

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra jakosti a spolehlivosti strojů**



**Bakalářská práce**

**Konstrukce pracovní stanice – Bosch Diesel Jihlava**

**Marek Hodač**

**© 2022 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marek Hodač

Zemědělské inženýrství  
Inženýrství údržby

Název práce

**Konstrukce pracovní stanice – Bosch Diesel Jihlava**

Název anglicky

**Workstation design – Bosch Diesel Jihlava**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je analýza konstrukce pracovní stanice a návrh nové konstrukce výrobní nebo kontrolní stanice pro vybraný výrobek společnosti Bosch Diesel Jihlava. Návrh bude obsahovat popis výrobku, modelovou a výkresovou dokumentaci uzavřené finanční analýzou.

### Metodika

Úvodem proběhne analýza současného stavu pracovní stanice pro zvolený výrobek doprovázená popisem zvoleného výrobku. Na základě analýzy a požadavků na obsluhu bude vypracován návrh nové pracovní stanice, který 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**

30-40

**Klíčová slova**

pracovní stanice, konstrukce, dokumentace

---

**Doporučené zdroje informací**

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

JANÁKOVÁ, A. *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.

LEINVEBER, J. – ŠVERCL, J. *Technické kreslení : technická dokumentace pro studijní a učební obory SOU*. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 80-86490-73-4.

NEUBERGER, P. – ADAMOVSKÝ, D. – ADAMOVSKÝ, R. *Termomechanika*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1634-8.

Periodika, předpisy a firmení literatura

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/2022 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 11. 12. 2020

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 23. 12. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Konstrukce pracovní stanice – Bosch Diesel Jihlava " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za velmi vstřícný a nápomocný přístup při vedení této práce. Dále společnosti BOSCH DIESEL s. r. o., která umožnila vznik bakalářské práce, jmenovitě panu Ing. Milanu Kolářovi, Vojtěchu Zdichyncovi a Milanu Brtnickému za jejich významnou pomoc při zpracovávání projektu a řešení všech problémů.

# Konstrukce pracovní stanice – Bosch Diesel Jihlava

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce robotického pracoviště pro automatizaci kontroly vysokotlakého zásobníku paliva, takzvaného railu, během výrobního procesu v závodě firmy BOSCH DIESEL s. r. o. v Jihlavě.

Kontrolován je LWR rail (Laser Welded Rail) a proces kontroly se zaměřuje na správnost ustavení jednotlivých dílů výrobku a kvalitu svárů, kterými jsou všechny díly spojeny ve svařenec.

V teoretické části práce je popsán vstříkovací systém Common Rail, kterého je kontrolovaný rail základní součástí. Dále je uveden popis částí railu a proces výroby a kontroly, která má být automatizována. V závěru teoretické části jsou uvedeny konkrétní cíle práce a metodika jejich vypracování, současně jsou zde zastoupeny požadavky na řešení automatizace.

V praktické části práce je nejprve uveden koncept celkového řešení pracoviště s využitím robotizace a také je v ní detailně popsána funkce navržené automatizace. Dále jsou nastíněny možnosti řešení jednotlivých cílů a na ně navazuje část konstrukční, kde je vždy rozpracována vybraná možnost řešení. Konstrukčními cíli jsou vytvoření uchopovacího členu robota a jeho ustavení pomocí rámu, dále je to vytvoření prvků zajišťujících bezpečnost práce na samotném pracovišti a kolem něj. V závěru praktické části je navržený způsob údržby vybraných částí pracoviště a je provedeno technické a finanční zhodnocení.

## Klíčová slova:

Automatizace, bezpečnost práce, Common Rail, dieselové systémy, konstrukce pracovní stanice, kontrola jakosti, robotizace, vstříkovací systémy, výkresová dokumentace

# Workstation design – Bosch Diesel Jihlava

## Abstract

The bachelor's thesis deals with the design of a robotic workstation for the automatic control of a high-pressure fuel tank – "rail", during the production process in the plant of BOSCH DIESEL company in Jihlava.

The LWR rail (Laser Welded Rail) is inspected for the correct positioning of all its parts and for the quality of the welds by which all parts are joined into the weldment.

The theoretical part of the thesis describes the Common Rail injection system, of which the controlled rail is a main part. Following that is a description of the rail parts and the production and inspection process which must be automated. At the end of the theoretical part are presented the specific objectives of the thesis and their methodology, following the requirements for the solution of automation.

The practical part of the thesis presents the concept of the overall solution of the workstation using robotics and also describes in detail the function of the proposed automation. Furthermore, the possibilities of solving individual targets are outlined and they are followed by a design part, where the selected solution option is always developed. The design targets are the creation of the gripping member of the robot and the placement of the robot on the frame as well as the creation of elements ensuring the safety of work at the workplace. At the end of the practical part is proposed a method of maintenance of the workstation and a technical and financial evaluation is performed.

## Keywords:

Automatization, work safety, Common Rail, diesel systems, workstation design, quality control, robotization, fuel injection systems, technical documentation

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Rozbor současného stavu.....</b>	<b>2</b>
2.1	Popis systému Common Rail.....	2
2.1.1	Vysokotlaké čerpadlo CP.....	4
2.1.2	Vstřikovač CRI.....	5
2.2	Vysokotlaký zásobník – rail .....	5
2.2.1	Rail HFR .....	6
2.2.2	Rail LWR .....	6
2.2.3	Součásti osazované na raily.....	7
2.2.3.1	Tlakový snímač RPS .....	7
2.2.3.2	Tlakový regulační ventil PCV .....	7
2.3	Analýza současného stavu pracoviště.....	8
2.3.1	Popis výroby LWR railu .....	8
2.3.2	Layout pracoviště .....	9
2.3.3	Popis pohybu palet po pracovišti.....	10
2.3.4	Popis průběhu kontroly railu LWR.....	10
2.3.5	Popis krytkování vývodů.....	10
<b>3</b>	<b>Cíl práce .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Metodika práce .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>13</b>
5.1	Dané skutečnosti a celkové řešení .....	13
5.1.1	Strojové vidění .....	18
5.1.2	Návrh řešení konkrétních sestav .....	20
5.1.2.1	Možnosti uchopování .....	20
5.1.2.2	Uchopování krytek .....	21
5.1.2.3	Návrh ustavení robota .....	21
5.2	Konstrukce vybraných řešení .....	22
5.2.1	Uchopovací uzel robota.....	22
5.2.2	Konstrukce čelistí pro uchopování railů.....	23
5.2.3	Konstrukce čelistí pro uchopování krytek.....	24
5.2.4	Konstrukce základny pro uchycení uzlu na robota .....	25
5.2.5	Ustavení robota .....	27
5.3	Zajištění bezpečnosti .....	28



5.4	Zhodnocení .....	30
5.4.1	Údržba pracoviště.....	30
5.4.2	Technické zhodnocení.....	30
5.4.3	Finanční zhodnocení .....	31
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků, seznam tabulek, soupis a definování zkratk.....</b>	<b>35</b>
8.1	Seznam obrázků.....	35
8.2	Seznam tabulek.....	36
8.3	Seznam a definice zkratk .....	36
<b>9</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>37</b>

# 1 Úvod

V posledních letech dochází k tlaku na omezení užití spalovacích motorů a jejich nahrazování alternativními možnostmi pohonů. Ovšem tyto snahy jsou v některých aplikacích, jako například v těžkých stavebních a těžebních strojích, vojenských vozidlech, ale prozatím i v nákladní automobilové, lodní a letecké dopravě v následujících desítkách let neproveditelné. Zmíněné snahy nejsou v zásadě špatné. Ale zvláště události prvních měsíců roku 2022 ukazují, že není možné vývoj technologií soustředit pouze jedním určeným směrem a je třeba jistý stupeň diverzifikace.

Pro osobní dopravu je budoucností nejspíše skutečně elektrický pohon, ovšem elektrická energie, která je pro toto řešení potřebná ve velkém množství se musí vyrobit a vzhledem k naznačeným událostem se ukazuje, že její výroba ze zemního plynu nejspíše nebude možná. Stavba nových jaderných bloků zabírá desetiletí a využití obnovitelných zdrojů v takovém rozsahu zatím také není možné. Dalším problémem je současné dimezování elektrické přenosové soustavy.

Tímto jsem chtěl poukázat na skutečnost, že z mého pohledu je třeba pokračovat ve vývoji spalovacích motorů, a to i z důvodů dalších aplikací uvedených dříve. Zvyšování výkonu, účinnosti a snižování emisí a spotřeby paliva těchto motorů, je určitě dále možné. Právě tímto výzkumem se zabývají také divize DS (Diesel Systems) a GS (Gasoline Systems) nadnárodní společnosti Robert Bosch, tato společnost je v oblasti automobilismu aktivní už od konce 19. století. Součástí této rozsáhlé firmy je i česká pobočka Bosch Diesel Jihlava s. r. o. se zhruba 4000 zaměstnanci. Ve třech jihlavských závodech firmy mimo části vývoje probíhá také výroba hlavních komponentů systému Common Rail. Tento systém už od konce 90. let významně napomáhá ke zlepšování zmíněných vlastností, spalovacích motorů, v případě této bakalářské práce se jedná konkrétně o vznětové motory.

Společnost Bosch Diesel Jihlava umožnila vznik této práce, zabývající se optimalizací výrobního procesu vysokotlakého zásobníku paliva ve výrobním závodě 2. Optimalizace spočívá v automatizaci kontroly během svařování jednotlivých komponent railu.

## 2 Rozbor současného stavu

V první části kapitoly je popsán Common Rail systém, a detailně je rozebrán LWR rail, kterým se práce zabývá.

Ve druhé části kapitoly je uveden rozbor současného stavu pracoviště pro vizuální kontrolu LWR railu.

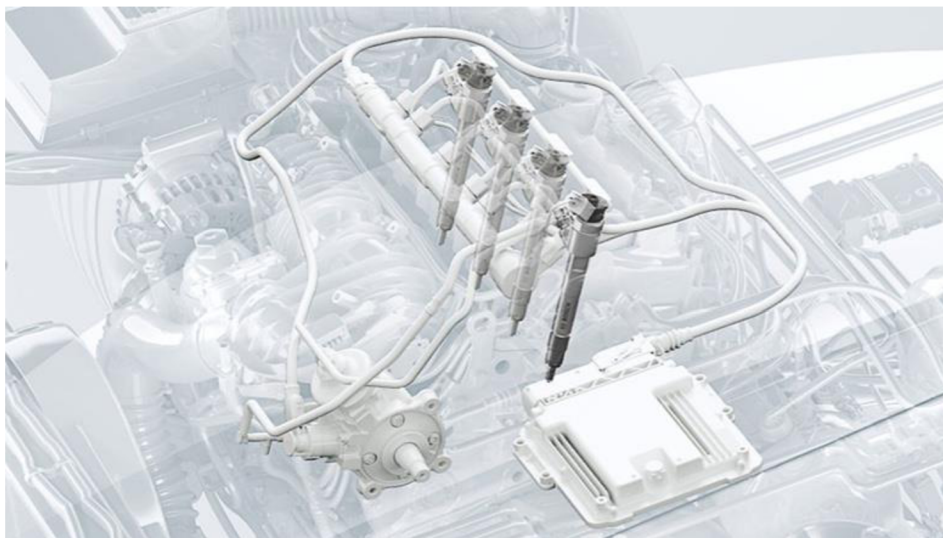
### 2.1 Popis systému Common Rail

Common Rail (obr. 1) je moderní alternativou vstřikovacích systémů, jedná se o systém přímého vstřikování vysokotlakového paliva s využitím tlakového zásobníku. V současnosti jde o nejrozšířenější systém u vznětových motorů.

Palivo vstřikované do válce pod vysokým tlakem tvoří velké množství jemně rozprášených částic, následkem toho směs paliva se vzduchem lépe prohořívá. Toto má rozhodující vliv na dosažení vyšší účinnosti motoru, vyššího výkonu a točivého momentu, nižší hlučnosti a menších emisí, například pevných složek zplodin hoření. Další redukci zejména oxidů dusíku lze dosáhnout v kombinaci s dalšími technologiemi, například pomocí recirkulace výfukových plynů. Tlak paliva je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikovaném množství paliva, tlak je vždy dostatečný díky zásobníku tzv. railu. Místa vstřiku paliva a vytváření tlaku jsou plně oddělena. [1], [2], [3], [4]

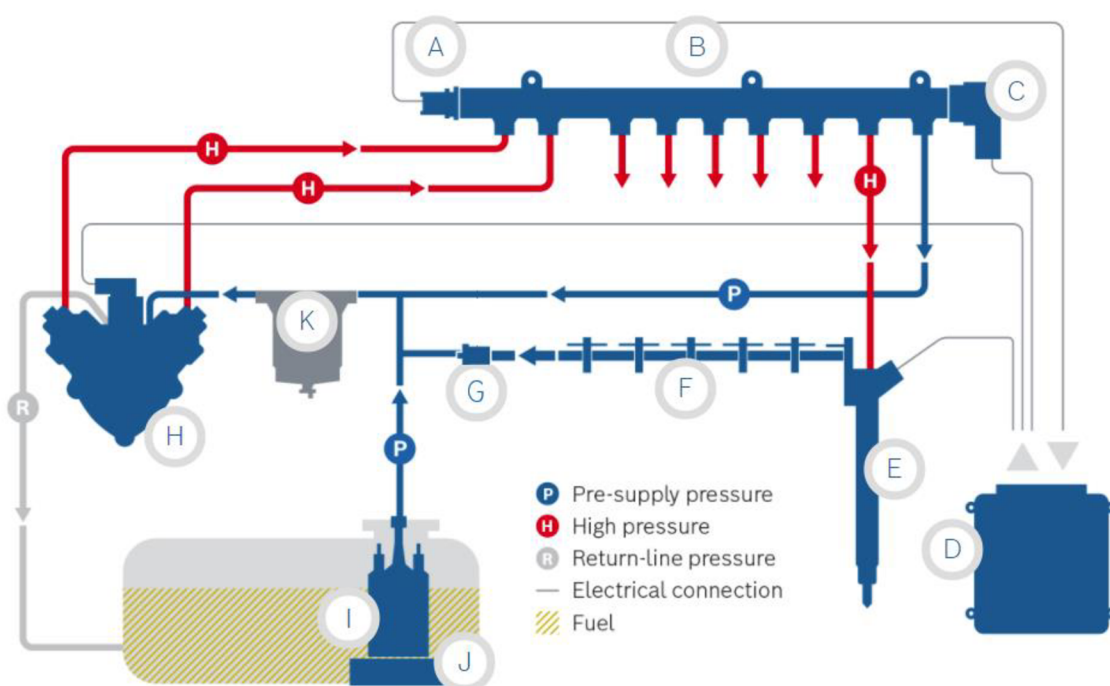
Systém je konstruován jako modulární a lze tedy, podle požadavku kombinovat jednotlivé prvky systému a aplikovat ho jak na osobní automobily, tak i na nákladní vozy a těžké pracovní stroje. [1]

První sériově vyráběný systém Common Rail byl společností Bosch uveden na trh v roce 1997. Systém odvozuje svůj název od vysokotlakého zásobníku „Common Rail“, který zásobuje palivem všechny válce. Právě tato funkce systém odlišuje od dřívějších systémů vstřikování. [1]



Obr 1 Znáznornění systému Common Rail [5]

Na obrázku 2 je znázorněno principiální schéma systému Common Rail. Princip činnosti je následující. Přefiltrované palivo z palivové nádrže je podáváno do vysokotlakého čerpadla CP (Common Rail pump), toto čerpadlo vytváří tlak paliva a dodává ho do vysokotlakého zásobníku Common Rail. Rail je osazen dalšími součástmi popsány dále v práci. Palivo je z railu rozvedeno k jednotlivým vstřikovačům pomocí vysokotlakého potrubí. Přebytečné palivo ze vstřikovačů a railu je vedeno pomocí nízkotlakého potrubí FRL (Fuel return line) zpět na vstup do vysokotlakého čerpadla. Přepad z čerpadla je veden do palivové nádrže. Celý systém je regulován pomocí elektronické řídicí jednotky, která zohledňuje signály, jako jsou poloha plynového pedálu, otáčky klikového hřídele a otáčky vačkového hřídele.



Obr 2 Principiální schéma systému Common Rail [2]

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| A - Tlakový snímač (RPS)               | G - Jednocestný ventil        |
| B - Rail (vysokotlaký zásobník paliva) | H - Vysokotlaké čerpadlo (CP) |
| C - Tlakový regulační ventil (PCV)     | I - Podávací čerpadlo         |
| D - Elektronická řídicí jednotka       | J - Hrubý filtr paliva        |
| E - Vstřikovač (CRI)                   | K - Jemný filtr paliva        |
| F - Vedení přebytečného paliva (FRL)   |                               |

### 2.1.1 Vysokotlaké čerpadlo CP

Nejmodernější konstrukcí vysokotlakého čerpadla pro aplikace do menších spalovacích motorů do výkonů 350 kW je čerpadlo CP4, to je zobrazeno v řezu na obrázku 3. Samotné čerpadlo má podle konstrukce jednu, nebo dvě vysokotlaké hlavy. V této hlavě probíhá tlakování paliva pomocí pístu poháněného vačkovým hřídelem. Vačkový hřídel odebírá výkon ze spalovacího motoru pomocí řemene, řetězu nebo ozubených kol. Regulaci dodávky množství paliva provádí řídicí jednotka na nízkotlaké části přívodu paliva do čerpadla. Mazání čerpadla je zajištěno samotným palivem, proto musí být palivo kvalitní. Například při malé kontaminaci benzínem může dojít k zadření čerpadla. Podle konfigurace je čerpadlo schopno zajistit tlak paliva 180 až 270 MPa. Čerpadla starších provedení CP1 a CP3 fungují obdobně. [6]

Při použití větších čerpadel CPN5/6 lze zásobovat palivem i spalovací motory do výkonu až 1000 kW. [7]

Všechny zmíněná čerpadla se vyrábí v závodě číslo 3 společnosti Bosch Diesel a například počet vyrobených kusů čerpadel CP 4, před celosvětovým poklesem hospodářství, činil 9 500 denně. [8]



Obr 3 Vysokotlaké čerpadlo CP4 [6]

### 2.1.2 Vstřikovač CRI

Vstřikovače CRI (Common Rail Injector) jsou trvale zásobovány palivem z railu přes vysokotlakou přípojku a pomocí piezoelektrického aktuátoru umožňují vstřikování paliva, tak jak je to v aktuální situaci optimální. Řídící jednotka řídí proces vstřikování přiváděním elektrického napětí na vrstvený piezoelektrický krystal, který tak mění svoji délku (o tisíce milimetrů) a uvede jehlu vstřikovače do pohybu. Takto lze vstřikovací cyklus rozdělit až na deset jednotlivých vstřiků, velmi krátká reakční doba umožňuje provádět malé předvstřiky. Tímto lze proces spalování značně zhrubodárnit, tedy snížit emise CO<sub>2</sub>, znečišťujících látek a hluku. Samotný vstřikovač je vyobrazený na obrázku 4. [2]

Přebytečné palivo proudí zpět do nízkotlakého rozvodu paliva pomocí systému zpětného vedení paliva FRL (Fuel Return Line).



Obr 4 Vstřikovač CRI [2]

## 2.2 Vysokotlaký zásobník – rail

Samotný zásobník je jednou z hlavních částí systému Common Rail, v principu jde o ocelovou tyč s dutinou, ve které dochází k akumulaci tlakového paliva. Tato dutina je na koncích uzavřena tlakovým snímačem a redukčním tlakovým ventilem, rail je opatřen vývody, z nichž je minimálně jeden vstupem tlakového paliva dodávaného vysokotlakým čerpadlem (CP) a další vývody jsou výstupem paliva ke vstřikovačům. [9]

Rail je vyráběn dvěma způsoby. První způsob výroby je z kovaného polotovaru a druhý způsob je pomocí svařování.

Bosch Diesel v jihlavských závodech vyrábí na 200 typů railů a ročně dosahuje výroby 2,5 milionu kusů. [8]

### 2.2.1 Rail HFR

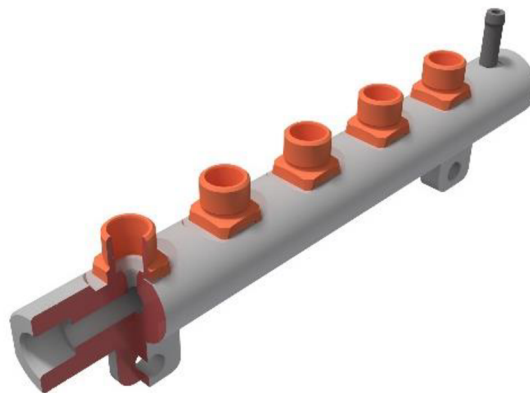
Základem pro výrobu Railu HFR (Hot Forged Rail), který je zobrazen na obrázku 5 je za tepla kovaný výkovek. Do polotovaru se vytváří průchozí vnitřní dutina, dále se obrábí vývody pro připojení vykotlaných potrubí a zhloubení se závity pro uložení tlakového snímače RPS a tlakového regulačního ventilu PCV. Na obrázku 5 je zobrazen rail v řezu určený pro šestiválcový spalovací motor, na koncích railu je uložený senzor RPS a ventil PCV.



Obr 5 HFR rail [9]

### 2.2.2 Rail LWR

Svařovaný rail LWR (Laser Welded Rail) (obr. 6), je svařencem tělesa railu, tedy obrobenej trubky s průchozím otvorem, vysokotlakých vývodů a patek, tyto držáky zajišťují pozdější uchycení ke spalovacímu motoru.



Obr 6 LWR rail [10]

## 2.2.3 Součásti osazované na raily

### 2.2.3.1 Tlakový snímač RPS

Snímač tlaku v railu RPS (Rail Pressure sensor) (obr. 7) nainstalovaný na vysokotlakém railu komunikuje s řídicí jednotkou. Měřené hodnoty slouží k regulaci tlaku v systému a ovládání vstřikovačů. [9]



Obr 7 Snímač tlaku RPS [9]

### 2.2.3.2 Tlakový regulační ventil PCV

Tlakový regulační ventil PCV (Pressure Control Valve) (obr. 8) nastavuje systémový tlak zásobníku paliva na základě povelů řídicí jednotky. Přebytečné palivo je odváděno zpět do nízkotlaké části rozvodu paliva. [9]

Denní výroba v Jihlavě dosahuje 16 000 kusů. Při rozsahu asi 80 typů.



Obr 8 Tlakový regulační ventil PCV [9]

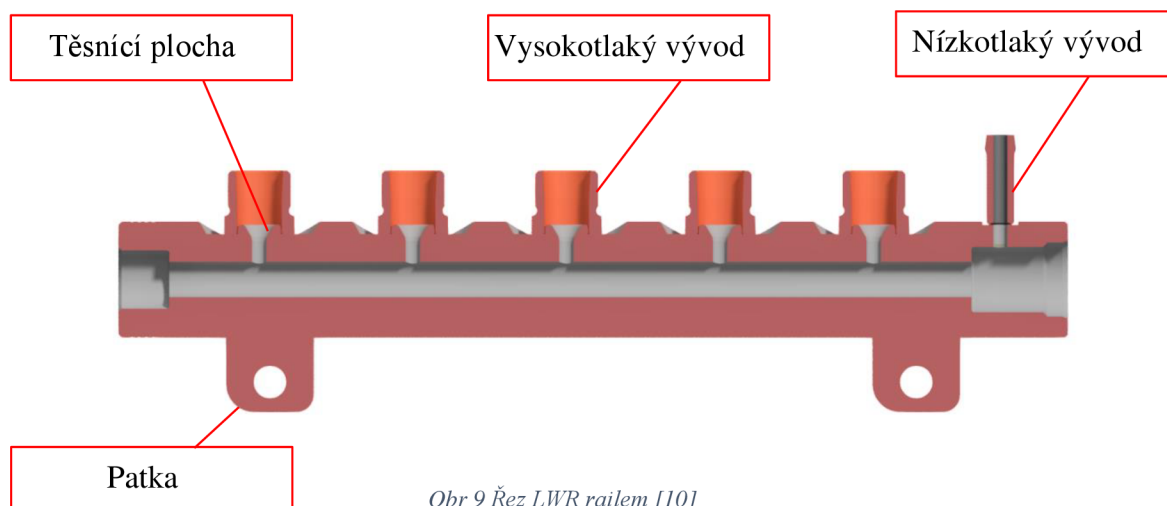


## 2.3 Analýza současného stavu pracoviště

V následující části je nejprve detailně popsán celý proces výroby LWR railu. V podkapitolách jsou blíže rozebrány operace, které přímo souvisí s cíli práce.

### 2.3.1 Popis výroby LWR railu

Základní součástí railu (obr. 9) je ocelová tyč s průchozí dírou a několika funkčními plochami, dle typu railu. Polotovarem pro výrobu této silnostěnné trubky je válcovaná ocelová tyč, která se nejprve hluboce vrtá, aby vznikla průchozí díra. Další třískové obrábění v axiální ose probíhá při tvorbě připojovacích rozměrů na obou koncích budoucího railu. Dále probíhá obrábění radiální, tedy vytvoření průchozích otvorů, kterými bude palivo proudit do vysokotlakých trubek směřujícím ke vstřikovačům. Součástí těchto děr je i kuželová plocha, která slouží jako těsnící. Další plochy tvořené při radiálním obrábění slouží k připojení vysokotlakých vývodů a jednoho nízkotlakého. Počet vývodů je dán typem railu, a vždy ho tvoří takový počet vývodů, kolik má motor válců, a dále jeden, nebo více vstupů od vysokotlakého čerpadla a většinou jeden nízkotlaký výstup. Po radiálním obrábění následuje kartáčování, které má za úkol odstranit ořepy po předchozích výrobních operacích.



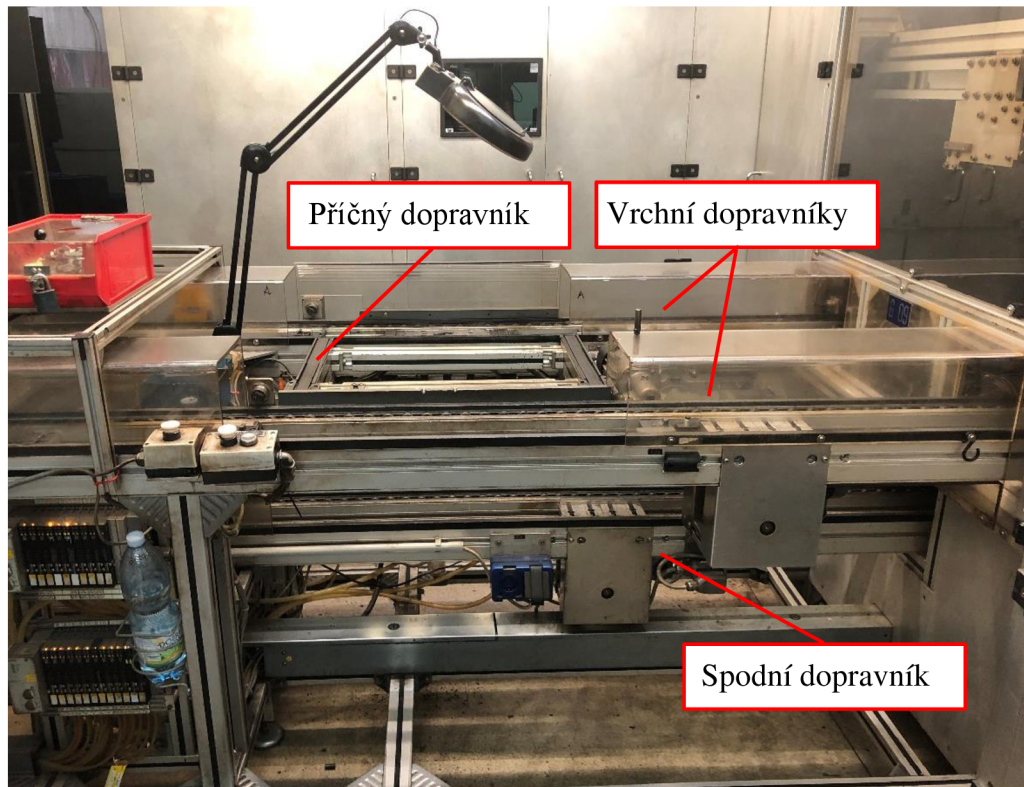
Další výrobní operace jsou již kompletující. Obrobené těleso railu se vkládá do paletky ve, které se pohybuje až do konce výroby. V paletce se rail dostává do pracoviště, kde automatizovaně dojde k přidání vývodů a patek (v němčině lasche). Při přiložení těchto prvků k tělesu dochází k částečnému přivaření pomocí laseru (tzv. heftování). Tato částečně svařená sestava je v paletce dopravena na řešené pracoviště, kde obsluha svařenec vizuálně zkontroluje a připraví na další operaci. Tyto úkony jsou detailněji popsány v následujících kapitolách.

Poté je svařenec v paletce odeslán do dalšího svařovacího pracoviště, kde již dochází ke konečnému pevnostnímu zavaření. Konečné svařování se provádí automatizovaně, metodou svařování laserem s přídavným materiálem v ochranné atmosféře oxidu uhličitého. Hotový svařenec se v paletce odesílá dále do procesu výroby.

### 2.3.2 Layout pracoviště

Pracoviště (obr. 10) je vymezeno na zhruba obdélníkovém půdorysu 2 x 2,5 m mezi stanovištěm pro provádění bodových svarů (heftování), které se nachází vpravo a stanovištěm pro provádění konečných pevnostních svarů, to je umístěno vlevo. Hlavní částí pracoviště jsou tři podélné řetězové dopravníky, které vedou mezi zmíněnými svářecími stanovišti. Dvě vrchní větve dopravníků dopravují paletky ve směru zprava do leva, a jsou na nich tedy dopravovány částečně svařené raily. Spodní větev dopravníku dopravuje již hotové svařence v opačném směru, tedy zleva doprava. Následující fotografie (obr. 10) zobrazuje současný stav pracoviště v celém rozsahu, fotografie je zachycena z pohledu obsluhy.

Obsluha pracoviště se nachází ve střední části dopravníku. Obsluha při práci stojí, případně sedí.



Obr 10 Fotografie současného stavu řešeného pracoviště

### 2.3.3 Popis pohybu paletky po pracovišti

Jak již bylo zmíněno paletky, které dopravují částečně svařené raily se pohybují po dvou vrchních větvích dopravníků zprava doleva a pomocí dorazů se zastavují ve střední části pracoviště a čekají na operace, které provádí obsluha. V případě, že se jedná o paletku pohybující se po dopravníku vzdálenějším od obsluhy, dochází ještě přiblížení této paletky pomocí příčného pásového dopravníku k pracovníkovi.

Po provedení požadovaných operací popsanych dále, vydá obsluha zmáčknutím tlačítka pokyn k uvolnění paletky a ta pokračuje vrchními větvemi dopravníku dále ve směru vlevo, tedy do pracoviště konečného svařování.

Po konečném svaření se paletka bez dalších operací na řešeném pracovišti vrací po spodní větvi dopravníku ve směru zleva doprava.

### 2.3.4 Popis průběhu kontroly railu LWR

Operace spočívá ve vizuální kontrole správnosti ustavení všech součástí částečně svařeného railu, tedy všech vývodů a lamel. Dále se kontrola soustředí na správné provedení bodovacích svarů. Tato kontrola probíhá ručně po vyjmutí railu z paletky, pracovník má k dispozici lupu na detailní kontrolu svarů.

### 2.3.5 Popis krytkování vývodů

V případě kladného výsledku vizuální kontroly obsluha provede zakrytkování vývodů railu, pomocí připravených krytek. Krytky odpovídají velikosti vývodů a jsou magnetické, magnetismus zajistí, aby při konečném svařování nedošlo ke ztrátě krytky. Některé typy krytek pro nízkotlaký vývod jsou vyrobeny z plastového materiálu, proti ztrátě je krytka zajištěna mírným přesahem po nasazení na vývod.

Krytkování se provádí za účelem předcházení vzniku poškození na těsnicích plochách vysokotlakých vývodů (zobrazeno na obr. 9). Toto nežádoucí poškození by mohlo vzniknout při odletu materiálu z tavné lázně při svařování, případně při další manipulaci s railem.

### 3 Cíl práce

Hlavním cílem práce je rekonstruovat pracovní stanici pro vizuální kontrolu railů, tak aby došlo k plné automatizaci výrobního procesu. Tedy, že za pomoci strojového vidění dojde ke kontrole správného usazení a částečného svaření všech částí LWR railu a následně dojde k robotickému zakrytkování všech jeho vývodů.

Ke splnění tohoto hlavního cíle přispějí následující dílčí cíle:

- Prvním cílem je popsání funkce pracoviště jako celku.
- Druhým cílem je pro předem dané robotické rameno zkonstruovat uchopovací uzel (tzv. griper), který bude zajišťovat přesouvání railu mezi jednotlivými operacemi v rámci řešeného pracoviště. Součástí cíle je také navrhnout vhodné ustavení robota.
- Třetím cílem je zajistit pracoviště z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. A to nejenom vzhledem k ochraně pracovníků, ale také k zabezpečení proti poškození pracoviště v případě vzniku poruchy.
- Čtvrtým cílem je technické a finanční zhodnocení. V rámci tohoto cíle je i navržení způsobu údržby částí pracoviště, které jsou uvedeny v předchozích dvou cílech.

## 4 Metodika práce

Aby bylo dosaženo stanovených cílů a připravena metodika je třeba respektovat požadavky zadání konstrukce, kterými jsou:

- Pracoviště musí být plně automatizováno a obsluhováno pouze při seřizování a údržbě. Při poruše některé z částí pracoviště je nutné, aby bylo možné pracoviště využívat i manuálně za pomoci obsluhy.
- Do okolních pracovišť pro částečné a konečné svařování nesmí být zasahováno. Dále musí být zachován průchod v zadní části layoutu sloužící údržbě.
- Při řešení musí být zachováno současné rozložení řetězových dopravníků a jejich pohonů. Celé řešení by mělo být vloženo mezi dvě vrchní větve zmíněných dopravníků, pokud je to možné.
- Při konstrukci musí být řešena bezpečnost zaměstnanců, kteří se budou pohybovat v okolí automatizovaného pracoviště. Do blízkosti zařízení se nesmí dostat nepovolaná osoba.
- Dále je třeba zajistit bezpečnost samotného zařízení při výpadku dodávky elektrické energie, nebo tlakového vzduchu.
- Z hlediska finančního je třeba dodržet podmínku, aby investice vložená do automatizace dosáhla návratnosti do dvou let provozu.

Prvního cíle bude dosaženo podrobným popisem celkové funkce řešeného pracoviště, tento popis bude dokreslen vizualizacemi z modelovacího počítačového programu Autodesk Inventor.

V případě druhého cíle, tedy řešení uchopování railů a ustavení robota, budou nejprve nastíněny možnosti řešení. Dále bude vybráno konkrétní vhodné řešení, které bude detailně rozpracováno. Postup bude mimo vizualizací dále doplněn technickou dokumentací. Tato dokumentace bude v podobě výrobních a sestavných výkresů.

Pro třetí cíl, který se obecně zabývá zabezpečením pracoviště bude použito identického postupu jako v předchozím případě druhého cíle.

Čtvrtý cíl se zabývá hlavně finančním zhodnocením, které bude provedeno porovnáním výše nákladů vynaložených na zhotovení pracoviště a výše nákladů ušetřených nahrazením obsluhy po dobu určeného času návratnosti investice. Současně bude realizováno krátce technické zhodnocení a návrh údržby.

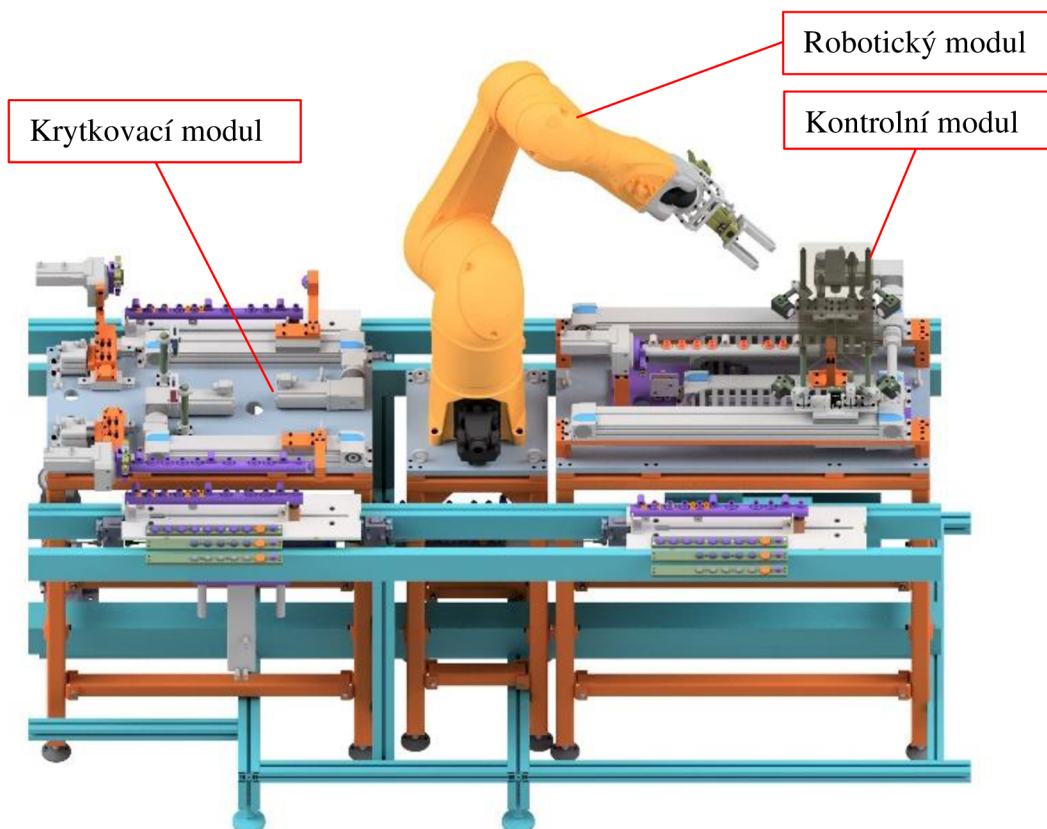
## 5 Výsledky

V kapitole cíl práce bylo uvedeno, že vzhledem k rozsahu řešené automatizace je nutné určit dílčí cíle, kterých má být v práci dosaženo. V první podkapitole je splněn cíl jedna, tedy popis celkové funkce nově zkonstruovaného pracoviště, a dále jsou uvedeny možnosti řešení cílů dva a tři. Další podkapitoly svým číslem odpovídají pořadí cílů.

### 5.1 Dané skutečnosti a celkové řešení

Před samotným detailním řešením automatizace byl základní koncept pracoviště, který spočívá v rozdělení pracoviště na jednotlivé moduly a použití průmyslového robota (obr. 11), ověřen projektovým vedoucím. Reálnou zkouškou byl odhadnut takt budoucího pracoviště a stejně tak byla ověřena funkce strojového vidění. Proto se další postup řešení drží těchto daných základů.

Pro automatizované pracoviště byl vybrán šestiosý průmyslový robot Stäubli TX2-90L (obr. 12). Tento typ robota s prodlouženým ramenem, umístěný do středu pracoviště dokáže pokrýt celou jeho plochu. Důvod pro využití robota je jednodušší a levnější řešení než při využití manipulátorů.



Obr 11 Pohled na automatizované pracoviště [10]

Specifikace průmyslového robota Stäubli TX2-90L:

Maximální zatížení: 12 kg

Nominální zatížení: 5 kg

Dosah (mezi osou 1 a 6): 1200 mm

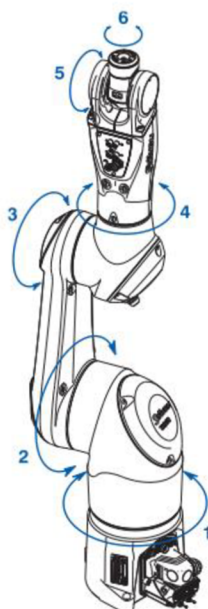
Přesnost opakování:  $\pm 0,035$  mm

Hmotnost: 117 kg

Rychlost otáčení os [°/s] (osa 1 až 6): 345; 340; 420; 540; 475; 760 (obr. 13). [11]



Obr 12 Robot Stäubli TX2-90L [8]



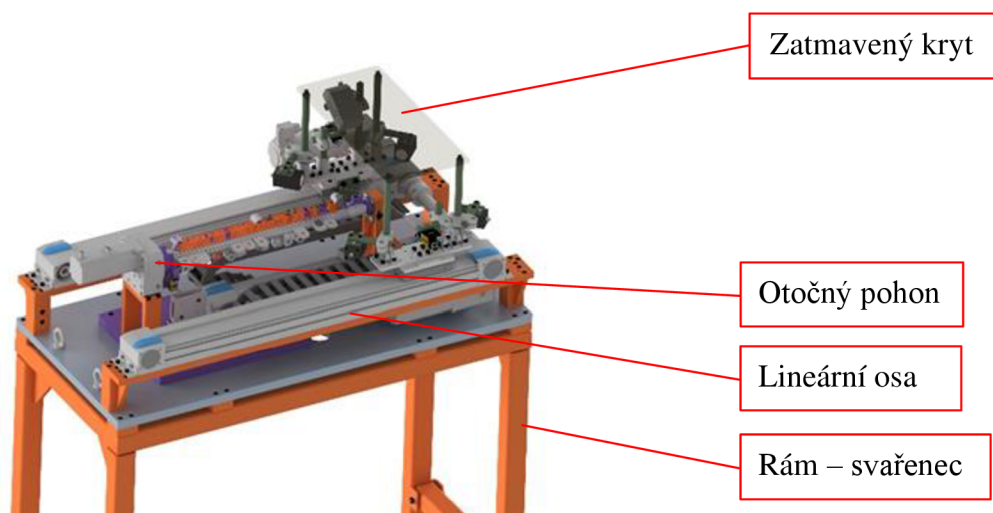
Obr 13 Stäubli TX2-90L zobrazení os [8]

Celkové řešení bylo určeno tak, že průmyslový šestiosý robot bude uchopovat raily z paletek zastavených pneumatickými dorazy u modulu kontroly na obou horních větvích dopravníků a vkládat je do tohoto kontrolního modulu. Funkce je navržena tak, aby strojová kontrola a krytkování probíhalo paralelně. V průběhu kontroly, tedy robot krytkuje vývody railu v modulu na opačné straně pracoviště.

Rozložení prvků pracoviště je patrné z hlavního sestavného výkresu (příloha 1).

Kontrolní modul (obr.14) pracuje následovně. Robot vloží rail do programem určené pozice a lineární osa, která je v modulu obsažena sevře rail na obou koncích pomocí kuželových dotyků. V tuto chvíli robot pouští rail. Jeden z dotyků je pevný a druhý posuvný z důvodu obsažení všech délek railů. K nastavení railu do referenční polohy slouží člen, který tuto polohu nastaví sevřením dvou plošek na koci railu. Tento konec je vždy vložen k pevnému dotyku. Modul umožňuje rotaci railů kolem podélné osy, a to z důvodu zajištění kontroly všech požadovaných typů railu, každý typ má jiné umístění částí určených ke kontrole.

Celá sestava strojového vidění je umístěna na dvou pohyblivých řemenových osách Festo EGC-80-600-TB-KF-0H-GK. Příklad funkce strojového vidění je uveden v následující podkapitole. Modul dále obsahuje čtečku DMC kódu, která slouží k ověřování typu vyráběného railu.

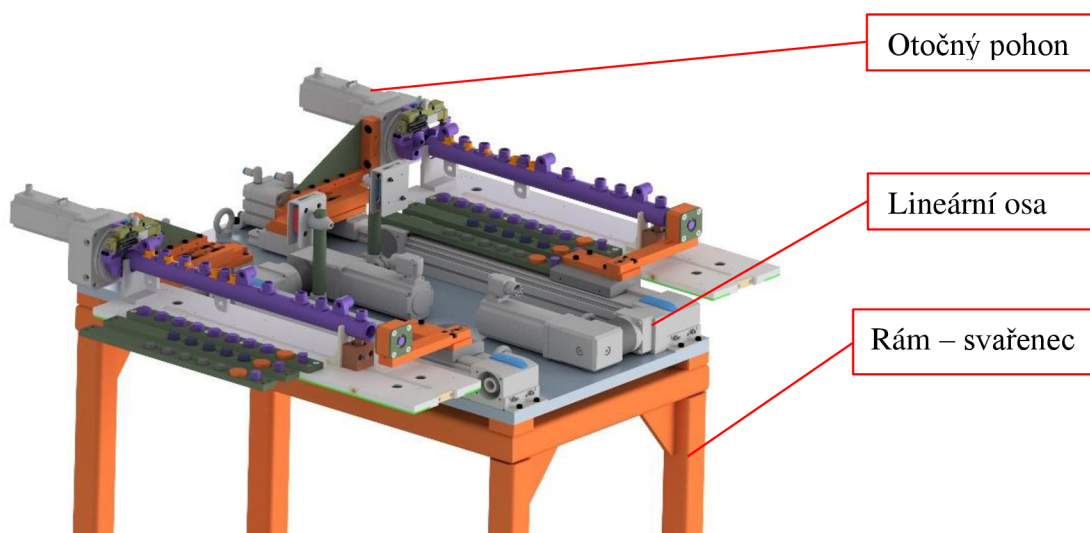


Obr 14 Kontrolní modul

Po dokončení kamerové kontroly robot vyjme rail z kontrolního modulu a přemístí jej zpět do paletky na dopravníku. Paletka se poté pohybuje kolem robota dále ke krytkovacímu modulu (obr.15) a zastavuje se na dalším dorazu. Po zastavení se celá paletka zvedne za pomoci pneumatického válce, který je vložen pod dopravníkem. Tímto pohybem se rail dostane do osy kuželových hrotů, které fungují na stejném principu jako v kontrolním modulu. Krytkovací modul obsahuje dvě místa pro krytkování. Tímto se zajistí zásoba pro svařování.



Pro zajištění rotace railu při krytkování, pneumatický válec navrácí paletku do spodní polohy. Dále robot odebrává krytky připravené v blistru na paletce a krytuje vývody. Po dokončení operace se rail otáčí do výchozí polohy, paletka se znovu zvedá a dochází k založení railu. Tímto je požadovaný proces dokončen, paletka se vrací na dopravník a po uvolnění pneumatického dorazu pokračuje směrem vlevo na operaci konečného svaření.



Obr 15 Krytkovací modul

V případě, že rail při kontrole nevyhoví je tato informace zaznamenána a takovýto rail bude vložen zpět do paletky, ale nebude zakrytkován. Ovšem pokračuje po stejném dopravníku, jako vyhovující kusy a přes pracoviště konečného svařování pokračuje dále do procesu, kdy bude obsluhou jednotlivě rozhodnuto o skutečném stavu railu.

Po konečném svaření se paletky přesouvají po spodní větvi dopravníku k dalším výrobním procesům, jako jsou antikorozi úpravy a balení pro odeslání k zákazníkovi.

Po detailním popsání funkce je třeba uvést jaký bude mít budoucí pracoviště takt. Vzhledem k počtu typů railů a jejich značné odlišnosti je takt pouze odhadnut za použití railu, který lze určit jako průměrný, byl tedy využit rail s celkem šesti vývody, kdy 4 vysokotlaké vývody vedou ke vstřikovačům, jeden je vstupním od vysokotlakého čerpadla a poslední je nízkotlaký. K reálné zkoušce byl použit robot stejného typu a univerzálních čelistí uchopovače vyrobených pomocí 3D tisku.

V následující tabulce jsou zaznamenány časy úkonů robota při jednom pracovním cyklu.

Tabulka 1 Odhad taktu automatizovaného pracoviště

Činnost	Čas (s)	Poznámka
Přejezd paletky	0	Překrytý čas
Zdvih paletky	0	Překrytý čas
Přejezd ramene od krytkování ke kontrole	2,5	Kontrola dokončena
Upnutí rail	0,4	
Přejezd nad paletku 1 u kontrolního modulu	1,5	Založení do paletky
Rozepnutí uchopovače (odložení railu)	0,4	
Přejezd nad paletku 2 u kontrolního modulu	1,5	Vyjmutí z paletky
Upnutí railu	0,4	
Přejezd do pozice kontroly	1,5	Založení do kont. pozice
Rozepnutí uchopovače (odložení railu)	0,4	
Přejezd ramene od kontroly ke krytkování	2,5	
Upnutí krytky	0,4	Vyjmutí krytky z blistru
Přejezd do pozice krytky a nasazení	1	
Rozepnutí gripperu (odložení krytky)	0,4	
Přejezd k zásobníku krytek (blistru)	1	5x
Upnutí krytky	0,4	
Přejezd do pozice krytky a nasazení	1	
Rozepnutí gripperu (odložení krytky)	0,4	
Přejezd ramene od krytkování do pozice kontroly	0	
<b>CELKEM</b>	<b>26,9</b>	Další cyklus

Celkový takt pracoviště, tedy 26,6 sekund a je nižší, než je doba potřebná ke svaření railu s největšími nároky na čas svařování v následujícím pracovišti. Tento čas je 33 sekund. Ke zpomalení linky nedojde, a proto odhadnutý čas vyhovuje. Při realizaci je možné dosáhnout zlepšení taktu, bude použito ocelových čelistí (snížení času upnutí) a optimalizací rychlosti pohybu robota, podle typu vyráběného railu v závislosti na dynamickém namáhání při pohybu robota

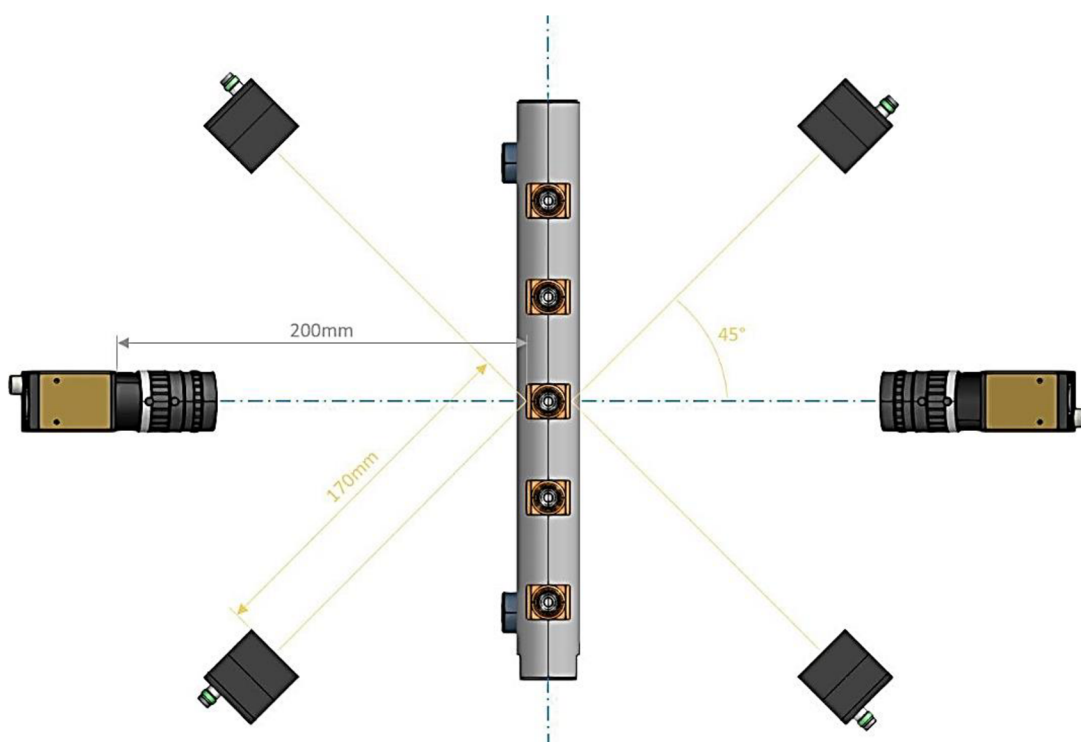
### 5.1.1 Strojové vidění

Strojové vidění je moderní, rozvíjející se alternativou kontroly ve výrobních procesech. Tato technologie dokáže nahradit při rozhodování člověka a v reálném čase řešit určený problém. Dochází k zefektivnění výroby a v závislosti na aplikaci lze dosáhnout například kontroly veškeré produkce.

Obecný princip strojového vidění se v zásadě podobá lidskému rozhodování, tedy, že dochází o obrazovému nasnímání kontrolovaného objektu a následnému rozhodnutí, které je výsledkem speciálně sestaveného algoritmu. Snímané objekty mohou být dvourozměrné, ale i trojrozměrné. Při snímání kontury bývá tento objekt podsvícen. V případě snímání povrchu je třeba tento povrch nasvítit použitím vhodného přisvěcovacího prostředku, rozhodujícími vlastnostmi jsou vlnová délka úhel odrazu světla. [12], [13],

Pro realizaci naší práce, tedy kontroly správného ustavení součástí LWR railu a částečných svarů, byl předem vyzkoušen systém strojového vidění skládající se ze dvou kamer Cognex CAM-CIC-5000-20-G, tyto kamery jsou umístěny proti sobě a vždy zajišťují kontrolu ustavení a svarů z obou stran vývodu, nebo patky. K těmto kamerám jsou přidány čtyři bodová světla Smart View SP-26, ty mají za úkol na snímané plochy přisvěcovat.

Na obrázku 16 je zachyceno rozložení kamer a bodových světel v kontrolním modulu.

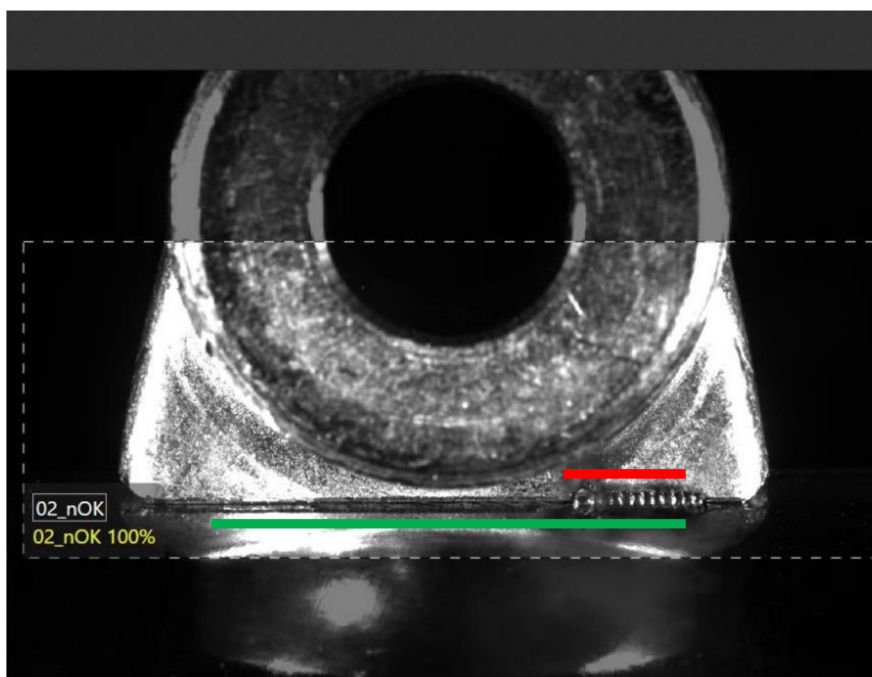


Obr 16 Rozložení kamer a světel – půdorys [10]

Rozložení prvků je možné měnit, díky uložení těchto prvků na kloubový systém. Změnu polohy a úhlu kamer a bodových světél lze provést nezávisle na sobě.

Na následující fotografii (obr. 17) je uveden záběr z reálné zkoušky strojového vidění, kamera konkrétně sleduje jednu z patek railu. Červená čára koresponduje s délkou laserového svaru, který je pod čarou dobře patrný. Svar je kvalitativně proveden správně, ale délka nedosahuje předepsané hodnoty, tato správná délka je naznačena zelenou čarou. Z tohoto důvodu by byla taková kontrola vyhodnocena jako nevyhovující. Výsledek kontroly je předán dále do procesu výroby. Tato informace je zanesena do RFDI čipu, který je osazen na všech paletkách. Nevyhovující kusy jsou překontrolovány obsluhou.

Tento zvolený kontrolní systém má schopnost strojového učení, proto ruční opravou případně špatně vyhodnocených kusů bude docházet k postupnému zlepšování rozlišovacích schopností.



Obr 17 Záběry strojového vidění [10]

## 5.1.2 Návrh řešení konkrétních sestav

### 5.1.2.1 Možnosti uchopování

Uzel robota pro uchopování lze řešit více variantami. Pro uchopování railů a krytek by bylo možné využití mechanických paralelních uchopovačů (obr. 18), nebo elektromagnetických uchopovačů (obr. 19). To platí i v případě uchopování krytek, zde je dále teoreticky možné využití i vakuového uchopování (obr. 20).



Obr 18 Paralelní uchopovač SCHUNK [14]



Obr 19 Magnetický uchopovač SMC [15]



Obr 20 Vakuový uchopovač Schmalz (3D tisk) [16]

### 5.1.2.2 Uchopování krytek

Mimo zmíněné technologie uchopování, je zde také možnost uchopování jedné, nebo více krytek najednou.

Uchopování krytek probíhá odebíráním z blistrů, tyto blistry by mohla do pracoviště dodávat obsluha pomocí spádových dopravníků. Další možností je úprava paletek takovým způsobem, aby bylo možné spolu s railem na pracoviště dopravovat i krytky.



*Obr 21 Magnetická krytka vysokotlakého vývodu [10]*

Při návrhu je třeba zohlednit, že krytky, které budou použity mají různé průměry a jsou také z různých materiálů. Krytky nízkotlakých vývodů jsou vyrobeny z plastu. Na obrázku 21 je uvedena ocelová magnetická krytka používaná na vysokotlaké vývody se závitem M18.

### 5.1.2.3 Návrh ustavení robota

Ustavení robota je možné provést na samostatném rámu, nebo na rámu společném pro více prvků řešeného pracoviště. Obvyklé je použití rámu svařovaných a rámu šroubovaných z ocelových konstrukčních profilů, případně při menších aplikacích z duralových profilů

V případě, že je rám z oceli je třeba provést antikorozi úpravy.

## 5.2 Konstrukce vybraných řešení

Konstrukční práce jsou prováděny v počítačovém programu Autodesk Inventor. Pro podporu této práce je využita technická literatura. [17], [18] Stejně tak je tomu při tvorbě technické dokumentace. [19], [20], [21]

### 5.2.1 Uchopovací uzel robota

Pro uchopování railů je vybráno řešení pomocí mechanického paralelního uchopovače. A to z následujících důvodů. Paralelní chapadlo s čelistmi dokáže vyvinout dostatečnou svírací sílu pro bezpečné přesunutí railu, a to i při zrychlení robotického ramene. Dále je při přesunu railů z paletek do stolic a zpět zajištěno přesné ustavení. Důležité je i hledisko bezpečnosti. V případě poruchy, výpadku elektrické energie, nebo tlakového vzduchu, potřebného pro uchopování, lze pomocí vhodného výběru uchopovače zajistit, aby nedošlo k okamžitému uvolnění čelistí a následnému pádu railu na prvky pracoviště.

Zvolený uchopovač typu **PGN-plus 100-1-AS** (obr. 22) od výrobce Schunk, má následující hlavní specifikace.

Zdvih na jednu čelist 10 mm

Zavírací síla 900 N

Jmenovitý provozní tlak 6 bar

Přípustná délka prstu 135 mm

Přípustná axiální síla 2000 N

Doporučená hmotnost výrobku 3,3 kg

Doporučená hmotnost výrobku je při silovém uchopování vypočítána se součinitelem statického třetí 0,1 a bezpečnostním faktorem 2 proti vyklouznutí obrobku při zrychlení. V případě tvarového nebo silového uchopování jsou přípustné i významně vyšší hmotnosti obrobku. Tato hmotnost vyhovuje pro manipulaci se všemi typy railů. [22]

Tento typ uchopovače je vybaven systémem pro udržování uchopovací síly při výpadku pracovního média.



Obr 22 Paralelní uchopovač Schunk PGN-plus-100-1-AS [22]

### 5.2.2 Konstrukce čelistí pro uchopování railů

Čelisti (obr. 23) pro uchopování jsou konstruovány jako dvojité, pro zabránění případnému potočení railu, při zrychlování robotického ramene. Dále jsou řešeny tak, aby byl rail uchopován pomocí tvarového styku, tím je bezpečnost proti uvolnění při práci plně zajištěna.

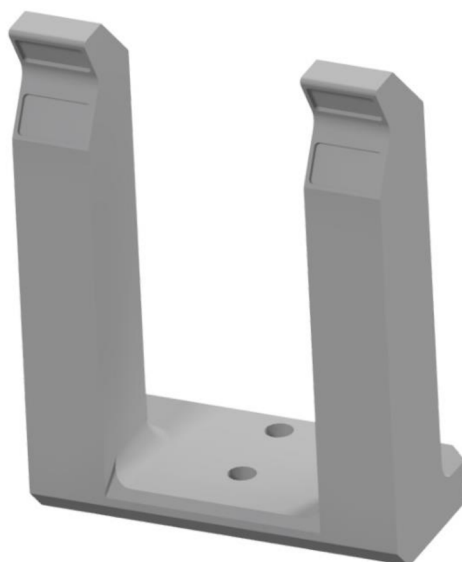
Samotná dotyková část je vyložena na délku 105 mm, tímto je zajištěna dostatečná vzdálenost proti kolizi s částmi všech typů railů, zároveň je dodržena maximální délka vyložení pro zamezení vzniku nadměrného ohybového momentu, který by působil na uchopovač. V dotykové části jsou dále vloženy destičky z tvrdého plastu (Vulkollan), které mají zajistit šetrný dotyk s railem a zabránit tak vzniku povrchového poškození railu.

Pro výrobu čelistí je volena nízkolegovaná konstrukční ocel ČSN 14 220 (DIN 16 MnCr), čelisti jsou dále cementovány a povrchově kaleny pro zajištění povrchové tvrdosti.

Pevnost navrženého tvaru je zkontrolována pomocí programu Autodesk Inventor. Pevnost je kontrolována u celkové sestavy uchopovacího uzlu jednoduchou statickou analýzou pomocí metody konečných prvků (obr. 26 a 27). Tvar čelistí vychází z obdobných aplikací v rámci společnosti Bosch Diesel.

Uchycení k aktuátoru je realizováno pomocí dvou centrovacích kroužků o průměru 10 mm a dvou šroubů M6.

Výrobní výkres čelistí je uveden v příloze 11.



*Obr 23 Čelist s optimalizovaným tvarem pro uchopování railu*



### 5.2.3 Konstrukce čelistí pro uchopování krytek

Při výběru variant bylo přihlédnuto ke skutečnosti, že čas taktu 33 sekund je závislý na čase svařování. Protože tento čas nelze zkrátit není nutné provádět krytkování railů zvláště rychle. Proto byla vybrána nejjednodušší varianta uchopování krytek, tedy jako u railů pomocí mechanického paralelního uchopovače. Pro další zjednodušení, například řešení rozvádění tlakového vzduchu a nutnosti držení náhradních dílů. Byl volen také identický typ aktuátoru, tedy uchopovač typu **PGN-plus 100-1-AS**. Uchopování krytek bude probíhat jednotlivě, z důvodu dostatečné časové rezervy. Dalším důvodem pro ponechání většího uchopovače je zachování dynamiky svírání krytek.

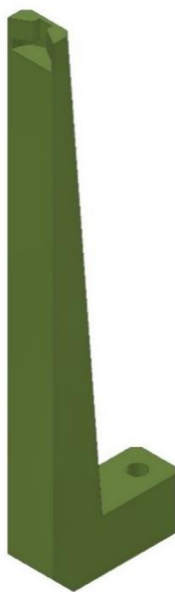
Pro odebrání krytek byla zvolena varianta odebrání krytek z blistru na paletce. Tyto blistry budou plněny manuálně za začátku výrobní linky.

Čelist (obr. 24) je opět konstruována pro uchopování tvarovým stykem, vyložení je 180 mm, ovšem vzhledem k minimální svírací síle toto není na závadu (snížení tlaku vzduchu). Konkrétní hodnota tlaku bude určena až při uvádění pracoviště do provozu.

Čelisti jsou konstruovány z korozi-vzdorné oceli ČSN 17 618 (W.Nr. 1.4301), (DIN X 12 Mn 12) a to vzhledem k tomu, že tato ocel není silně feromagnetická a magnetické krytky přenesené na vývody, tedy setrvávají na určeném místě.

Uchycení k aktuátoru je jako v předchozím případě realizováno pomocí dvou centrovacích kroužků o průměru 10 mm a dvou šroubů M6.

Výrobní výkres čelisti je uveden v příloze 11.



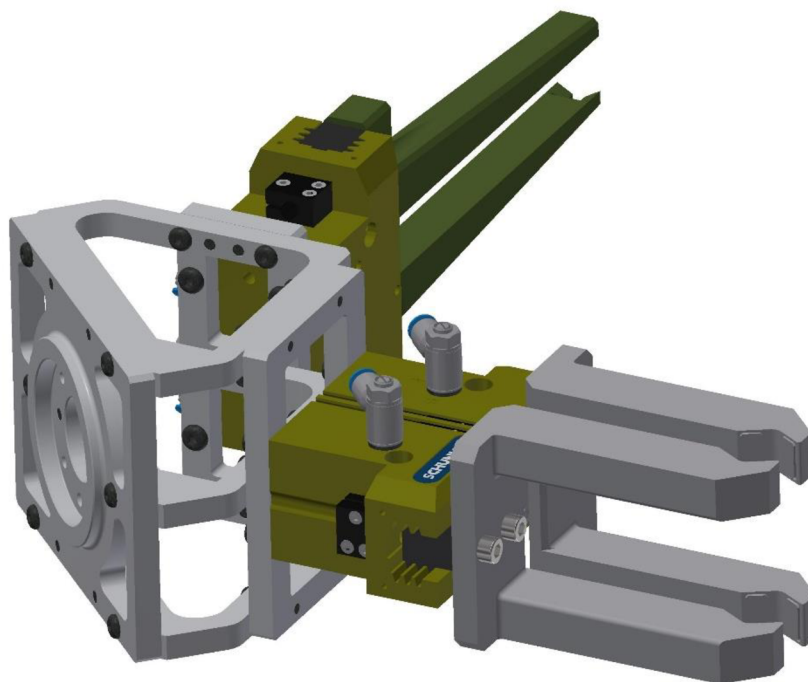
Obr 24 Čelist pro uchopování krytek

#### 5.2.4 Konstrukce základny pro uchycení uzlu na robota

Základna je řešena tak, aby umožňovala použití robota k přenášení railů a zároveň ke krytkování. Pro zajištění co nejnižší hmotnosti uchopovacího uzlu (obr. 25) jsou jednotlivé díly odlehčené a jsou frézovány z duralu. Jednotlivé díly jsou sestaveny pomocí šroubů ISO 7380 M5 x 20 mm a vzájemná poloha jednotlivých součástí je pojištěna válcovými kolíky ISO 8734 5 x 14 mm. Uchopovače jsou připojeny pomocí šroubů a centrovacích kroužků.

Hlavní část základny je opatřena normalizovaným tvarem za účelem uchycení sestavy k robotickému rameni. Tato připojovací plocha je vnitřní průměr 80 mm a je lícován v tolerančním poli H7.

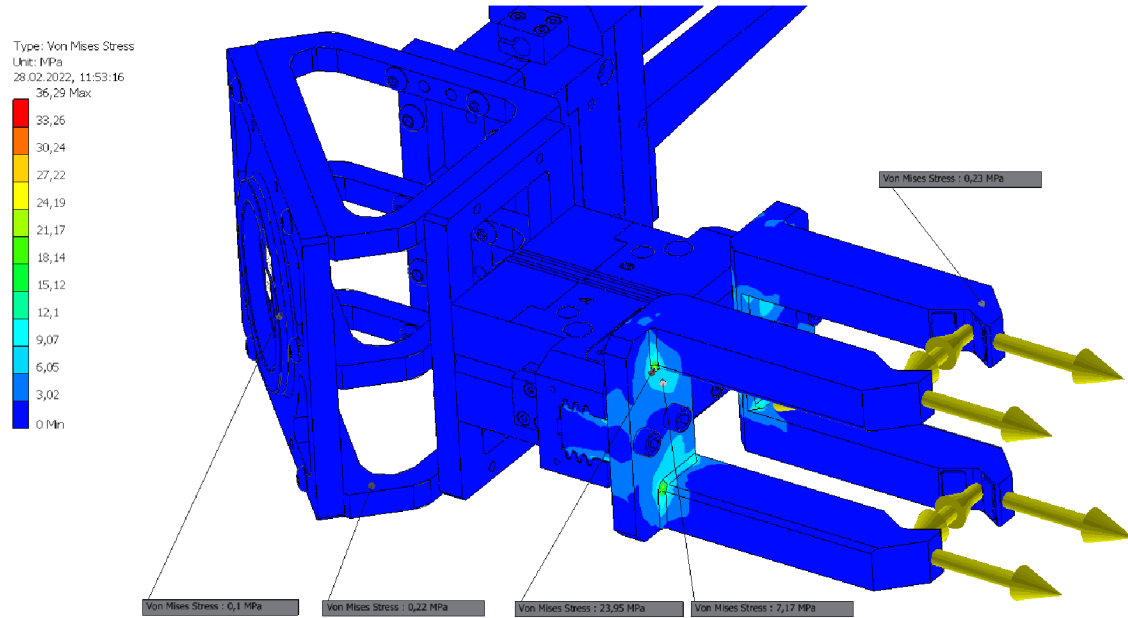
Sestavný výkres uchopovacího uzlu a jednotlivé výrobní výkresy jsou uvedeny v přílohách 6 až 12.



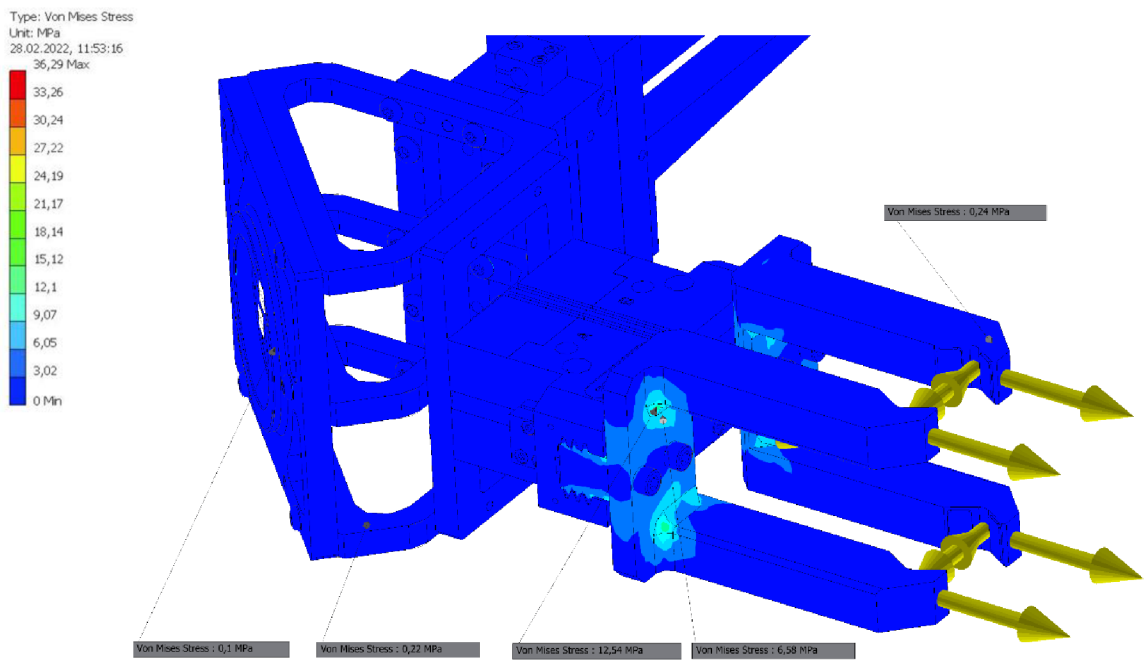
Obr 25 Uchopovací uzel

Následuje znázornění jednoduché statické analýzy provedené na celou sestavu uchopovacího uzlu. Při analýze (obr. 26) byl zjištěn koncentrátor napětí v místě kde se sbíhají plochy základny a vyložení čelisti, toto napětí dosahuje hodnoty 24 MPa. Proto byl tvar optimalizován zvětšením zaoblení z velikost R2 na R5, tímto zásahem se napětí snížilo na hodnotu 12,59 MPa (obr. 27), tedy zhruba na polovinu. Součinitel bezpečnosti zjištěný analýzou má minimální hodnotu 15, z tohoto a předchozích zkušeností s podobnými systémy uchopování, lze odhadnout, že dynamické namáhání vzniklé při zrychlování robota bude odlehčenou základnou bezpečně přeneseno.

Nastavení použité pro analýzu je následující, fixní vazba je umístěna na ploše základny určené ke slícování s robotem. Pevnostní kontrola se soustředí na část uchopující rail. Na tuto část se uvažuje s tíhovým zrychlením a hmotností nejtěžšího vyráběného railu, ta činí 3 kg. Na samotné čelisti jsou vloženy síly působící při svírání railu, při maximálním nastaveném tlaku vzduchu, tedy 6 bar. Tato síla byla odečtena z grafu, který uvádí výrobce. [22]



Obr 26 Kontrolní statická analýza MKP



Obr 27 Analýza MKP po optimalizaci tvaru

### 5.2.5 Ustavení robota

Při uložení robota na rám společný pro další moduly řešeného pracoviště by mohlo docházet k přenosům rázů a vibrací, tyto vlivy by zvláště pro kamerovou kontrolu byli velmi nežádoucí. Pro zamezení tomuto možnému problému je voleno řešení pomocí zvláštního rámu pouze pro robota. Nejlepší možností by byl rám konstruovaný jako celkový svařenec, ale z důvodu požadavku na layout pracoviště, tedy nezasahování do řetězových dopravníků, je z části řešen jako svařenec, který bude při realizaci vložen do pracoviště z vrchu a další část bude na místě zajištěna pomocí šroubových spojení.

Rám (obr. 28) je svařen z uzavřených konstrukčních profilů čtvercového průřezu o rozměrech 50 x 50 mm a tloušťkou stěny 5 mm. Části, které se přiloží po vložení rámu do layoutu pracoviště jsou sešroubované šrouby M8 k ohýbaným sponám navařeným k nohám rámu. Po svaření je opatřen antikoročním nátěrem.

Vyrovnaní rámu do vodorovné polohy lze provést pomocí čtyř stavitelných noh. Ty jsou po nastavení ukotveny k podlaze.

Sestavný výkres rámu robota a jednotlivé výrobní výkresy jsou uvedeny v příloze číslo 2 až 5.



*Obr 28 Rám pro ustavení robota*

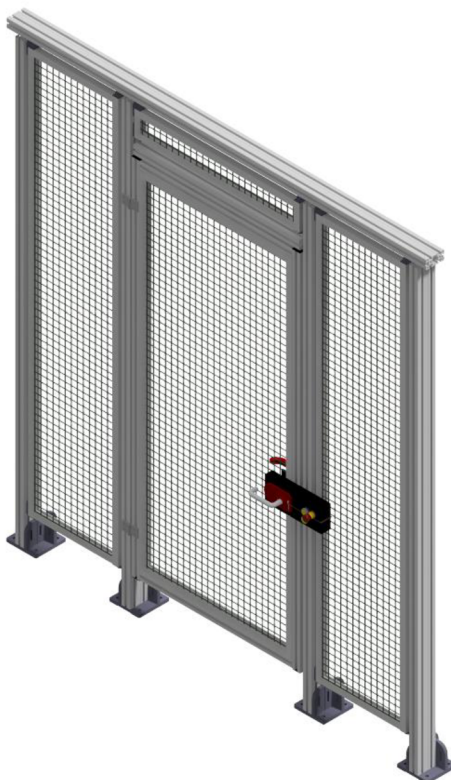
### 5.3 Zajištění bezpečnosti

Jak již bylo uvedeno, bezpečnost samotných prvků pracoviště je řešena pomocí zvolených uchopovačů, které zajišťují, že v případě výpadku dodávky tlakového vzduchu nedojde k pádu přenášeného railu na pracoviště.

Pro zamezení vstupu nepovolaných osob je pracoviště z přední části vybaveno oplocením. Toto oplocení (obr. 29) je vysoké 2,2 m a je sestaveno z duralových profilů Rexroth, v rámech z profilů je vloženo pletivo ze silného drátu. Samotný rám je tvořen z profilů 90 x 45 mm a vnitřní obdélníkové části jsou z profilů 30 x 30 mm s tvarem kapsy, do které se vkládá zmíněné pletivo. V tomto oplocení jsou ve střední části umístěné dveře o šířce 0,8 m, dveře jsou konstruovány shodným předešlým způsobem. Dveře jsou jištěny elektronickým zámkem Euchner MGB-L1HE-ARA-L-121243 (západka jištěna pružinou, odjištění pomocí elektromagnetu). Toto řešení umožňuje vstup pracovníků při údržbě a seřizování pracoviště. Samotný zámek zajistí zastavení robota a ostatních prvků při otevření dveří. Zároveň disponuje tlačítkem k nouzovému zastavení pracoviště.

Ukotvení oplocení k zemi je řešeno pomocí konzol Rexroth. 150 x 150 mm.

Umístění oplocení je patrné v celkovém sestavném výkrese, tedy příloze č. 1 a samotný sestavný výkres oplocení v příloze č. 13.



Obr 29 Oplocení pracoviště

Při řešení zamezení vstupu v zadní části pracoviště není možné použití oplocení a dveří jako v předchozím případě. V tomto případě by totiž došlo k přílišnému zmenšení průřezu uličky, to by bylo v rozporu s uvedenými požadavky.

Řešením je použití laserového prostorového skeneru SICK MICS3-AAAZXXAZ1P01, tento skener (obr. 30) zajistí vypnutí pracoviště v případě vstupu osoby do určeného pole. Dosah ochranného pole je 5,5 m a rozsah varovného pole je 40 m, a to v úhlu skenování 275°. Tento skener dokáže pracoviště pouze zpomalit v případě, že dochází k narušení pouze varovného prostoru. [23]

Dále by bylo možné použití světelné závory, ale zmíněný skener zajistí kontrolu pohybu v celé zadní části pracoviště. Tedy nemůže dojít k náhodnému spouštění pracoviště ve chvíli, kdy se v chráněném prostoru může nacházet pracovník údržby.



*Obr 30 Prostorový skener SICK [23]*

## 5.4 Zhodnocení

### 5.4.1 Údržba pracoviště

Údržba celeného automatizovaného pracoviště spočívá hlavně v kontrole funkce a celkové čistoty. Důležité je dodržení čistoty tlakového vzduchu, který jednotlivé prvky využívají. V následující tabulce jsou uvedeny intervaly údržby pro jednotlivé celky pracoviště. V průběhu prvních měsíců provozu je třeba celému pracovišti věnovat zvýšenou pozornost. Důležitá je kontrola šroubových spojů a jejich případné dotažení, nebo zalepení.

Tabulka 2 Intervaly údržby

	Interval údržby						Poznámka
	den	týden	měsíc	6měs	rok	Přemístění stroje	
<i>Stroj, okolí stroje</i>	●■					●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>
<i>Pohony Festo</i>				●■		●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>
<i>Chapače</i>				●■		●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>
<i>Dorazy</i>				●■		●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>
<i>Snímače</i>				●■		●	<i>Pozice</i>
<i>Kamerový systém</i>					●	●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>
<i>Robot TX2-90L</i>						●	<i>Dle předpisů dodavatele</i>
<i>Připojení energií</i>					●	●	<i>Příp. dle potřeby častěji</i>

■ čistit

● kontrolovat (příp. odstranit nedostatky)

### 5.4.2 Technické zhodnocení

Konstrukce vychází z předem daných skutečností, tedy využívá určeného robota a ve výsledku bylo bezesbytku dosaženo všech uvedených požadavků. Zkonstruované pracoviště má takt odhadnutý na 26,9, tento čas vyhovuje a v rámci celé linky nedochází ke zpomalení výroby. Pracoviště je navrženo tak, aby v případě poruchy některého z prvků bylo možné provádět kontrolu manuálně, jako tomu bylo před automatizací. Zastavení paletek pro manuální kontrolu zajišťují dva pneumatické dorazy ve střední části dopravníků

### 5.4.3 Finanční zhodnocení

Finanční stránka práce je zaměřena hlavně na splnění podmínky návratnosti, která byla předem dána. Zhodnocení bude provedeno srovnáním celkových nákladů a nákladů ušetřených nahrazením obsluhy. Ušetřené náklady jsou rovny násobku ročních nákladů na jednoho pracovníka a počtu pracovních směn a dále počtem roků, kdy má k návratnosti dojít.

Roční náklady na pracovníka činí zhruba 30 000 euro.

Pracoviště je obsluhováno v třisměnném provozu.

Časový úsek návratnosti byl určen na dobu dvou let.

Celkové ušetřené náklady tedy činí 180 000 euro.

V následující tabulce jsou zaokrouhleně uvedeny ceny jednotlivých celků řešeného pracoviště.

*Tabulka 3 Náklady*

<b>Položka</b>	<b>Náklady (€)</b>
Robot Staubli TX-90L (odhadovaná cena)	32 000
Systém strojového vidění	18 000
Stavební prvky	23 000
Elektro-komponenty	18 000
Vyráběné díly	10 000
Konstrukční práce	28 000
Montážní práce	21 000
Software	20 000
Projektové vedení, certifikáty	8 000
<b>Celkem</b>	<b>178 000</b>

Celkové náklady v součtu činí 178 000 euro. Při porovnání s očekávanou úsporou činící 180 000 euro, je požadavek na návratnost splněn.



## 6 Závěr

Celkovým cílem bakalářské práce byla konstrukce pracoviště pro automatizaci LWR railů. Tohoto cíle bylo dosaženo vyřešením dílčích cílů vyjmenovaných kapitole 3.

V teoretické části práce byl popsán systém vstřikování Common Rail s důrazem na svařovaný typ railu. Pro tento typ je kontrolní pracoviště určeno. Dále byl uveden výčet pracovních operací na pracovišti manuální kontroly před automatizací. A tyto operace byly detailně popsány.

V praktické části bylo nejprve popsáno celkové řešení pracoviště a dále byla zběžně nastíněna funkce strojového vidění, které samotnou kontrolu zajišťuje. Uvedeny byly záběry získané při reálné zkoušce, tímto byl splněn cíl jedna.

Následovalo navržení možností řešení cílů dva a tři. Dále je zdůvodněn výběr konkrétního řešení, které detailně rozpracováno. Při řešení cílů 2 a 3 bylo využito počítačového programu Autodesk Inventor pro tvorbu modelů a posléze i výkresové dokumentace, obrazové materiály jsou pro názornost přikládány k textu. Hlavní části výkresové dokumentace jsou v přílohách práce.

Při celkovém řešení byly splněny všechny požadavky uvedené v metodice práce, při konstrukci se vycházelo z předem daných skutečností, jako bylo vybrání konkrétního modelu robota (Stäubli TX-90L) a hrubé rozvržení layoutu.

Při řešení cíle čtyři byly navrženy intervaly údržby celého nově realizovaného pracoviště. Na závěr bylo provedeno technické a finanční zhodnocení. Nejdůležitější částí bylo finanční zhodnocení z hlediska návratnosti, to byl také jeden z požadavků. Při porovnání očekávaných úspor 180 000 euro a nákladů 178 000 euro, byl požadavek návratnosti za dobu dvou let splněn.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] COMMON RAIL. *Diesel servis Brno* [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <http://dieselservisbrno.cz/common-rail/>
- [2] Common-rail system piezo. *Bosch-mobility-solutions.com* [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/powertrain/diesel/common-rail-system-piezo/>
- [3] BOHAC, Stanislav V., Dennis N. ASSANIS a Manbae HAN. Sources of Hydrocarbon Emissions from Low-Temperature Premixed Compression Ignition Combustion from a Common Rail Direct Injection Diesel Engine. *Combustion Science and Technology* [online]. 2009, **181**(3), 496-517 [cit. 2022-03-07]. ISSN 0010-2202. Dostupné z: doi:10.1080/00102200802530066
- [4] ROLLBUSCH, Carsten. Effects of hydraulic nozzle flow rate and high injection pressure on mixture formation, combustion and emissions on a single-cylinder DI light-duty diesel engine. *International Journal of Engine Research* [online]. 2012, **13**(4), 323-339 [cit. 2022-03-21]. ISSN 1468-0874. Dostupné z: doi:10.1177/1468087411430304
- [5] Diesel powertrain. *Bosch-mobility-solutions.com* [online]. [cit. 2021-12-22].
- [6] High-pressure pump. *Bosch-mobility-solutions.com* [online]. [cit. 2021-12-22].
- [7] Common-rail system CRSN. *Bosch-mobility-solutions.com* [online]. [cit. 2021-12-22].
- [8] NĚMEC, David. *Návrh pracoviště na přerovnání dílů z palet do rámu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124601>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.
- [9] High-pressure rail. *Bosch-mobility-solutions.com* [online]. [cit. 2021-12-22].
- [10] *Interní materiály firmy BOSCH DIESEL*.
- [11] TX2-90 Range. In: *Staubli.com* [online]. [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/file/5260.show>
- [12] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. *Automa* [online]. 2008, **2008**(01), 42-45 [cit. 2022-03-03]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/36550.pdf](https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf)
- [13] SCHÖCH, Alexander, Patric PEREZ, Sabine LINZ-DITTRICH, Carlo BACH a Carsten ZIOLEK. Automated surface inspection of small customer-specific optical

- elements. *Tm - Technisches Messen* [online]. 2017, **84**(7-8), 502-511 [cit. 2022-03-21]. ISSN 0171-8096. Dostupné z: doi:10.1515/teme-2017-0012
- [14] PGN-plus-P. *Schunk.com* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/series/pgn-plus-p/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pgn-plus-p/)
- [15] MHM-X6400. In: *Smc.eu* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://static.smc.eu/binaries/content/gallery/smc\\_global/products/featured-products/products/mhm-x640.jpg/mhm-x640.jpg/hippocms%3A1arge](https://static.smc.eu/binaries/content/gallery/smc_global/products/featured-products/products/mhm-x640.jpg/mhm-x640.jpg/hippocms%3A1arge)
- [16] Custom Grippers. In: *Schmalz.com* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://www.schmalz.com/site/binaries/content/gallery/media/17\\_press/vg/2019/09-1/2019-09\\_Schmalz\\_Lightweight\\_Gripper\\_SLG\\_2.jpg](https://www.schmalz.com/site/binaries/content/gallery/media/17_press/vg/2019/09-1/2019-09_Schmalz_Lightweight_Gripper_SLG_2.jpg)
- [17] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-807-3610-814.
- [18] JANÁKOVÁ, Anna. *Abeceda bezpečnosti a ochrany zdraví při práci*. 3., aktualiz. vyd. Olomouc: ANAG, 2004. Práce, mzdy, pojištění. ISBN 80-7263-223-X.
- [19] LEINVEBER, Jan a Josef ŠVERCL. *Technické kreslení: technická dokumentace*. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 80-864-9073-4.
- [20] ŠŤASTNÝ, Jiří a Boleslav TŘEŠTÍK. *Manuál technické dokumentace*. 6., přeprac. vyd. České Budějovice: Česká matice technická v nakl. Kopp, 2009. Česká matice technická. ISBN 978-80-7232-352-4.
- [21] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 1. Brno: CP Books, a. s., 2005. ISBN 8025104982.
- [22] PGN-plus 100-1-AS. *Schunk.com* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/product/554-0371402-pgn-plus-100-1-as/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/554-0371402-pgn-plus-100-1-as/)
- [23] MICS3-AAAZ55AZ1P01. *Sick.com* [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.sick.com/ae/en/opto-electronic-protective-devices/safety-laser-scanners/microscan3/mics3-aaaz55az1p01/p/p368946>

## 8 Seznam obrázků, seznam tabulek, soupis a definování zkratk

### 8.1 Seznam obrázků

Obr 1 Znázornění systému Common Rail [5].....	2
Obr 2 Principiální schéma systému Common Rail [2] .....	3
Obr 3 Vysokotlaké čerpadlo CP4 [6].....	4
Obr 4 Vstřikovač CRI [2].....	5
Obr 5 HFR rail [9].....	6
Obr 6 LWR rail [10].....	6
Obr 7 Snímač tlaku RPS [9].....	7
Obr 8 Tlakový regulační ventil PCV [9].....	7
Obr 9 Řez LWR railem [10].....	8
Obr 10 Fotografie současného stavu řešeného pracoviště .....	9
Obr 11 Pohled na automatizované pracoviště [10] .....	13
Obr 12 Robot Stäubli TX2-90L [8].....	14
Obr 13 Stäubli TX2-90L zobrazení os [8] .....	14
Obr 14 Kontrolní modul.....	15
Obr 15 Krytkovací modul .....	16
Obr 16 Rozložení kamer a světel – půdorys [10].....	18
Obr 17 Záběry strojového vidění [10].....	19
Obr 18 Paralelní uchopovač SCHUNK [14].....	20
Obr 19 Magnetický uchopovač SMC [15].....	20
Obr 20 Vaukový uchopovač Schmalz (3D tisk) [16].....	20
Obr 21 Magnetická krytka vysokotlakého vývodu [10] .....	21
Obr 22 Paralelní uchopovač Schunk PGN-plus-100-1-AS [22] .....	22
Obr 23 Čelist s optimalizovaným tvarem pro uchopování railu .....	23
Obr 24 Čelist pro uchopování krytek.....	24
Obr 25 Uchopovací uzel.....	25
Obr 26 Kontrolní statická analýza MKP .....	26
Obr 27 Analýza MKP po optimalizaci tvaru.....	26
Obr 28 Rám pro ustavení robota .....	27
Obr 29 Oplocení pracoviště .....	28
Obr 30 Prostorový skener SICK [23].....	29

## 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Odhad taktu automatizovaného pracoviště .....	17
Tabulka 2 Intervaly údržby .....	30
Tabulka 3 Náklady .....	31

## 8.3 Seznam a definice zkratk

CRS	Common Rail systém
CP	(Common Rail Pump) vysokotlaké čerpadlo, číslo uvádí generaci
CRI	(Common Rail Injector) vstříkovač
PCV	(Pressure Control Valve) tlakový regulační ventil
RPS	(Rail Pressure sensor) snímač tlaku
FRL	(Fuel Return Line) přepadové vedení
LWR Rail	(Laser Welded Rail) svařovaný rail
HFR Rail	(Hot Forged Rail) kovaný rail
OK	vyhovující kus (strojová kontrola)
nOK	nevyhovující kus (strojová kontrola)

## 9 Přílohy

Přílohy jsou k dispozici na přiloženém kompaktním disku ve formátu PDF.

### **Hlavní sestava**

Příloha 1 – Hlavní sestavný výkres navrženého pracoviště VR75123CJ\_0000

### **Robotický modul**

Příloha 2 – Sestavný výkres robotického modulu VR75123CJ\_1000

Příloha 3 – Sestavný výkres rámu robota VR75123CJ\_1100

Příloha 4 – Výrobní výkres vrchní desky rámu robota VR75123CJ\_1101

Příloha 5 – Výrobní výkres rámu robota VR75123CJ\_1110

### **Uchopovací uzel (Gripper)**

Příloha 6 – Sestavný výkres uchopovacího uzlu robota VR75123CJ\_1200

Příloha 7 – Výrobní výkres dílu základny uchopovačů VR75123CJ\_1201

Příloha 8 – Výrobní výkres dílu základny uchopovačů VR75123CJ\_1202

Příloha 9 – Výrobní výkres dílu základny uchopovačů VR75123CJ\_1203

Příloha 10 – Výrobní výkres dílu základny uchopovačů VR75123CJ\_1204

Příloha 11 – Výrobní výkres čelisti pro uchopování railů VR75123CJ\_1205

Příloha 12 – Výrobní výkres čelisti pro uchopování krytek VR75123CJ\_1207

### **Sestava oplocení**

Příloha 13 – Sestavný výkres oplocení pracoviště VR75123CJ\_5000