



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

PROCES ZAVÁDĚNÍ ROBOTIZACE VE  
VÝROBĚ ZÁSOBNÍKU TLAKU PRO  
VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL

INTEGRATION OF ROBOT IN PRODUCTION OF PRESSURE TANK FOR COMMON RAIL  
SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Krejčí

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019





## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Monika Krejčí
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2019/20

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

### **Proces zavádění robotizace ve výrobě zásobníku tlaku pro vstříkovací systém common rail**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zpracovatele DP je provedení kritického vyhodnocení současné situace v možnostech zavedení, případně integrace robotů v montáži vybrané komponenty a vytvoření návrhu dalších možných potenciálů v nasazení robotů, v rámci jejich zavedení do procesů montáže ve výrobní společnosti. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností Bosch Diesel, s. r. o. v Jihlavě.

**Cíle diplomové práce:**

Zhodnocení současného stavu stávající montáže v návaznosti na dílčí výrobu dílce rail.  
Posouzení vhodnosti stávajících linek pro robotizaci za účelem úspory času a nákladů.  
Analýza montážních a pracovních časů, výrobních a procesních kroků nákladů na výrobu a opravy apod. vybraného typu railu.  
Dílčím cílem je návrh procesu automatizace manipulace se součástmi tak aby došlo ke snížení nákladů (provedení dílčí optimalizace procesu).  
Vhodnost použití robotů v procesu montáže s ohledem na pracovní stanice linky:  
Návrh automatizace a optimalizace vybraných procesů.  
Návrh variant řešení a jejich vyhodnocení multikriteriální metodou.  
Simulace nových montážních a pracovních časů po navržené automatizaci a optimalizaci procesů.  
Výběr a propracování nejvhodnější varianty na základě simulace dějů a procesů.  
Ekonomické zhodnocení – Kalkulace návratnosti investic.  
Sestava komponent nového návrhu.  
Výpočet návratnosti investice vložených finančních prostředků.  
Vyhodnocení navrhovaného řešení z technického a ekonomického hlediska.  
Dispoziční řešení nového pracoviště montáže (výkres).  
Analýza rizik nového řešení robotizace montáže drobných dílců (stanice šroubování).  
Závěr a kritické zhodnocení dosažených výsledků, doporučení pro praxi.

**Seznam doporučené literatury:**

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Třetí vydání. Praha: MM publishing, s. r. o. ISBN- 978-80-260-6780-1.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá procesem zavádění automatizace montážní linky na montáži railu. Na začátku je představena společnost Bosch, dále navazuje teoretická část rozebírající pojmy automatizace či montážních linek. Po teoretickém úvodu následuje popis současného stavu montáže railu, volba vhodné linky pro robotizaci a její podrobný popis. Poté se práce zabývá hledáním vhodné varianty automatizace pracoviště. Nalezené varianty jsou zhodnoceny a pomocí rozhodovací matice je vybrána ta nejvhodnější. Práce zahrnuje také kalkulaci investic, protože mezi důležité podmínky patří návratnost do dvou let. Dalším krokem je volba vhodného dodavatele a integrátora, který si poradí s veškerými požadavky. Na konci práce je provedena analýza rizik, díky které jsou nalezeny potenciály pro zlepšení bezpečnosti pracoviště.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis is about integration process of assembly line automation on rail assembly. In the beginning is introduced Bosch Company, then follows up theoretical part about automation and assembly lines. After theoretical introduction continues description of current state of rail assembly and choice the best line for automation and its detailed description. After that, the work deals with finding of the best solution for line automation. Found solutions are evaluated using the decision matrix. After the best one of them is chosen. There is also calculation of investments, because the one of important conditions is, that payback period has to be less than two years. Next step is choice of the most suitable supplier and integrator, which can cope with all requirements. At the end of thesis is analysis of risks done and thanks to this, are potentials for improvement of workplace safety found.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Automatizace, montážní linka, common rail, zásobník tlaku, kalkulace, bezpečnost pracoviště

## **KEYWORDS**

Automation, assembly line, common rail, pressure tank, calculation, workplace safety





## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KREJČÍ, M. *Proces zavádění robotizace ve výrobě zavádění zásobníku tlaku pro vstříkovací systém common rail*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2020. 109 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Radkovi Knoflíčkovi, Dr. za ochotu, věnovaný čas a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat firmě Bosch Diesel s.r.o., že mi umožnila tuto diplomovou práci zpracovat a také Ing. Vladimíru Vejtasovi za užitečné konzultace. V neposlední řadě patří velký dík i mému manželovi, rodině a blízkým za podporu během celého studia.



# ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Krejčí Monika



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE</b> .....	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>O SPOLEČNOSTI BOSCH</b> .....	<b>23</b>
3.1	Představení společnosti .....	23
3.2	Závod II Na Dolech .....	23
<b>4</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL</b> .....	<b>25</b>
4.1	Zásobník tlaku (rail).....	25
<b>5</b>	<b>AUTOMATIZACE</b> .....	<b>27</b>
5.1	Historie automatizace [4].....	27
5.2	Automatizace procesů.....	28
5.3	Rozdělení automatizace [4] .....	28
5.4	Přínosy automatizace .....	29
5.5	Efektivnost automatizace.....	30
5.6	Postup návrhu automatizace .....	30
<b>6</b>	<b>MONTÁŽNÍ LINKY</b> .....	<b>31</b>
6.1	Dělení montážních linek .....	31
<b>7</b>	<b>ROBOTY</b> .....	<b>33</b>
7.1	Průmyslové roboty podle konstrukce .....	33
7.2	Průmyslové roboty dle využití .....	35
7.3	Kolaborativní roboty .....	37
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU MONTÁŽE RAILU</b> .....	<b>39</b>
8.1	Rail z hlediska montáže .....	39
8.1.1	Regulační ventil (PCV – pressure control valve) .....	39
8.1.2	Tlakový senzor (RPS – rail pressure sensor).....	40
8.1.3	Pojistný ventil (PLV – pressure limiting valve) .....	41
8.1.4	Uzavírací šroub .....	41
8.1.5	Přívodní hrdlo .....	42
8.1.6	Nízkotlaký konektor .....	42
8.2	Montážní linky .....	43
8.2.1	Montážní linka 1 (ML1) .....	44
8.2.2	Montážní linka 2 (ML2) .....	45
8.2.3	Montážní linka 3 (ML3) .....	46
8.2.4	Montážní linka 4 (ML4) .....	46
8.2.5	Montážní linka 5 (ML5) .....	47
8.2.6	Montážní linka 6 (ML6) .....	48
8.2.7	Montážní linka 8 (ML8) .....	48
8.3	Volba linky vhodné pro robotizaci .....	49
<b>9</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ML4</b> .....	<b>51</b>
9.1	Podrobný popis linky .....	52
9.1.1	Vstup těles do linky .....	53
9.1.2	Stanice 30 .....	55
9.1.3	Šroubovací stanice 55 a 56 .....	56
9.1.4	Manipulace s komponenty .....	56
9.2	Časová analýza procesu montáže railu .....	58

9.2.1	Přímé měření .....	58
9.2.2	Nepřímé měření .....	62
9.3	Náklady na opravy a chyby .....	62
9.4	Pracovník na lince .....	63
9.5	Výhody a nevýhody současného řešení .....	63
9.6	Automatizace z pohledu firmy .....	64
<b>10</b>	<b>NÁVRHY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ.....</b>	<b>65</b>
10.1	Koncept č. 1 .....	65
10.2	Koncept č. 2 .....	66
10.3	Koncept č. 3 .....	67
10.4	Simulace pracovních a montážních časů pro jednotlivé koncepty .....	67
10.4.1	Simulace pro koncept č. 1 .....	68
10.4.2	Simulace pro koncept č. 2 .....	68
10.4.3	Simulace pro koncept č. 3 .....	68
10.5	Hodnocení jednotlivých variant .....	68
<b>11</b>	<b>VÝBĚR VHDNÉHO DODAVATELE.....</b>	<b>71</b>
11.1	Požadavky na potenciální dodavatele .....	71
11.2	Rozhodovací proces volby vhodného dodavatele .....	72
11.2.1	Dodavatel A .....	72
11.2.2	Dodavatel B .....	72
11.2.3	Dodavatel C .....	73
11.2.4	Dodavatel D .....	73
11.2.5	Dodavatel E .....	74
11.2.6	Dodavatel F .....	74
11.2.7	Dodavatel G .....	75
11.2.8	Dodavatel H .....	75
11.3	Zvolení vhodného dodavatele .....	75
<b>12</b>	<b>SESTAVA KOMPONENT ZVOLENÉHO NÁVRHU .....</b>	<b>77</b>
12.1	Změna pozice linky .....	77
12.2	Pračka .....	77
12.3	Stanice 30 .....	77
12.4	Šroubovací stanice .....	78
12.5	Stanice na předmontáž komponent .....	78
12.6	Manipulace s railem .....	79
12.7	Výstup z linky .....	81
12.8	Bezpečnostní klec .....	81
<b>13</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHDNOCENÍ.....</b>	<b>83</b>
13.1	Náklady na pracoviště v současném stavu .....	83
13.2	Výpočet návratnosti investice .....	83
13.3	Shrnutí .....	84
<b>14</b>	<b>ANALÝZA RIZIK.....</b>	<b>85</b>
14.1	Metodika analýzy rizik .....	85
14.2	Analýza rizik robotizace stanice montáže drobných dílců .....	87
14.2.1	Základní blokový diagram .....	87
14.2.2	Identifikace možných nebezpečí .....	87
14.2.3	Analýza významných nebezpečí .....	89
14.2.4	Přehled identifikovaných nebezpečí .....	95
14.2.5	Formuláře pro snížení rizika [21], [22] .....	97



<b>15 ZÁVĚR.....</b>	<b>101</b>
<b>16 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>103</b>
<b>17 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>105</b>
17.1 Seznam tabulek.....	105
17.2 Seznam obrázků.....	105
<b>18 SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>109</b>



# 1 ÚVOD

V dnešní době se můžeme s automatizací setkat v mnoha společnostech. Je to způsob, jak dokáží firmy udržet svoji konkurenceschopnost, snížit náklady na výrobu a zlepšit kvalitu produktu dodávaného zákazníkovi. Takovou firmou je i společnost Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Tato diplomová práce byla vypracována ve spolupráci s touto firmou.

Díky automatizaci lze odstranit z výrobního toku lidský faktor, který je mnohdy zdrojem chyb a nepřesností. Každý člověk má navíc jiné schopnosti, a proto výměna personálu na určitých pracovních pozicích, které se firma mnohdy nevyhne, může vést k nepříjemným problémům z důvodu nezkušenosti a nestability nových zaměstnanců.

I takové faktory mají negativní vliv na montáž zásobníku tlaku (dále railu) v závodě Na Dolech firmy Bosch Diesel. Montážní linka pro montáž railu je poměrně komplexní pracoviště s kombinací mnoha různých stanic, z nichž každá z nich má na starost určitý proces. Na obsluhu takové linky je nutné mít k dispozici několik pracovníků, a proto je více než jasné, že lidský faktor hraje při montáži railu opravdu velkou roli. Náklady na takové pracoviště jsou vysoké, a to nejen z důvodu mzdových nákladů, ale také nákladů na lidské chyby. Snížit tyto i mnohé jiné náklady, dosáhnout určené návratnosti a zlepšit kvalitu procesu je cílem právě této diplomové práce.



## 2 MOTIVACE

Robotizace a automatizace jsou v dnešní době velice skloňované pojmy. Výroba se zrychluje, nároky na kvalitu, rychlost a přesnost se stále zvyšují a lidský potenciál je potřeba využívat na místech, kde je ho skutečně potřeba. Jedná se tedy o rychle se rozvíjející obor, který je více než zajímavý.

Studium technického oboru může být velice zajímavé, ale bez propojení s praxí jsou poznatky mnohdy hůře představitelné a zapamatovatelné, než když si je student může přímo „osahat“ a zkusit využít v praxi. Praxe je totiž něčím, co dokáže odhalit mnohé a donutí se člověka zabývat otázkami, na které by při teoretickém studiu mnohdy nenarazil či se nad nimi nezamyslel.

Rozmáhající se trend automatizace pracovišť ve firmě Bosch Diesel s.r.o. a studijní obor Výrobní stroje, systémy a roboty nabídly ideální příležitost vyzkoušet si, co všechno zavádění robotizace do výroby vyžaduje, a na co je nutné myslet a nezapomínat. Díky takové zkušenosti je možné rozšířit si vlastní znalosti a zkusit si jinou náplň práce, než se kterou se autorka denně v zaměstnání setkává.



## 3 O SPOLEČNOSTI BOSCH

### 3.1 Představení společnosti

Firma Robert Bosch byla založena v Německu roku 1886 Robertem Boschem. Skupina Bosch v současné době zahrnuje kolem 280 vedlejších firem. Je to největší společnost s formou GmbH na světě a řadí se mezi největší dodavatele technologií a služeb. Činnost Bosch Group se dělí do čtyř obchodních oblastí: Mobility Solutions, Průmyslová technika, Spotřební zboží a Energetika a technika budov. [1]

Firma Bosch se na českém trhu pohybuje od roku 1920, kdy byla založena první oficiální pobočka. Po nucené přestávce od konce druhé světové války po rok 1989 se opět vrátila na trh. V Česku sídlí několik dceřiných společností. Hlavní závody zaměřující se na výrobu se nachází v Brně, Českých Budějovicích a v Jihlavě. [2]

Společnost Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě byla založena roku 1993. Ve třech závodech (Humpolecká, Na Dolech a Pávov) jsou vyráběny komponenty pro vstřikovací systém common rail.



Obr. 1) Logo společnosti Bosch [3]

### 3.2 Závod II Na Dolech

Závod II je druhým největším závodem společnosti Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Byl založen roku 2000 a nejprve v něm vyráběna vysokotlaká čerpadla CP3. O rok později se zde změnila produkce na vysokotlaký zásobník (dále rail) pro systém common rail. V následujících letech odstartovala produkce různých typů komponent pro rail či nový typ railu.

V dnešní době se na závodě II vyrábějí tělesa railů a komponenty PLV (pressure limiting valve) a PCV (pressure control valve). Vše se zde montuje dohromady ve finální produkt.



Obr. 2) Závod II Na Dolech [3]





## 4 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL

Vstříkovací systém common rail je systém vstříkování paliva využívaný především ve vznětových motorech, můžeme se s ním ovšem setkat i u motorů zážehových. Název vychází od využití tlakového zásobníku (common rail = společná trubka), ve kterém je zásoba paliva pod vysokým tlakem. O tlak v celém systému se stará vysokotlaké čerpadlo. Díky vysokému tlaku, u nejnovějších generací až 2500 bar, je možné dosáhnout lepšího rozstříku paliva. Palivo vstříkované do válce vstříkovači je jemněji rozptýlené, a to nejen díky vysokému tlaku v systému, ale také z důvodu většího množství otvorů ve vstříkovači. Celý systém tedy zajišťuje přesné dávkování paliva pod vysokým tlakem, což vede ke zlepšení účinnosti motoru a snížení emisí.

Ve vstříkovacím systému common rail je palivo vedeno z vysokotlakého čerpadla do railu. Tento zásobník je většinou společný pro všechny válce motoru, u motorů do tvaru V se ovšem můžeme setkat s použitím zásobníků dvou. Ze zásobníku je palivo vedeno k jednotlivým vstříkovačům, které se starají o dávkování paliva do válců. Vstříkovací systém common rail má širokou škálu využití, můžeme jej najít jak v osobních automobilech, tak také v nákladních vozech, lodích, generátorech či pracovních strojích, jako jsou například bagry či kombajny.



Obr. 3) Vstříkovací systém common rail

### 4.1 Zásobník tlaku (rail)

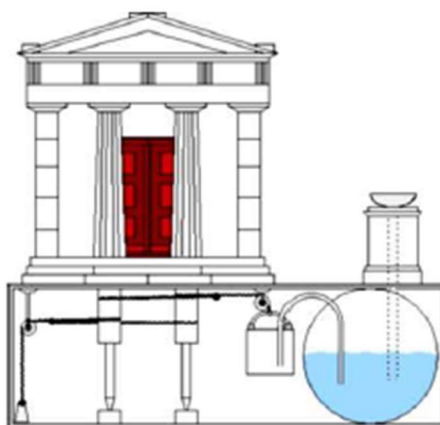
Rail musí odolávat vysokým tlakům, a proto je nutné brát tento fakt v potaz při jeho výrobě. Jedná se o silnostěnnou trubku, na jejímž konci mohou, ale nemusí, být namontované různé komponenty. Můžeme se setkat se dvěma typy railů, a to vyrobených z výkovků (zkratka HFR – hot forged rail) a railů svařovaných (zkratka LWR = laserwelded rail). Výroba těchto dvou typů railů se lehce liší, raily mají také odlišné vlastnosti. Obecně platí, že kované raily jsou vhodné pro vyšší tlaky, než raily svařované. Více pozornosti bude této komponentně věnováno v kapitole 8. *Zhodnocení současného stavu montáže.*



## 5 AUTOMATIZACE

### 5.1 Historie automatizace [4]

První zmínky o automatizaci jsou datovány již do starověkého Řecka, samotné slovo automatizace vychází z řečtiny, a to ze slova Autómatos = sám o sobě jednající. Jedním z prvních automatizovaných zařízení byly velké chrámové dveře, jejichž otevírání a zavírání bylo realizováno pomocí ohně, vody a vznikající páry. Dalším pokrokovým strojem co se automatizace týče, byl samotřas, který byl využíván, aby reguloval přísun zrna ve starověkých mlýnech.



Obr. 4) Schéma automatického otevírání dveří chrámu [4]

Ve středověku se člověk mohl setkat s různými mechanickými hračkami, hodinovými stroji či orloji. Výrobě takových zařízení se ve většině případů věnovali tehdejší hodináři. Automatizovány byly i stroje, které měly člověku usnadnit práci, jedním z prvních historických výrobních automatů byl vibrační podavač obilí. Toto zařízení bylo v 16. století popsáno italským technikem Ramellim, sestavení se ovšem dočkalo až na začátku 19. století.

V novověku se začalo automatizování strojů rozmáhat podstatně vysokým tempem. Cílem bylo zvýšit produktivitu lidské práce. Příkladem je například Wattův odstředivý regulátor otáček parního stroje. Díky němu bylo možné zlepšit možnosti parního stroje, protože regulátor dokázal stabilizovat otáčky. Před druhou světovou válkou začaly vznikat zařízení, která byla schopna fungovat téměř samostatně, příkladem jsou automaty, které se uplatnily v automatické montáži Smithovy továrny v Milwaukee.

Prvním průmyslovým robotem byl robot v továrně FANUC, který byl vyvinut a instalován v roce 1974. O deset let později začaly vznikat CNC systémy s grafickými programovacími prostředky. V dnešní době jde vývoj robotů stále dopředu poměrně rychlým tempem. Roboty jsou využívány nejen ve výrobcích, ale také v různých dalších odvětvích, například ve zdravotnictví. Dokáží nabídnout mnoho výhod, jako je zefektivnění výroby, zlepšení produktivity a tím i výrazné úspory. A to je jenom malá část přínosů, díky kterým počet robotů ve 21. století prudce vzrostl.

## 5.2 Automatizace procesů

Automatizací můžeme označit použití řídicích systémů k řízení průmyslových zařízení a procesů. Automatizace následuje po mechanizaci. Mechanice poskytuje k práci zařízení, které má za cíl usnadnit lidem práci, automatizace na rozdíl od mechanizace redukuje potřebu člověka pro vykonávání dané činnosti. Má za cíl nahradit člověka nejen po fyzické stránce, ale také po stránce duševní. K duševním řídicím činnostem například patří rozhodování, logické usuzování, tvorba a realizace složitějších postupů či výpočetní práce. Člověk tyto činnosti využívá především při spouštění strojů, všeobecném řízení jejich chodu, odstavování strojů či udržování provozních parametrů nebo řešení havarijních a nezvyklých situací. [4]

Předmětem automatizace výrobních procesů jsou hlavní a obslužné procesy v různých druzích výroby. S automatizací se můžeme setkat nejen ve strojírenství, ale také v hutích, dolech či slévárnách nebo také ve stavebnictví. Mezi typické produkty výrobní automatizace patří automatizované linky, pružné výrobní systémy, bezobslužné výrobní stroje, výrobní robotizovaná pracoviště či systémy COM (Computer Integrated Manufacturing). [4]

Automatizace představuje nejvyšší úroveň výrobního procesu a dělí se na několik úrovní:

- 1. úroveň = instrumentace, výrobní proces je vybaven ručními nástroji
- 2. úroveň = mechanizace, fyzická práce je nahrazována činností strojů
- 3. úroveň = automatizace, duševní i řídicí práce je nahrazována činností strojů

## 5.3 Rozdělení automatizace [4]

Účelem automatizace je úplné či částečné odstranění člověka z procesů. Důvody, které nás vedou k takovému rozhodnutí, lze rozdělit do několika skupin.

- **Vynucená automatizace**
  - Práce pro člověka představuje nebezpečí – například práce ve velkých hloubkách či s radioaktivním materiálem.
  - Činnost člověka je příčinou chyb, tyto chyby mohou vést k velkým ztrátám – například navigace letadel v mlze.
  - Přímá účast člověku způsobuje fyzickou únavu nebo na něho proces působí nepříjemně s možnými zdravotními následky, například práce v dolech či u vysokých pecí.
  - Člověk není schopen vykonávat danou činnost z hlediska přesnosti, rychlosti, rozsahu či jiných příčin, například řízení průběhu řetězové reakce či řízení raket nebo parních turbín.
  - Automatické řízení vykoná požadované úkony s vyšší jakostí než člověk – například lakování automobilové karoserie.
  - Přítomnost člověka není možná – například využití kosmických sond nebo automatických bójí v moři.
  - Není možné vázat tolik lidské práce – například automatické spojování hovorů, automaty na vydávání nápojů.
- **Důvody založené na ekonomických hlediscích tržního hospodářství**
  - Snížení výrobních nákladů – úspora mzdových nákladů a materiálu.

- Snížení režijních nákladů na skladovací prostory, výrobní plochy, opotřebení strojů či spotřebu energií.
  - Zvýšení produktivity práce a objemu výroby.
  - Zkrácení průběžné doby vývoje a výroby.
  - Možnost pružné reakce na požadavky zákazníka.
  - Automatizace dodává užitečné funkční vlastnosti vítané zákazníkem.
  - Získání konkurenční výhody.
  - Realizace nadstandartní jakosti, kterou firma může promítnout do zvýšené ceny výrobku.
- **Jiné důvody**
- Automatizace bývá využívána z prestižních důvodů, firma tím dokumentuje svoje konstrukční, technické nebo finanční možnosti.
  - Zvýšení pohodlí člověka – například automatické spouštění oken aut.
  - Dodávání člověku řady informací, které mohou být využity pro potřebu člověka – indikace hodnot o běhu motoru v autě, automatická indikace obsazení parkovišť.
  - Realizace ekologického hlediska – například automatické monitorovací systémy čistoty ovzduší
  - Automatizace jako zdroj zábavy – například hrací automaty, automatické dětské hračky.

## 5.4 Přínosy automatizace

V dnešní době se ve výrobě můžeme s automatizací setkat z mnoha důvodů. Mezi ty nejčastější patří:

- **Snížení výrobních nákladů** – úspory může být dosaženo z mnoha důvodů, například lepší organizací výrobního procesu, úsporami materiálu, skladovacích a výrobních ploch, snížením nákladů na nekvalitní výrobu, dokonalým využitím strojů a v neposlední řadě také odstraněním drahé lidské práce.
- **Optimalizace výrobního procesu** – díky automatizaci je možné rychle a přesně změřit různé parametry, vyhodnotit hodnoty a provést potřebný zásah v reálném čase. Díky tomu lze dosáhnout optimálních nákladů, časového průběhu a čerpání surovin.
- **Udržení vysoké produkce**
- **Podstatné zvýšení jakosti** – odstranění lidských zásahů může zvýšit kvalitu procesu i spolehlivost a zvyšuje bezpečnost
- **Zkrácení průběžné doby výroby, rychlá reakce na požadavky zákazníka** – cílem je co nejrychleji vyřídit danou objednávku pro daného zákazníka, zvláště v systémech řízených spotřebou. Díky automatizaci je dosažení takového stavu v mnohém jednodušší.
- **Zvýšení stability výrobního procesu** – stabilita výrobního procesu je nutná jak pro dosažení vysoké a rovnoměrné kvality výrobků, tak také pro dodržení sjednaných termínů a nákladů.
- **Zajištění rychlých a stabilních informací o stavu a průběhu výrobního procesu** –

automatizace umožňuje získání těchto informací a jejich distribuci na potřebná řídicí místa, a to v podobě alfanumerické, zvukové či obrazové.

## 5.5 Efektivnost automatizace

Automatizace je uplatňována v případech technologických operací, které jsou pro člověka zdravotně závadné, obtížné či vyžadují namáhavou práci. Ekonomický aspekt může, ale nemusí být tím hlavním. Základním principem pro ekonomicky efektivní zavádění automatizace je pravidlo, že přínosy by měly převažovat nad vynaloženými náklady. Přínos zavedení automatizace může vyplynout z následujících účinků [4]:

- Při zavedení automatizace mnohdy dosáhneme zvýšení výkonu strojů a výrobnosti v porovnání s předchozím řešením. Zvýšíme tak využití výrobní plochy a tím snížíme náklady na jednotku produkce.
- Z důvodu snížení podílu lidské práce na realizaci výroby dosáhneme úspory na mzdových nákladech, a to v případě, že úspory nejsou odčerpány na zvýšenou potřebu pracovníků nového, ovšem složitějšího automatického zařízení.
- Snížení ztrát v technologickém procesu vlivem dosahování vyšší výtěžnosti kvalitních výrobků z výroby.
- Úspory materiálu i energií nutných k zajištění výroby, a to díky použití výrobního zařízení s novou technologií.

## 5.6 Postup návrhu automatizace

Pokud chceme automatizovat nějaký proces, je dobré mít několik základních znalostí, od kterých se automatizace bude odvíjet. Při návrhu je nutné znát to, jaká je potřeba trhu a jak se vyvíjejí zákaznické požadavky. Samozřejmostí je znalost samotného procesu, který chceme automatizovat. Je nutné mít přehled nejen o procesu samotném, ale také o jeho problémech a úskalích. Postup při návrhu automatizace lze rozdělit do několika etap [4]:

**Analýza:** Prvním krokem při plánování automatizace by tedy měla být analýza. Analýza představuje rozbor nějakého problému, situace či systému. Analýzou chceme dosáhnout dokonalé znalosti předmětu našeho zájmu, dobře mu porozumět a odhalit možná úskalí a principy jeho chování.

**Návrh:** Jakmile je analýza procesu hotová, je možné na jejím základě přistoupit k návrhu požadovaného systému, řešení zadaného problému či k návrhu na zlepšení dosavadního průběhu problémového procesu. Postup by měl být logický, může se měnit a nemusí mít pokaždé stejnou podobu. Snažíme se najít takové varianty řešení, která budou splňovat veškeré požadavky.

**Optimalizace:** Když je návrh hotový, přistoupí se k optimalizaci. Cílem optimalizace je vybrat takový návrh, který nejvíce vyhovuje našim požadavkům. Vždy je tedy nutné zhodnotit výhody a nevýhody každého návrhu. Je nutné sledovat jak technickou stránku návrhu, tak také ekonomickou.

## 6 MONTÁŽNÍ LINKY

Montážní linka je výrobní proces, jehož části postupně vytvářejí daný výsledný produkt. Je nutné brát v potaz optimální plánování logistiky za účelem výroby finálního produktu. Tato metoda je podstatně rychlejší než ruční výroba. Produkce na linkách je všeobecně považována za urychlující prvek. Tento prvek v mnohém napomohl ustanovení moderní spotřebitelské kultury tak, že se náklady na produkt výrazně snížily. První firma, která využívala konceptu montážních linek ve velkém, byla firma Ford. [6]

Použití montážních linek dokáže přinést mnoho nezanedbatelných výhod, jako je například minimalizování prostojů či rychlé zaškolení obsluhy. Montážní linky je vhodné využívat ve velkosériové a hromadné výrobě výrobků, které jsou stejné či podobné. Každý pracovník montáže má za úkol vykonávat jednoduché úkony a operace, které se neustále opakují.

### 6.1 Dělení montážních linek

Linky můžeme dělit podle mnoha různých hledisek, mezi nejčastější dělení patří [7]:

- **Využití mechanizace a zapojení člověka do montáže:**
  - Ruční linky
  - Poloautomatizované linky
  - Automatizované linky
- **Způsob pohybu montovaného výrobku:**
  - Stacionární linky
  - Linky s pohybujícím se výrobkem, kdy se výrobek může pohybovat až po ukončení operace, či se výrobek pohybuje soustavně.
- **Způsob provádění montážních prací:**
  - Přímo na dopravníku
  - Mimo dopravník
- **Způsob prostorového uspořádání:**
  - Jednoduché linky
  - Rozvětvené linky
- **Stupeň synchronizace:**
  - Synchronní linky
  - Asynchronní linky
- **Montážní takt:**
  - Linky s pevným montážním taktem
  - Linky s volným montážním taktem
- **Počet montovaných druhů na lince:**
  - Jednopředmětové linky
  - Vícepředmětové linky





## 7 ROBOTY

Pojem robot je definován jako stroj, který pracuje s určitou mírou samostatnosti a dokáže vykonávat určité úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem. Robot je tedy schopen vnímat okolní prostředí pomocí různých senzorů, dokáže na toto prostředí reagovat či do něj zasahovat, popřípadě si o něm vytvářet vlastní představu. [8]

V průmyslu jsou využívány takové stroje, které dokáží zastat práci člověka, je dobré si ale uvědomit to, že jejich podoba není lidská. Schopnosti robota závisí na činnosti, kterou by měl vykonávat. Mezi tyto schopnosti patří například vazba s prostředím, manipulační schopnost, univerzálnost, integrovanost či obratnost. Roboty můžeme dělit do kategorií podle různých hledisek. [9] [10]

### 7.1 Průmyslové roboty podle konstrukce

- **Karteziánské roboty:** tyto roboty jsou jinak nazývané také přímočaré či portálové a mají nejméně tři lineární osy řízení. Velmi často se s nimi můžeme setkat při těžkých a precizních operacích. Zvládnou přenášet jednotlivé díly karoserií automobilů, poradí si také s výrobou detailních povrchových vzorů. Mají tři lineární klouby využívající karteziánský souřadný systém. Mnohdy mívají připojené zápěstí, díky kterému jsou schopny rotačního pohybu.



Obr. 5) Karteziánský robot od výrobce Wittmann [11]

- **SCARA roboty:** jedná se o několikramenné roboty, které jsou kompaktní, rychlé, přesné a díky tomu i schopné precizní manipulace. V dnešní době jsou s vysokou oblibou využívány k montážním pracím v továrnách, jsou vhodné pro vysokorychlostní montáže, kování, balení či jemnou manipulaci s různými materiály či nástroji. Tyto

roboty jsou rychlejší než karteziánské a mají menší půdorys. Jejich výhodami jsou malá velikost, nízká váha, skvělý výkon, perfektní přesnost či pokročilé řízení trajektorie.



Obr. 6) Robot typu SCARA od výrobce FANUC

- **Kloubové roboty:** tyto roboty s rotačními spoji mají otočný trup, rameno, biceps, předloktí a zápěstí. Rameno je se základnou spojeno pomocí kroužku a spojky v rameni u sebe drží rotačními spárami. Tento typ robotů má obvykle čtyři nebo šest os, jsou vhodné pro balení, paletizování či umístování malých dílů.



Obr. 7) Kloubový robot od výrobce Staubli [13]

- **Dvouramenné roboty:** tyto roboty umí pracovat rychle a účinně, setkat se s nimi

můžeme u montážních prací v elektrotechnickém průmyslu.



Obr. 8) Dvouramenný robot od výrobce Yaskawa Motoman vhodný do laboratoře [14]

- **Šestiosé roboty:** tyto roboty mají rychlý a přesný pojezd, disponují velkou výrobní kapacitou a dokáží zvýšit ekonomickou životaschopnost. Tyto stroje mají poměrně malou hmotnost a nízkou spotřebu energie.
- **Delta roboty:** tyto roboty svým vzhledem připomínají pavouky, jsou postaveny ze vzájemně propojených paralelogramů, které jsou připojené ke společné základně a jsou schopny jemných a přesných pohybů. Vysokorychlostní rovnoběžníkové roboty se hodí pro nakládání a podávání různých materiálů a součástek. Hodí se i pro balení, vkládání do krabic či kompletaci sad. Svoje využití najdou i při práci v bezprašných místnostech. Setkat se s nimi můžeme ve farmaceutickém, elektronickém či potravinářském průmyslu.



Obr. 9) Delta robot od výrobce ABB [15]

## 7.2 Průmyslové roboty dle využití

- **Svařovací roboty:** Tyto roboty dokáží dosáhnout precizní a bezchybné kvality svárů,

poradí si s vysokorychlostním svařováním, řezáním, sváření elektrickým obloukem, pájením či laserovým svařováním. Tyto roboty mají spoustu výhod. Jsou totiž bezpečné, potřebují malou montážní plochu, jsou kompatibilní se všemi výrobci, dokáží snížit náklady a zvýšit efektivitu práce.

- **Lakovací roboty:** S těmito roboty se můžeme setkat zejména ve stavebnictví a automobilovém průmyslu. Jejich prací je lakování aut, nábytku či okenních rámců. Výhodou je snižování emisí, zlepšení kvality ovzduší, úspora barev a vysoká kvalita nátěru. Další nespornou výhodou je snížení nákladů a zvýšení efektivity. Díky specializovaným softwarům je obsluha lakovacích robotů velmi snadná.



Obr. 10) Lakovací robot od společnosti Fanuc [16]

- **Paletizační roboty:** Tyto roboty jsou vhodné pro skládání palet, a proto se s nimi často setkáváme v potravinářském odvětví, nicméně se můžeme s těmito roboty setkat i u manipulace se sklem, sádkartonem, překližkami nebo různými druhy obložení. Výhodou je, že hlavičky paletizačního robota dokáže zvednout i více boxů najednou, mnohdy uzvedne i víc než 2 tuny.
- **Roboty pro manipulaci se součástmi:** Roboty jsou pro manipulaci s různými součástmi využívány v mnoha typech výrob, většinou se totiž jedná o monotónní a jednoduchou práci, se kterou si robot snadno poradí. Robot je vybírán především podle toho, s jakým dílem chceme manipulovat – záleží jak na tvaru, tak také na hmotnosti dílu či požadovaném dosahu robota.
  - Časté využití je například na montáži, kdy se robot stará o obsluhu montážních stanic. Dokáže díl přesně založit do stanice a po dokončení operace jej opět vyjmout a předat dál. Díky tomu je poměrně snadným způsobem možné ušetřit lidskou práci a tím i náklady. Se stejným principem se můžeme setkat také při obsluze obráběcích center, kdy má robot na starost manipulaci s polotovarem/obrobkem.
  - Roboty jsou využívány i v náročnějším prostředí sléváren či kováren. Robot

může být využit jako obsluha tlakového lití, další variantou je například obsluha kovací lisů. Roboty musí být na práci v takových podmínkách stavěny a většinou nemají takovou životnost, jako roboty pracující v čistém prostředí. Musí být odolné proti nečistotám či vysokým teplotám. Hlavní přínos robotiky v takovém prostředí není jenom zlepšení produktivity, ale nahrazení lidské práce v nepříjemném prostředí.

- **Roboty v potravinářském průmyslu:** S roboty se můžeme samozřejmě setkat i v potravinářském průmyslu, kde se využívá jako precizní náhrada člověka, například při třídění a zakládání drobných předmětů. Setkat se s nimi můžeme na balicích linkách, kde manipulují s produktem a zakládají jej po určitých počtech do balení. Typ robota v takovém případě opět závisí na tom, jak vypadá objekt pro manipulaci určený.

### 7.3 Kolaborativní roboty

Jedná se o speciální skupinu robotů, která je schopna spolupracovat s lidmi. Pomáhají jim zvládat různé úkony, které vyžadují opravdu vysokou preciznost. Z tohoto důvodu jsou používány zejména ke svařování, šroubování, odměřování, lepení, umísťování předmětů nebo třeba míchání barev. I když budou tyto monotónní práce vykonávat bez přestávky, tak stále se stejnou přesností a kvalitou vykonané práce. Při výrobě těchto robotů je brán velký ohled na bezpečnost, protože robot nesmí člověku ublížit. Z toho důvodu mají tyto roboty mnohdy malou nosnost a nízké rychlosti pohybu. Robot tak může pracovat vedle člověka bez jakékoliv bariéry.



Obr. 11) Kolaborativní robot YuMi [17]



## 8 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU MONTÁŽE RAILU

### 8.1 Rail z hlediska montáže

Použití a funkce komponenty rail a ve vstřikovacím systému Common rail již byly popsány v kapitole 3.1. Nyní se zaměříme na tuto komponentu z hlediska samotné montáže. Montáž je stejná jak pro kované raily (HFR), tak pro ty svařované (LWR), až na jednu drobnou výjimku. Do kovaných railů se nízkotlaký konektor lisuje či šroubuje přímo na montáži, do svařovaných je navařený při svařování.

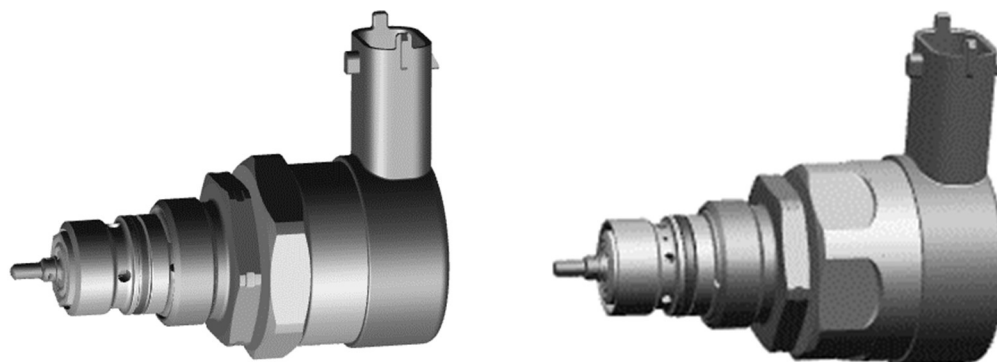
Jak již bylo výše zmíněno, do railu může být namontována kombinace různých komponent. Těmto komponentám a jejich montážním procesům se budeme věnovat dále.

#### 8.1.1 Regulační ventil (PCV – pressure control valve)

Regulační ventil – dále PCV, je nejsložitější komponentou, kterou lze do railu našroubovat. Jedná se o ventil, který během provozu neustále reguluje tlak v railu a udržuje jej na určité hodnotě. Pokud je tlak vyšší, než by měl být, ventil se otevře a pustí přebytečné palivo do nízkotlakého okruhu. V kombinaci s PCV tedy musíme mít vždy nízkotlaký konektor, ať už šroubovaný, nebo lisovaný.

Šroubování PCV je opravdu specifickou záležitostí a je nutné jej rozdělit na dvě kategorie, a to na šroubování generací kromě generace na 2500 barů, a na šroubování PCV nejnovější generace, tj. na tlak 2500 barů.

PCV jako jediná komponenta není šroubováno do railu otáčením komponenty samotné, ale pomocí převlečné matice. Díky tomu je možné zajistit orientaci konektoru v toleranci  $\pm 5^\circ$  bez toho, aby bylo nutné do tělesa obrábět orientovaný závit.

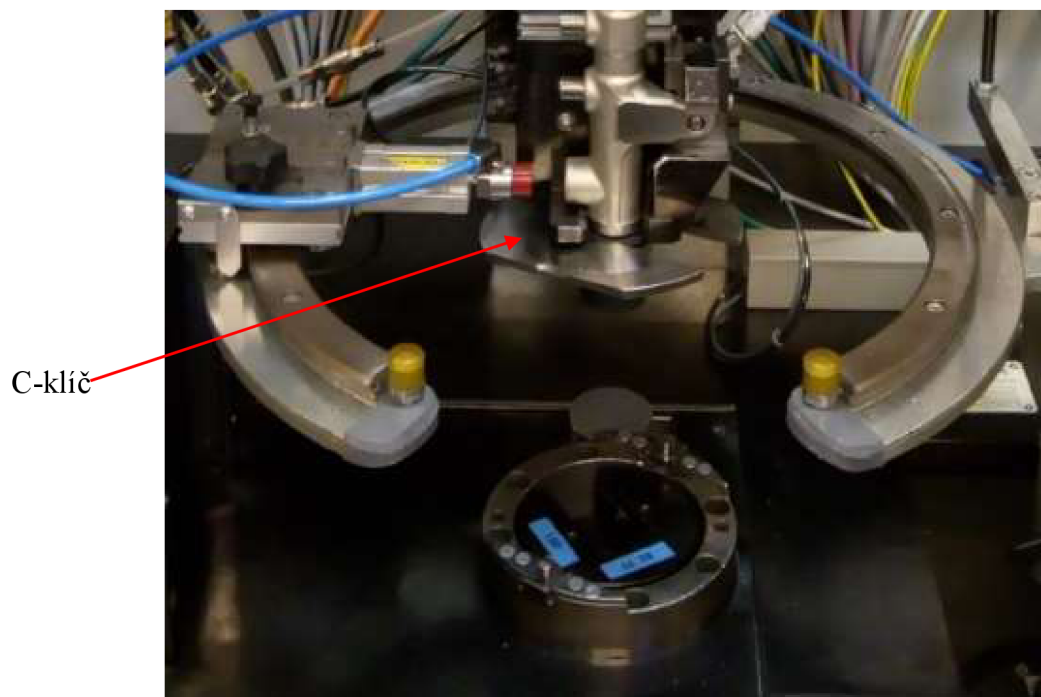


Obr. 12) Komponenta PCV (starší generace nalevo, pro 2500 barů napravo) [3]

Samotné šroubování probíhá tak, že je PCV vloženo pracovníkem do přípravku u šroubovací stanice, kde je načteno DMC. Díky tomu si systém spojí určitou komponentu s určitým raiem, navíc se tak vyhneme situaci, že bude do railu namontován špatný typ komponenty. Do této fáze je proces stejný pro všechny generace PCV.

Pro starší generaci probíhá vše následovně. Jakmile jsou předchozí kroky hotovy, pracovník vyjme PCV z přípravku a vloží jej do šroubovací stanice a zajistí jej speciálním „C-

klíčem“. Po spuštění šroubování je tímto klíčem otáčeno a komponenta dotažena na daný úhel a moment dle její specifikace.



Obr. 13) Rail s našroubovanou komponentou PCV a s C-klíčem stále na railu [3]

Po dokončení operace je komponenta našroubována v railu, šroubovací modul odjede směrem dolů od railu a speciální C-klíč zůstane viset na railu. Pracovník montáže sundá klíč z railu, vyndá rail ze stanice a předá jej na další operaci. Vše po tomto kroku začíná nanovo. Problém je ten, že klíč zůstane pokaždé v jiné poloze, na což je nutné při plánování automatizace myslet jako na jeden z problémových faktorů. Odstranění klíče, například robotem, může být velice komplikovanou záležitostí, a to mimo jiné i proto, že odstranění samotné není zrovna jednoduchým pohybovým úkonem.

Proces šroubování nové generace PCV je odlišný v jedné věci, a to v zajištění komponenty v přípravku. Komponenta má totiž jiný tvar těla (viz obr. 12), a proto není možné ji fixovat tak, jako starší generace. To je důvod, proč není možné tuto komponentu šroubovat na starších šroubovacích stanicích. Z důvodu náběhu této nové generace bylo nutné pořídit novou linku s novými šroubovacími stanicemi, které mají jiný systém upínání komponenty a dokáží našroubovat jak novou generaci, tak i generace starší. Velkým rozdílem je to, že ve šroubovací stanici již není nutné používat speciální C-klíč, protože převlečná matice je zafixována automaticky. Není to dáno druhem PCV, ale tím, že nové šroubovací stanice již využívají novou technologii, která ve starších ještě použita nebyla.

### 8.1.2 Tlakový senzor (RPS – rail pressure sensor)

Tlakový senzor – dále RPS, je komponenta, která má na starosti sledování tlaku v railu a předávání informací řídicí jednotce. Na rozdíl od PCV je šroubování všech generací této komponenty principiálně stejné. Pracovník nejprve vloží RPS do mazací stanice, ve které je komponenta namazána a její DMC je načteno do systému a spojeno s určitým railem. Poté je RPS pracovníkem předšroubována do railu a ten je vložen do šroubovací stanice. Při započetí operace k railu přijede šroubovák a zašroubuje komponentu do railu pomocí šestihrané



šroubovací hlavice, která je nasunuta na šestihran komponenty. I zde je rozdíl oproti PCV – šroubování RPS probíhá obyčejným otáčením komponenty samotné.



Obr. 14) Tlakový senzor [3]

Z hlediska robotizace je nutné řešit jednu podstatnou věc, a to předšroubování komponent do railu. Je to výrazně specifická činnost, kterou bude nutné brát v potaz a najít takové řešení, které bude vhodné pro robotickou linku.

### 8.1.3 Pojistný ventil (PLV – pressure limiting valve)

Pojistný ventil – dále PLV, je komponenta, která se stará o to, aby tlak v railu nepřesáhl určitou bezpečnostní mez. V základním stavu je tento ventil zavřený a otevře se pouze při překročení daného tlaku. PLV je pouze mechanickou komponentou, není k němu připojena žádná elektronika. Skládá se z podložky, pístků a pružiny. Jakmile je síla pružiny překonána tlakem v railu, ventil se otevře a pustí palivo do nízkotlakého okruhu. PLV zvládne pouze omezený počet otevření.



Obr. 15) Pojistný ventil [3]

Z hlediska šroubování je princip šroubování PLV totožný s principem šroubováním RPS. Komponenta je nejprve namazána a načtena do systému, poté předšroubována pracovníkem do railu a nakonec je celý rail vložen do šroubovací stanice, kde proběhne samotné šroubování, opět pomocí šestihřanné šroubovací hlavice.

### 8.1.4 Uzavírací šroub

Uzavírací šroub je jednoduše řečeno zátka, kterou ucpeme jednu či obě strany railu. Nemá žádnou jinou funkci.



Obr. 16) Uzavírací šroub [3]

Z hlediska šroubování je princip podobný jako u předchozích komponent RPS a PLV s drobným rozdílem, a to tím, že šroub není načítán do systému, protože nemá DMC. Šroub je nejdříve předšroubován do railu pracovníkem a poté je rail vložen do šroubovací stanice, kde proběhne šroubování. Rozdíl je ovšem v tom, že šroub není šroubován pomocí šestihřanné šroubovací hlavice, ale pomocí tisícihranu (hvězdičky).

#### 8.1.5 Přívodní hrdlo

Přívodní hrdlo umožňuje přidání dalšího vysokotlakého vývodu k railu. Je tedy možné k němu napojit buď přívod paliva od čerpadla, nebo odvod paliva ke vstřikovačům.



Obr. 17) Přívodní hrdlo [3]

Z hlediska šroubování je princip stejný jako u komponent RPS a PLV. Komponenta je předšroubována do railu pracovníkem a poté je rail vložen do šroubovací stanice, kde je komponenta dotažena pomocí šestihřanné šroubovací hlavice.

#### 8.1.6 Nízkotlaký konektor

Nízkotlaký konektor je komponenta, se kterou se můžeme setkat na railech s PCV nebo PLV. Neplatí ovšem stoprocentně, že je na rail montována již během montáže, v mnoha případech si ji na rail montuje až sám zákazník.

Jedná se o vývod, přes který je rail napojený na nízkotlaký okruh. Můžeme se setkat se dvěma základními druhy nízkotlakého konektoru, a to lisovaným a šroubováním. Z hlediska montáže se jedná o podstatný rozdíl, protože každý z těchto typů je montován na odlišné stanici.

##### Lisovaný nízkotlaký konektor

S lisovaným konektorem se můžeme setkat u většiny railů, jedná se o komponentu, která je využívána častěji než konektor šroubovaný. Tato komponenta se vyrábí především ze tří materiálů, a to ze slitiny hliníku, mosazi či oceli. Nejvyužívanějším a u nových aplikací preferovaným materiálem je hliníková slitina.



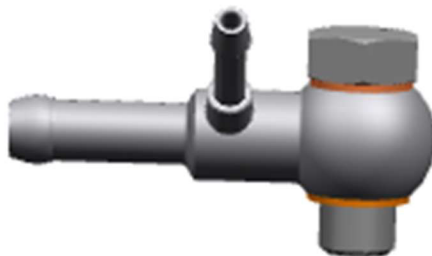
Obr. 18) Nízkotlaký konektor - lisovaný [3]

Jak již název napovídá, tento konektor je do railu lisován. Tento proces probíhá v lisovací stanici. Pracovník vezme konektor, vloží jej do mazací konzoly, a jakmile je konektor namazán, vloží jej do lisovací hlavičky, která se postará o zalisování do railu. Během tohoto procesu jsou sledovány křivky dráhy a síly, podle kterých už systém vyhodnotí, zda vše proběhlo bez problémů a kus může dál pokračovat linkou.

S lisováním se můžeme typicky setkat ihned po operaci lepení štítku a kontrole axiálních ploch. Manipulace s nízkotlakým konektorem je poměrně komplikovaná, a proto by bylo v případě automatizace nutné pro manipulaci s konektorem najít vhodné řešení.

Šroubovaný nízkotlaký konektor

Se šroubovaným nízkotlakým konektorem je možné se na montáži setkat podstatně méně, nicméně i tak je nutné s touto variantou počítat. Šroubování tohoto nízkotlakého konektoru probíhá na radiální šroubovací stanici, ovšem ne každá linka touto šroubovací stanicí disponuje.



Obr. 19) Nízkotlaký konektor - šroubovaný [3]

Vzhled nízkotlakého konektoru závisí na požadavcích zákazníka. Šroubování je principiálně stejné, jako šroubování většiny ostatních komponent, například RPS, akorát neprobíhá mazání. Manipulace s konektorem je poměrně složitá. Například konektor na obrázku je nutné ručně složit, poté jej předšroubovat do railu a nakonec rail vložit do šroubovací stanice, kde už je přišroubován na rail.

## 8.2 Montážní linky

Na montáži railu ve firmě Bosch Diesel s.r.o v Jihlavě se nachází sedm montážních linek, ze kterých je nutné vybrat takovou, která má pro robotizaci největší potenciál. Žádné dvě z těchto linek nejsou stejné, každá má svoje specifika.

Je také nutné brát ohled na to, že je tělesa nutné před montáží vyprat, aby byla zbavena nečistot, protože například vstřikovače paliva, které jsou připojeny přímo k railu, jsou velmi citlivým zařízením s velice malými otvory a jakákoliv nečistota by mohla nějaký otvor ucpat a tím způsobit problémy během spalování.

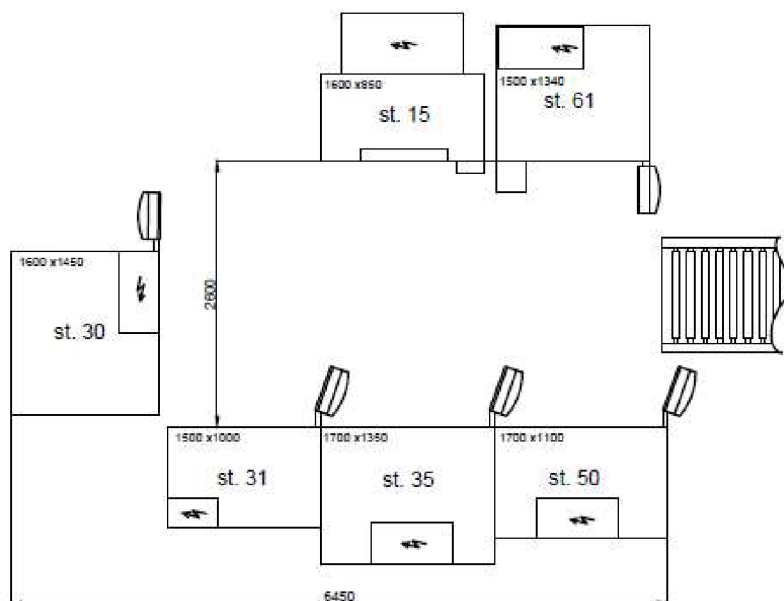
### 8.2.1 Montážní linka 1 (ML1)

ML1 patří mezi nejstarší linky na montáži. Skládá se z šesti stanic, a to ze stanice na lepení štítku, stanice na kontrolu axiálních ploch, lisovací stanice, dvou axiálních šroubovacích stanic a jedné radiální šroubovací stanice. Na této lince není možné montovat komponentu PCV.

Výstup z pračky je řešen tak, že jsou raily dováženy k lince v pracích koších, ze kterých si je obsluha postupně vyndává.

Uspořádání je takové, aby bylo možné využívat metody „čaku-čaku“, tzn., že na lince může pracovat variabilní počet pracovníků. I když bude k dispozici pouze jeden pracovník, dokáže bez větších problémů na lince montovat, i když její takt bude značně pomalejší, než při dvou či třech pracovnících.

Šroubovací stanice jsou dvě, ovšem každá má pouze jeden šroubovák. To znamená, že je v ní možné montovat komponentu pouze z jedné strany. Vše tedy probíhá tak, že pracovník předšroubuje komponentu, například RPS, rail vloží do stanice a komponenta je našroubována. Poté je předšroubována druhá komponenta, například šroubovací zátka, a rail je vložen do druhé šroubovací stanice, kde je našroubována tato druhá komponenta.



Obr. 20) Layout ML1; st. 030 – popis a lepení štítku; st. 031 – kamerová kontrola těsnících ploch, st. 015 – lisování nízkotlakého konektoru, st. 035 – šroubování axiálních komponent, st. 050 – šroubování axiálních komponent, st. 061 – šroubování radiálních komponent

Sled operací na lince je následující. Pracovník vyjme rail z pracího koše, vloží jej do stanice 30 na popis a lepení štítku. Jakmile operace proběhne, rail vyjme a vloží jej do stanice 31, kde jsou zkontrolovány axiální plochy. Pokud má rail lisovaný nízkotlaký konektor, je

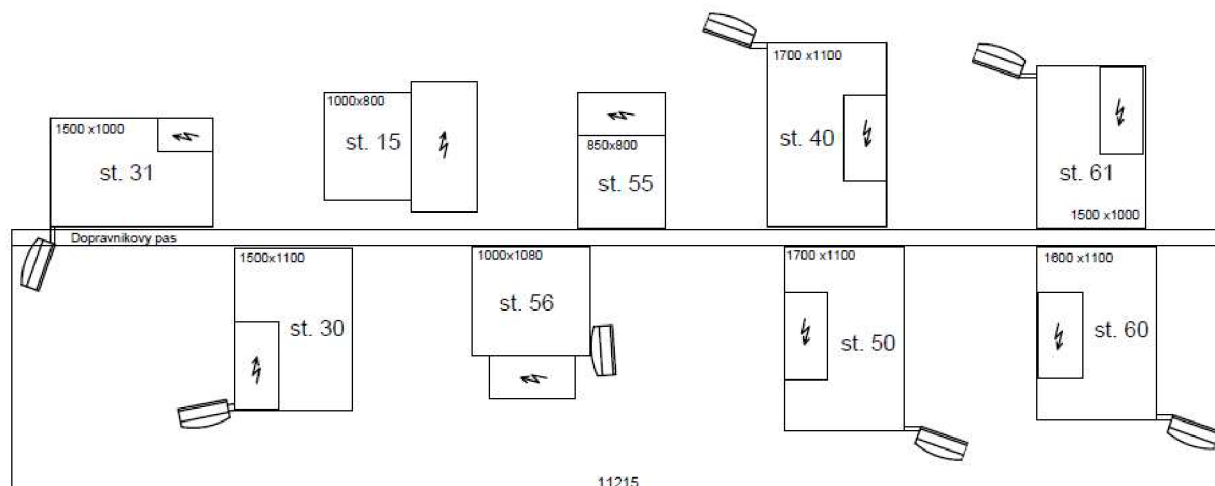
další operaci lisování nízkotlakého konektoru na stanici 15, pokud nízkotlaký konektor nemá, tak je tato operace vynechána. Poté přichází na řadu šroubování komponent na axiálních šroubovacích stanicích 35 a 50. Pokud je nutné šroubovat i radiální komponentu, je šroubována jako poslední, a to na stanici 61.

Až na vzácné výjimky je tedy patrné, že rail musí pokaždé projít přes operace popisu a lepení štítku, kontroly axiálních ploch a následné šroubování komponent. Toto pravidlo platí i pro všechny následující linky.

### 8.2.2 Montážní linka 2 (ML2)

Montážní linka 2 je principiálně úplně jiná než montážní linka 1. Jedná se o linku, která již nemá čaku-čaku uspořádání, uprostřed linky vede pás, na kterém jsou raily přepravovány k dalším operacím. Důvod je ten, že se na této lince vyrábí především raily s velkou hmotností. Na obsluhu každé stanice je nutný jeden pracovník – kromě stanic 30 a 31 (popis a lepení štítku, kontrola axiálních ploch). Tyto dvě stanice jsou obsluhovány pouze jedním pracovníkem.

Výstup z pračky je řešen stejně jako u ML1, raily jsou v pracích koších dopraveny přímo k lince a odtud si je pracovník přímo postupně vyndává.



Obr. 21) Obr. Layout ML2; st. 030 – popis a lepení štítku, st. 031 – kamerová kontrola axiálních těsnicích ploch, st. 015 – lisování nízkotlakého konektoru, st. 055 – šroubování axiálních komponent (obvykle PCV), st. 056 – šroubování axiálních komponent (obvykle PCV), st. 040 – šroubování axiálních komponent (obvykle PLV), st. 050 – šroubování axiálních komponent, st. 061 – šroubování axiálních i radiálních komponent, st. 60 – šroubování radiálních komponent

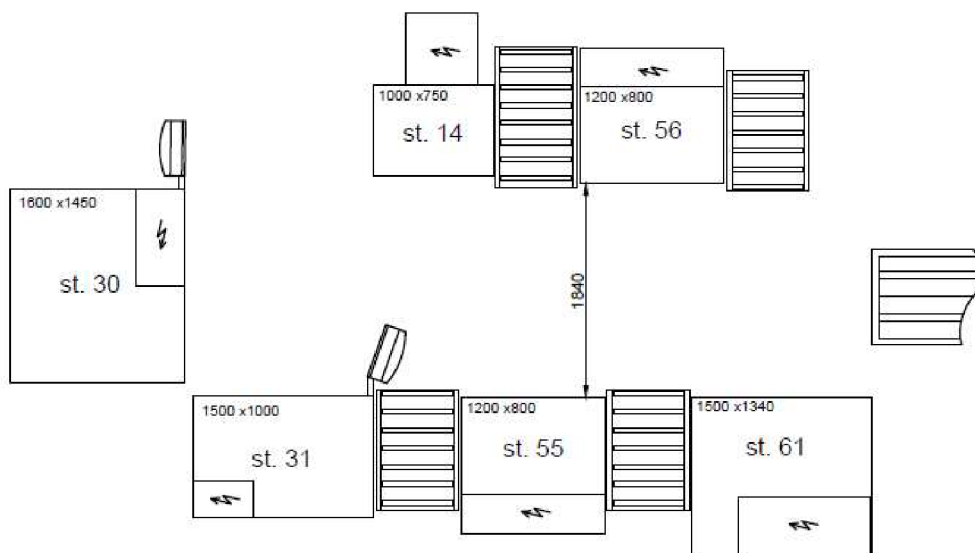
Sled operací na ML2 je následující. Rail je vyjmut z pracího koše a vložen do stanice 30 na popsání a nalepení štítku. Poté stejně jako na ML1 následuje stanice 31, ve které jsou zkontrolovány těsnicí axiální plochy railu. Následující stanice jsou využívány v různých kombinacích. Na stanici 15 je prováděno lisování nízkotlakého konektoru. ML2 je na rozdíl od ML1 schopná produkovat raily s komponentou PCV, tato komponenta je šroubována na stanicích 55 a 56. Tyto stanice jsou stejné. Další stanicí je šroubovací stanice 40, na které obvykle bývá šroubováno PLV, stanice 50 je opět axiální šroubovací stanice, využívá se především na šroubování různých komponent mimo PCV. Následující stanice, stanice 60 je vhodná pro radiální šroubování komponent, ať už například RPS či nízkotlakého konektoru.

Poslední stanicí linky je stanice 61. Jedná se o kombinovanou šroubovací stanici, která je schopna šroubovat axiální i radiální komponenty.

Již z pohledu na layout je více než patrné, že tato linka nemá takové potenciály pro robotizaci, jako má ML1 či následující linky, které budou teprve popsány. Robotizace takové linky samozřejmě není nemožná, nicméně by byla finančně opravdu náročná, komplikovaná a bylo by nutné zvážit její přestavbu. Proto nebude dále zahrnována do rozhodovací matice.

### 8.2.3 Montážní linka 3 (ML3)

Montážní linka 3 funguje na podobném principu jako montážní linka 1. I na této lince je možné využívat variabilního počtu pracovníků, navíc výstup z pračky je opět stejný. Na rozdíl od ML1 je na této lince možné do railů šroubovat komponentu PCV. Další odlišností je to, že šroubovací stanice mají dva šroubováky, takže když je rail pracovníkem vložen s předšroubovanými komponentami do stanice, proběhne zašroubování obou komponent a ze stanice je vyjmut hotový rail, není nutné, aby byl vložen do druhé šroubovací stanice. Komponenty nejsou během šroubování šroubovány najednou, a to z důvodu působících momentů. Vždy je tedy zašroubována komponenta na jedné straně, jakmile šroubování proběhne, začne šroubování komponenty na straně druhé.



Obr. 22) Layout ML3; st. 030 – popis a lepení štítku, st. 031 – kamerová kontrola těsnicích ploch, st. 014 – lisování nízkotlakého konektoru, st. 053 – šroubování axiálních komponent, st. 054 – šroubování axiálních komponent, st. 061 – šroubování radiálních komponent

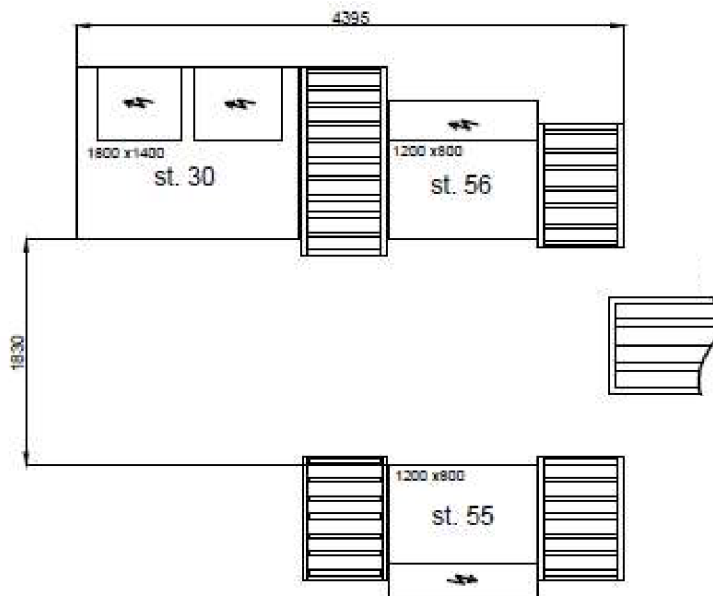
Operace na lince probíhají následovně. Rail je vyjmut z pracího koše a poté vložen do stanice 30 pro popis a nalepení štítku. Poté následuje stanice 31, kde jsou zkontrolovány axiální plochy. Pokud má rail lisovaný nízkotlaký konektor, je další stanicí stanice 14, kde proběhne lisování. Další operací je šroubování na stanicích 53 a 54. Rail jde tedy buď přes stanici 53, nebo 54. Po dokončení axiálního šroubování může být pro určité typy další operací radiální šroubování na radiální šroubovací stanici číslo 61.

### 8.2.4 Montážní linka 4 (ML4)

Montážní linka 4 je opět odlišná od ostatních linek. Její koncepce je podobná jako u ML1 a ML3, lze na ní pracovat s variabilním počtem pracovníků. Na rozdíl od předchozích

linek není možné na této lince vyrábět typy s lisovaným nízkotlakým konektorem či s radiálními komponentami, protože lis ani radiální šroubovací stanice není její součástí.

Výstup z pračky je na této lince řešen stejně jako v předchozích případech, tělesa railů jsou k lince dopraveny v pracích koších, odkud si je pracovník odebírá.



Obr. 23) Layout ML4; st. 030 – popis a lepení štítku, kamerová kontrola těsnicích ploch, st. 056 – šroubování axiálních komponent, st. 056 – šroubování axiálních komponent

Již z layoutu linky je patrné, že má na rozdíl od předchozích linek podstatně menší počet stanic. Velkým rozdílem je to, že linka nemá stanici 31 na kontrolu těsnicích axiálních ploch. Tato funkce je integrována do stanice 30. Pracovník vloží do stanice rail, ta si jej automaticky natočí tak, aby byl štítek nalepen na vhodné místo. Mezitím, kdy je popisován a lepen štítek, jsou kamerami zkontrolovány axiální těsnicí plochy. Po dokončení těchto operací rail pokračuje na šroubovací stanice 55 a 56, které jsou schopny mimo jiné šroubovat i komponentu PCV.

I zde platí stejný princip jako na ML3, axiální komponenty jsou kompletně našroubovány v jedné stanici, takže rail jde buď přes stanici 55 nebo přes stanici 56, v žádném případě přes obě, jak je tomu například na ML1. Po dokončení šroubování je rail předán k následujícím operacím.

### 8.2.5 Montážní linka 5 (ML5)

Montážní linka 5 má úplně jiný koncept, než linky předchozí. Jedná se o linku, na které jsou montovány díly pro aftermarket, takže se obvykle jedná o velmi malé dávky, například od jednoho po patnáct kusů. Je zbytečné takto malými dávkami zatěžovat sériové linky, a to z důvodů ztrát kvůli přeseřizování atp.

ML5 je ruční linka, na které pracuje pouze jeden pracovník a vyrobí se na ní velice malé množství kusů denně, a proto není pro automatizaci vhodná. Z tohoto důvodu nebude zahrnuta do rozhodovací matice.

### 8.2.6 Montážní linka 6 (ML6)

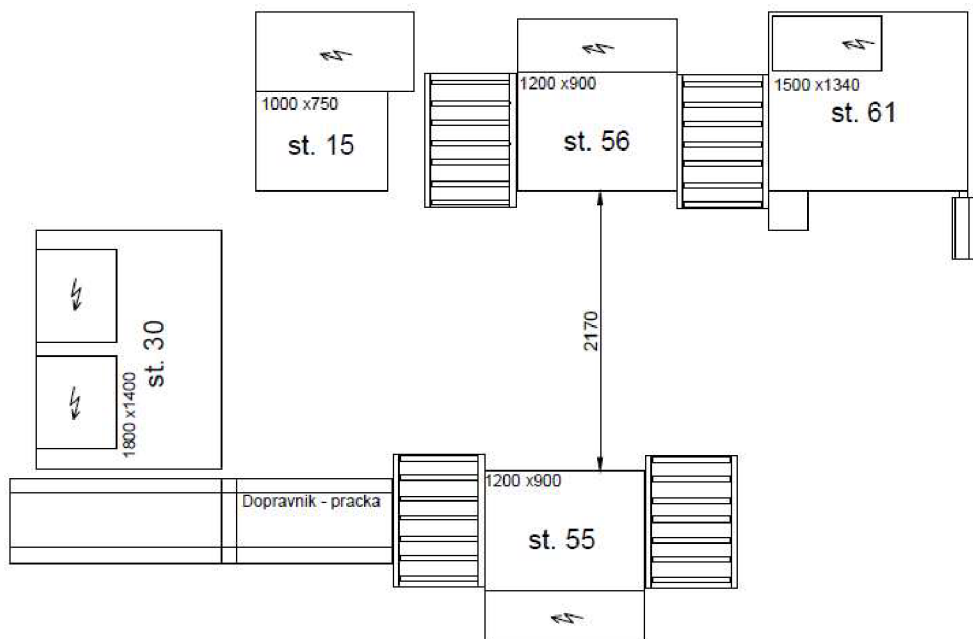
Montážní linka 6 je opět specifickou montážní linkou. Jedná se o linku, na které se montují dlouhé svařované raily, jejich délka po smontování se blíží téměř metru. Velice patrný rozdíl je možné vidět hned na začátku linky, kde pracovník kontroluje tělesa pomocí endoskopu. Pokud nenajde žádná poškození či nečistoty, vloží raily do pračky, která je umístěna přímo u linky. I princip pračky je jiný, než na klasických sériových linkách. Jakmile jsou raily vyprány, pokračují na stanici 30, ve které jsou zkontrolovány axiální plochy a nalepen štítek. Další operací je šroubování komponent na stanici 69, pro tyto dlouhé raily se typicky využívá kombinace PLV a RPS.

Jedná se o linku, která je hodně specifická, raily jsou opravdu dlouhé a těžké. Ani v počtech smontovaných kusů se tato linka nemůže srovnávat s klasickými sériovými linkami, vyrobí jich podstatně méně. Z těchto důvodů tedy není vhodnou variantou pro robotizaci a nebude zahrnuta do rozhodovací matice.

### 8.2.7 Montážní linka 8 (ML8)

Montážní linka 8 je nejnovější linkou na celé montáži. Je to jediná linka, která dokáže montovat raily s nejnovější generací PCV (na 2500 barů). Jedná se o linku, která dokáže smontovat téměř vše, má jak lisovací stanici na lisování nízkotlakých konektorů, tak také radiální šroubovací stanici pro šroubování radiálních komponent.

Další věcí, ve které se ML8 liší od všech ostatních, je výstup z pračky. Doprava vypraných těles na linku není realizována pomocí košů, ale pomocí dopravníku. Pracovník tak bere tělesa z výstupu pračky, kam rail přijede pokaždé ve velice podobné poloze. Jakmile je těleso odebráno, přijede další. Pro robotizaci je takový výstup velkou výhodou, protože zajišťuje pokaždé stejné umístění tělesa a depaletizace je díky tomu v mnohém jednodušší.



Obr. 24) Layout ML8; st. 030 – popis a lepení štítku, kamerová kontrola těsnicích ploch, st. 014 – lisování nízkotlakého konektoru, st. 055 – šroubování axiálních komponent, st. 056 – šroubování axiálních komponent, st. 061 – šroubování radiálních komponent



Samotná linka je založená na stejném principu jako většina předchozích. Rail je nejdříve vložen do stanice 30 pro popis a lepení štítku, kontrolu axiálních ploch. Pokud se jedná o typ, který má lisovaný nízkotlaký konektor, pokračuje na stanici 14, kde proběhne lisování. Další operací je šroubování axiálních komponent na šroubovacích stanicích 55 a 56, které mají dva šroubováky, například jako ML4, a proto jsou obě komponenty našroubovány v jedné stanici. Velkou výhodou těchto šroubovacích stanic je to, že při šroubování PCV není nutné fixovat převlečnou matici C-hákem, protože si ji stanice zafixuje automaticky. Poslední stanicí je stanice 61, na které je možné šroubovat komponenty radiální.

### 8.3 Volba linky vhodné pro robotizaci

Při výběru vhodné linky pro robotizaci je nutné brát ohled na mnoho faktorů a požadavků. Na začátku je dobré si uvědomit, že jedním z hlavních požadavků je dosáhnout návratnosti investice do dvou let, dalším velice důležitým požadavkem je dosažení taktu, který bude stejný nebo kratší než před robotizací.

Vhodnými adepty na robotizaci jsou tedy linka 1, 3, 4 a 8. Jejich vlastnosti a rozdíly jsou zhodnoceny v následující tabulce:

Tab 1) Porovnání vlastností linek

	Výstup z pračky	Stanice 30/31	Lisovací stanice	Šroubování PCV	Radiální šroubování
ML1	prací koše	dvě stanice	ano	ne	ano
ML3	prací koše	dvě stanice	ano	ano, C-hák	ano
ML4	prací koše	kombinovaná	ne	ano, C-hák	ne
ML8	automatizovaný	kombinovaná	ano	ano, automatická fixace	ano

Když se podíváme na zhodnocení linek, je více než jasné, že můžeme rovnou vyřadit ML1. Jedná se o linku, která má velký počet stanic a patří mezi nejstarší, proto je více než jasné, že bude časem nutná její modernizace (nové šroubovací stanice či nová kombinovaná stanice pro popis, lepení štítku a kontrolu axiálních ploch). Tato linka má navíc lisovací stanici, která by musela být výrazně modifikována, což by znamenalo velkou investici. Tento fakt by mohl výrazně kolidovat s požadavkem návratnosti do dvou let.

Když porovnáme ML3 a ML8, je patrné, že mají velice podobné vlastnosti i podobné stanice. Vlastnosti ML8 se ovšem pro robotizaci hodí podstatně více, a to díky automatizovanému výstupu z pračky, operacemi popis, lepení štítku a kontroly axiálních ploch v jedné stanici či automatické fixaci převlečné matice při šroubování PCV. ML3 tedy můžeme z výběru vyřadit, protože ML8 je srovnatelnou variantou s výrazně lepšími vlastnosti pro automatizaci.

Nyní je nutné vybrat jednu ze dvou zbývajících linek. ML4 sice nemá v porovnání s ML8 automatizovaný výstup z pračky či fixaci převlečné matice bez C-háku, na druhou stranu nemá ani lis či radiální šroubovací stanici, je kompaktní a rychlá. Díky těmto vlastnostem byla zvolena pro robotizaci právě tato linka.

Z technického hlediska bude nutné vyřešit tři základní otázky, které jsou pro robotizaci této linky zásadní, a to depaletizaci, předšroubování komponent a fixaci PCV bez C-klíče.

## 9 SOUČASNÝ STAV ML4

Montážní linka 4 patří mezi rychlé sériové linky. Svoji funkci plní díky kombinaci manuální lidské činnosti a automatického provozu. Vzhledem k tomu, že je linka navržena a odladěna přímo na míru montáže railu, zde panují minimální prostoje a všechny operace na sebe plynule navazují. Na této lince může pracovat variabilní počet pracovníků, nicméně ideální počet jsou pracovníci dva.



Obr. 25) Stanice 30 [3]

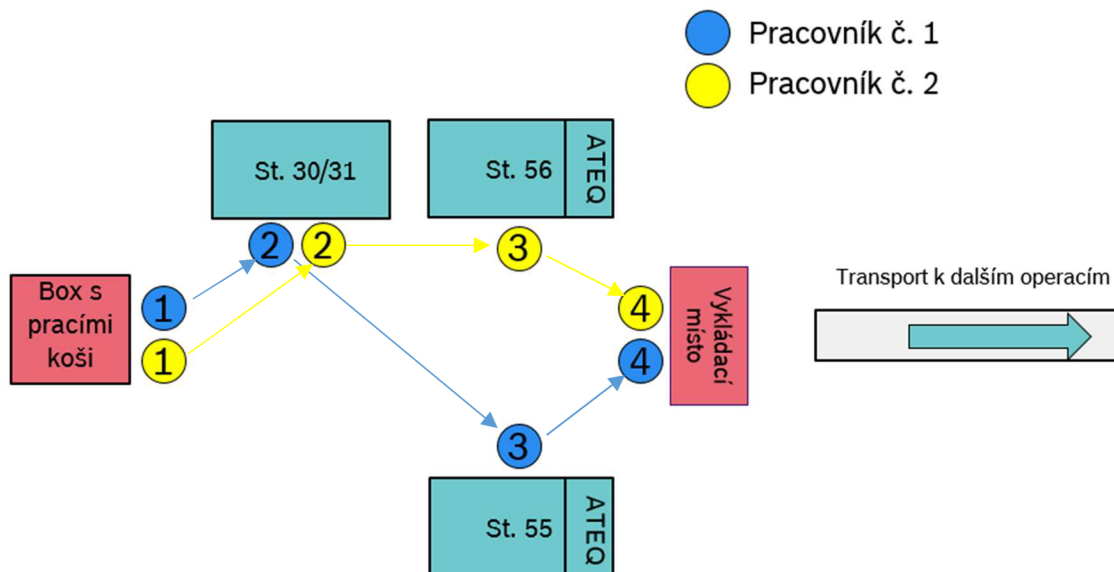


Obr. 26) Stanice 55 [3]

Jak již bylo zmíněno v kapitole 7.2.4, ML4 se sestává ze třech stanic – jedné na popis, lepení štítku a kontrolou axiálních těsnicích ploch (30), a ze dvou stanic šroubovacích (55, 56). Takt linky se odvíjí od toho, jaký typ je na ní zrovna montován, obvykle se pohybuje mezi 20 – 25 vteřinami. Bude tedy vhodné si určit referenční typ, u kterého bude provedena podrobnější časová analýza. V našem případě si zvolíme referenční typy dva tak, abychom obsáhly obě platformy a všechny plánované komponenty.

### 9.1 Podrobný popis linky

Jak již bylo zmíněno výše, ideální počet pracovníků na lince jsou dva. Každý pracovník plní určité úkony, které jsou definované v návodkách. Sled operací je navržen tak, aby byly prostoje co nejmenší a stanice byly efektivně využívány. Aktuální sled operací pro každého pracovníka je znázorněn na následujícím schématu.



Obr. 27) Schéma sledu operací na ML4

Každý pracovník má definovaný pracovní postup, kterého se musí držet. Vše začíná tím, že vyjme z pracího koše vypraný rail, který musí vložit do stanice 30. Když pomineme začátek výroby po přestavbě atp., je v této stanici již přichystaný zkontrolovaný rail s nalepeným typovým štítkem. Pracovník tedy jednou rukou tento rail vyjme, druhou do stanice vloží vypraný rail a spustí operaci.

Poté následuje šroubování. Ještě předtím, než je rail vložen do šroubovací stanice, je nutné připravit komponenty. Pracovník tedy odloží rail do vidliček vedle stanice, vezme komponenty, které umístí do speciálních přípravků. DMC komponent je kamerami načteno do systému pomocí kamer, a pokud je nutné je mazat, tak proběhne i mazání. Poté záleží na typu komponenty. Pokud se jedná o PCV, vyjme je pracovník z přípravku a vloží do šroubovací stanice a zajistí C-klíčem. Všechny ostatní typy komponent vyjme z mazacího přípravku a předšroubuje je do railu. Poté takto připravený rail vloží do šroubovací stanice a spustí operaci.

Než proběhne šroubování, vyjme opět těleso z pracího koše, ze stanice 30 si vezme rail se štítkem a vloží tam vypraný. Připraví si komponenty, a jakmile šroubovací stanice ukončí operaci, rail vyjme a do stanice vloží rail následující. Hotový díl odloží na pás, který jej dopraví k dalším operacím.

Pokud vše běží tak, jak má, je linka schopná produkovat raily v dobrém taktu, nicméně je nutné počítat s tím, že lidský faktor má na její výkony nezanedbatelný vliv. Výsledky linky tedy velkou měrou závisí na zručnosti či rychlosti reakce pracovníků.

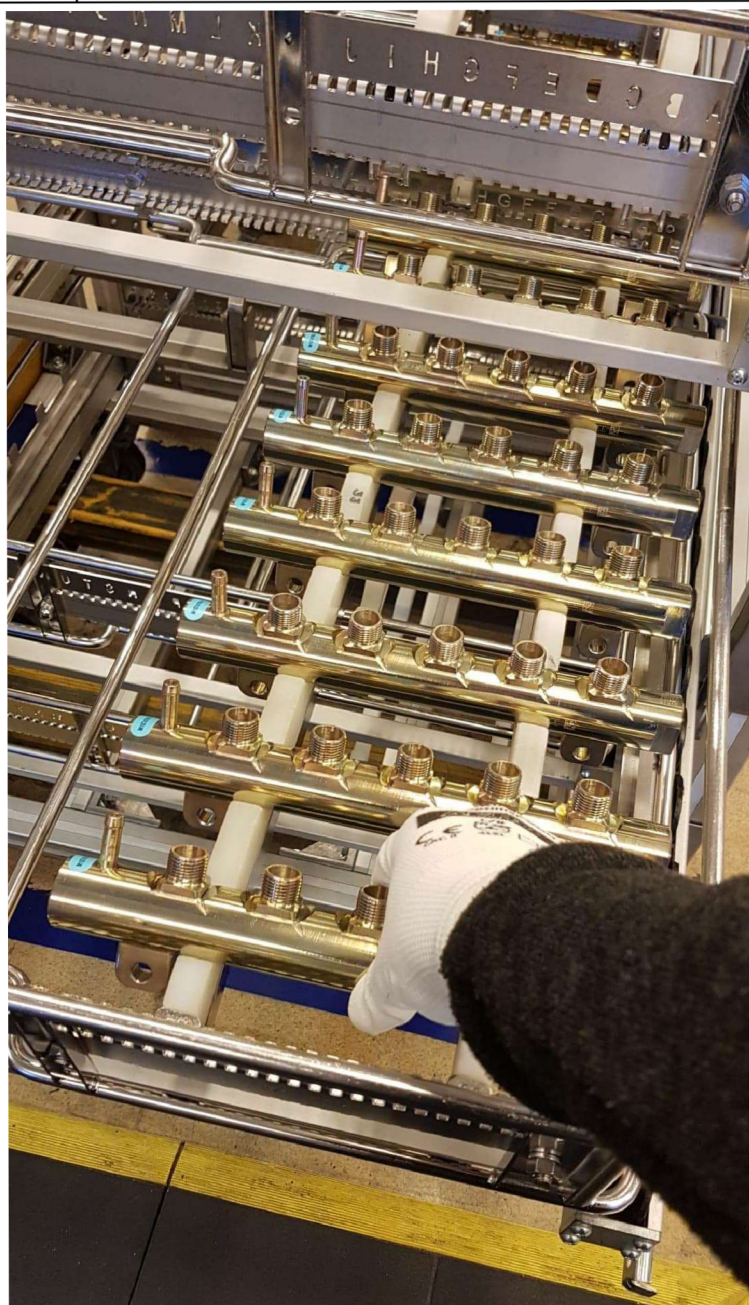
### 9.1.1 Vstup těles do linky

Vstup materiálu – konkrétně těles – do linky, je zajištěn pomocí boxů a speciálních pracích košů. Prací koše s vypranými raily jsou postupně naskládány do boxů a ty poté od pračky dopraveny k lince. Raily jsou v pracích koších pozicovány pomocí speciálních pracích hřebenů. Každý typ railu má danou konfiguraci pracích hřebenů. Do těchto hřebenů jsou tělesa umísťována pracovníkem podle daného pracovního postupu.



Obr. 28) Box s pracími koši [3]

Boxy mají několik pater, ve kterých jsou umístěny prací koše. Pracovník musí vždy prací koš odjistit, vysunout jej ven z pracího boxu a postupně odebírat raily. Když je koš prázdný, je nutné jej opět zasunout a vysunout další. Tato operace se opakuje, dokud nejsou všechna tělesa vyjmuta.



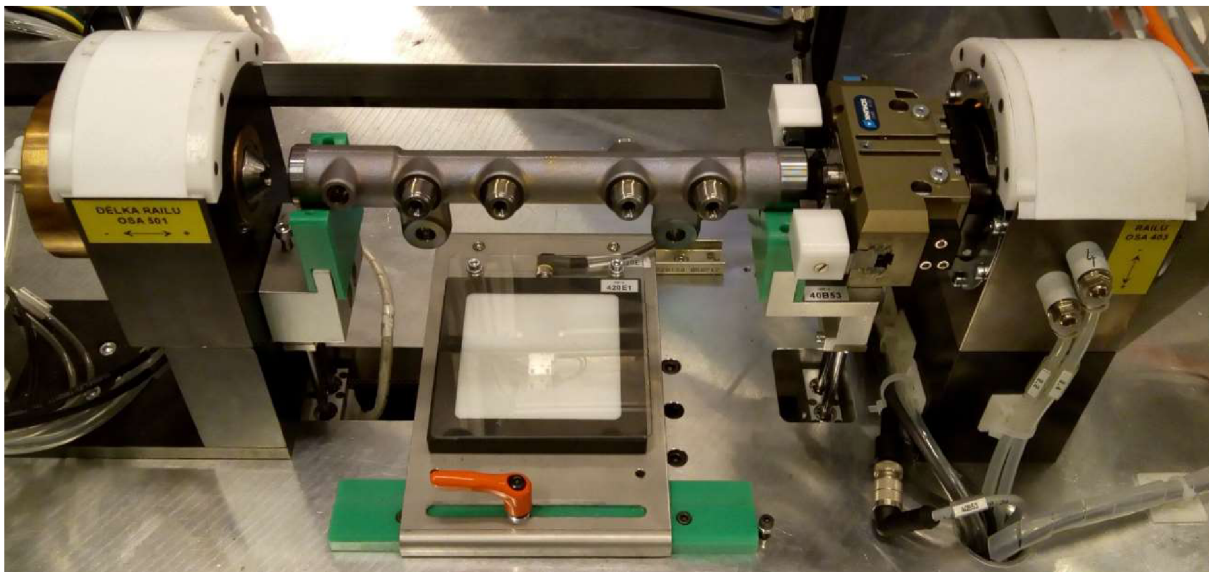
Obr. 29) Depaletizace těles z pracího koše [3]

Je více než jasné, že depaletizace z boxů a košů je poměrně náročný a komplikovaný úkol, protože každý typ railu je v koši umístěn jiným způsobem, je zde poměrně málo místa na nějakou manipulaci a odebrání railu, navíc koš je nutné vždy vysunout a po vyprázdnění zasunout. Navíc tento prací box musí být vždy doručen pracovníkem až na linku. Depaletizace bude tedy jednou ze zásadních otázek, které bude nutné vyřešit.

### 9.1.2 Stanice 30

Ve stanici 30 probíhají dvě operace, první je popis a nalepení štítku, druhou kontrola axiálních těsnících ploch. Pracovník vloží těleso railu do této stanice, spustí operaci a o nic dalšího už se starat nemusí. Výhodou je, že pro tuto stanici nejsou nutné žádné přípravky, protože má automatický systém pozicování. Těleso railu si napozicuje tak, aby byl štítek

nalepen na vhodné místo. Díky tomu je zajištěno, že je rail připraven na vyjmutí ze stanice vždy v přibližně stejné pozici.



Obr. 30) Upínání railu ve stanici 30 [3]

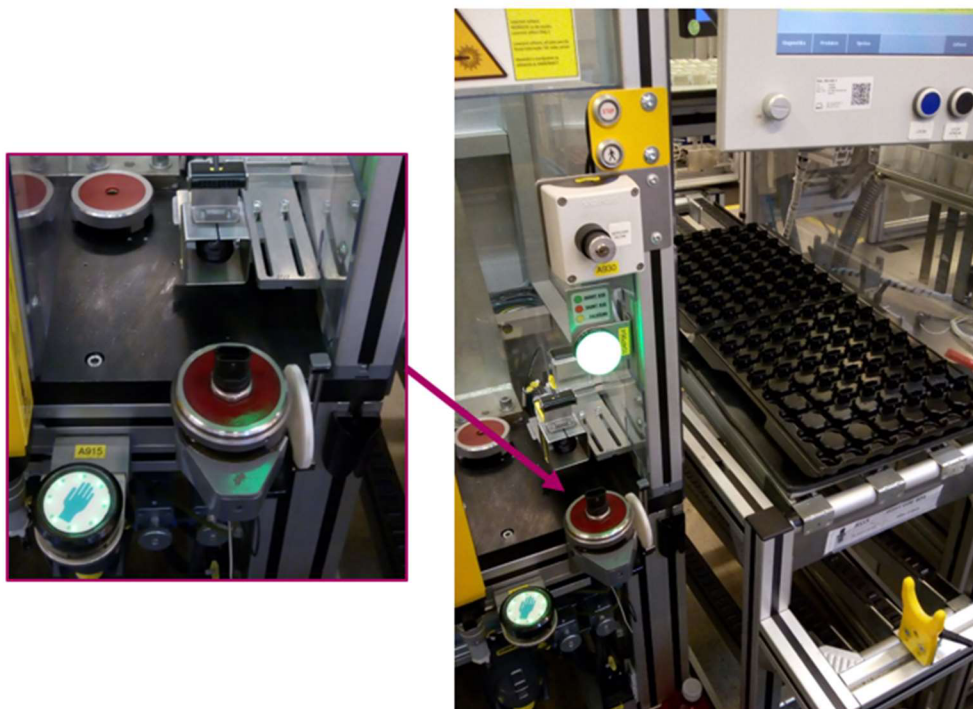
### 9.1.3 Šroubovací stanice 55 a 56

Šroubovací stanice mají na starosti šroubování komponent. Samotný proces závisí na typu komponenty. Jediná komponenta, která se hodně liší, je PCV. Šroubování této komponenty s pomocí C-klíče bylo již rozebíráno v kapitole 7.1.1. Základními body, na které je nutné se zaměřit, je mazání a načtení komponent do systému, jejich předšroubování a vložení takto připraveného railu do stanice. Rail musí být do stanice vložen vždy ve stejné poloze, aby byl dobře umístěný v přípravku. Po dokončení šroubování je rail vyjmut a odložen na odkládací místo.

### 9.1.4 Manipulace s komponenty

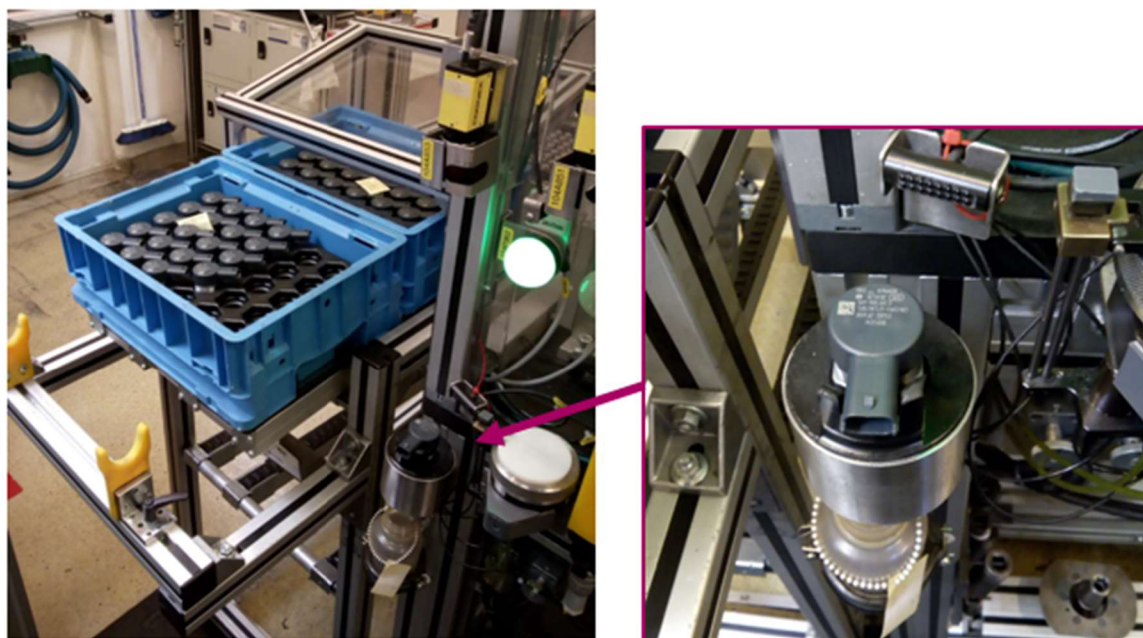
Komponenty jsou k lince dopravovány v KLT, ve kterých se nachází jednotlivě umístěné v blistrech. Milkrun vyjme blistry z KLT a vloží je na skluzu, například u PCV jsou na skluzu vložena celá KLT. Tyto tratě zajistí dopravu komponent na vhodné místo. Každá komponenta má svůj vlastní typ blistru, liší se i počet dílů, které lze do blistru umístit. Pracovník vyjme z blistru komponentu a vloží ji do mazacího přípravku, ve kterém je provedeno mazání a její DMC je načteno do systému. Komponenty jsou mazány z toho důvodu, aby se zabránilo vzniku studeného sváru mezi zákusnou hranou a tělesem railu.





Obr. 31) Blistry s RPS (vpravo), RPS vložená do mazacího přípravku (vlevo) [3]

Výjimkou je PCV, které je vkládáno do kontrolního přípravku. Tato komponenta není mazána, je u ní pouze kontrolována přítomnost O-kroužku a filtru. Během této kontroly je také její DMC načteno do systému a spojeno s konkrétním railem, do kterého bude našroubována.



Obr. 32) KLT s blistry s PCV (vlevo), PCV vložená do kontrolního přípravku (vpravo) [3]

## 9.2 Časová analýza procesu montáže railu

Časová analýza má za úkol analyzovat a změřit vykonávanou práci. Cílem měření práce je určení spotřeby času. Cílem je získat objektivní pohled na to, kolik času je reálně spotřebováno na daný proces.

Analýzu můžeme rozdělit na přímou či nepřímou. Mezi metody přímého měření patří například měření za pomoci stopek či pomocí specializovaného softwaru. K nepřímým metodám můžeme zařadit například metody MTM (Methods Time Measurement) či UMS (Universal Maintenance Standards). [18] [19]

Hned na začátku je nutné si z důvodu širokého spektra montáže určit referenční typy, jak již bylo zmiňováno výše, v našem případě budou dva (každý za jednu platformu).

Jako referenční byly zvoleny dva typy, jeden HFR – typ 0445.218.029 (2x šroubovací zátka) a druhý LWR – typ 0445.214.248 (PCV + RDS). Tyto typy jsou referencí jak pro oba druhy platform, tak také pro všechny typy komponent, jejichž montáž je na ML4 po robotizaci plánována.



Obr. 33) Zleva – rail 0445.218.029 a 0445.214.248 [3]

### 9.2.1 Přímé měření

Chronometráž slouží ke stanovení délky trvání určitého pracovního děje, v současné době se jedná o nejpoužívanější způsob stanovení výkonové normy. Tento princip je založen na rozdělení měřené operace do několika dílčích úseků. Spotřebu časů zaznamenáme do tabulky. Výhodou této metody je vyloučení extrémních hodnot jednotlivých úkonů a zajištění spolehlivosti měření či definování problematických úkonů. [19]

Analýzu provedeme z natočeného videa, které si budeme postupně stopovat, a díky tomu odměřovat časy jednotlivých operací. Díky možnostem videa, jako je zpomalení či využití speciálních softwarů, lze dosáhnout velice přesných výsledků. V našem případě budeme využívat stopky, a proto je vždy nutné myslet na to, že lidský faktor hraje při měření časů velkou roli a může způsobit různě velké odchylky.

Na začátku je nutné zmínit to, že na lince pracují dva pracovníci, kteří konají stejné operace. Pro jednoduchost tedy budeme měřit práci jednoho pracovníka, výsledný takt měření tedy bude dvojnásobný. Další důležitá věc je ta, že operace za sebou nejdou sériově, ale probíhají také paralelně a vše je nastaveno tak, aby se nestalo, že stroj bude čekat na člověka. Změřena bude montáž dvou výše zvolených typů. První byl změřen typ 0445.218.029.

Výsledky měření typu 0445.218.029

V tabulce můžeme najít naměřené časy pro jednotlivé operace. Vzhledem k tomu, že neprobíhají sériově, je nutné vybrat ty, které probíhají paralelně a pomocí toho určit nejužší místo linky.

Tab 2) Časy jednotlivých operací pro typ 0445.218.029

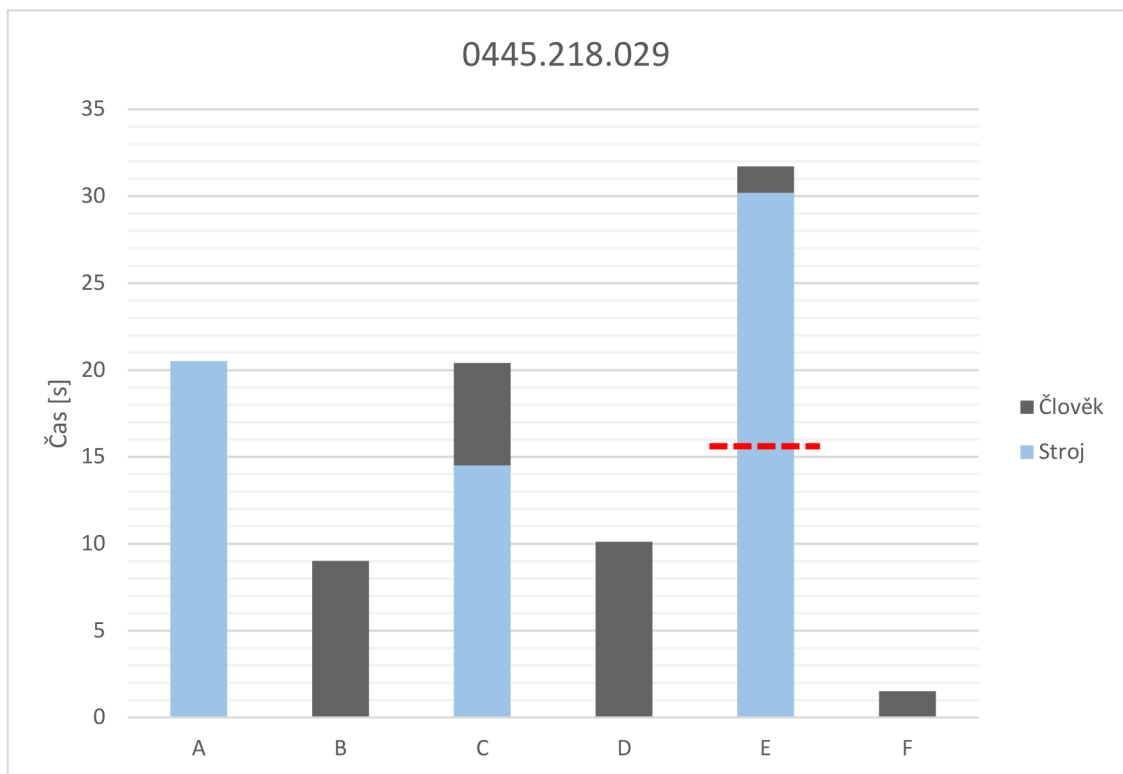
Operace č.	Provádí	Operace	Čas operace [s]
1	pračka	Praní	20,5
2	člověk	Transport k lince	9
3	člověk	Vyjmutí railu z pracího koše a vložení do stanice 30	2
4	Stanice 30	Popis, nalepení štítku + kontrola těsnících ploch	14,5
5	člověk	Vyjmutí railu ze stanice 30, transport k šroubovací stanici	3,9
6	člověk	Vložení komponent do přípravků	2,6
7	člověk	Předšroubování šroubovacích zátek	7,5
8	člověk	Založení railu do šroubovací stanice	1,5
9	Stanice 55	Šroubování zátek	30,2
10	člověk	Vyjmutí railu a odložení na pás	1,5

Následující tabulka ukazuje jednotlivé skupiny operací, jejich průběh a to, zda činnost vykonává člověk či stroj. Tyto skupiny vůči sobě probíhají paralelně, jednotlivé operace ve skupinách běží sériově.

Tab 3) Skupiny operací

Skupina	Operace	Čas práce stroje [s]	Čas práce člověka [s]
A	1	20,5	-
B	2	-	9
C	3, 4, 5	14,5	5,9
D	6, 7	-	10,1
E	8, 9	30,2	1,5
F	10	-	1,5

Graf 1) Přehled naměřených časů pro typ 0445.218.029 v grafu



Z grafu je jasné, že nejužším místem je operace šroubování. Je ovšem třeba si uvědomit, že tato operace je zdvojená, máme dvě šroubovací stanice a dva pracovníky obsluhy, jak bylo zmíněno výše. Za dobu, kterou probíhá skupina E, jsme tedy schopni sešroubovat dva raily. Výsledný čas je tedy nutné podělit dvěma. Tímto výpočtem získáme výsledný čas 15,85 s (v grafu znázorněno červeně). Přesuneme se tedy k dalšímu nejužšímu místu, čímž je operace praní. Tato operace trvá 20,5 s a je naším úzkým místem. Zjištěný takt linky je tedy **20,5 s**.

Výsledky měření typu 0445.214.248

Tento typ má stejný sled operací jako typ předchozí, je ovšem nutné počítat s tím, že šroubování komponenty PCV je časově podstatně náročnější. Hodnoty jsou opět zapsané v tabulce:

Tab 4) Časy jednotlivých operací pro typ 0445.214.248

Operace č.	Provádí	Operace	Čas trvání operace [s]
1	pračka	Praní	20,5
2	člověk	Transport k lince	9,3
3	člověk	Vyjmutí railu z pracího koše a vložení do stanice 30	2,1
4	Stanice 30	Popis, nalepení štítku + kontrola těsnicích ploch	14,7
5	člověk	Vyjmutí railu ze stanice 30, transport k šroubovací stanici	3,9
6	člověk	Vložení komponent do přípravků	2,6
7	člověk	Předšroubování RDS	5,1
8	člověk	Založení railu do šroubovací stanice + založení PCV	3,4
9	Stanice 55	Šroubování PCV + RDS	44,3
10	člověk	Vyjmutí railu a odložení na pás	1,9

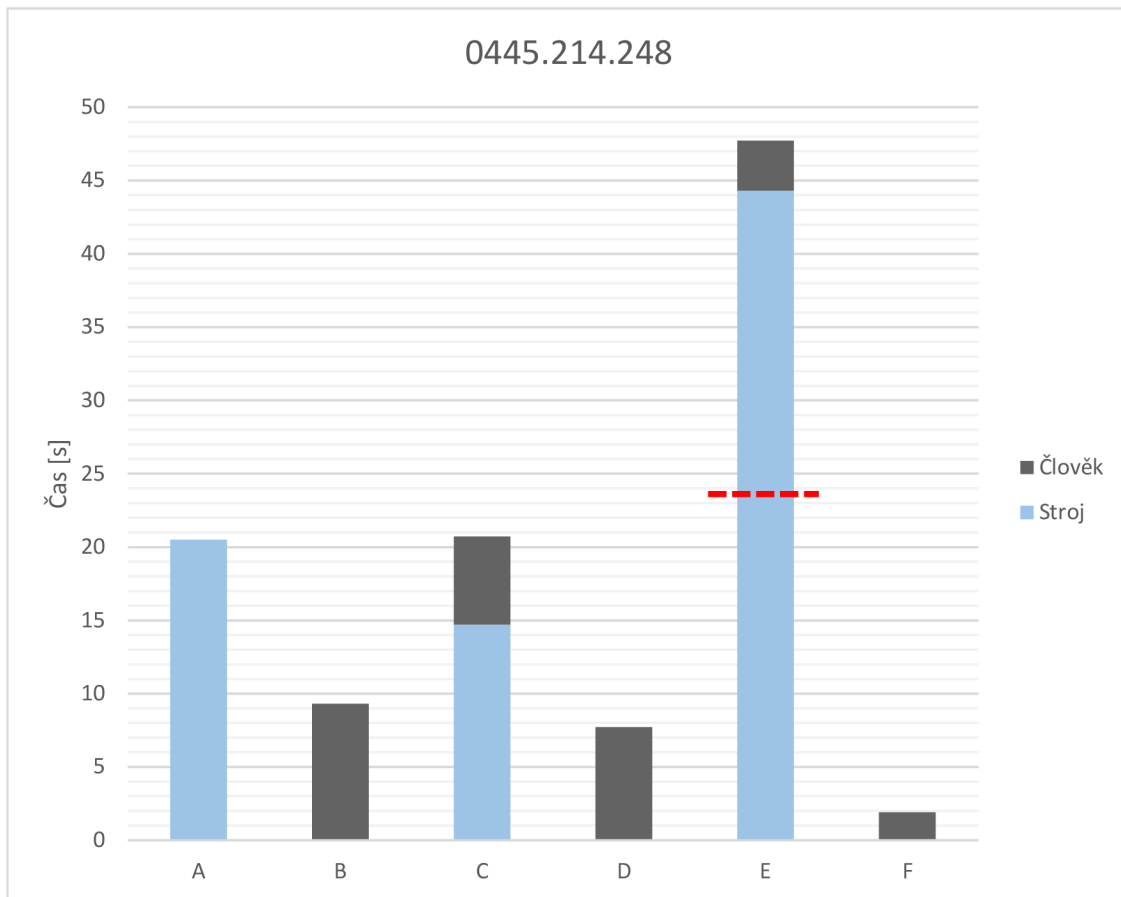
V tabulce 5) níže je opět znázorněné rozdělení do skupin a výsledné časy těchto skupin operací.

Tab 5) Skupiny operací

Skupina	Operace	Čas práce stroje [s]	Čas práce člověka [s]
A	1	20,5	-
B	2	-	9,3
C	3,4,5	14,7	6
D	6,7	-	7,7
E	8,9	44,3	3,4
F	10	-	1,9

Jednotlivé skupiny operací byly opět zaznamenány do grafu pro lepší analýzu úzkého místa a tím i taktu linky.

Graf 2) Přehled naměřených časů pro typ 0445.214.248 v grafu



Graf 2: Přehled naměřených časů pro typ 044.214.248

Z grafu je patrné, že nejdelší čas trvá skupina E, tj. šroubování a nutná manipulace kolem. Jedná se o stejný případ jako u předchozího typu. Šroubovací stanice jsou dvě, a proto je nutné počítat s taktom polovičním. V našem případě je to 23,85 s. Vzhledem k tomu, že žádná operace netrvá delší dobu, našli jsme úzké místo linky. Výsledný takt pro typ 0445.214.248 je tedy **23,85 s**.

### 9.2.2 Nepřímé měření

Do metod nepřímého měření patří MTM (Method Time Measurement). Jedná se o analýzu, která slouží k hodnocení lidské práce, která se sestává ze stále se opakujících úkonů. Mezi tyto úkony patří například úchopy, přemístění, jednotlivé pohyby, spuštění stroje či pohyb očí. Časy těchto úkonů jsou u každého člověka velice podobné. Díky rozložení práce člověka na jednotlivé složky, které mají statisticky daný čas. [18] [19]

V našem případě tato metoda není vhodná, a to z toho důvodu, že úzkým místem je vždy stroj, která čeká na člověka. Proto analýzou lidské práce nezískáme odpovídající výsledky, které by pro nás byly přínosné. Strojní čas má na výsledný takt linky podstatně větší vliv.

### 9.3 Náklady na opravy a chyby

Náklady na opravy a chyby jsou jedním z pádných důvodů pro robotizaci linky. Co se nákladů na opravy týče, nejsou zrovna vysoké. Všechno vybavení linky je nastaveno tak, aby co nejvíce znemožňovalo jakékoliv poškození zařízení. Pokud rail není založen správně, nejde proces

mnohdy spustit. K těmto opatřením se řadí také poka-yoke přípravky, které pracovníkovi nedovolí rail založit do stanice špatně, čímž se zabraňuje jak poškození railu, tak také možnému poškození stanice.

Mezi nejčastější chyby patří upadnutí komponenty na zem či poškození railu z důvodu pádu či potlučení o přípravek či jinou část linky. Jedná se o chyby, které jsou způsobeny přímo lidským faktorem. Jakmile komponenta spadne na zem, musí se vyhodit. To samé platí o poškozeném railu. V případě, kdy je poškozené pouze těleso, jsou komponenty demontovány a znovu použity, mnohdy ale vyžadují dodatečné testování, což stojí čas a peníze.

#### 9.4 Pracovník na lince

Vzhledem k tomu, že se jedná o sériovou linku, je linka v provozu téměř nepřetržitě. Pracovníci se na ní střídají ve směnách po osmi hodinách s povinnými přestávkami. Během těchto přestávek je činnost linky pozastavena.

Člověk je tedy hlavním prvkem montáže, a proto je nutné myslet na to, aby se mu co nejlépe pracovalo a veškeré činnosti pro něj byly co nejméně náročné. Obsluha vykonává práci ve stoje a je velkou část pracovní doby v pohybu. I když je celá linka navržena tak, aby byla co nejvíce ergonomická, jedná se mnohdy o fyzicky náročnou práci.

Je nutné monitorovat nejen činnosti pracovníka, ale také to, jak velká hmotnost mu během směny projde rukama. Zvláště větší raily mohou vážit několik kilogramů, a proto je nutné plánovat vytížení linky tak, aby nebyla překročena povolená denní zátěž na zaměstnance.

#### 9.5 Výhody a nevýhody současného řešení

Současný stav montážní linky byl zrekapitulován výše. Samozřejmě má svoje výhody a nevýhody. Mezi nevýhody patří vysoké náklady na lidské pracovníky, které každým rokem rostou. Celkově pracovní síla je mnohdy velkým problémem, protože lidé se čím dál více vyhýbají náročným manuálním pracím. Nedostatek pracovníků na trhu práce je další komplikací.

Lidský faktor je tedy v mnoha ohledech nevyzpytatelný a nepředvídatelný. Noví pracovníci mnohdy nedokáží během počáteční doby podávat takové výkony, jako pracovníci zkušenější. Kvůli tomu je linka zpomalována a nedosahuje dostatečné produktivity. Člověk tedy dokáže výkon linky opravdu výrazně ovlivnit. Svoji roli navíc hraje nejen zkušenost, ale také aktuální fyzický a psychický stav, únava či nepozornost, kvůli kterým mohou být přehlédnuty důležité věci.

Člověk nemá ovšem jen vliv negativní. Lidský pracovník mnohdy dokáže zaregistrovat odchylky ve vzhledu produktu či průběhu procesu. Navíc se celkově dokáže jakýmkoliv drobným i výraznějším změnám rychle přizpůsobit.

Výhodou současného uspořádání je to, že v případě problémů na lince, například s jednou šroubovací stanicí, neodstaví linku úplně, protože stále může částečně fungovat a produkovat kusy. Stejný princip funguje i během přestaveb. Zatímco linkou prochází poslední rail typu A, mohou být předchozí stanice postupně přestavovány na typ B. Díky tomu je možné zredukovat čas, kdy linka stojí a neprodukuje kusy. Vliv na OEE (Overall Equipment Effectiveness) je tak minimální.

Něco takového u robotické linky není možné, protože jakmile je nutné udělat nějaký zásah do linky či provést přestavbu, je nutné linku kompletně na potřebnou dobu odstavit a poté

znovu rozjet. Je to tedy podstatně časově náročnější procedura, a proto je nutné počítat s tím, že OEE robotické linky nebude tak vysoké, jako u linky obsluhované lidmi.

## 9.6 Automatizace z pohledu firmy

Motivace firmy pro robotizaci pracoviště je jasná. Když bude lidská práce nahrazena robotem, je možné ušetřit nemalé peníze a lidské pracovníky využít na takovém místě, kde budou potřeba. I firma Bosch se totiž potýká s nedostatkem pracovníků na dílenských pozicích.

Představa spočívá v tom, že manipulace s railem bude zajištěna robotem/roboty, veškeré otázky budou vyřešeny a linka bude běžet ve srovnatelném či lepším taktu, než tomu je doposud. Mezi hlavní body tedy bude patřit nejen vhodné zajištění manipulace s kusy mezi stanicemi, ale také zajištění spolehlivé depaletizace těles, předšroubování komponent a jejich mazání, či zajištění šroubování komponenty PCV bez využití C-klíče. Dalším požadavkem je návratnost investice do dvou let. Pokud by tento požadavek nebyl splněn, nebylo by možné projekt uskutečnit. Návrh by tedy měl brát v potaz nejen technickou stránku věci, ale také tu ekonomickou.

Dalším důležitým bodem je také bezpečnost pracoviště. Bezpečnost pracovníka je totiž na prvním místě. Je tedy nutné v návrhu počítat s tím, aby byla zajištěna bezpečnost nejen během chodu linky, ale také při přestavbách či různých opravách a servisu.

Pokud budou veškeré body splněny, přinese to firmě nemalé výhody. Zaniknou náklady na obsluhu, raily budou manipulovány s vyšší přesností a bude tak zamezeno proměnlivosti lidského faktoru. Tím vším bude možné dosáhnout stabilnější kvality výsledného produktu.

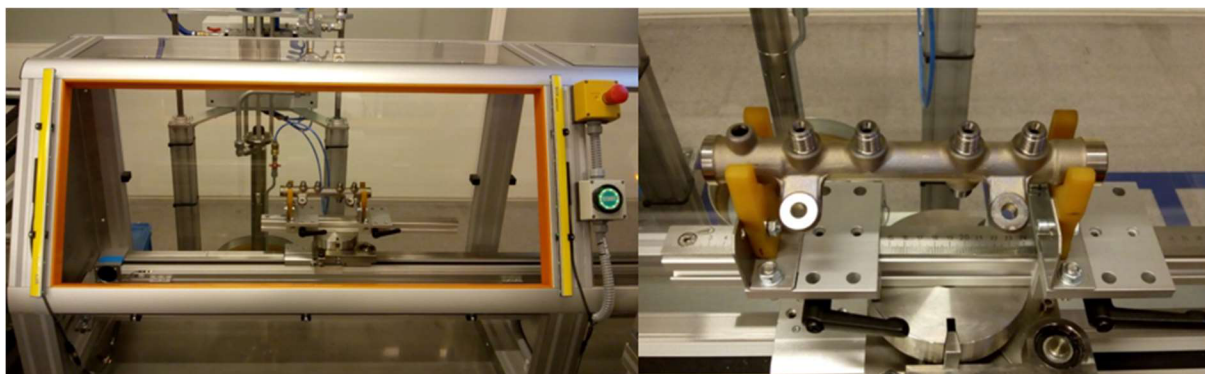
Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady veškerých zařízení, nutnost odstavení linky na dobu nutnou pro realizaci projektu a tím i nutnost předvýroby zásob. Další nevýhodou je také to, že se s vysokou pravděpodobností objeví nová rizika a problémy, které budou odhaleny až během realizace projektu. Proto je nutné během realizace počítat i s časovou rezervou nutnou pro optimalizaci a odladění procesů.



## 10 NÁVRHY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ

Při navrhování možných konceptů je nutné brát v potaz několik věcí, a to nejen technické možnosti linky samotné, ale také finanční návratnost a zachování či zlepšení taktu linky. Vzhledem k tomu, že návratnost projektu musí být nižší než dva roky, jedná se o kritérium, které musí být pečlivě zhodnoceno, to samé platí o výsledném taktu linky.

Jednou z nevýhod ML4 z pohledu robotizace je mimo jiné to, že raily jsou k lince dováženy v pracích koších, ve kterých jsou naskládány v osmi až deseti kusech. Koše jsou umístěny v boxech, v jednom boxu je pět košů nad sebou. Pracovník postupuje tak, že odjistí koš, vysune ho z boxu a postupně odebírá raily, když je koš prázdný, opět jej zasune do railu a pokračuje s dalším košem v boxu. Jedná se tedy o poměrně složitou manipulaci, na kterou není dobré zapomínat. Tento problém bude vyřešen tak, že si ML4 a ML8 vymění svá místa, jednoduše řečeno se „přehodí“.



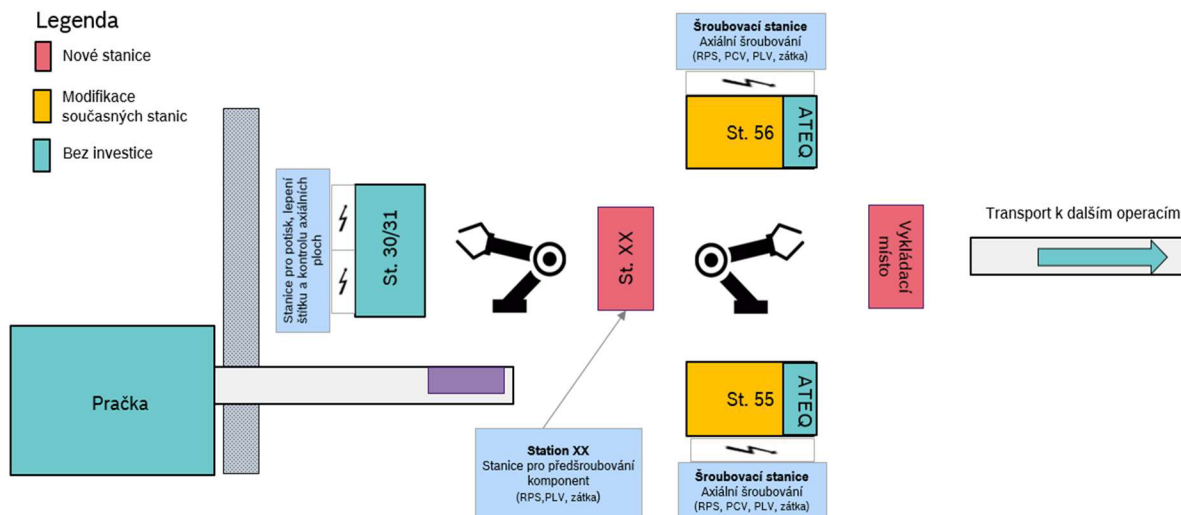
Obr. 34) Automatický výstup z pračky [3]

ML8 bude přesunuta na místo ML4 a obráceně. Tímto krokem se velice zjednoduší proces depaletizace, protože robot bude odebírat raily z automatizovaného výstupu, kam tělesa přijíždí vždy v přibližně stejné pozici.

### 10.1 Koncept č. 1

Koncept číslo 1 počítá s dvěma roboty pro manipulaci s raily a s novou předšroubovací stanicí, ve které by byly předšroubovávány komponenty. Tato stanice by byla inspirovaná technologií z vedoucího závodu v Homburgu. Už by nebyly mazány komponenty samotné, ale mazání by bylo rovnoměrně rozstříknuto přímo do railu.

Vše by fungovalo tak, že z pračky přijede vypraný rail na vykládací místo. Tam si jej vezme první robot a vloží jej do stanice na popis, lepení štítku a kontrolu axiálních ploch. Po dokončení těchto operací by byl rail robotem přesunut do předšroubovací stanice, kde proběhne předšroubování komponent.



Obr. 35) Layout konceptu č. 1

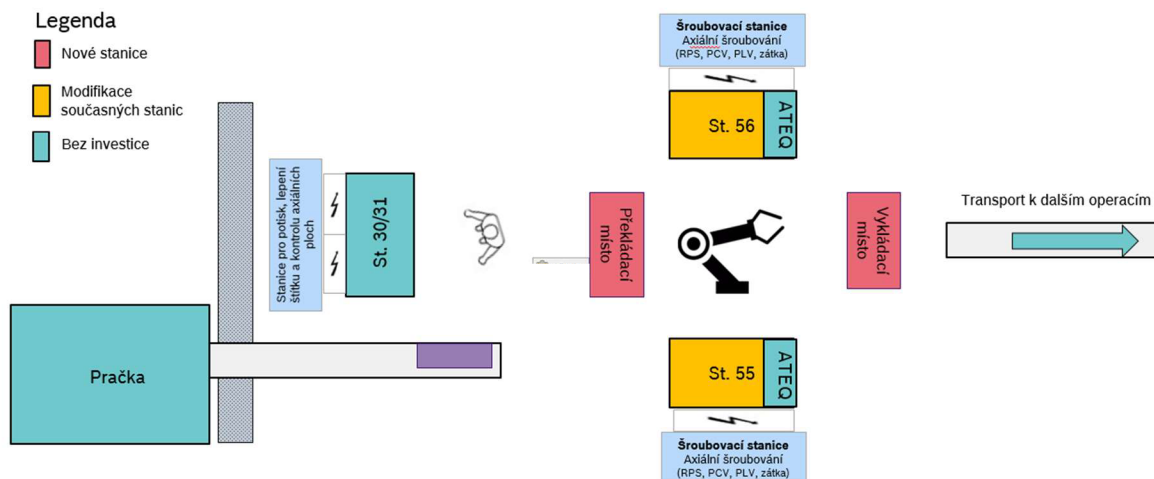
Jakmile bude předšroubování komponent hotové, druhý robot vezme rail ze stanice a vloží jej do jedné ze šroubovacích stanic. Po dokončení šroubování vyjme robot rail ze stanice a položí jej na pás, který jej dopraví k pracovníkům, kteří se postarají o další kroky a operace, jako jsou například vizuální kontrola, balení či vysokotlaká zkouška.

Jedná se o řešení, které by mělo splňovat veškeré požadavky, je ovšem dobré si uvědomit, že může být náročné splnit finanční návratnost do dvou let. Proto je nutné navrhnout i takové koncepty, které sice nedokáží nabídnout takové technické výhody jako tento koncept, ovšem v případě příliš vysoké návratnosti mohou být určitou alternativou.

## 10.2 Koncept č. 2

Koncept č. 2 vychází z konceptu č. 1, akorát bude využita pouze jeho polovina. Toto řešení by se dalo brát v úvahu v případě, že by nevyšla návratnost do dvou let u konceptu č. 1.

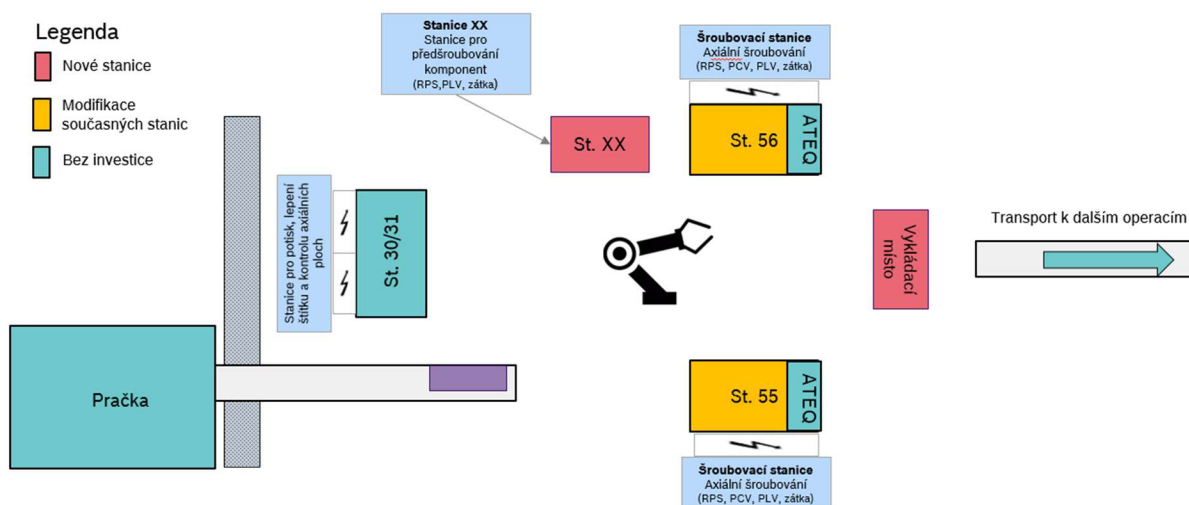
Výstup z pračky a stanici na potisk, lepení štítku a kontrolu axiálních ploch bude obsluhovat pracovník, poté předšroubuje komponenty a předá rail na odkládací místo, odkud si jej vezme robot a postará se o obsluhu šroubovacích stanic pro šroubování komponent. Pro tento koncept by bylo nutné vyřešit mimo jiné i problém se zakládáním komponenty PCV a jejím zajištěním ve šroubovacích stanicích. V případě, že by nevyšla návratnost investic do dvou let, je ovšem tato varianta jednou z potenciálních možností.



Obr. 36) Layout konceptu č. 2

### 10.3 Koncept č. 3

Koncept č. 3 by opět počítal s redukcí konceptu 1, a to takovou, že by stanice obsluhoval pouze jeden robot. Výhodou je sice snížení nákladů, velkým riskem je ovšem to, že nebude dosažen požadovaný takt linky, což je opravdu nezanedbatelné kritérium, které je nutné mít na paměti.



Obr. 37) Layout konceptu č. 3

### 10.4 Simulace pracovních a montážních časů pro jednotlivé koncepty

Abychom byli schopni správně vyhodnotit volbu takového konceptu, který nám v našem případě přinese největší benefity, je nutné mít určitý přehled o tom, v jakém taktu bude linka schopná provádět jednotlivé operace.

Simulační analýza může nabídnout mnoho výhod. Můžeme díky ní zjistit potenciální úzká místa či předejít problémům, které by se během procesu mohly objevit. Výsledkem je čas, za který by byla linka schopná vyprodukovat jeden kus.

Metod simulací je mnoho, je možné využívat jak programy, tak také logické úvahy či tabulky ve vhodném tabulkovém programu. V našem případě bylo zvoleno využití jednoduché

tabulky, protože se samotné procesy téměř nemění, mění se pouze manipulace. Manipulace nikdy nebyla úzkým místem, viz kapitola 9.2. Je ovšem nutné si uvědomit, že v jedné z variant byla úzkým místem pračka, která byla změněna za pračku s automatickým výstupem. Cílem je, aby byl výsledný takt srovnatelný či lepší, než takt linky před robotizací.

#### **10.4.1 Simulace pro koncept č. 1**

Koncept číslo 1 počítá s tím, že veškerou potřebnou manipulaci budou vykonávat dva roboty. Robot číslo 1 vyjme rail z výstupu pračky, vloží jej do stanice na popis, lepení štítku a kontrolu axiálních ploch, poté jej vyjme a vloží do stanice na předšroubování komponent. Jakmile budou komponenty předšroubovány, druhý robot vyjme rail a vloží jej do jedné ze šroubovacích stanic. Po dokončení operace šroubování rail vyjme a vloží jej na odkládací místo.

V časové analýze je tedy nutné vzít v potaz nejen odlišnou pračku, ale také předšroubování komponent, díky kterému se může zrychlit samotné šroubování.

Díky tomu, že pračka s automatickým výstupem dokáže pracovat v rychlejším taktu, než pračka s výstupem manuálním, je eliminováno potenciální úzké místo pro raily bez komponenty PCV. Díky eliminaci času pro manipulaci s raily existuje potenciál na dosažení taktu kolem 18 s.

Co se railů s PCV týče, tak pokud bude zajištěno správné předšroubování komponent, šroubování PCV, které trvá nejdelší dobu a je pro mnoho railů úzkým místem, bude zkráceno, a tím pádem bude možné dosáhnout nižšího taktu, než tomu bylo doposud. Pozitivně vychází i redukce času manipulace s railem. Nasimulovaný čas vycházel na 20 s, což je více než dostačující.

#### **10.4.2 Simulace pro koncept č. 2**

V konceptu číslo 2 se počítá s jedním pracovníkem a jedním robotem. V takovém případě by byl rail vyjmut pracovníkem z pračky, vložen do stanice na popis, lepení štítku a kontrolu axiálních ploch, poté ze stanice vyjmut a proběhlo by předšroubování komponent provedené pracovníkem tak, jak to probíhá doposud. Poté pracovník odloží rail na odkládací místo, vezme si jej robot a vloží jej do jedné ze šroubovacích stanic, následně jej vyjme a pošle dál k dalším operacím.

V časové analýze musíme brát v potaz výstup z pračky, vše ostatní zůstane stejné. Proto platí, že takt railů bez komponenty PCV bude možné snížit na cca 20 s.

Z důvodu absence stanice na předšroubování se takt šroubovacích stanic nezmění. Z toho plyne to, že nám zůstane stále stejné místo pro raily s PCV, takt linky se tedy nezlepší, při nejlepším zůstane stejný.

#### **10.4.3 Simulace pro koncept č. 3**

Koncept číslo 3 je podobný konceptu číslo 1, akorát je zde z důvodu úspor použit pouze jeden robot. Je tedy více než jasné, že je nutné se zaměřit na čas manipulace, protože je pravděpodobné, že právě manipulace bude v tomto případě úzkým místem. Během simulace bylo zjištěno, že takt linky by se při tomto řešení prodloužil, a to až na 30 s. Z toho vyplývá, že tento koncept není pro momentální potřeby vhodný.

### **10.5 Hodnocení jednotlivých variant**

Pro volbu vhodného řešení bylo využito hodnotící tabulky, ve které jsou uvedena jednotlivá kritéria a jejich váha. Ve sloupcích je možné vidět různé koncepty a v řádcích kritéria, která

jsou sledována. Po vyplnění tabulky jsou hodnoty sečteny a porovnány. Varianta s největším počtem bodů bude ta, která bude považována za nejvhodnější. Každé kritérium bude hodnoceno body 1 – 5.

Tab 6) Hodnocení jednotlivých konceptů

Kritérium	Váha	Koncept č. 1		Koncept č. 2		Koncept č. 3	
		Hodno cení	Celkem	Hodno cení	Celkem	Hodno cení	Celkem
Takt linky	6	5	30	4	24	1	6
Bezpečnost	5	5	25	4	20	5	25
Uspořádání linky	4	4	16	3	12	4	16
Náklady	3	3	9	3	9	4	12
Plynulost systému	2	4	8	2	4	2	4
Nároky na údržbu	1	3	3	3	3	5	5
Celkem	-	-	91	-	72	-	68

Jak je z tabulky patrné, vítězným konceptem se stal koncept č. 1, získal největší počet bodů. Dále tedy bude pracováno právě s tímto konceptem. Je ale dobré si uvědomit, že podmínka splnění návratnosti do dvou let je něčím, co splněno být musí. Pokud tedy nebude možné tuto podmínku splnit, bude muset být zvolen koncept jiný.



## 11 VÝBĚR VHODNÉHO DODAVATELE

Výběr dodavatele by neměl být podceňován z mnoha důvodů. Je dobré si uvědomit, že pokud dodavatel nebude schopný vše zajistit v daném termínu či nedokáže nabídnout takové řešení, které bude správně technicky fungovat, může to zastavit výrobu na lince na opravdu dlouhou dobu, což je samozřejmě něco, čemu se vždy snažíme vyhnout. Pokud totiž linka stojí a neprodukuje kusy, dochází k finanční ztrátě a může dojít i k problémům s kapacitou. Proto je volba dodavatele něčím, na co je nutné řádně zaměřit pozornost.

Potenciálních dodavatelů bylo vybráno celkem osm, a to jeden interní a zbylých sedm externích. Volba potenciálních dodavatelů probíhala tak, že byly vybírány především firmy, které již do firmy Bosch něco dodávaly, tím se usnadní mnoho byrokratických záležitostí, navíc pokud s takovými firmami již existují nějaké zkušenosti, je možné vše poměrně snadněji zhodnotit. Pokud potenciální dodavatel zná mimo jiné i prostředí a procesy firmy Bosch, je vše mnohem jednodušší.

### 11.1 Požadavky na potenciální dodavatele

Aby mohli potenciální dodavatelé nabídnout co nejlepší řešení, musí jim být sděleny požadavky a kritéria, které je nutné brát v potaz. Mezi tyto požadavky patří:

- Vyřešení manipulace s railem
- Ideálně použití robotů Stäubli (popřípadě ABB)
- Layout odpovídající požadavkům
- Předšroubování komponent
- Zásobování předšroubovací stanice komponentami
- Zajištění fixace PCV ve šroubovacích stanicích
- Zajištění taktu linky 20 s (pro rail s komponentou PCV)
- Maximální cena 440 400 €<sup>1</sup>

Dodavatelům byly sděleny požadavky, podle kterých mají vytvořit nabídku. Základem je vyřešení manipulace s railem v lince, požadavkem je mimo jiné i to, aby byly v ideálním případě využity roboty značky Stäubli, protože se jedná o roboty, které jsou ve firmě často používané a jsou s nimi bohaté zkušenosti. Dále dodavatel musí navrhnout takový layout, který bude odpovídat požadavkům a nebude zabírat zbytečně moc prostoru.

Jednou z hlavních otázek je také předšroubování komponent a zásobování v předšroubovací stanici. Dalšími body je zajištění automatické fixace PCV a v neposlední řadě zachování taktu linky či maximální cena investice. Všem osmi dodavatelům byly rozeslány tyto požadavky. Jakmile dorazily nabídky, byla provedena celková analýza a zhodnocení. Opět platí, že uvedené ceny jsou vynásobeny určitým koeficientem, stejně jako při kalkulaci v kapitole 11.1.

<sup>1</sup> Částka 440400 € vychází z nákladů na provoz linky za dva roky, více viz kapitola 13 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ. Částka je vynásobena určitým koeficientem z důvodu zákazu zveřejňování financí firmy.

## 11.2 Rozhodovací proces volby vhodného dodavatele

Jakmile byly obdrženy vyjádření od dodavatelů, proběhlo vyhodnocení a volba vhodného dodavatele podle následující rozhodovací proces. Jednotlivé parametry budou obodovány body 1 - 10 a podle nejvyššího součtu vybrán ten nejvhodnější návrh. Vzhledem k tomu, že dodavatelé poskytují nabídky interně, nebudou zveřejňovány názvy firem, pouze budou označeni písmeny A – H.

### 11.2.1 Dodavatel A

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Technické řešení předšroubovací stanice:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Layout:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Celková spolupráce:** Realizace projektu odmítnuta z důvodu nedostatku kapacit.

- Bodové ohodnocení: 0

**Cena:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Celkové ohodnocení: 0**

### 11.2.2 Dodavatel B

**Stát:** DE

**Technické řešení manipulace s railem:** Manipulace řešena prostřednictvím dvou robotů Stäubli TX90L. Způsob upínání railů neuveden a nepředstaven. Simulace času cyklu nedodána.

- Bodové ohodnocení: 3

**Technické řešení předšroubovací stanice:** Samostatná stanice pro předmontáž komponent a pro samostatný systém tří zásobníků pro komponenty. Přesun komponent zajištěn robotem Stäubli TX90L. Způsob zásobování a předmontáže neuveden a nepředstaven.

- Bodové ohodnocení: 3

**Layout:** Layout odpovídá požadavkům. Ve středu linky umístěna stanice pro předmontáž komponent.

- Bodové ohodnocení: 9

**Celková spolupráce:** Firma se účastnila pouze jedné schůzky v Jihlavském závodě bez žádné další spolupráce. Zaslána pouze rámcová nabídka bez podrobnějšího popisu jednotlivých činností.

- Bodové ohodnocení: 3

**Cena:** 584 200 €

- Bodové ohodnocení: 3



## Celkové ohodnocení: 21

### 11.2.3 Dodavatel C

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** Manipulace řešena prostřednictvím dvou robotů ABB. Způsob upínání railů neuveden a nepředstaven. Simulace času cyklu = 32 s. Pro dodržení času cyklu 20 s nutná instalace třetího robota ABB.

- Bodové ohodnocení: 3

**Technické řešení předšroubovací stanice:** Jedna stanice pro předmontáž a zásobování komponent. Vyjímání komponent z blistru pomocí robotu ABB. Způsob zásobování a předmontáže komponent nepředstaven. Pro dodržení času cyklu 20 s nutná instalace dvou stanic pro předmontáž

- Bodové ohodnocení: 3

**Layout:** Layout odpovídá požadavkům.

- Bodové ohodnocení: 10

**Celková spolupráce:** Firma se účastnila několika schůzek v Jihlavském závodě za účelem získání podrobných informací. Předložená nabídka obsahuje rámcovou cenu s obecným popisem jednotlivých činností.

- Bodové ohodnocení: 6

**Cena:** 600 300 €

- Bodové ohodnocení: 2

## Celkové ohodnocení: 23

### 11.2.4 Dodavatel D

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** Manipulace řešena prostřednictvím dvou robotů Stäubli RX160. Způsob upínání railů pomocí středového palce a dvou krajních podpěr. Hlava obsahuje dvě upínací pozice. Simulace času cyklu 18 s.

- Bodové ohodnocení: 10

**Technické řešení stanice pro předmontáž komponent:** Jedna stanice pro předmontáž a zásobování komponent. Vyjímání komponent z blistru pomocí robotu Stäubli TX2-60. Způsob zásobování a předmontáže komponent odpovídá požadavkům. Předmontování komponent probíhá na obou stranách současně.

- Bodové ohodnocení: 10

**Layout:** Layout odpovídá požadavkům.

- Bodové ohodnocení: 10

**Celková spolupráce:** Dodavatel velice aktivně spolupracoval během celého doby. Jeho řešení je podrobně zpracované a bylo odprezentováno přímo v Jihlavském závodě.

- Bodové ohodnocení: 10

**Cena:** 420 625 €

- Bodové ohodnocení: 9

**Celkové ohodnocení: 49**

#### 11.2.5 Dodavatel E

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** Manipulace řešena prostřednictvím jednoho robotu Stäubli RX160 s tím, že budou pravděpodobně potřeba roboty dva. Simulace času cyklu neprovedena.

- Bodové ohodnocení: 3

**Technické řešení předšroubovací stanice:** Zásobování komponent řešeno pomocí tříosého elektrického manipulátoru. Předšroubování komponent na dvou pracovištích s karuselem.

- Bodové ohodnocení: 4

**Layout:** Layout pravděpodobně odpovídá požadavkům.

- Bodové ohodnocení: 9

**Celková spolupráce:** Dodavatel se účastnil třech schůzek, na kterých byly podrobně představeny všechny požadavky. Dodaná nabídka neobsahuje konkrétní technická řešení, jedná se o úvodní nabídku s obecným řešením jednotlivých činností.

- Bodové ohodnocení: 6

**Cena:** 505 905 €

- Bodové ohodnocení: 5

**Celkové ohodnocení: 27**

#### 11.2.6 Dodavatel F

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** Obecné řešení bez simulace.

- Bodové ohodnocení: 3

**Technické řešení předšroubovací stanice:** Obecné řešení, společná stanice pro předmontáž a zásobování komponent.

- Bodové ohodnocení: 3

**Layout:** Layout pravděpodobně odpovídá požadavkům.

- Bodové ohodnocení: 9

**Celková spolupráce:** Dodavatel se účastnil dvou schůzek v Jihlavském závodě. Na druhé schůzce bylo představeno obecné řešení, které vychází z podkladů získaných pouze z úvodní schůzky. Na základě toho byla odhadnuta cena, která neodráží podrobnější řešení.

- Bodové ohodnocení: 0

**Cena:** 495 300 €

- Bodové ohodnocení: 6

### **Celkové hodnocení: 25**

#### **11.2.7 Dodavatel G**

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Technické řešení předšroubovací stanice:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Layout:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Celková spolupráce:** Dodavatel se zúčastnil pouze jedné schůzky v Jihlavském závodě bez jakéhokoliv následujícího kontaktu či zájmu o spolupráci. Nabídka nedodána.

- Bodové ohodnocení: 0

**Cena:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

### **Celkové ohodnocení: 0**

#### **11.2.8 Dodavatel H**

**Stát:** CZ

**Technické řešení manipulace s railem:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Technické řešení předšroubovací stanice:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Layout:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

**Celková spolupráce:** Dodavatel se zúčastnil pouze jedné schůzky v Jihlavském závodě bez jakéhokoliv následujícího kontaktu či zájmu o spolupráci. Nabídka nedodána.

- Bodové ohodnocení: 0

**Cena:** nedodáno

- Bodové ohodnocení: 0

### **Celkové ohodnocení: 0**

## **11.3 Zvolení vhodného dodavatele**

Nejlepší hodnocení 49 bodů získat dodavatel D, a proto bylo rozhodnuto navázat spolupráci na projektu robotizace montážní linky právě s ním. Jeho návrh byl nejpropracovanější, bylo nabídnuto vhodné technické řešení, které by mělo zajistit hladký chod linky v požadovaném taktu. Propracovanost návrhu byla možná mimo jiné i proto, že tento dodavatel aktivně

komunikoval, kladl otázky a několikrát přijel do Jihlavského závodu, aby si ujasnil veškeré požadavky či fungování stanic. Právě z toho důvodu byl s velkým náskokem zvolen právě dodavatel D.

## 12 SESTAVA KOMPONENT ZVOLENÉHO NÁVRHU

V následující kapitole bude podrobně rozebráno zvolené řešení, a to z pohledu jak jednotlivých komponent nové sestavy, tak také z pohledu nutných úprav, ať už fyzických tak softwarových. Tyto úpravy bude nutné postupně napláňovat, aby byl zajištěn hladký průběh realizace projektu.

### 12.1 Změna pozice linky

Nejprve ze všeho bude nutné změnit aktuální pozici linky. ML4 bude přesunuta na pozici ML8 a obráceně. Díky tomu bude pro ML4 zajištěn automatický výstup z pračky a nebude nutné řešit složitou depaletizaci z pracích košů.

Taková akce, jako je přehození linek, bude trvat nějakou dobu, proto je nutné na tento krok plánovat alespoň čtrnáctidenní odstávku obou linek. Před touto odstávkou bude nutné vyrobít určité množství railů do zásoby, zvláště kvůli odstavení ML8, která jako jediná dokáže montovat novou generaci railů, není tedy možné zajistit výrobu na jiných linkách. Co se ML4 týče, bude odstávka napláňována na delší dobu, a proto bude nutné ještě před zahájením realizace zajistit možnost výroby railů z ML4 na ostatních linkách.

Po přestavbě bude nutné veškeré stanice opět zapojit a provést kalibrace. Následovat bude porovnání schopností stanic před a po přestavbě, abychom měli jistotu, že fungování linky bude srovnatelné se stavem před přestavbou.

### 12.2 Pračka

Pračka sama o sobě zůstane na svojí pozici, nicméně bude nutné provést jak softwarové, tak mechanické úpravy. Co se SW týče, bude nutné zajistit komunikaci pračky s roboty. Robot musí „vědět“, že je k dispozici rail na odebrání a odebrat jej bez jakéhokoliv rizika kolize s pračkou samotnou, či s railem nebo jiným vybavením. O úpravu se postará externí dodavatel pračky ve spolupráci s dodavatelem celého projektu automatizace.

Další nutná úprava bude mechanická. Rail přijíždí k lince v určité pozici, ta ovšem není úplně přesná a může se pohybovat i v rozpětí  $\pm 5$  mm v horizontálním směru. Bude tedy nutné na výstupu nainstalovat rovnací válce, které už rail srovnají do správné pozice.

### 12.3 Stanice 30

Ani stanice 30 nebude výjimkou, co se SW úpravy týče. Bude nutné zajistit komunikaci s robotem. Robot bude se stanicí komunikovat tak, aby v automatickém režimu nebyla funkční bezpečnostní závora. Robot najede s railem do stanice, umístí jej do správné pozice, ve které si jej stanice upne, to by s normálně fungující světelnou závorou nebylo možné. Prvky potřebné pro upnutí bude nutné předělat tak, aby byly nezávislé na hlavním pneumatickém okruhu.

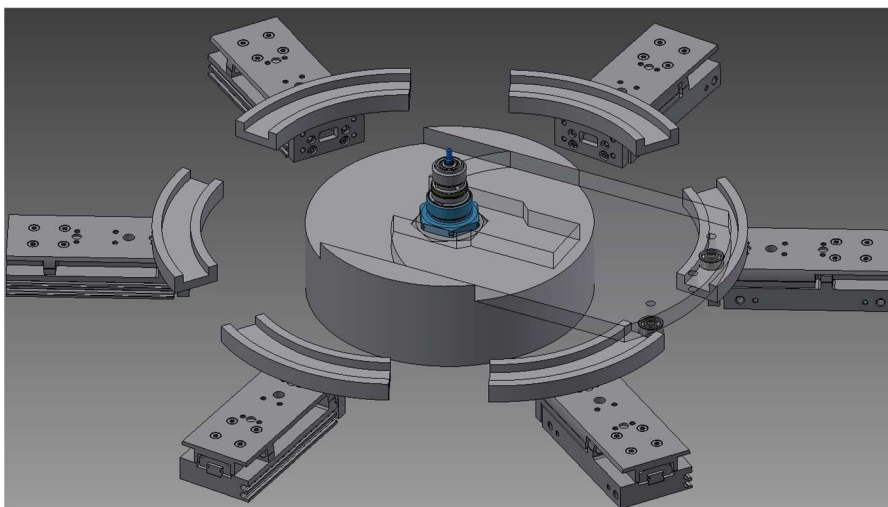
Je nutné brát v potaz i to, že v ručním režimu bude muset být světelná závora funkční, a proto je nutné programově zajistit dva módy, jeden pro seřizovače s funkční světelnou závorou, a druhý pro automatický režim, kdy bude světelná závora vypnutá.

Dalším bodem je také automatické spouštění procesu, které je momentálně spouštěno manuálně pracovníkem. Program bude upraven tak, aby po založení railu spustil proces robot.

## 12.4 Šroubovací stanice

Co se šroubovacích stanic týče, bude SW úprava obdobná jako úprava u stanice 30. Je nutné zajistit komunikaci robota se stanicí a zajistit bezproblémovou koordinaci manipulace a spuštění, popřípadě průběhu procesu.

Poměrně komplikovanější záležitostí bude úprava upínání PCV. O tuto úpravu se postará dodavatel celého projektu. Návrh řešení byl předveden během celkové prezentace projektu. Tuto úpravu bude nutné implementovat ještě před zahájením realizace celé robotizace, aby bylo možné vyzkoušet funkčnost a zajistit případnou optimalizaci. Když bude navíc tento princip upínání fungovat už ve chvíli, kdy bude linka stále obsluhovaná lidmi, je zde menší riziko nečekaných problémů, protože vše může být pracovníky lépe vyzorováno a případné problémy rychle vyřešeny.



Obr. 38) Návrh nového principu zajištění PCV C – klíčem [3]

## 12.5 Stanice na předmontáž komponent

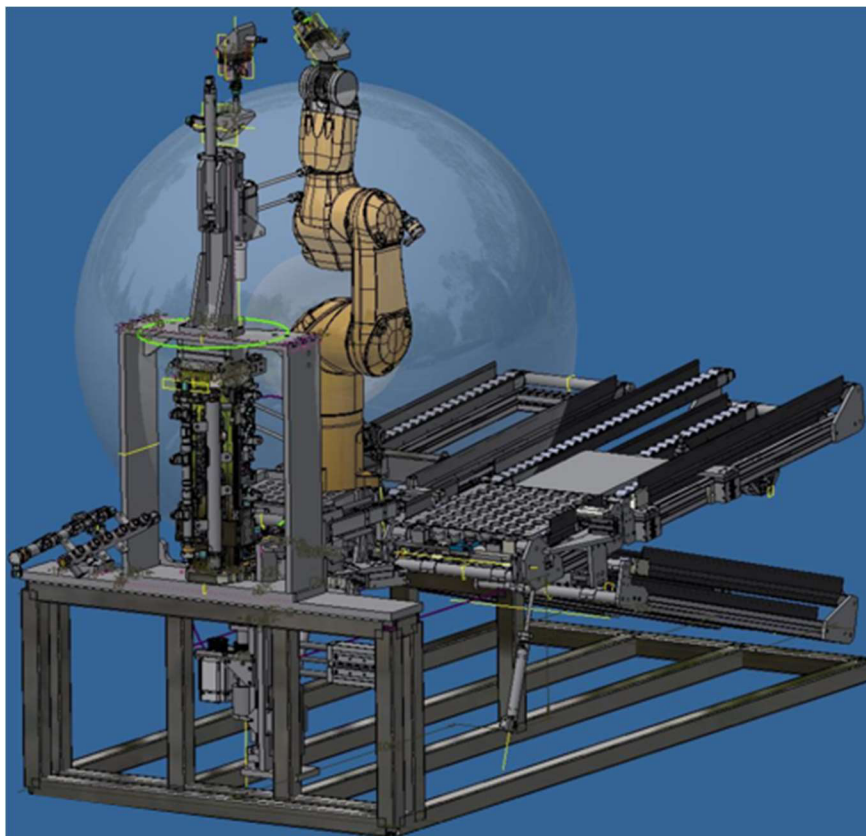
Jedná se o kompletně novou stanici, která bude zajišťovat předmontáž komponent do railu. Komponenty budou vkládány v blistrech na dráhy, které je dopraví na správné místo. O doplňování komponent se bude starat mlkrun. Vše bude možné provézt zvenčí linky, takže nebude nutné linku při doplňování odsavovat.

O depaletizaci komponent se bude starat robot Stäubli TX2-60, který komponentu vyjme z blistru a postará se o potřebnou manipulaci. Rail je umístěn ve stanici vertikálně. Obě axiální komponenty budou předmontovávány zároveň, spodní navíc bude nutné otočit. Robot tedy vezme komponentu, vloží ji do speciálního přípravku, který se postará o její otočení a napozicování vůči railu. Mezi tím proběhne manipulace s druhou komponentou, která bude umístěna ke druhé straně railu.

Stanice bude mít dvě pozice, jednu pracovní, druhou zakládací / vyndavací. Rail tedy bude založen do zakládací pozice, zatímco bude probíhat předmontáž již dříve založeného railu. Jakmile předmontáž proběhne, pozice se vymění, takže proces bude moci proběhnout u založeného railu a hotový rail bude čekat na robota, který jej vyjme a vloží do šroubovací stanice. Díky tomuto principu se ušetří velké množství času.

Samotná předmontáž komponent bude zajištěna servopohony. Tyto servopohony budou nastaveny na určitý počet otáček. Jedná se o technologii, která je využívána ve vedoucím

závodě pro montáž railu v Homburgu. Proces tedy nebude sledován průběhem momentu a úhlu, ale případné problémy budou detekovány pomocí sledování proudové charakteristiky. Jakmile dojde ke změně proudu o určitý počet procent, bude proces vyhodnocen jako n.i.O<sup>2</sup> a rail bude vyřazen z linky. Vše bude nutné nejprve otestovat a dle výsledků testů z předmontáže komponent určit takovou procentuální hranici, která bude znamenat špatný průběh procesu, ať už z důvodu špatného založení komponenty či poškození závitu.



Obr. 39) Návrh stanice na předmontáž komponent [3]

Ve stanici se také bude nacházet kamera jak pro načtení DMC na štítku, tak také pro kontrolu přítomnosti filtu a O-kroužku na PCV.

Ještě před předmontáží komponent je nutné zajistit namazání railu. Mazání bude rozstříknuto do axiálních konců railu na těsnící plochy. Tryska bude umístěna na bezpečnostní kleci a robot k ní ještě před umístěním railu do stanice na předmontáž najede, počká, až proběhne mazání, a až poté rail umístí do stanice. Tryska bude softwarově propojena se stanicí na předmontáž, aby byla zajištěna vhodná komunikace a mazání v tu pravou chvíli.

## 12.6 Manipulace s railem

Manipulace s railem bude zajištěna dvěma roboty Stäubli RX-160. Robot č. 1 vyjme rail z pračky, vloží jej do stanice 30 a poté rail ze stanice vyjme a vloží jej do stanice na předmontáž railu. Z této stanice už si jej vezme robot č. 2, který zajistí přesun railu do šroubovací stanice a ze šroubovací stanice na odkládací místo.

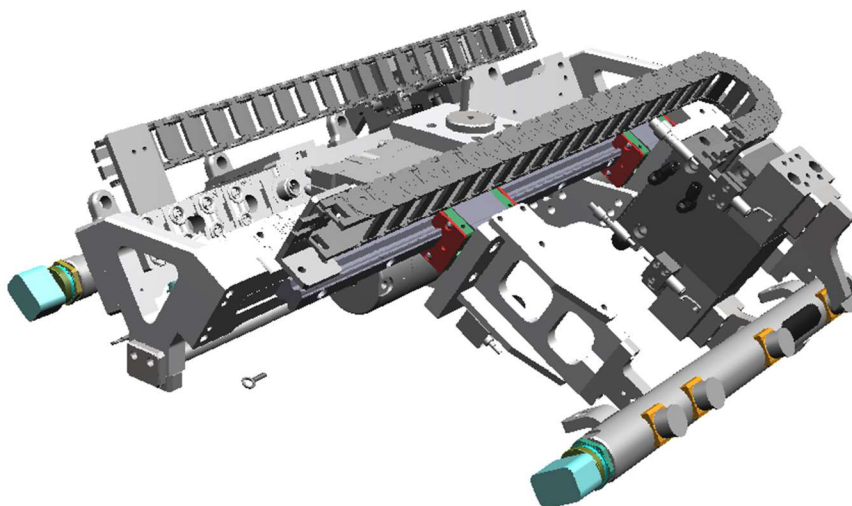
<sup>2</sup> n.i.O – z německého nicht in Ordnung, - není v pořádku (zmetek, kus se závadami)



Obr. 40) Robot Stäubli RX-160 [20]

Jedná se o šestiosé roboty s dosahem 1710 mm a hmotností 248 kg. Nosnost robota je 30 kg [20], takže v našem případě bohatě dostačující.

Roboty budou ukotveny do podlahy pomocí stojanů. Každý z robotů bude mít gripper, který unese dva raily najednou, a to z důvodu odebrání/založení kusů do stroje. Gripper bude mechanicky přenastavitelný dle typu railu, který se zrovna bude vyrábět.



Obr. 41) Návrh gripperu robotů pro manipulaci s railem [3]

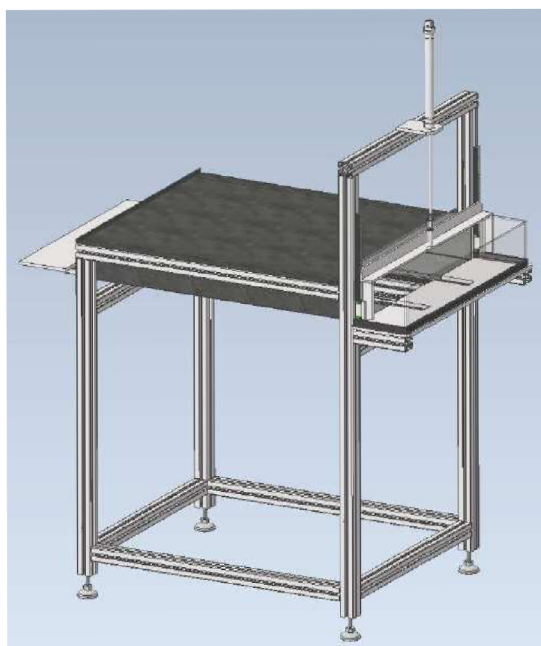
Pokud některá z operací nevyjde a rail bude vyhodnocen jako n.i.O, bude přesunut na odkladiště. Toto odkladiště je součástí stanice na předmontáž. Zmetkový díl lze vyndat zvenčí, takže není nutné zastavovat linku. Stejný princip bude fungovat i pro zmetkové komponenty.



Jakmile bude díl umístěný na odkládací místo, seřizovač bude upozorněn zvukovým signálem, aby rail vyjmul a zkontroloval.

## 12.7 Výstup z linky

Výstup linky bude zajištěn pomocí dvou předávacích míst. Každé z míst bude mít jednu pozici, do které bude vložen rail. Tento rail bude dopraven ven z linky k pracovníkovi, který se postará o další operace. Po vyjmutí odjede zpět na původní místo a bude čekat na další rail.



Obr. 42) Návrh odkládacího místa na výstupu z linky

## 12.8 Bezpečnostní klec

Kolem linky bude nainstalována bezpečnostní klec, která zamezí člověku kontakt s roboty během procesu. Otevírání bude softwarově ošetřené, takže jakmile někdo bude chtít do klece vejít, chod linky se zastaví.

Klec bude obložena plexisklem, a to z toho důvodu, aby se zabránilo strkání prstů či různých předmětů otvory v kleci do linky. V takovém případě by se mohlo stát, že dojde ke zranění člověka, a proto je nutné této skutečnosti zabránit.



## 13 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Projekt robotizace je přímou ukázkou projektu, který může nabídnout nejen zlepšení technologií a zajištění lepší kvality, ale také nemalé úspory. Podmínkou firmy je u takového projektu návratnost alespoň do dvou let, a proto je nutné ještě před oslovením dodavatelů zjistit, jaké finanční prostředky jsou vůbec k dispozici, a zda bude vůbec reálné za danou částku celý projekt zrealizovat.

Firma bere v potaz především to, že se výrazně sníží náklady na pracovníky, z čehož je při kalkulacích vycházeno. Je brán v potaz třisměnný provoz linky. Vzhledem k tomu, že dle simulací časů by mělo být reálné dosáhnout stejného taktu linky, což zaručí výrobnost kusů tak, jak je tomu v současném stavu. Zajištění dodání všech zařízení a komponent včetně integrace je plánováno přes externího dodavatele.

### 13.1 Náklady na pracoviště v současném stavu

Po automatizaci pracoviště by měly zaniknout určité náklady, které jsou v současném stavu nezanedbatelnou položkou. Touto položkou jsou právě náklady na pracovníky, kteří mají na starost obsluhu linky.

Lidská práce tak hraje v nákladech na provoz linky hlavní roli. Náklady na údržbu stanic se nezmění, protože stanice zůstanou součástí linky i nadále.

K obsluze linky jsou standardně potřeba dva pracovníci, linka běží v třisměnném provozu. Proto se do celkových úspor bude započítávat pracovníků šest, jak je znázorněno v tabulce č. 6.

Tab 7) Náklady na provoz linky

Položka číslo	Popis položky	Počet / 3 směny	Cena za jednotku / rok	Cena celkem / rok	Cena celkem / 2 roky
1	Obsluha linky	6	36 700 €	220 200	440 400 €

Zjistili jsme tedy, že máme k dispozici 440 400 €<sup>3</sup>, které můžeme do robotizace investovat. Vzhledem k tomu, že vhodná nabídka již byla vybrána, můžeme spočítat návratnost projektu.

### 13.2 Výpočet návratnosti investice

Návratnost investice bude v našem případě vypočítána jako poměr nákladů na projekt (viz kap. 11.2.4) a nákladů na pracoviště v současné době. Investice do energií, práce seřizovačů atp. nebudou brány v potaz, protože se týkají jak současného stavu, tak také toho nového.

Návratnost investic lze spočítat podle následujícího vzorce:

<sup>3</sup> Z důvodu zákazu zveřejňování informací o firemních financích byla částka pro účely DP vynásobena určitým koeficientem, a proto neodpovídá skutečnosti.

$$N_{rok} = \frac{N_{celk}}{N_{souč}} \quad (1)$$

kde:

$N_{rok}$  – návratnost investice [rok]

$N_{celk}$  – celkové náklady na projekt [€]

$N_{souč}$  – náklady na současný stav, které budou ušetřeny [€]

Po dosazení do vzorce získáme návratnost investice na tento projekt, a ta bude:

$$N_{rok} = \frac{420\,625}{220\,200} = 1,9 \quad (2)$$

Dopracovali jsme se tedy k výsledku 1,9 roku, což odpovídá téměř 1 roku a 11 měsícům.

### 13.3 Shrnutí

V předešlé kapitole jsme se dopracovali k tomu, že návratnost vychází na téměř 1 rok a 11 měsíců. Díky tomuto výsledku, který je nižší než dva roky, jsme zase o krok blíže k samotné realizaci projektu, protože je splněna důležitá podmínka návratnosti do dvou let.

Vzhledem k tomu, že pravděpodobně dosáhneme zrychlení linky a tím i většího množství vyrobených kusů, může být doba návratnosti o něco kratší, nicméně něco takového se zatím těžko odhaduje.

## 14 ANALÝZA RIZIK

Analýza rizik je nezbytnou součástí každého projektu, protože díky ní lze určit, jaká hrozí nebezpečí a lze jim efektivně předcházet zavedením různých opatření. Pro zajištění bezpečnosti bude kolem celé linky instalována bezpečnostní klec s vchodem, při jehož otevření se veškeré procesy zastaví. Zabrání se tak možnému zranění neukázněných pracovníků. Klec chrání linku nejen před neopatrným vniknutím pracovníka, ale také před pádem člověka do linky v důsledku nějaké nehody. Pracovník může jít kolem linky, zakopnout a spadnout na oplocení. To musí v takovém případě bez problémů odolat. Klec bude obložena také plexisklem, a to z toho důvodu, aby nebylo možné do linky skrz oka v kleci prostrkávat různé předměty či prsty, čímž se omezi možnost zranění či jiných problémů na lince.

### 14.1 Metodika analýzy rizik

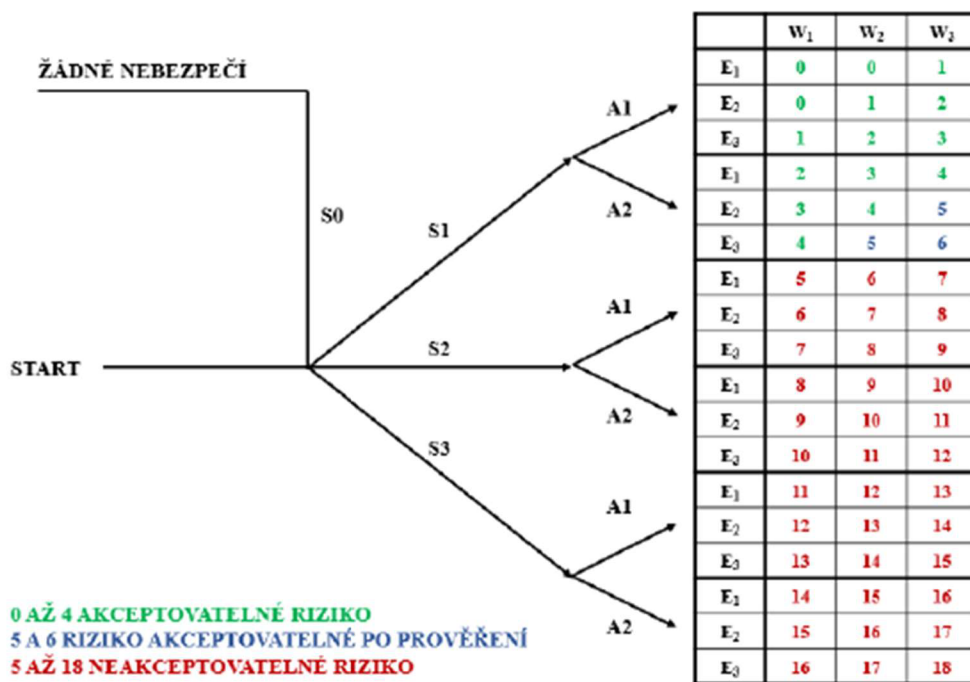
Analýza rizik by měla být provedena na základě metodického postupu, který je součástí norem.

Na začátku je nutné provést detailnější analýzu pracoviště a jednotlivých komponent ve vybraném systému. Po zpracování analýzy zobrazíme systém v blokovém schématu a diagramu, kde si znázorníme jednotlivé komponenty a jejich vzájemné interakce. V další části budou identifikována rizika. Jakmile jsou rizika identifikována, je provedena analýza významných nebezpečí ve vztahu k jednotlivým fázím životního cyklu vybraného pracoviště. Vše je zpracováno do přehledu identifikovaných nebezpečí. [21]

Vyhodnocovaná rizika je možné dělit na menší podskupiny [22]:

- Mechanická (zachycení, přivření, vtáhnutí, stlačení, uvíznutí,...)
- Elektrická (statická elektřina, kontakt se živými částmi stroje,...)
- Tepelná (popálení, radiace, exploze,...)
- Zvuková (nadměrná hlučnost zařízení,...)
- Spojená s vibracemi (poranění celého těla,...)
- Spojená se zářením (působení nízkých frekvencí, UV a infračervená světla, RTG záření,...)
- Spojená s materiálem (prach, toxiny, výpary,...)

Po provedení těchto příprav jsou vypracovány formuláře pro odhad rizik. Zde je nutné provést odhad závažnosti rizik a jejich následků pomocí grafu v obr. 43.



Obr. 43) Schéma pro odhad velikosti rizika

Díky schématu je možné určit velikost rizika. Při určování je nutné brát ohled na následující kritéria [21] [22]:

- Závažnost a možné škody na zdraví (S)
  - S0 – žádné zranění
  - S1 – lehké zranění
  - S2 – těžké zranění
  - S3 – smrt
- Četnost a doba ohrožení (A)
  - A1 – zřídka až častěji
  - A2 – často až trvale
- Možnost vyvarování se nebezpečí (E)
  - E1 – možné
  - E2 – možné za určitých podmínek
  - E3 – sotva možné
- Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události (W)
  - W1 – malá či nepravděpodobná
  - W2 – střední
  - W3 – velká

Velikost rizika může nabít hodnoty od 0 do 18 bodů. Pro posouzení rizik je nutné určit hranici akceptovatelnosti rizika. Pokud se riziko bude pohybovat v hodnotách 0 až 4 body, je považováno za přijatelné. Riziko v rozsahu 5 až 6 bodů je považováno za přijatelné po prověření a riziko v rozsahu 7 až 18 bodů hovoříme o riziku neakceptovatelném. [21]

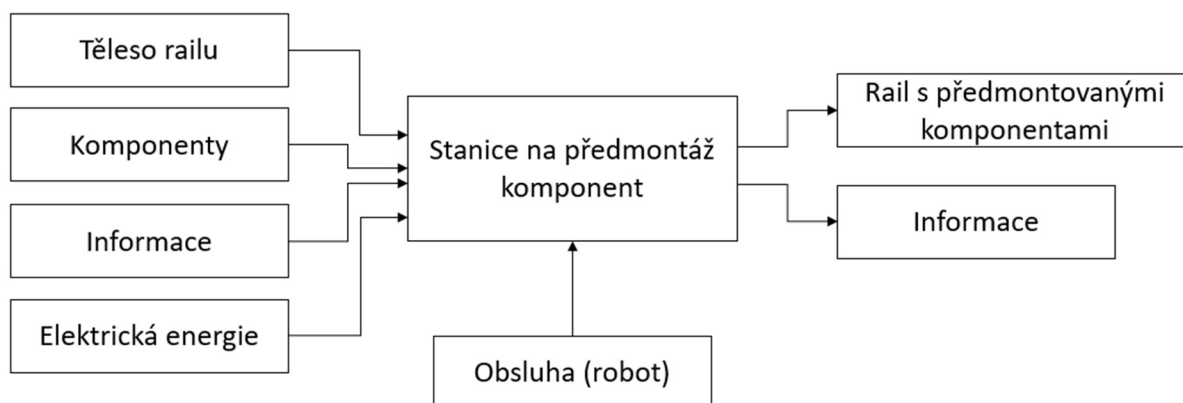
Po analýze a jejím vyhodnocení rizik je nutné rizika s vysokými hodnotami redukovat a optimalizovat. To můžeme provést pomocí různým opatření, jako jsou například opatření

zabudované v konstrukci, snížení rizika pomocí vhodného ochranného krytu či zařízení, nebo snížení rizika pomocí vhodných informací k užívání zařízení.

## 14.2 Analýza rizik robotizace stanice montáže drobných dílců

### 14.2.1 Základní blokový diagram

Základní blokový diagram znázorňuje to, co všechno do stanice na předmontáž komponent vstupuje a co z ní vystupuje.



Obr. 44) Základní blokový diagram analyzovaného pracoviště

### 14.2.2 Identifikace možných nebezpečí

Pro identifikaci všech možných nebezpečí je nutné vypsát komponenty nacházející se na pracovišti a k těmto komponentám sepsat potenciální nebezpečí, která se mohou v systému nacházet dle normy ČSN EN ISO 12100-1. Tato nebezpečí jsou znázorněna v tabulce 8.

Tab 8) Identifikace možných nebezpečí

Název komponenty	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí dle normy ČSN EN ISO 12100-1	Typ a číslo nebezpečí
Elektrický rozvaděč	okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.6-1, 1.9-1
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Kombinace nebezpečí	10.1
Uživatelské rozhraní	okolí pracoviště (monitor)	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.6-1
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
Pneumatika	pracovní prostor, okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-2, 1.7-1
		Nebezpečí hluku	4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.3-1, 4.4-1
Robot Stäubli TX2-60	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.6-1, 1.8-1, 1.9-1

		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Tepelná nebezpečí	3.1-1
		Nebezpečí hluku	4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.3-1, 4.4-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1
		Kombinace nebezpečí	10.1
Kontrolér robotu Stäubli TX2-60	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Kombinace nebezpečí	10.1
Robot Stäubli RX-160	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.3-1, 1.4-1, 1.6-1, 1.8-1, 1.9-1
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Tepelná nebezpečí	3.1-1
		Nebezpečí hluku	4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.3-1, 4.4-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1
		Kombinace nebezpečí	10.1
Kontrolér robotu Stäubli RX-160	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Kombinace nebezpečí	10.1
Zařízení na otáčení komponenty	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.9-1
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Tepelná nebezpečí	3.1-1
		Kombinace nebezpečí	10.1, 10.2
	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.5-1



Servomotory pro předomontáž komponent		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Tepelná nebezpečí	3.1-1
		Nebezpečí hluku	4.1-1, 4.2-1, 4.4-1
		Kombinace nebezpečí	10.1
Konstrukce stanice	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.6-1, 1.8-1, 1.9-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1, 8.2-1, 8.3-1
		Kombinace nebezpečí	10.2, 10.3
Dopravníky blistrů komponent	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.6-1, 1.9-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1, 8.2-1, 8.3-1
Pozice pro zakládání/vykládání kusů	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.6-1
		Elektrická nebezpečí	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2
		Tepelná nebezpečí	3.1-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1, 8.2-1
		Kombinace nebezpečí	10.1, 10.2, 10.3
Bezpečnostní oplocení	ochrana pracovního prostoru	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.6-1, 1.8-1, 1.9-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1
		Nebezpečí hluku	4.1-1
		Kombinace nebezpečí	10.2
Okno v oplocení na vyjmutí n.i.O. kusů	ochrana pracovního prostoru	Mechanická nebezpečí	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.4-1, 1.6-1
		Ergonomická nebezpečí	8.1-1, 8.2-1, 8.3-1

### 14.2.3 Analýza významných nebezpečí

Analýza významných nebezpečí se zabývá určeným rizik od začátku do konce životnosti zařízení, a to nejen během samotného používání, ale také během dopravy, montáže,

zprovoznění či likvidace po skončení životnosti. I tato analýza vychází z normy ČSN EN ISO 12100. Výsledná analýza je znázorněna v tabulce č. 9.

Tab 9) Analýza významných nebezpečí

Analýza významných nebezpečí				Typ stroje: stanice na předmontáž komponent
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100		Popis nebezpečné události
		Stručný popis	Id. číslo	
<b>1 Doprava</b>				
1.1	Nakládání, přeprava, vykládání	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) svalově kosterní poškození	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.6-1 1.8-1 1.8-2 8.3-1	V průběhu nakládání, přepravy a vykládání může dojít z důvodu nevhodné manipulace k stlačení částí těla, pořezání, odření, naražení či zakopnutí a pádu.
1.2	Balení a rozbalování	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) propíchnutí nebo píchnutí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.9-1 10.2	Při balení a rozbalování může dojít při nevhodné manipulaci ke stlačení, pořezání nebo oddělení části těla, propíchnutí či píchnutí při špatné manipulaci s nástrojem (například nůž, nůžky).
<b>2 Montáž, instalace / uvedení do provozu</b>				
2.1	Sestavení a instalace	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) propíchnutí nebo píchnutí nepohodlí (hluk) únava (hluk) nepohodlí (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.6-1 1.8-1 1.8-2 1.9-1 4.1-1 4.4-1 8.1-1 8.3-1 10.1 10.2 10.3	Při instalaci zařízení může dojít ke stlačení zařízením, pořezáním se o ostré hrany, uklouznutí, zakopnutí a pádu, v důsledku toho k odření či svalově kosternímu poškození. Během náročné práce může pracovník zažívat nepohodlí, stres a únavu. Rizika se mohou i zkombinovat, například kombinace únavy, ztráty rovnováhy či dehydratace.
2.2	Připojování k dodávce energie	vystříknutí vysokotlakého média zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy)	1.7-1 2.2-1 2.2-2	Při zapojování do elektrické sítě může vzniknout riziko požáru a popálení, popřípadě zasažení elektrickým proudem. Při zapojování

		požár nepohodlí (hluk) nepohodlí (ergonomie) kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	2.1-1 4.1-1 8.1-1 10.1 10.2	pneumatiky může dojít k hluku a tím nepohodlí pracujícího. Může dojít i ke kombinovanému nebezpečí, a to například kontaktu s živou částí z důvodu nepozornosti či únavy.
2.3	Programování stanice a robota	stlačení naražení zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) nepohodlí (hluk) nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.6-1 2.2-1 2.2-2 4.1-2 8.1-1 8.2-1 10.1 10.2 10.3	Při programování stanice a robota může dojít ke stlačení či naražení. Z důvodu špatné izolace vodičů může dojít i k poranění či smrti elektrickým proudem. Z důvodu náročnosti práce je dalším rizikem únava.
2.4	Funkční zkouška stanice	stlačení vymrštění vtažení nebo zachycení navinutí naražení požár zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) nepohodlí (hluk) stres (hluk) únava (hluk) kombinace nebezpečí	1.1-1 1.3-1 1.4-1 1.5-1 1.6-1 2.1-1 2.2-1 2.2-2 4.1-2 4.2-1 4.4-1 10.1	Při zkoušce stanice s robotem může dojít ke stlačení části těla pracovníka nebo vymrštění manipulované součásti. Z důvodu přítomnosti rotujících součástí je také nezanedbatelné riziko vtažení nebo zachycení. Při špatné izolaci vodičů může dojít k úrazu elektrickým proudem.
2.5	Optimalizace a programování zabezpečení	stlačení naražení nepohodlí (ergonomie) kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.6-1 8.1-1 10.2 10.3	Při programování stanice a robota z důvodu optimalizace a aktivace zabezpečení může dojít ke stlačení či naražení. Z důvodu náročnosti práce je dalším rizikem únava.
<b>3 Provoz</b>				
3.1	Provoz stanice	požár popálení hučení v uších nepohodlí (hluk) stres (hluk) únava (hluk)	2.1-1 3.1-1 4.3-1 4.1-2 4.2-1 4.4-1	Vlivem nadměrného zahřátí součástí stanice může dojít k požáru a následnému popálení pracovníků. Hluk při provozu může způsobovat hučení v uších. Z důvodu vibrační se okolní

				pracovníci mohou cítit nepohodlně a unaveně, z čehož plynou lidské chyby, které mohou mít nemalé následky.
3.2	Doplňování komponent	stlačení pořezání (o ostré hrany) vtažení nebo zachycení naražení pád (ztráta stability) nepohodlí (hluk) stres (hluk) únava (hluk) nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.4-1 1.6-1 1.8-2 4.1-2 4.2-1 4.4-1 8.1-1 8.2-1 8.3-1 10.2 10.3	Při doplňování komponent do stanice může dojít ke stlačení, pořezání o ostré části, zachycení či naražení, při malé pozornosti pracovníka i k pádu s následkem svalově kosterním poškozením. Z důvodu špatné ergonomie může pracovník trpět nepohodlím, které opět může vést ke svalově kosternímu poškození.
3.3	Odebírání n.i.O dílů	stlačení pořezání (o ostré hrany) vtažení nebo zachycení naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) popálení nepohodlí (hluk) stres (hluk) nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.4-1 1.6-1 1.8-1 1.8-2 3.1-1 4.1-2 4.2-1 8.1-1 8.2-1 8.3-1 10.2	Při odebírání n.i.O kusu může dojít ke stlačení části těla pracovníka, pořezání či zachycení. Při ztrátě stability může dojít k naražení či pádu. Z důvodu špatné ergonomie může dojít k nepohodlí a svalově kosternímu poškození.
3.4	Rail a komponenty	vymršťení	1.3-1	Při manipulaci s railem či komponenty může dojít k vymršťení z důvodu špatného uchycení.
<b>4 Čištění a údržba</b>				
4.1	Čištění stanice	stlačení vtažení nebo zachycení naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) popálení nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) svalově kosterní poškození	1.1-1 1.4-1 1.6-1 1.8-1 1.8-2 2.2-1 2.2-2 3.1-1 8.1-1 8.2-1 8.3-1	Při čištění stanice může dojít ke stlačení částí těla, zachycení oděvu o rotující součásti, naražení či z důvodu nepozornosti k zakopnutí a pádu. V případě neodpojení elektroinstalace může dojít k zasažení elektrickým proudem. Z důvodu špatné ergonomie k nepohodlí, únavě, stresu či svalově kosternímu poškození.

		kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	10.1 10.2	
4.2	Údržba stanice	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) vtažení nebo zachycení navinutí vystříknutí vysokotlakého média pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) požár zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) popálení nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.4-1 1.5-1 1.7-1  1.8-1 1.8-2 2.1-1 2.2-1  2.2-2  3.1-1 8.1-1 8.2-1 8.3-1 10.1 10.2 10.3	Při procesu údržby stanice může dojít k mechanickým nebezpečím, jako jsou stlačení, pořezání, vtažení nebo zachycení, navinutí či vystříknutí vysokotlakého média (vzduchu). Při nepozornosti může dojít k uklouznutí, zakopnutí a následnému pádu. Dalším nebezpečím je zasažení elektrickým proudem, které může způsobit popáleniny či smrt. Možná je i kombinace různých nebezpečí.
<b>5 Vyhledávání závad a jejich odstraňování</b>				
5.1	Vyhledávání závady	stlačení pořezání (o ostré hrany) pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) vtažení nebo zachycení navinutí vystříknutí vysokotlakého média zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) popálení nepohodlí (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.8-1 1.8-2 1.4-1 1.5-1 1.7-1  2.2-1 2.2-2  3.1-1 8.1-1 8.3-1 10.1 10.2 10.3	Při vyhledávání závady na pracovišti může dojít k stlačení části těla pracovníka, pořezání se o ostré hrany, zakopnutí, uklouznutí či pád. Z důvodu přítomnosti rotačních částí je zde riziko vtažení nebo zachycení či navinutí. Dalším rizikem je vystříknutí vysokotlakého média (vzduchu). Při kontaktu s obnaženými vodiči může dojít k zásahu elektrickým proudem. Při nadměrném zahřátí částí stanice může dojít k popálení. Z důvodu nevhodné ergonomie existují rizika nepohodlí, únavy a svalově kosterního poškození. Svoji roli hraje i stres,

				kvůli kterému může dojít i ke kombinaci nebezpečí.
5.2	Oprava závady	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) pád (zakopnutí) vtažení nebo zachycení navinutí vystříknutí vysokotlakého média požár zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) popálení nepohodlí (ergonomie) únava (ergonomie) svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.8-1 1.4-1 1.5-1 1.7-1  2.1-1 2.2-1  2.2-2  3.1-1 8.1-1 8.2-1 8.3-1 10.1 10.2 10.3	Při vyhledávání závady na pracovišti může dojít k stlačení části těla pracovníka, pořezání se o ostré hrany, zakopnutí, uklouznutí či pád. Z důvodu přítomnosti rotačních částí je zde riziko vtažení nebo zachycení či navinutí. Dalším rizikem je vystříknutí vysokotlakého média (vzduchu). Při kontaktu s obnaženými vodiči může dojít k zásahu elektrickým proudem s následky popálení či smrti. Z důvodu nevhodné ergonomie existují rizika nepohodlí, únavy a svalově kosterního poškození. Svoji roli hraje i stres, kvůli kterému může dojít i ke kombinaci nebezpečí.
<b>6 Vyřazení z provozu, demontáž zařízení</b>				
6.1	Odpojení od energií	pořezání (o ostré hrany) vystříknutí vysokotlakého média zasažení el. proudem (kontakt s živou částí) zasažení el. proudem (z důvodu poruchy) nepohodlí (hluk) kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.2-1 1.7-1  2.2-1  2.2-2  4.1-1 10.1 10.2	Během odpojování zařízení od sítě může dojít k pořezání či vystříknutí stlačeného vzduchu. Z tohoto důvodu může dojít také k nepohodlí z důvodu hluku. Při odpojování zdroje elektrické energie může dojít k zásahu elektrickým proudem.
6.2	Demontáž	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) propíchnutí nebo píchnutí nepohodlí (hluk) únava (hluk) nepohodlí (ergonomie)	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.6-1 1.8-1 1.8-2 1.9-1 4.1-1 4.4-1 8.1-1	Při demontáži zařízení může dojít ke stlačení zařízení, pořezáním se o ostré hrany, uklouznutí, zakopnutí a pádu, v důsledku toho k odření či svalově kosternímu poškození. Během náročné práce může pracovník zažívat nepohodlí, stres a

		svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí	8.3-1 10.2	únavu. Rizika se mohou i zkombinovat, například kombinace únavy, ztráty rovnováhy či dehydratace.
6.3	Zabalení	stlačení pořezání (o ostré hrany) pořezání (nástrojem) propíchnutí nebo píchnutí	1.1-1 1.2-1 1.2-2 1.9-1	Při zabalování může dojít při nevhodné manipulaci ke stlačení, pořezání nebo oddělení části těla nebo propíchnutí či píchnutí při špatné manipulaci s nástrojem (například nůž, nůžky).
6.4	Odvoz	stlačení pořezání (o ostré hrany) naražení pád (zakopnutí) pád (ztráta stability) svalově kosterní poškození	1.1-1 1.2-1 1.6-1 1.8-1 1.8-2 8.3-1	V průběhu nakládání, přepravy a vykládání může dojít z důvodu nevhodné manipulace k stlačení částí těla, pořezání, naražení či zakopnutí a pádu.

#### 14.2.4 Přehled identifikovaných nebezpečí

Pro určení konkrétních nebezpečí byl vytvořen přehled v podobě tabulky 10. V tomto přehledu je možné najít nebezpečí, která se mohou během celého života pracoviště vyskytnout. Abychom si ujasnili priority a bylo hned na první pohled jasné, která nebezpečí jsou závažná a bude nutné se jim věnovat jako prvním, bylo nutné každé riziko zhodnotit. Rizika, která jsou zhodnocena jako nepřijatelná (označena červenou barvou), budou snížena ve formulářích v následující kapitole. [21], [22].

Tab 10) Přehled identifikovaných nebezpečí

Přehled identifikovaných nebezpečí						
		S	A	E	W	Σ
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při manipulaci	2	2	2	2	10
1.2	Nebezpečí pořezání nebo oddělení					
1.2-1	Nebezpečí pořezání o ostré hrany pracoviště	1	1	2	3	2
1.2-2	Nebezpečí pořezání nástrojem při vybalování či sestavování pracoviště (nůž, nůžky)	2	2	2	2	10
1.3	Nebezpečí vymrštění					
1.3-1	Nebezpečí vymrštění railu či komponenty	3	1	3	1	13
1.4	Nebezpečí vtažení nebo zachycení					
1.4-1	Nebezpečí vtažení nebo zachycení volné části oděvu či části těla během manipulace v pracovním prostoru	2	1	2	2	7

1.5	Nebezpečí navinutí					
1.5-1	Nebezpečí navinutí rotujícími součástmi stanice	2	1	2	2	7
1.6	Nebezpečí naražení					
1.6-1	Nebezpečí naražení při manipulaci v prostoru pracoviště	2	2	2	2	10
1.7	Nebezpečí vystříknutí vysokotlakého média					
1.7-1	Nebezpečí vystříknutí stlačeného vzduchu	1	1	2	1	0
1.8	Nebezpečí pádu					
1.8-1	Nebezpečí pádu vlivem zakopnutí o překážku	1	2	2	2	4
1.8-2	Nebezpečí pádu vlivem ztráty stability	1	2	3	1	4
1.9	Nebezpečí propíchnutí nebo píchnutí					
1.9-1	Nebezpečí propíchnutí nebo píchnutí během rozbalování a montáže	2	1	2	2	7
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí požáru					
2.1-1	Nebezpečí požáru z důvodu vadné elektroinstalace	3	2	3	1	16
2.2	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem					
2.2-1	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem z důvodu dotyku s živými částmi	3	2	2	2	16
2.2-2	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem z důvodu dotyku s částmi, které se staly živými vlivem okolních podmínek	3	2	3	2	17
3	Tepelná nebezpečí					
3.1	Nebezpečí popálení					
3.1-1	Nebezpečí popálení o zahřáté části pracoviště	1	1	2	1	0
4	Nebezpečí hluku					
4.1	Nebezpečí nepohodlí					
4.1-1	Nebezpečí nepohodlí z důvodu montáže / demontáže zařízení	1	1	1	1	0
4.1-2	Nebezpečí nepohodlí z důvodu provozu zařízení	1	2	1	1	2
4.2	Nebezpečí stresu					
4.2-1	Nebezpečí stresu z důvodu práce v nadměrně hlučném prostředí	1	1	1	1	0
4.3	Nebezpečí hučení v uších					
4.3-1	Nebezpečí hučení v uších z důvodu práce v nadměrně hlučném prostředí	1	1	1	1	0
4.4	Nebezpečí únavy					
4.4-1	Nebezpečí únavy vlivem dlouhodobé přítomnosti v hlučném prostředí	1	1	1	1	0
8	Ergonomická nebezpečí					
8.1	Nebezpečí nepohodlí					



8.1-1	Nebezpečí nepohodlí z důvodu nevhodné ergonomie pracoviště	1	2	2	2	4
8.2	Nebezpečí únavy					
8.2-1	Nebezpečí únavy z důvodu práce v neergonomickém prostředí	1	1	2	2	1
8.3	Nebezpečí svalově kosterního poškození					
8.3-1	Nebezpečí svalově kosterního poškození z důvodu práce v neergonomickém prostředí	1	2	2	2	4
8.4	Nebezpečí stresu					
8.4-1	Nebezpečí stresu z důvodu práce v neergonomickém prostředí	1	1	1	2	0
10	Kombinace nebezpečí					
10.1	Nebezpečí kombinace únavy pracovníka a setkání se s živou částí elektroinstalace	3	1	2	1	12
10.2	Nebezpečí kombinace únavy a ztráty rovnováhy pracovníka	2	1	2	2	6
10.3	Nebezpečí kombinace stresu z časového tlaku a lidské chyby	3	1	2	2	13

#### 14.2.5 Formuláře pro snížení rizika [21], [22]

Na základě identifikace a vyhodnocení nebezpečí byla zjištěna relevantní rizika a jejich závažnost. Pro snížení rizika se využívá formulářů, které obsahují zdroj nebezpečí, hodnotu rizika před opatřeními, hodnotu rizika po opatřeních, popis jednotlivých opatření a další formality, jako jsou identifikace stroje či podpis zodpovědné osoby. Tento formulář bude vyplněn pro všechna nebezpečí, která přesahují určitou hranici.

Vždy je snaha vytvořit taková opatření, která se týkají konstrukce a vybavení pracoviště. Pokud je i po implementaci takových opatření riziko stále příliš vysoké, přistupuje se ke druhému kroku, ve kterém je za cíl vytvořit opatření vhodná přímo pro obsluhu, jako je použití pracovníků pomůcek. Posledním krokem je využití návodů, informací, školení atp.

Ukázka formuláře je viditelná v tabulce 11. Vzhledem k četnosti formulářů je možné je najít v příloze A.

Tab 11) Formulář pro snížení rizika

VUT v Brně FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA		Stanice pro předmontáž komponent
	Zpracovala: Krejčí Monika		Datum: 08. 06. 2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2 Elektrická nebezpečí	
2.2-2	10	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem z důvodu dotyku s částmi, které se staly živými vlivem okolních podmínek	
Životní etapa stroje:	montáž, instalace, uvedení do provozu, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad a jejich		Nebezpečný prostor: Pracovní prostor, ochrana pracovního prostoru

	odstraňování, vyřazení z provozu, demontáž zařízení		
Ohrožené osoby:	montážní pracovník, obsluha pracoviště, seřizovač, pracovník údržby, programátor, technolog		Provozní stav stroje: za provozu, mimo provoz
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí úrazu či smrti elektrickým proudem z důvodu dotyku s částmi, které se staly živými vlivem okolních podmínek		
Počáteční riziko:	Závažnost a možné škody na zdraví	S3: smrt	Velikost rizika  <b>17</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2: často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3: sotva možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události	W2: střední	
<b>Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci</b>			
Popis opatření:	Použití certifikovaných zařízení a elektroinstalace splňující odpovídající normu. Použití krytů všech potencionálně nebezpečných částí. Zajištění pravidelné revize elektrozařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2: těžké zranění	Velikost rizika  <b>10</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2: často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2: možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události	W2: střední	
<b>Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření</b>			
Popis opatření:	Použití osobních ochranných pomůcek, jako jsou rukavice, brýle, pracovní obuv s vyztuženou špicí či vhodný pracovní oděv.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2: těžké zranění	Velikost rizika  <b>6</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1: zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2: možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události	W1: střední	
<b>Krok3: Informace pro používání</b>			
Popis opatření:	Pravidelné školení bezpečnosti všech pracovníků, instrukce k použití zohledněné v návodkách.		

Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S1: lehké zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1: zřídka až častěji	<b>0</b>
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2: možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události	W1: malá či nepravděpodobná	
Validace: Opatření jsou dostatečná		Bc. Monika Krejčí	08. 06. 2020



## 15 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo popsání procesu integrace robotizace na montáži railu ve firmě Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Vstupem pro montážní linku railu je těleso railu a komponenty, které jsou do tělesa během montáže šroubovány či lisovány.

Úvod práce byl věnován teoretickým poznatkům, nejen o firmě Bosch Diesel s.r.o. a jejím představám a motivaci pro realizaci projektu, ale také teoretické rešerši týkající se automatizace, robotů a montážních linek. Provedeno bylo také zhodnocení současného stavu montáže railu z pohledu montážních linek a railu jako vyráběného produktu.

Po zhodnocení současného stavu následuje kapitola, která se věnuje volbě vhodné montážní linky pro projekt automatizace. Jsou zde zmíněna kritéria, která byla při rozhodování důležitá. Další kapitola se věnuje podrobnému popisu vybrané linky, definici procesů a určení procesních časů. Dále byly navrženy koncepty, které by mohly zajistit fungování linky. Z těchto konceptů byl multikriteriální metodou vybrán jeden, který byl hodnocen nejvíce body. U tohoto konceptu byl proveden odhad procesních časů, aby bylo jasné, s jakým taktem bude možno počítat po zavedení automatizace.

Jakmile byly jasně definovány požadavky a představy, byli osloveni dodavatelé, kteří by mohli projekt zrealizovat. Někteří dodavatelé se vyjádřili, že o takový projekt nemají zájem, další dodali svoje návrhy. Na základě hodnocení návrhů, finanční stránky, spolupráce a angažovanosti potenciálních dodavatelů bylo provedeno hodnocení, na jehož základě byl vybrán dodavatel, který vyšel s nejlepšími výsledky. S pomocí výpočtu současných nákladů na provoz linky v nezměněném stavu a jejich porovnáním s cenovou nabídkou od vybraného dodavatele, byla vypočítána návratnost projektu, která jak bylo požadováno, nepřesáhla dva roky. Tímto výsledkem se projekt posunul o krok blíže k realizaci.

Další kapitola praktické části popisuje jednotlivé prvky plánované automatizace, a to nejen z hlediska nových komponent, jako jsou roboty či nová stanice na předmontáž komponent, ale také z hlediska nutných úprav současných stanic či změny pozice linky.

Předposlední kapitola se věnuje analýze rizik pracoviště, a to jak teoretickému rozboru metody, tak také praktickému zhodnocení rizik na stanici pro předmontáž komponent.

Koncept automatizovaného pracoviště vyhovuje všem podmínkám společnosti Bosch Diesel s.r.o. Nabízí totiž úsporu pracovníků, kteří mohou být využiti na jiných pozicích či zajištění vysoké kvality produktu. Jedinou nevýhodou se může zdát nutnost přesunu montážní linky na jiné místo a její opětovné kompletní zprovoznění. To bude platit i pro linku, se kterou si linka zvolená pro robotizaci pozici vymění. U všech přesunutých stanic tak bude nutné provést odpojení, opětovné připojení či kalibrace, což může mírně zvyšovat náklady.

Vzhledem k tomu, že se jedná o první projekt automatizace na montáži railu, je nutné počítat s dostatečnou časovou rezervou na samotnou realizaci, protože se mohou objevit nečekané komplikace při implementaci či optimalizaci. Nemálo důležitým bodem je také zajištění flexibility výroby, popřípadě výroba zásob, aby odstávka negativně neovlivnila zákaznické dodávky.

Protože se jedná o projektovou diplomovou práci, byly jednotlivé části rozebrány, nicméně během realizace bude nutné se na proces zavádění zaměřit podrobněji a postarat se o to, aby vše bylo doladěno do posledního detailu. Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o první

plánovaný projekt automatizace montážní linky na montáži railu ve firmě Bosch Diesel s.r.o., a proto je nutné počítat s tím, že se během realizace mohou objevit nečekané překážky, kvůli kterým bude firma donucena mírně upravit řešení. I tak může být tato práce inspirací pro automatizaci dalších montážních linek a zkušenosti získané jak během plánování, tak při případné realizaci, mohou být využity ve velké míře v budoucích projektech, které jsou na montáži railu plánovány.

## 16 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Bosch Group ve světě. *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-group-ve-svete/>
- [2] Bosch Group v České republice. *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/>
- [3] Bosch Diesel s.r.o., Interní zdroje [cit. 2019-11-11]
- [4] BRANISLAV LACKO, LADISLAV MAIXNER, PAVEL BENEŠ, LADISLAV ŠMEJKAL. Automatizace a automatizační technika: systemové pojetí automatizace 1., vyd. Praha: Computer Press, 2000. 1. vyd. 97 s. ISBN 80-7226-246-7
- [5] Automatizace. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Automatizace>
- [6] Montážní linka. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Montazni\\_Linka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Montazni_Linka)
- [7] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. Základy montáže. Vyd. 1. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-TUO, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [8] Robot. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [9] Průmyslové roboty a jejich druhy. *Factory automation* [online], [cit. 2019-12-06]. dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [11] *Kartézský robot* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/proc-v-plastikarskem-prumyslu-prevladaji-kartezske-roboty/c/5899/#gallery>
- [12] SCARA. In: *Fanuc America* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/scara>
- [13] TX2-90XL. *All robots* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.allrobots.cz/produkty/staubli/tx2-90xl/>
- [14] Dvouramenný robot. *MM spektrum* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/novinka/dvouramenny-robot-s-programem-pro-biolaboratore.html>
- [15] Delta roboty. *MM spektrum* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/delta-roboty/>
- [16] Řada FANUC paint. *Fanuc* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-paint>
- [17] Kolaborativní roboty. *Logistika ihned* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65513620-nedostatek-pracovniku-tlaci-firmy-k-robotizaci-prosazuji-se-i-roboti-spolupracujici-s-clovekem>
- [18] Jednotlivé metody a nástroje. *Academy of Productivity and Innovations* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/24886-jednotlive-metody-a-nastroje-a-ch>
- [19] Analýza a měření práce. *Academy of Productivity and Innovations* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>

- [20] Katalog. In: *Stäubli* [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en-in/file/21877.show>
- [21] BLECHA Petr. Metodický přístup ke snižování rizika u strojních zařízení. Presentováno na: [Přednášky předmětu Management rizik u výrobních strojů; Brno.]
- [22] ČSN EN ISO 12100: 2011. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Český normalizační institut, 2011.



# 17 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 17.1 Seznam tabulek

TAB 1) POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ LINEK.....	47
TAB 2) ČASY JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ PRO TYP 0445.218.029 .....	57
TAB 3) SKUPINY OPERACÍ.....	57
TAB 4) ČASY JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ PRO TYP 0445.214.248 .....	59
TAB 5) SKUPINY OPERACÍ.....	59
TAB 6) HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KONCEPTŮ .....	67
TAB 7) NÁKLADY NA PROVOZ LINKY .....	81
TAB 8) IDENTIFIKACE MOŽNÝCH NEBEZPEČÍ.....	85
TAB 9) ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ .....	88
TAB 10) PŘEHLED IDENTIFIKOVANÝCH NEBEZPEČÍ .....	93
TAB 11) FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA .....	95

## 17.2 Seznam obrázků

OBR. 1) LOGO SPOLEČNOSTI BOSCH [3] .....	23
OBR. 2) ZÁVOD II NA DOLECH [3] .....	23
OBR. 3) VSTRÍKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL.....	25
OBR. 4) SCHÉMA AUTOMATICKÉHO OTEVÍRÁNÍ DVEŘÍ CHRÁMU [4] ..	27
OBR. 5) KARTEZIÁNSKÝ ROBOT OD VÝROBCE WITTMANN [11] .....	33
OBR. 6) ROBOT TYPU SCARA OD VÝROBCE FANUC .....	34
OBR. 7) KLOUBOVÝ ROBOT OD VÝROBCE STÄUBLI [13] .....	34
OBR. 8) DVOURAMENNÝ ROBOT OD VÝROBCE YASKAWA MOTOMAN VHODNÝ DO LABORATOŘE [14] .....	35
OBR. 9) DELTA ROBOT OD VÝROBCE ABB [15] .....	35
OBR. 10) LAKOVACÍ ROBOT OD SPOLEČNOSTI FANUC [16] .....	36
OBR. 11) KOLABORATIVNÍ ROBOT YUMI [17].....	37
OBR. 12) KOMPONENTA PCV (STARŠÍ GENERACE NALEVO, PRO 2500 BARŮ NAPRAVO) [3].....	39
OBR. 13) RAIL S NAŠROUBOVANOU KOMPONENTOU PCV A S C-KLÍČEM STÁLE NA RAILU [3].....	40
OBR. 14) TLAKOVÝ SENZOR [3] .....	41
OBR. 15) POJISTNÝ VENTIL [3].....	41

<b>OBR. 16)UZAVÍRACÍ ŠROUB [3].....</b>	<b>42</b>
<b>OBR. 17)PŘÍVODNÍ HRDLO [3].....</b>	<b>42</b>
<b>OBR. 18)NÍZKOTLAKÝ KONEKTOR - LISOVANÝ [3] .....</b>	<b>43</b>
<b>OBR. 19)NÍZKOTLAKÝ KONEKTOR - ŠROUBOVANÝ [3].....</b>	<b>43</b>
<b>OBR. 20)LAYOUT ML1; ST. 030 – POPIS A LEPENÍ ŠTÍTKU; ST. 031 – KAMEROVÁ KONTROLA TĚSNICÍCH PLOCH, ST. 015 – LISOVÁNÍ NÍZKOTLAKÉHO KONEKTORU, ST. 035 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 050 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 061 – ŠROUBOVÁNÍ RADIÁLNÍCH KOMPONENT.....</b>	<b>44</b>
<b>OBR. 21)OBR. LAYOUT ML2; ST. 030 – POPIS A LEPENÍ ŠTÍTKU, ST. 031 – KAMEROVÁ KONTROLA AXIÁLNÍCH TĚSNICÍCH PLOCH, ST. 015 – LISOVÁNÍ NÍZKOTLAKÉHO KONEKTORU, ST. 055 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT (OBVYKLE PCV), ST. 056 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT (OBVYKLE PCV), ST. 040 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT (OBVYKLE PLV), ST. 050 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 061 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH I RADIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 60 – ŠROUBOVÁNÍ RADIÁLNÍCH KOMPONENT .....</b>	<b>45</b>
<b>OBR. 22)LAYOUT ML3; ST. 030 – POPIS A LEPENÍ ŠTÍTKU, ST. 031 – KAMEROVÁ KONTROLA TĚSNICÍCH PLOCH, ST. 014 – LISOVÁNÍ NÍZKOTLAKÉHO KONEKTORU, ST. 053 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 054 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 061 – ŠROUBOVÁNÍ RADIÁLNÍCH KOMPONENT.....</b>	<b>46</b>
<b>OBR. 23)LAYOUT ML4; ST. 030 – POPIS A LEPENÍ ŠTÍTKU, KAMEROVÁ KONTROLA TĚSNICÍCH PLOCH, ST. 056 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 056 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT .....</b>	<b>47</b>
<b>OBR. 24)LAYOUT ML8; ST. 030 – POPIS A LEPENÍ ŠTÍTKU, KAMEROVÁ KONTROLA TĚSNICÍCH PLOCH, ST. 014 – LISOVÁNÍ NÍZKOTLAKÉHO KONEKTORU, ST. 055 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 056 – ŠROUBOVÁNÍ AXIÁLNÍCH KOMPONENT, ST. 061 – ŠROUBOVÁNÍ RADIÁLNÍCH KOMPONENT.....</b>	<b>48</b>
<b>OBR. 25)STANICE 30 [3] .....</b>	<b>51</b>
<b>OBR. 26)STANICE 55 [3].....</b>	<b>52</b>
<b>OBR. 27)SCHÉMA SLEDU OPERACÍ NA ML4.....</b>	<b>53</b>
<b>OBR. 28)BOX S PRACÍMI KOŠI [3].....</b>	<b>54</b>
<b>OBR. 29)DEPALETIZACE TĚLES Z PRACÍHO KOŠE [3].....</b>	<b>55</b>
<b>OBR. 30)UPÍNÁNÍ RAILU VE STANICI 30 [3] .....</b>	<b>56</b>
<b>OBR. 31)BLISTRY S RPS (VPRAVO), RPS VLOŽENÁ DO MAZACÍHO PŘÍPRAVKU (VLEVO) [3] .....</b>	<b>57</b>
<b>OBR. 32)KLT S BLISTRY S PCV (VLEVO), PCV VLOŽENO DO KONTROLNÍHO PŘÍPRAVKU (VPRAVO) [3] .....</b>	<b>57</b>
<b>OBR. 33)ZLEVA – RAIL 0445.218.029 A 0445.214.248 [3] .....</b>	<b>58</b>

<b>OBR. 34) AUTOMATICKÝ VÝSTUP Z PRAČKY [3] .....</b>	<b>65</b>
<b>OBR. 35) LAYOUT KONCEPTU Č. 1 .....</b>	<b>66</b>
<b>OBR. 36) LAYOUT KONCEPTU Č. 2 .....</b>	<b>67</b>
<b>OBR. 37) LAYOUT KONCEPTU Č. 3 .....</b>	<b>67</b>
<b>OBR. 38) NÁVRH NOVÉHO PRINCIPU ZAJIŠTĚNÍ PCV C – KLÍČEM [3] .....</b>	<b>78</b>
<b>OBR. 39) NÁVRH STANICE NA PŘEDMONTÁŽ KOMPONENT [3] .....</b>	<b>79</b>
<b>OBR. 40) ROBOT STÄUBLI RX-160 [20] .....</b>	<b>80</b>
<b>OBR. 41) NÁVRH GRIPPERU ROBOTŮ PRO MANIPULACI S RAILEM [3] .....</b>	<b>80</b>
<b>OBR. 42) NÁVRH ODKLÁDACÍHO MÍSTA NA VÝSTUPU Z LINKY .....</b>	<b>81</b>
<b>OBR. 43) SCHÉMA PRO ODHAD VELIKOSTI RIZIKA .....</b>	<b>86</b>
<b>OBR. 44) ZÁKLADNÍ BLOKOVÝ DIAGRAM ANALYZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>87</b>



## 18 SEZNAM PŘÍLOH

CD

Příloha A – Formuláře pro snížení rizika

Příloha B – Výkres – layout linky v současném stavu

Příloha C – Výkres – layout linky po implementaci nového řešení