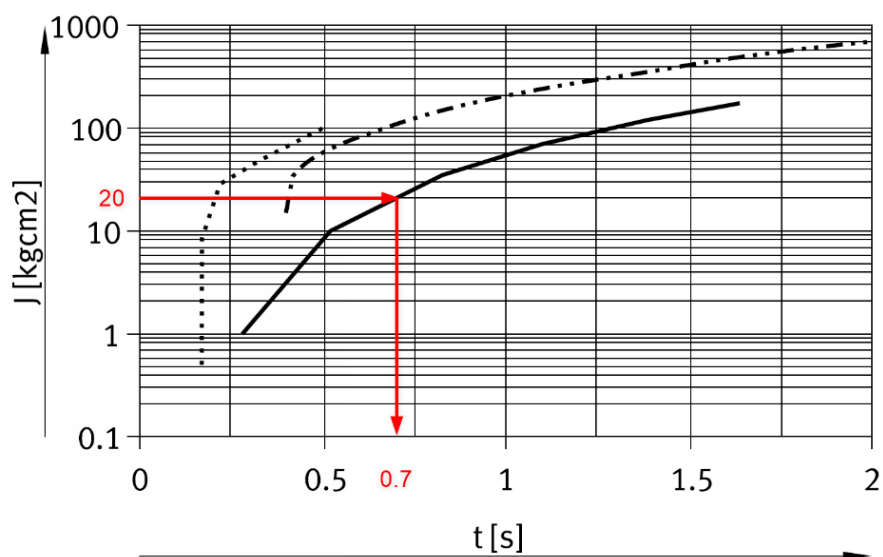
Při konstrukci sestavy „otočná jednotka“, bylo přihlíženo k tomu, že oddělení TEF 1 určilo pro obě kamery jako ideální snímací vzdálenost 200 mm od osy railu.



Obr. 30 Fotografie railu v referenční poloze [3]

Zbytek kapitoly se již zabývá popisem konstrukčního řešení podsestavy. Posun kamer je řešen jako v předchozím případě kapitoly 5.2.2.2 pomocí vřetenové osy Festo řady EGC 70, ovšem s pracovním zdvihem zvýšeným na 600 mm pro zajištění kontroly railu po celé délce railů. Pro pohon osy je využit menší servomotor Festo EMME-AS-40-S-LV-AM, v této aplikaci je plně dostačující, protože osa posouvá pouze vlastní váhu kamerové kontroly a není jinak zatížena.

Kamery je třeba otáčet o 180°, zastavování v mezi polohách není třeba, k tomu je zvolen jednoduchý pneumatický kyvný pohon Festo DRRD-16. Tento pohon obsahuje pružné dorazy v koncových polohách, ty jsou zároveň regulovatelné v rámci několika úhlových stupňů. U tohoto pohonu je třeba dodržet dovolenou hodnotu přípustného momentu setrvačnosti, kterou vytvoří při otáčení díly uložené na pohonu, v tomto případě nesmí hodnota přesáhnout $175 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ [47]. Zda díly uložené na pohonu splňují tuto podmínku bylo ověřováno pomocí programu Autodesk Inventor 2023 a jeho funkce zjištění fyzikálních vlastností sestav, a to v počátku a na konci konstrukční činnosti. Ve chvíli dokončení konstrukce činila tato hodnota momentu setrvačnosti k ose rotace pohonu, včetně spojovacího materiálu a kabelových konektorů, $1979 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \doteq 20 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$. Skutečná zaokrouhlená hodnota s rezervou vyhovuje podmínce pro použití pohonu $20 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 < 175 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$. Vzhledem k vysoké rezervě můžeme zanedbat vliv hmoty kabelového vedení, které nebylo ve vlastnostech sestavy zahrnuto. Dále je možno přistoupit k odečtení času kyvu zvolného pohonu při kroku 180°. Do grafu uvedeného výrobcem (graf 3) se na svislou osu vynáší zjištěný moment setrvačnosti a přes černou křivku, která přísluší k pohonu DRRD-16, odečítáme na vodorovné ose čas. Hodnota činí 0,7 sekund.



Graf 3 Využití pohonu Festo DRRD 16 [47]

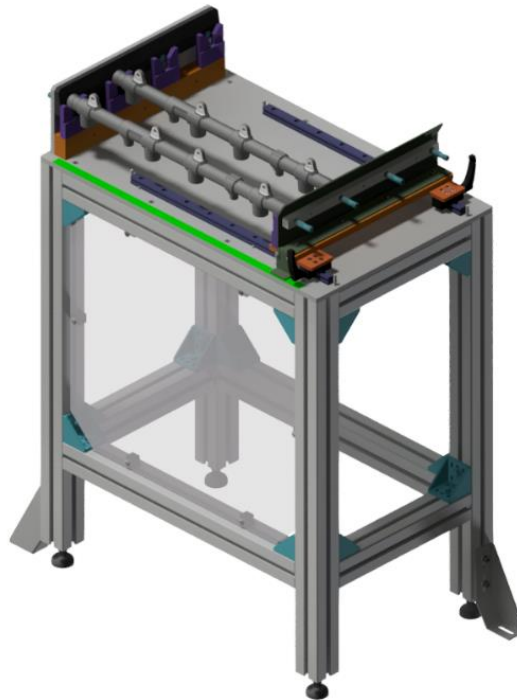
Dále následuje popis dalších prvků podsestavy. Nosnou částí kamer je frézovaný duralový profil, uložený na přírubě kyvného pohonu pomocí centrovacích pouzder ZBH 7 a čtyř šroubů DIN 6912 M4. Na tuto nosnou část je přímo uchycena kamera Cognex IS 8402M, pomocí čtyř šroubů ČSN EN ISO 4762 M3, šrouby stejné normy jsou použity v následujících případech, pokud není uvedeno jinak. Dále je přes propojovací plech uchycena kamera Keyence SR-1000 pomocí šroubů M4. Vlastní kyvný pohon DRRD-16 je uložen na duralové desce i v tomto případě je využito středících pouzder ZBH-7 a šroubů M4. Zmíněná deska zajišťuje propojení celého funkčního celku se saněmi vřetenové osy, to je zajištěno pomocí dvou kolíků ČSN EN ISO 2338 (022150) o průměru 5 mm a dvěma šrouby M5.

Kabelové vedení nutné pro napájení kamer a přenos dat a také pneumatické hadice, které vedou ke kyvnému pohonu, jsou nesené energetickým řetězem o šířce 50 mm a poloměru ohybu 38 mm. Tento energetický řetěz od výrobce IGUS má dva pevné konce s hřebenem sloužícím k zafixování nesených kabelů a hadic. K uchycení energetického řetězu na pevném konci slouží dva šrouby M5 s čočkovou hlavou a nákrůžkem ČSN EN ISO 7380-2 (021145), šroubované přímo do základní desky. Tyto šrouby se využívají kvůli tvaru jejich hlavy, která nezasahuje do funkčního prostoru řetězu. V případě uchycení pohyblivého konce využijeme připravený plech, který je uložen na duralové základně (viz obr. 29), jako spojovacího materiálu je využito stejných šroubů, a navíc nízkých matic M5 ČSN EN ISO 4035 (02 1403). Zmiňované kabely je třeba vyvázat tak, aby při otáčení kamer nedošlo k jejich zachycení. Toto vyvázání je možné provést ve třech drážkách vytvořených na ohýbaném plechu určeném k držení kamery SR 1000. Dále je možné využít jiných vyvazovacích přípravků a uchytit je do připravených otvorů v plechu držícím energetický řetěz.

5.2.3 Stůl pro NOK kusy

Poslední funkční součástí pracoviště je stůl pro odkládání nevyhovujících dílů (tzv. NOK kusů), nevyhovujícím kusem může být rail, u kterého nebude možné z jakýchkoliv důvodů načíst DMC kód, případně bude přečten chybně. Konstrukce stolu je poměrně jednoduchá, skládá se z nosné rámové konstrukce z hliníkových profilů 60x60 mm a desky stolu, na ní jsou umístěny pevné a pohyblivé vidlice, které slouží k odkládání NoK kusů. Na stole jsou čtyři pozice pro odkládání. Pohyblivá část je řešena uložení na dvě lineární vedení HIWIN, které se skládá z kolejnic EGR 20 a vozíků QEH-20. Zajištění pozice je provedeno pomocí dvou manuálních pákových brzd HK2001A. K přeseřízení vzdálenosti vidlic při změně výroby slouží pásové měřítko KINEX. Samotné nastavení je rychlé a jednoduché. Kontrolu obsazenosti pozic zajišťují indukční snímače umístěné za vidličkami. Sestavný výkres tohoto stolu je uveden v příloze číslo 7.

Stůl zároveň může sloužit pro odkládání kusů pro SPC kontrolu (Statistical Process Control). Jedná se o metodu pro vizualizaci a řízení procesů výroby, která je založena na aplikaci statistických technik na náhodné vzorky. Cílem SPC je zajistit, aby byly dosaženy plánované výsledky a splněny požadavky zákazníka. Při použití metody jsou data zaznamenávána a analyzována a cílem je dosažení a udržení stabilního (ovládaného) stavu statistické kontroly a zlepšení procesu. V případě nežádoucích výsledků procesu musí být přijata vhodná opatření k dosažení požadovaného výsledku (řídící smyčka). [48]

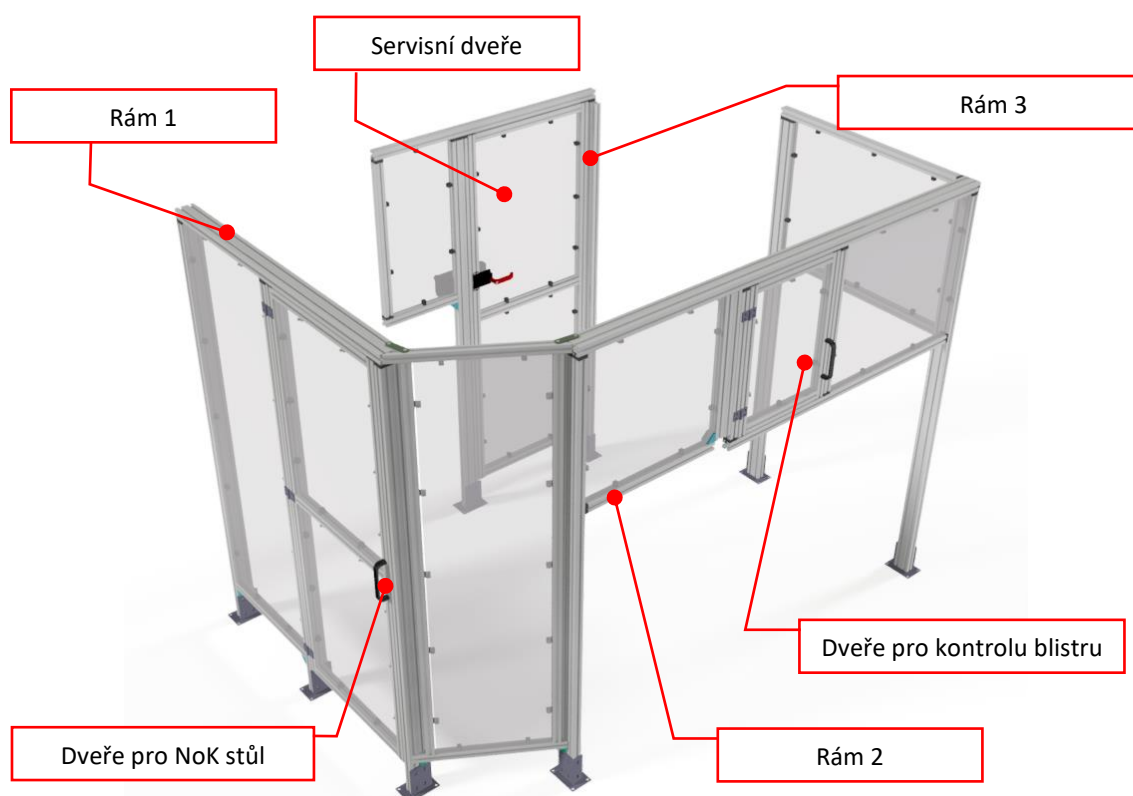


Obr. 31 NOK pozice [3]

5.2.4 Zabezpečení pracoviště

Zajištění bezpečnosti pracoviště je řešeno oplocením, které je sestaveno z profilů a dalších prvků společnosti Bosch Rexroth. Celek oplocení je vysoký 2,2 metru a skládá se z několika částí. Jedná se o tři nosné rámy. Jeden na straně robotů, druhý kolem paletizační jednotky a třetí mezi pracím strojem a rozvaděčem.

Tyto rámy jsou sestaveny z hliníkových profilů Bosch Rexroth 45x90 mm, a jsou ukotveny k zemi pomocí plechových patek. Do těchto rámu jsou vloženy další části oplocení. Sestavný výkres oplocení je uvedený v příloze 8.



Obr. 32 Sestava oplocení pracoviště [3]

Oplocení obsahuje troje dveře pro přístup k jednotlivým částem pracoviště. Servisní dveře pro přístup do pracoviště jsou umístěné v rámu mezi pracím strojem a rozvaděčem. Dveře jsou osazeny elektronickým zámkem Euchner MGB-L1HE-ARA-L-121243 (západka jištěna pružinou, odjištění pomocí elektromagnetu). Toto řešení umožňuje vstup pracovníků údržby a seřizovačů. Samotný zámek zajistí zastavení robota a ostatních prvků pracoviště při otevření dveří. Zároveň disponuje tlačítkem k nouzovému zastavení pracoviště.

Další dveře se nachází nad paletizační jednotkou a slouží ke kontrole zakládání railů do blistru. Poslední přístup do pracoviště je ke stolu pro odkládání NOK dílů. Oboje zmíněné dveře jsou jištěny kompaktním zámkem Euchner CTS (obr. 33), tento zámek je použit, proto, že u těchto přístupů k vnitřním částem nemůže dojít k nechtěnému zavření pracovníka a následnému spuštění robotů. Není tedy třeba vnitřní bezpečnostní klika dveří, jako je to v případě prvně popisovaných dveří. Dveře se otvírají pomocí jednoduchých plastových madel z výrobního portfolia Bosch Rexroth.

Zmiňovaný zámek Euchner CTS zajišťuje blokování dveří pracoviště podle normy ČSN EN ISO 14119:2013, která se zabývá bezpečností strojních zařízení a specifikuje požadavky na různé prvky ochrany, jako jsou ochranné zábrany, či světelné závory, které slouží k minimalizaci rizika zranění pracovníků při manipulaci se stroji. Norma poskytuje směrnice ohledně návrhu, výroby a instalace těchto ochranných prvků, aby byla zajištěna bezpečnost provozu a minimalizováno nebezpečí vzniku úrazů na pracovišti. Dále zámek odpovídá kategorii 4 podle normy ČSN EN ISO 13849-1, která se věnuje bezpečnostním řídicím systémům pro stroje, definuje požadavky na jejich návrh, vývoj a hodnocení. Poskytuje metodiku pro posouzení rizik, stanovení bezpečnostních funkcí a určení výkonostních úrovní. Cílem normy je minimalizovat rizika pro pracovníky při manipulaci se stroji a zajistit soulad s mezinárodními standardy bezpečnosti práce. [49]



Obr. 33 Zámek Euchner CTS [49]

Jako výplň pevných částí oplocení i dveří byl zvolen průhledný polykarbonát ve formě desek. Tyto desky jsou k rámu pracoviště uchyceny pomocí propojovacích bloků Rexroth Variifix bloků, které se vkládají do T drážky profilů rámu a zároveň umožňují šroubové spojení s deskou polykarbonátu. Ke spojení jsou použity šrouby s čokovou hlavou a přírubou. Polykarbonátová výplň byla zvolena z důvodu zamezení dosahu do nebezpečného prostoru pracoviště. Zde se návrh řídí normou ČSN EN ISO 13857:2019, která se zabývá předepisováním vzdáleností k ochranným opatřením, která mají chránit pracovníky před nebezpečnými pohyby strojů. Cílem normy je zajistit bezpečné prostředí pro práci s mechanickými zařízeními a stroji a minimalizovat rizika vzniku úrazů na pracovišti.

Šířka štěrbiny mezi deskou výplně a rámem činí 4 mm, podle tabulky 4 normy ČSN EN ISO 13857:2019 se určí, že nebezpečný prostor nemůže být blíže než 2 mm. Tato podmínka je plněna u všech výplní oplocení. Ostatní štěrbiny mezi rámy oplocení a ostatními součástmi pracoviště mají šířku 20 mm, dle normy musí být vzdálenost nebezpečného prostoru větší než 120 mm. Tato podmínka je splněna. [13]

5.3 Ověření návrhu

Tato kapitola se soustředí na zhodnocení výsledného řešení pracoviště a na to, zda byly bezesbytku splněny všechny předem dané požadavky.

5.3.1 Hodnocení stupně automatizace

Výběrem vhodné robotizace byl splněn požadavek na takt pracoviště. Pracoviště spolehlivě načítá DMC kódy a zajišťuje natočení railu požadovaní balícím předpisem. Dále dochází ke spolehlivému založení railu do blistru, toto bylo ověřeno reálnou zkouškou.

Pečlivou konstrukcí uchopovacího uzlu robotů, bylo dosaženo automatického přestavení čelistí při změně vyráběného typu railu, bez zásahu seřizovače. Zároveň je poloha čelistí v reálném čase kontrolována. Jedinou neautomatizovanou součástí pracoviště je stůl pro odkládání NoK dílů, tento stůl je ale možné seřadit jednouchým způsobem v rámci desítek sekund.

5.3.2 Hodnocení prostorového rozložení a požadavků údržby

Pracoviště je navrženo tak, že nezasahuje do uličky výrobní haly, která musí zůstat bez omezení průchodu a průjezdu. Dále je pracoviště konstruováno, tak že je možné ho bez změn použít i k paralelním výrobním linkám, které mají rozdílné uspořádání.

Přístup ke všem servisním bodům pracího stroje (viz příloha 1) je zachován. Jedná se přístup k pohonu dopravníku pracího stroje, ten je možné vyměnit bez demontáže jakýchkoliv částí nového pracoviště a pro tento účel byl od počátku konstrukce stůl jednotky natáčení přizpůsoben. Dále zůstal bez omezení zachován přístup k případné výměně řetězu dopravníku. Kolem pracoviště také zůstal průchod pro pracovníky údržby a průjezd pro vybavení pro čištění pracího stroje. K vlastním přístupovým okénkům do stroje je vytvořen lepší přístup než v případě starého pracoviště.

Pokud se jedná o údržbu vlastního nového pracoviště je sepsán plán intervalů údržby, který je uvedený v následující tabulce.

Tabulka 8 Intervaly údržby

	Interval údržby						Poznámka
	den	týden	měsíc	6měs	rok		
Robotické pracoviště, okolí pracoviště,	● ■						
Roboty Stäubli							Viz. návod k obsluze robota Stäubli
Uchopovací uzly		●		▲			
Natáčecí jednotka			●	▲			
Paletizační jednotka							Viz. návod k obsluze paletizační jednotky
NOK pozice			●		▲		
Oplocení, dveře			●				
Jednotka úpravy vzduchu (odlučovač vody)			◆				

- čistit
- kontrolovat (příp. odstranit nedostatky)
- ▲ namazat
- ◆ vyprázdnit

V rámci kapitoly údržby se dále doporučují náhradní díly z kategorie vyráběných součástí. Pro zavedení do skladových ND se doporučují čelisti uchopovacího uzlu po jedné od každého kusu. Stejně tak se to doporučuje u obou kuželových dotyků použitých v natáčecí a kontrolní jednotce.

Pro zavedení nakupovaných součástí, jako ND se dále využívá interní výpočet kritičnosti tohoto dílu z pohledu výroby a dalších kritérií.

5.3.3 Hodnocení bezpečnosti pracoviště

Pracoviště bylo zabezpečeno z pohledu zamezení přístupu nepovolaných osob a možnosti zranění při provozu pomocí oplocení. Způsob rozvržení pracoviště, umístění a konstrukce oplocení odpovídá a zabezpečení dveří odpovídá příslušným normám. Konkrétně byla řešena výška oplocení, materiál použitý pro výplň oplocení a zabezpečení dveří.

Pracoviště odpovídá podmínkám pro uvedení na trh podle zákona č. 22/1997 Sb., § 13, který se věnuje zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců při práci. A podrobně stanovuje povinnosti v oblasti prevence pracovních úrazů a ochrany zdraví zaměstnanců v pracovním prostředí. Pracoviště splňuje předpisy Evropského společenství a nařízení vlády, které s tímto zákonem souvisejí. Pracoviště je připravené pro certifikaci CE. Při certifikaci se vychází mimo dříve zmíněných požadavků na bezpečnost při práci, také z požadavků na bezpečnost elektrických a pneumatických prvků pracoviště.

5.3.4 Finanční zhodnocení

Následuje jednoduchá finanční analýza projektu. Aby mohla být práce zveřejněna, nejsou uvedeny jednotlivé částky za materiál a práci přesně, ale jsou zceleny do tématických skupin a tyto částky jsou následně zaokrouhleny. Nemůže tedy dojít k poškození finančních zájmů společnosti, nebo jejích obchodních partnerů. Zároveň kalkulace zachovává představu o nákladech na takovýto projekt.

Při výpočtu ušetřených prostředků při automatizaci se vychází z počtu pracovních pozic, které byly nahrazeny automatizovanými procesy. To znamená, že měsíční náklady na zaměstnance se násobí počtem měsíců za dobu návratnosti, která je v tomto případě tři roky. Při výpočtu nákladů na zaměstnance nebude použito přesné hodnoty, ale bude se vycházet z veřejně dostupných zdrojů. Hodnotou pro výpočet je medián mzdy v ČR za rok 2023, ten činí 39 685 Kč. Při srovnání s veřejně dostupnými inzeráty s nabídkou práce v dělnické pozici ve společnosti, v době psaní této práce, hodnota zhruba odpovídá výši měsíční mzdy dělníka ve společnosti. [50]

Při výpočtu je nutné vzít v úvahu skutečnost, že obecně tvoří mzda zaměstnance zhruba 70 % celkových nákladů zaměstnavatele. V celkové částce se například vyskytují odvody na zdravotním a sociálním pojištění, náklady na zaškolení, BOZP, PO, dále náklady na OOPP, benefity, prémie plynoucí z kolektivní smlouvy atd. [51]

Ve výpočtu se nezohledňují náklady na údržbu, protože ta by měla probíhat v podobném rozsahu jako u dosavadního pracoviště.

Na tomto konkrétním pracovišti lze ušetřit tři pracovníky. Výpočtem provedeným dle dříve popsané úvahy se určuje že celkové ušetřené náklady dosahují výše zhruba 220 000 euro. Následující tabulka již uvádí náklady na automatizaci v podobě upravené dle předchozího textu

Tabulka 9 Náklady na investici

Položka	Náklady (€)
2 robot SCARA TS2-100 a jejich podstavce	65 000
Uchopovací uzel 2x	10 000
Jednotka natáčení	35 000
Paletizační jednotka	40 000
Krytování a NoK pozice	10 000
Montáž, SW (programování)	40 000
Projektové vedení a certifikace CE	8 000
SUMA	208 000

Celkové náklady na investici dosahují zhruba 208 000 euro. Při srovnání s částkou očekávaných úspor lze konstatovat, že pracoviště, tak jak bylo navrženo splňuje požadavek na návratnost. Navíc je možné uvést, že náklady na druhé a další realizované automatizace budou nižší o cenu mechanické a elektrické konstrukce. Další výhodou z finančního pohledu je, že automatizované pracoviště může pracovat plnou pracovní dobu na rozdíl od pracovníků, kteří čerpají přestávky atd.

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést konstrukční návrh pracoviště pro automatizaci kontroly a paletizace HFR railů. Cíle bylo dosaženo postupným řešením dílčích cílů, které byly vyjmenovány v kapitole 3. Postup odpovídal metodice uvedené v kapitole 4.

Teoretická část práce se zabývala popisem výroby HFR railu a jeho funkce v Common Rail systému. Dále byla popsána činnost dosavadního pracoviště a byly vyjmenovány požadavky na nové již plně automatizované pracoviště. Součástí teoretické části byla ještě analýza možností provedení automatizace, ta se zaměřovala na popis vybraných robotických systémů a principů uchopování výrobků. V závěru byl uveden celkový koncept budoucího pracoviště a nastíněny jednotlivé varianty řešení uchopovacího uzlu robotů.

V praktické části již došlo k vybrání varianty uchopování railů, určené ke konstrukčnímu rozpracování. Výběr proběhl pomocí vícekritériální metody rozhodování PATTERN. Následovala vlastní konstrukce uchopovacího uzlu doplněná podrobným popisem postupné optimalizace řešení. Dále se řešilo ustavení robotů SCARA. Dalšími řešenými částmi byla jednotka pro natáčení a kontrolu railů, dále stůl pro odkládání neshodných výrobků a oplocení pracoviště. Textový popis byl průběžně doplňován nejdůležitějšími výpočty a vizualizacemi modelů, z programu Autodesk Inventor, který byl použit pro modelování. Výkresy důležité pro pochopení funkce a rozložení pracoviště byly přidány jako přílohy práce.

V závěru praktické částí je řešení nejprve zhodnoceno z pohledu splnění technických požadavků. Tyto požadavky byly bezesbytku splněny. Dále je vytvořena tabulka s intervaly údržby pracoviště. Následovala kontrola finanční návratnosti pracoviště, tato návratnost měla být v rámci tří let a nákladový limit činil 220 000 eur, skutečné náklady na automatizaci dosahují zhruba 208 000 eur. Finanční limit je tedy dodržen a v případě pořizování každého dalšího pracoviště, budou tyto náklady nižší o cenu některých konstrukčních, technologických a programátorských prací.

7 Bibliografie

- [1] BOSCH POWERTRAIN S.R.O. *Výroční zpráva*. online. In: Ministerstvo spravedlnosti České republiky. 2023. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=77211325&subjektId=512708&spis=696177>. [cit. 2024-02-05].
- [2] *Bosch Česká republika*. online. 2024. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/>. [cit. 2024-02-05].
- [3] *Bosch Powertrain s.r.o. Interní materiály společnosti*.
BOSCH CZ. *Bosch talk; Oblast Mobility - výroba*. online video. 2023. Dostupné
4] z:
https://www.youtube.com/watch?v=vzR9eqnlGhk&list=PL3sgf7SUfeV_yemD5hTud dXvtTQBzlvTn&index=3. [cit. 2024-02-05].
- [5] REIF, Konrad a DIETSCHE, Karl-Heinz. *Automotive handbook*. 9th, revis and extend. Karlsruhe: Robert Bosch, 2014. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/VWjRIYQd>.
- [6] XIN, Qianfan. *Diesel engine system design*. online. 1st. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. ISBN 978-1-84569-715-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9780857090836>. [cit. 2024-02-18].
- [7] DINGLE, Philip a LAI, Ming-chia. *Diesel Common Rail and Advanced Fuel Injection Systems*. online. Warrendale, PA: SAE International, 2005. ISBN 978-0-7680-2200-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/T-117>. [cit. 2023-12-22].
- [8] AGARWAL, Avinash; DHAR, Atul; GUPTA, Jai; KIM, Woong; LEE, Chang et al. Effect of fuel injection pressure and injection timing on spray characteristics and particulate size–number distribution in a biodiesel fuelled common rail direct injection diesel engine. online. *Applied Energy*. 2014, roč. 130, s. 212-221. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.041>. [cit. 2024-02-18].

- [9] XU-GUANG, Tan; HAI-LANG, Sang; TAO, QIU; ZHI-QIANG, Fan a WEN-HUI, Yin. The Impact of Common Rail System's Control Parameters on the Performance of High-power Diesel. online. *Energy Procedia*. 2012, roč. 16, s. 2067-2072. ISSN 18766102. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.314>. [cit. 2023-12-22].
- [10] ROBERT BOSCH GMBH. Common-rail injection systems: CRS3-27. online. In: ROBERT BOSCH GMBH. *Bosch.co.jp*. Dostupné z: https://www.bosch.co.jp/tms2015/en/products/pdf/DS_ProductDataSheet_CR3-27_EN.pdf. [cit. 2024-02-18].
- [11] ROBERT BOSCH GMBH. *Diesel Components*. online. In: ROBERT BOSCH GMBH. *Boschoffhighway.com*. 2019. Dostupné z: components. [cit. 2023-12-16].
- [12] PARKER, Anthony P. Autofrettage of Open-End Tubes—Pressures, Stresses, Strains, and Code Comparisons. online. *Journal of Pressure Vessel Technology*. 2001, roč. 123, č. 3, s. 271-281. ISSN 0094-9930. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/1.1359209>. [cit. 2024-03-24].
- [13] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Roboty a robotická zařízení – Slovník*. Druhé vydání. Praha, 2013.
- [14] KOLÍBAL, Zdeněk a KNOFLÍČEK, Radek. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. Vyd. 1. Edice vědecké a odborné literatury. Košice: Vienala, 2000. ISBN isbn80-88922-27-5.
- [15] MATIČKA, Robert a TALÁCKO, Jaroslav. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00567-1.
- [16] ADAMEC, Jaromír. *Technologie automatizovaných výrob*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-0871-4.
- [17] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. online. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0. [cit. 2024-02-26].

- [18] YAMAFUJI, Kazuo. Development of SCARA Robots. online. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2019, roč. 31, č. 1, s. 10-15. ISSN 1883-8049. Dostupné z: <https://doi.org/10.20965/jrm.2019.p0010>. [cit. 2024-03-24].
- [19] STÄUBLI INTERNATIONAL AG. TS2-100: 4 axis industrial robot. online. In: STÄUBLI INTERNATIONAL AG. *Stäubli*. Dostupné z: <https://www.staubli.com/content/dam/robotics/products/robots/ts2/TS2-100-4-axis-product-data-sheet-EN.pdf>. [cit. 2023-12-27].
- [20] MORAN, Michael E. Evolution of robotic arms. online. *Journal of Robotic Surgery*. 2007, roč. 1, č. 2, s. 103-111. ISSN 1863-2483. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11701-006-0002-x>. [cit. 2024-03-24].
- [21] TECL, Michal. *Digitální zprovoznění robotizované obsluhy obráběcího stroje*. online, Diplomová práce, vedoucí Jan Vetiška. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2022. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/207566>. [cit. 2024-03-10].
- [22] STÄUBLI INTERNATIONAL AG. TX2-90 Range: 6 axis industrial robots. online. In: STÄUBLI INTERNATIONAL AG. *Stäubli*. Dostupné z: <https://www.staubli.com/content/dam/robotics/products/robots/tx2/TX2-90-6-axis-product-data-sheet-EN.pdf>. [cit. 2023-12-27].
- [23] SAMUELS, Maxwell; LU, Lu a WANG, Cong. Two-finger Multi-DOF Folding Robot Grippers*. online. *IFAC-PapersOnLine*. 2022, roč. 55, č. 27, s. 76-81. ISSN 24058963. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.491>. [cit. 2024-03-24].
- [24] HODAČ, Marek. *Konstrukce pracovní stanice – Bosch Diesel Jihlava*. online, Bakalářská práce, vedoucí Martin Pexa. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra jakosti a spolehlivosti strojů, 2022. Dostupné z: https://is.czu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti_zp=294108;zp=294108;download_prace=1. [cit. 2024-03-10].

- [25] STÄUBLI INTERNATIONAL AG. Výrobní řada: Robotics | Experts in Man and Machine. online. In: STÄUBLI INTERNATIONAL AG. *Stäubli*. Dostupné z: <https://www.staubli.com/content/dam/robotics/products/robots/tx2/TX2-90-6-axis-product-data-sheet-EN.pdf>. [cit. 2023-12-27].
- [26] *Systémy managementu kvality - Požadavky*. První vydání. Praha, 2016.
- [27] LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-807-3610-814.
- [28] ŠŤASTNÝ, Jiří a TŘEŠTÍK, Boleslav. *Manuál technické dokumentace*. 6., přeprac. vyd. Česká matice technická. České Budějovice: Česká matice technická v nakl. Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-352-4.
- [29] KLETEČKA, Jaroslav a FOŘT, Petr. *Technické kreslení*. 1. Brno: CP Books, a. s., 2005. ISBN 8025104982.
- [30] KŘÍŽ, Rudolf a VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1994. ISBN 80-85827-59-x.
- [31] DRASTÍK, František. *Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem: tolerování rozměrů a geometrických vlastností*. Ostrava: Montanex, 1996. ISBN 80-85780-18-6.
- [32] BROŽOVÁ, Helena; HOUŠKA, Milan a ŠUBRT, Tomáš. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Vyd. 1. Praha: Credit, 2009. ISBN 978-80-213-1019-3.
- [33] KODÝDEK, Daniel. *Výběr dodavatele s pomocí vícekriteriálního rozhodování*. online, Bakalářská práce, vedoucí Kavan Michal. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Ústav řízení a ekonomiky podniku, 2018. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/79974>. [cit. 2024-03-10].
- [34] FESTO. *Brzda KPE-6*. online. In: Festo. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/brzdy-id_KEC_KPE/. [cit. 2024-02-17].
- [35] HIWIN. *Lineární technika - vozík EGH*. online. In: Hiwin.cz. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-eg-qe/23_vozik-egh. [cit. 2024-02-17].

- [36] HIWIN. *Lineární technika - Vedení s odměřováním*. online. In: Hiwin.cz. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/vedeni-s-odmerovanim>. [cit. 2024-02-17].
- [37] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Manipulační průmyslové roboty - Mechanická rozhraní*. První vydání. Praha, 2004.
- [38] BOSCH REXROTH. Ball rail systems BSCL. online. In: BOSCH REXROTH. *Boschrexroth.com*. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/media/38ee9321-fe03-4d4c-90fd-de4085f49fbd>. [cit. 2024-02-17].
- [39] KŘÍŽ, Rudolf a VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. První vydání. Praha: Scientia, 1993. ISBN 80-85827-23-9.
- [40] FESTO GMBH & CO. KG. Otočné pohony ERMO, elektrické. online. In: FESTO GMBH & CO. KG. *Festo*. 2024, 2020/09. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/786/D15000100152786.PDF>. [cit. 2024-03-02].
- [41] FESTO GMBH & CO. KG. *Electric Motion Sizing*. online. In: Festo. 2024. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/s/electric-motion-sizing/>. [cit. 2024-02-24].
- [42] FESTO GMBH & CO. KG. Pohony s vřetenem EGC-BS-KF, kuličková oběžná pouzdra. online. In: FESTO GMBH & CO. KG. *Festo*. 2023/05. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/695/D15000100152695.PDF>. [cit. 2024-03-02].
- [43] SKF GROUP. *NX 10 ZCombined needle roller*. online. In: SKF GROUP. SKF. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-NX%2010%20Z>. [cit. 2024-03-03].
- [44] SKF GROUP. *Valivá ložiska: PUB BU/P1 17000/1 CS*. online. In: SKF GROUP. SKF. Dostupné z: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968096351e/pdf_preview_medium/0901d1968096351e_pdf_preview_medium.pdf#cid-121486. [cit. 2024-03-03].

- [45] KEYENCE CORPORATION. *Čtečka kódů s automatickým zaostřením SR-1000*. online. In: KEYENCE CORPORATION. KEYENCE. 2024. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/barcode/barcode-readers/sr-1000/models/sr-1000/>. [cit. 2024-03-03].
- [46] COGNEX CORPORATION. *In-Sight 8000 Vision Systems Specifications*. online. In: COGNEX CORPORATION. Cognex. 2024. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-8000-series/specifications>. [cit. 2024-03-03].
- [47] FESTO GMBH & CO. KG. *Kyvné pohony DRRD*. online. In: FESTO GMBH & CO. KG. Festo. 2024. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/647/D15000100152647.PDF>. [cit. 2024-02-25].
- [48] MACGREGOR, J.F. a KOURTI, T. Statistical process control of multivariate processes. online. *Control Engineering Practice*. 1995, roč. 3, č. 3, s. 403-414. ISSN 09670661. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0967-0661\(95\)00014-L](https://doi.org/10.1016/0967-0661(95)00014-L). [cit. 2024-03-24].
- [49] EUCHNER GMBH + CO. KG. *Bezpečnostní spínač CTS-BR*. online. In: EUCHNER GMBH + CO. KG. EUCHNER. Dostupné z: https://www.euchner.de/cscz/vyroby/bezpecnostni-spinace-s-kodovanymi-transpondery-a-jistenim-ochranneho-krytu_2/cts/bezpecnostni-spinac-cts-br_2/. [cit. 2024-03-24].
- [50] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Anylýza: Vývoj českého trhu práce – 4. čtvrtletí 2023*. online. In: ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. ČSÚ. 05.03.2024. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/10180/190537098/cpmz030524_analyza.pdf/72be8974-6f75-499c-9f35-07a1ff18125a?version=1.0. [cit. 2024-03-05].
- [51] KULIŠŤÁKOVÁ, Nad'a. *MZDOVÉ NÁKLADY, NÁKLADY A VÝNOSY, CENA: Učební text*. online. In: VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Nenalezený vydavatel*. Dostupné z: <https://ukp.vscht.cz/files/uzel/0007455/0026~861KyS9LVchLzM5JTKIUSFRITs2rVD AyMDQHAA.pdf?redirected>. [cit. 2024-03-05].

8 Seznam obrázků, seznam tabulek

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Historie výroby v Jihlavě [3]	2
Obr. 2 Common Rail systém [10].....	4
Obr. 3 Rail HFNR 25 [11].....	5
Obr. 4 Řez railem [3].....	6
Obr. 5 Svislé zakládání railu [3]	8
Obr. 6 Vodorovné zakládání railu [3].....	8
Obr. 7 Přední pohled na pracoviště [3]	9
Obr. 8 Kartézský robot stojanový [17].....	12
Obr. 9 Kartézský robot portálový [17].....	12
Obr. 10 Čtyřosý průmyslový robot Stäubli TS2 (SCARA) [19]	13
Obr. 11 Šestiosý robot Stäubli TX2 [22]	14
Obr. 12 Koncept rozložení pracoviště [3].....	17
Obr. 13 Uchopení mimo těžiště [3]	20
Obr. 14 Uchopení v těžišti [3].....	20
Obr. 15 Test odhození [3]	22
Obr. 16 3D model výsledného řešení automatizace [3].....	30
Obr. 17 Uchopovací uzel – první koncept [3].....	31
Obr. 18 Vozík EGH na kolejnici EGR-R výrobce HIWIN [35]	32
Obr. 19 Uchopovací uzel – finální řešení [3]	33
Obr. 20 Analýza gripperu pomocí MKP	35
Obr. 21 Zobrazení sil na čelisti [3]	36
Obr. 22 Kontrola čelisti pomocí MKP	37
Obr. 23 Rám robota ve tvaru jehlanu [3]	38
Obr. 24 Stojan robota 2 [3].....	39
Obr. 25 Natáčecí a kontrolní jednotka [3].....	40

Obr. 26 Podsestava otáčení railu [3]	42
Obr. 27 Sestava upínání [3]	44
Obr. 28 Ilustrační obrázek kombinovaného ložiska typu NX [43]	47
Obr. 29 Kamerová kontrola [3]	49
Obr. 30 Fotografie railu v referenční poloze [3]	50
Obr. 31 NOK pozice [3]	53
Obr. 32 Sestava oplocení pracoviště [3]	54
Obr. 33 Zámek Euchner CTS [49]	55

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Záznam odhazování – osa x [3]	22
Tabulka 2 Záznam testu odhazování – osa y [3]	23
Tabulka 3 Záznam testu odhazování – osa z [3]	23
Tabulka 4 Určení pořadí kritérií	27
Tabulka 5 Stanovení váhy kritérií	28
Tabulka 6 Výběr varianty metodou PATTERN	29
Tabulka 7 Výsledky základních vlastností pohonu [41]	45
Tabulka 8 Intervaly údržby	57
Tabulka 9 Náklady na investici	59

Přílohy

Příloha 1 – Vyobrazení pracího stroje a jeho servisních bodů

Příloha 2 – Hlavní sestavný výkres pracoviště 9265_CJ0000

Příloha 3 – Sestavný výkres ustavení robota 9265_CJ1000

Příloha 4 – Sestavný výkres ustavení robota 9265_CJ1500

Příloha 5 – Sestavný výkres uchopovacího uzlu robota 9265_CJ1100

Příloha 5.1 – Výrobní výkres příruby uchopovacího uzlu robota 9265_CJ1101

Příloha 5.2 – Výrobní výkres propojovací desky uchopovacího uzlu 9265_CJ1102

Příloha 5.3 – Výrobní výkres čelisti uchopovacího uzlu robota 9265_CJ1110

Příloha 6 – Sestavný výkres jednotky natáčení railů 9265_CJ2000

Příloha 7 – Sestavný výkres NoK stolu 9265_CJ3000

Příloha 8 – Sestavný výkres oplocení pracoviště 9265_CJ4000